

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SERTLEŞTİRİLMİŞ P20 ÇELİĞİNİN  
KÜBİK BOR NİTRÜR (CBN) KESİCİ TAKIMLARLA  
YÜKSEK HIZLARDA FREZELENMESİ**

**SERKAN ATEŞ**

**ŞUBAT 2006**

## ÖZET

### SERTLEŞTİRİLMİŞ P20 ÇELİĞİNİN KÜBİK BOR NİTRÜR (CBN) KESİCİ TAKIMLARLA YÜKSEK HIZLARDA FREZELENMESİ

ATEŞ, Serkan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Necip CAMUŞCU

Şubat 2006, 128 Sayfa

Bu tez çalışmasında 55 HRC sertliğe kadar sertleştirilmiş P20 (1.2738) kalıp çeliği; iki farklı cins CBN kesici takımla, değişik kesme parametreleri kullanılarak yüksek hızlarda işlenmiştir. Elde edilen takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü değerleri CBN kesici takımlar için karşılaştırılıp, her bir kesme parametresinin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi araştırılmıştır.

Deneylerde kullanılan CBN kesici takımların birincisi KD050'dir. KD050 (CBN-DS), düşük CBN katkılı (hacimce ~ %50) ve seramik bağlayıcılıdır (TiC, hacimce ~ %50). İkincisi KD120 (CBN-YM), yüksek CBN katkılı (hacimce ~ %88) ve metalik bağlayıcılıdır (kobalt, hacimce ~ %12). Deneylerde kullanılan her iki cins kesici ucunda geometrileri aynıdır.

Deneylerde takım aşınmasında en büyük etkiye sahip dört farklı kesme parametresi kullanılmıştır. Bunlar kesme hızı ( $V_c$ ), ilerleme ( $f$ ), talaş derinliği ( $a_p$ ) ve kesme genişliğidir ( $a_r$ ). Deneyler dört set halinde gerçekleştirilmiş ve her sette tek bir

kesme parametresi için üretici firmanın kataloğunda belirtilen aralıkta 3 farklı değer alınarak, bunların takım aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir.

Deneylede takım aşınmasının ölçülmesi için optik mikroskop, yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi için ise mekanik yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** CBN, Yüksek Hızlarda İşleme, Aşınma, Yüzey Pürüzlülüğü, Kesme Parametreleri.

## ABSTRACT

### HIGH SPEED MILLING OF HARDENED P20 STEEL WITH CUBIC BORON NITRIDE (CBN) CUTTING TOOLS

ATEŞ, Serkan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Eng., M.Sc. Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Necip CAMUŞCU

February, 2006, 128 pages

In this work, mould steel P20 (1.2738) hardened to 55 HRC was milled at high cutting speeds employing different cutting parameters with two different types of CBN tools. Tool wear and surface roughness results obtained for both types of tools were compared and the effects of cutting parameters on tool wear and surface roughness were investigated.

One of the CBN tools used in this work is KD050 (CBN-LC) which is a low CBN content (50 volume %) tool with a ceramic binder (TiC, 50 volume %). The other one is KD120 (CBN-HM), a high CBN content (88 volume %) tool with metal binder (cobalt, 12 volume %).

In the experiments four different cutting parameters, which have the highest effects on tool wear, were used. These are cutting speed ( $V_c$ ), feed rate ( $f$ ), depth of cut ( $a_p$ ) and width of cut ( $a_r$ ). Four sets of experiments were conducted, and at each

set three different values, of one cutting parameter within the interval recommended by the tool manufacturer, were used, and their effects on tool wear and surface roughness were investigated.

In the experiments, tool wear was measured by using an optical microscope and the surface roughness was measured by using a mechanical surface roughness measurement device.

**Key Words:** CBN, High Speed Machining, Wear, Surface Roughness, Cutting Parameters.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aőamasında değerli bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim, tezimin hazırlanması esnasında her turlü yardımını esirgemeyen tez danıőmanım sayın Yrd.Doç.Dr. Necip CAMUŞCU' ya , tez çalıőmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm sayın Doç. Dr. Ersan ASLAN' a, Makine Mühendisliği Bölümündeki değerli öğretim üyelerine, deneylerin yapılması esnasında yardımlarını esirgemeyen Araő. Gör. Ali Osman ER'e, arkadaşlarıma ve son olarak bana birçok konuda olduğu gibi, tezimi hazırlamam esnasında da yardımlarını esirgemeyen eőim Öznur TULUNAY ATEŞ' e ve varlığıyla dünyamı güzelleőtiren kızım YAREN'e en içten teőekkürlerimi sunarım.

## SİMGELER DİZİNİ

$f$	İlerleme miktarı (mm/dev)
$V, V_c$	Kesme hızı (m/dk)
$t_1, t_2, t_c$	Talaş derinliği (mm)
$\gamma$	Talaş açısı
$\phi$	Kayma açısı
$D_m$	Ortalama parça çapı
$l_1, l_2$	Kesme öncesi ve sonrası ortalama mesafe
$r_c$	Talaş kalınlıkları oranı
$F_r$	Bileşke kuvvet
$F_x, F_f$	İlerleme kuvveti
$F_y, F_r$	Radyal kuvvet
$F_z, F_c$	Ana kesme kuvveti
$F_t$	İtme kuvveti
$\tau_s$	Malzemenin kayma mukavemeti
$A_s$	Talaş kesiti
$A_c$	Deforme olmamış talaş kesiti
$\gamma_{ne}$	Normal talaş açısı
$\beta$	Kama açısı
$\sigma_s$	Normal gerilme
$k, c$	İş malzemesi sabiti
$\alpha$	Boşluk açısı
$\lambda_s$	Kesici kenar meyil açısı

$K_f$	Kesme açısı
$r$	Kesici uç burun radyusu
$R_t$	Pürüzlülük yüksekliği ( $\mu\text{m}$ )
$R_a$	Ortalama pürüzlülük değeri ( $\mu\text{m}$ )
$R_{\text{max}}$	En büyük pürüzlülük değeri
$a$	Kaldırılacak talaş tabakasının kalınlığı
$b$	Talaş genişliği
$h$	Talaş kalınlığı
$D$	Parçanın ilk çapı
$D_0$	Parçanın talaş kaldırıldıktan sonraki çapı
$x$	Yerleştirme açısı
$n$	Devir sayısı (dev/dk)
$d$	Kesici çapı
$\tau_k$	Malzemenin kesme kopma mukavemeti
$P_s$	Kesme gücü
$VB_{\text{Bmax}}$	Maksimum aşınma genişliği
$VB_{\text{B}}$	Yan yüzey aşınma genişliği
$VB_{\text{A}}$	Ortalama aşınma genişliği
$KT$	Krater derinliği
$T$	Takım ömrü
$n$	Takım üssü
$c_0, c_1$	Orantı sabitleri
$c_v$	Takım ömrü dağılımı değişme katsayısı
$CF$	Takım malzemesi için düzeltme faktörü
$(60/T)^{1/6}$	Kesme hızını düzelteren faktör



## KISALTMALAR

CBN	Kübik Bor Nitrür
CAM	Bilgisayara dayalı imalat
YHÇ, HSS	Yüksek hız çeliği
BUE	Yığılma
HSC	Yüksek kesme hızında talaş kaldırma
HVM	Yüksek ilerleme hızında talaş kaldırma
PCD	Çok kristalli elmas
BHN	Brinell serlik değeri
WR	Aşınma direnci
T	Tokluk
HH	Kızıl sertlik
BN	Boron nitrür
HBN	Hegzagonal boron nitrür
CNC	Bilgisayar kontrollü tezgah
WC	Tungsten karbür
CVD	Kimyasal buhar çökertme
PVD	Fiziksel buhar çökertme
YMK	Yüzey merkezli kübik
CBN-DS	Düşük CBN içerikli seramik bağlayıcılı kesici takım
CBN-YM	Yüksek CBN içerikli metal bağlayıcılı kesici takım

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

1.1. Tornalama .....	3
1.2. Tornalama Yöntemleri .....	4
1.3. Frezeleme .....	5
1.4. Frezeleme Türleri .....	6
1.5. Delme .....	7
1.6. Vargel ve Planya .....	9
1.7. Taşlama .....	10
1.8. Talaş Oluşumu .....	13
1.9. Talaş Tipleri .....	14
1.10. Farklı Talaş Derinliği/İlerlemeler İçin Talaş Tipleri .....	15
1.11. Hızlı Talaş Kaldırma .....	20
1.12. Takım Açıları .....	24
1.13. Paso Sayısına Göre Takım Aşınma Grafiği .....	36
1.14. Kesme İşleminde Takım Aşınma Bölgeleri ve Aşınma Tipleri .....	46
1.15. Kesme Hızı ve Takım Ömrü İlişkisi .....	54
1.16. Kesme Derinliğinin Ömre Etkisi .....	55
1.17. Rastgele Değişken Olarak Takım Ömür Görünümü .....	56
1.18. Yüzey Pürüzlülük Grafiği .....	91
2.1. Plastik Kalıp Çeliği .....	99
2.2.a. Kesici Uç .....	100
2.2.b. Bağlama Elemanı .....	100

2.3. CNC Dik İşleme Merkezi (MAZAK VTC-20B) .....	102
2.4. Optik Mikroskop .....	103
2.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı .....	104

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### ÇİZELGE

1.1. HSC ve HVM'nin Sınırları .....	19
1.2. Kesme Değişkenlerinin Takım Ömrüne Etkileri .....	28
1.3. Bir Parçanın İşleme Maliyetine Etki Eden Faktörler .....	35
1.4. Takım Aşınması Ölçüm Metotları, Araçları ve Şartları .....	49
1.5. Takım Malzemesine Göre Ömür Doğrusunun Eğimi .....	53
1.6. Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarları İçin Düzeltilmiş Değerler .....	57
1.7. HSS Kesici Takımların Tarihsel Gelişimi .....	81
1.8. O Tipi Takım Çeliklerinin Kimyasal Kompozisyonları .....	83
1.9. A Tipi Takım Çeliklerinin Kimyasal Kompozisyonları .....	84
1.10. D Tipi Takım Çeliklerinin Kimyasal Kompozisyonları .....	86
1.11. H Tipi Takım Çeliklerinin Kimyasal Kompozisyonları .....	87
2.1. P20 Plastik Kalıp Çeliğinin Kimyasal Kompozisyonu .....	99
2.2. P20 Plastik Kalıp Çeliğinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri .....	100
2.3. KD120 Kesici Uçun Özellikleri .....	101
2.4. KD050 Kesici Uçun Özellikleri .....	101
2.5. CNC Dik İşleme Merkezinin Özellikleri .....	103
2.6. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazının Özellikleri .....	104
2.7. Deney Değişkenleri .....	105
3.1. Farklı Kesme Hızlarında KD050'ye Ait Aşınma Değerleri .....	107
3.2. Farklı Kesme Hızlarında KD120'ye Ait Aşınma Değerleri .....	107
3.3. Farklı Kesme Hızlarında KD050'ye Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri .....	109

3.4. Farklı Kesme Hızlarında KD120'ye Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri .....	109
3.5. Farklı İlerleme Değerlerinde KD050'ye Ait Aşınma Değerleri .....	111
3.6. Farklı İlerleme Değerlerinde KD120'ye Ait Aşınma Değerleri .....	111
3.7. Farklı İlerleme Değerlerinde KD050'ye Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri .....	113
3.8. Farklı İlerleme Değerlerinde KD120'ye Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri .....	113
3.9. Farklı Kesme Derinliğinde KD050'ye Ait Aşınma Değerleri .....	115
3.10. Farklı Kesme Derinliğinde KD120'ye Ait Aşınma Değerleri .....	115
3.11. Farklı Kesme Derinliğinde KD050'ye Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri .....	117
3.12. Farklı Kesme Derinliğinde KD120'ye Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri .....	117
3.13. Farklı Kesme Genişliğinde KD050'ye Ait Aşınma Değerleri .....	119
3.14. Farklı Kesme Genişliğinde KD120'ye Ait Aşınma Değerleri .....	119
3.15. Farklı Kesme Genişliğinde KD050'ye Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri .....	121
3.16. Farklı Kesme Genişliğinde KD120'ye Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri .....	121

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	I
ABSTRACT .....	III
TEŞEKKÜR .....	V
SİMGELER DİZİNİ .....	VI
KISALTMALAR .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	XI
İÇİNDEKİLER .....	XIII
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Talaş Kaldırma Yöntemleri .....	2
1.1.1. Tornalama .....	3
1.1.2. Frezeleme .....	4
1.1.3. Delme .....	7
1.1.4. Planyalama – Vargelleme .....	8
1.1.5. Taşlama .....	9
1.2. Talaş Kaldırma Mekanığı .....	10
1.2.1. Talaş Oluşumu .....	13
1.2.2. Talaş Çeşitleri .....	14
1.3. Hızlı Talaş Kaldırma .....	19
1.4. Talaş Kaldırmaya Etki Eden Faktörler .....	23
1.4.1. Takım Geometrisi .....	23
1.4.2. Talaş Kesiti .....	27

1.4.3. Kesme Hızı, İlerleme, Talaş Derinliği .....	27
1.4.4. Kesme Kuvveti ve Kesme Gücü .....	29
1.4.5. Titreşim Durumu .....	30
1.4.6. Isı .....	32
1.4.7. Soğutma Sıvısı .....	33
1.4.8. Takım – İş Parçası Malzemesi Çifti .....	34
1.5. Takım Aşınması .....	35
1.5.1. Takım Aşınmasını Etkileyen Faktörler .....	37
1.5.2. Aşınma Mekanizmaları .....	38
1.5.3. Aşınma Tipleri .....	41
1.5.4. Aşınma Kriterleri .....	44
1.5.5. Aşınmanın Ölçülmesi .....	46
1.6. Takım Ömrü .....	52
1.7. Kesici Takım Malzemeleri .....	59
1.7.1. CBN .....	62
1.7.2. Sermet .....	63
1.7.3. Seramik .....	67
1.7.4. WC .....	73
1.7.5. HSS .....	79
1.8. Takım Çelikleri .....	82
1.8.1. Soğuk İş Takım Çelikleri .....	83
1.8.2. Sıcak İş Takım Çelikleri .....	86
1.8.3. Plastik Kalıp Çelikleri .....	88
1.8.4. Paslanmaz Kalıp Çelikleri .....	89
1.9. Yüzey Pürüzlülüğü .....	91

1.10. Önceki Çalışmalar .....	95
1.11. Çalışmanın Amacı .....	98
2. MATERYAL VE YÖNTEM .....	99
2.1. Malzeme .....	99
2.2. Kesici Uç ve Bağlama Elemanı .....	100
2.2.1. SNGA120408S02020 (KD120) .....	101
2.2.2. SNGA120408S01020M (KD050) .....	101
2.3. CNC Dik İşleme Merkezi .....	102
2.4. Optik Mikroskop .....	103
2.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı .....	104
3. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	105
3.1. Değişken Kesme Hızı ( $V_c$ ) .....	106
3.1.1. Takım Aşınması .....	106
3.1.2. Yüzey Pürüzlülüğü .....	108
3.2. Değişken İlerleme ( $f$ ) .....	110
3.2.1. Takım Aşınması .....	110
3.2.2. Yüzey Pürüzlülüğü .....	112
3.3. Değişken Talaş Derinliği ( $a_p$ ) .....	114
3.3.1. Takım Aşınması .....	114
3.3.2. Yüzey Pürüzlülüğü .....	116
3.4. Değişken Kesme Genişliği ( $a_r$ ) .....	118
3.4.1. Takım Aşınması .....	118
3.4.2. Yüzey Pürüzlülüğü .....	120
4. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	122
KAYNAKLAR .....	124



## 1. GİRİŞ

İmalat endüstrisinde kullanılan metaller ve alaşımlarından yapılan ürünlerin, ekonomik olarak işlenmesi için endüstrideki takım tezgahlarının verimli şekilde kullanılması gerekmektedir. Artan üretimin getirdiği otomasyondaki gelişmelerin sonucundan dolayı talaş kaldırma işlemine de çok gereksinim duyulmaktadır<sup>(1)</sup>. Dökme, dövme, haddeleme ve benzeri yöntemlerle imal edilen metal parçaların %80'inden fazlası son biçim ve boyutlarına talaşlı imalat yöntemleri ile getirilir. 1989 yılında Amerika'da talaşlı imalat için harcanan paranın yaklaşık 100 milyar dolardan fazla olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'nin talaşlı imalat için harcadığı para yılda yaklaşık 10 milyar dolardır. Belirtilen miktarlar dikkate alınarak, çelik parçalara istenilen son biçimler verilip kullanılabilir hale gelmeleri için uygulanan mekanik işlemlerin tümünün talaş kaldırmayı ihtiva ettiği düşünülürse ekonomik talaş kaldırmanın önemi ortaya çıkmaktadır<sup>(2)</sup>. Son yıllarda kesici takım malzemeleri ve takım tezgahları geliştirilmiş, daha yüksek kesme hızları sağlanmış ve bunların neticesinde üretim artışı meydana gelmiştir.

Talaşlı imalat safhasında iyi seçilemeyen işleme parametreleri kesicilerin kırılması, hızlı aşınması, yanması gibi ekonomik kayıpların yanı sıra, tezgah boş zamanının artması, iş parçasının bozulması veya işin yüzey kalitesinin yeni bir işlem gerektirecek derecede yetersizliği gibi yine bir dizi ekonomik kayıplara neden olmaktadır<sup>(3)</sup>. Talaşlı imalat sanayinde parçanın ekonomik olarak işlenmesi, kesici takım ömrünün en üst düzeyde olması, son yüzey kalitesinin ve tezgah çıkışına etki eden bütün faktörlerin en idealinin olması gerekmektedir. Bu şartların olabilmesi için kesici takımın iyi seçilmesi gerekmektedir.

CBN kesici takımlar, yüksek hızda işleme kesici takım malzemeleri içinde geniş bir uygulama alanına sahip olduğundan ve ülkemizde de daha sık kullanılmaya başlandığından dolayı önemi artmakta ve bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Henüz teknoloji üretmesek de son teknolojik gelişmeleri yakından takip ederek, bu konuda bilgi eksikimizi kapatarak kendimizi hızla son gelişmelere adapte edebilir ve dünya pazarının taleplerini karşılama imkanı bulabiliriz. Hiç kuşkusuz böyle bir çalışma, bu alanda ülkemizdeki bilgi eksikini kapatarak, CBN takımların bilinçli kullanılmasını sağlayacak, üretkenliği arttırmak ve uluslararası pazarda rekabet gücümüzü arttırmak gibi dolaylı sonuçlara ulaşacaktır.

### **1.1.Talaş Kaldırma Yöntemleri**

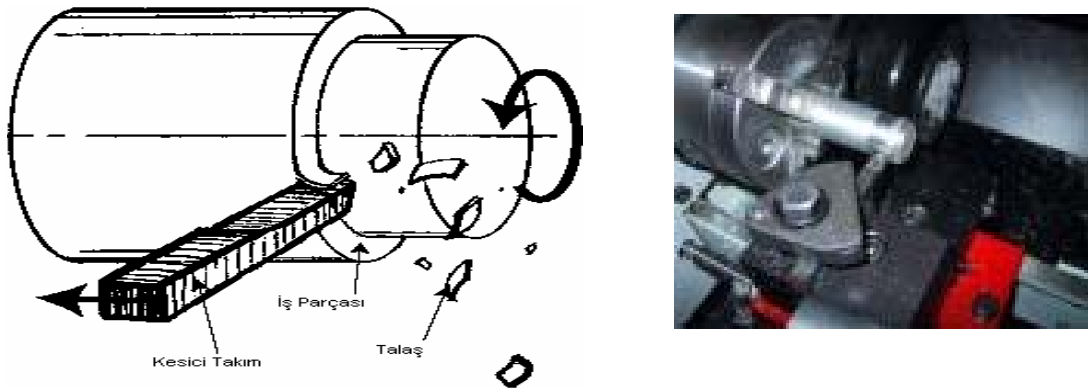
Talaş kaldırma, ucu (ağız) keskin bir takımla parça üzerinden malzeme kaldırma işlemidir. Bu şekilde kaldırılan malzemeye talaş denir. Talaş kaldırma işlemlerinin sistematığı, takım ile parça arasındaki izafi hareketlere, takım ucunun geometrisine ve takımların kesici uç sayılarına göre yapılabilir<sup>(4)</sup>.

Talaş kaldırma işlemi takım ile parça arasındaki izafi hareketlerin bir sonucudur. Takım ile parça arasındaki kesme (veya ana), ilerleme (veya avans) ve yardımcı (veya ayar) olmak üzere üç türlü hareket vardır. Kesme hareketi esas talaş kaldırma hareketidir. İlerleme hareketi parçanın uzunluğu veya genişliği boyunca belirli bir kısmının işlenmesini sağlayan bir harekettir. Yardımcı hareketler ise takımın parçaya yaklaşma hareketi, ilerleme hareketi bittikten sonra takımı başlangıç noktasına geri getirme gibi çeşitli ayar hareketlerini kapsar. Genellikle kesme hareketi dönme veya doğrusal, ilerleme ve yardımcı hareketler doğrusal hareketlerdir. Bu hareketlerin parça veya takım tarafından yapılması, çeşitli talaş

kaldırma yöntemlerini meydana getirir. Bu bakımdan tornalama, frezeleme, delme, planyalama – vargelleme ve taşlama olmak üzere esasen beş talaş kaldırma yöntemi vardır.

### 1.1.1. Tornalama

Tornalama tek uçlu bir takımla gerçekleştirilen, silindirik parçalar üreten, bir çok durumda döner bir iş parçası ve sabit bir takımın kullanıldığı bir işlemdir. Tornalama çok çeşitli malzemelerden imal edilmiş, çok çeşitli boyutlardaki, dönele simetriye sahip iş parçalarının işlenmesinde kullanılan bir imalat yöntemidir<sup>(36)</sup>.



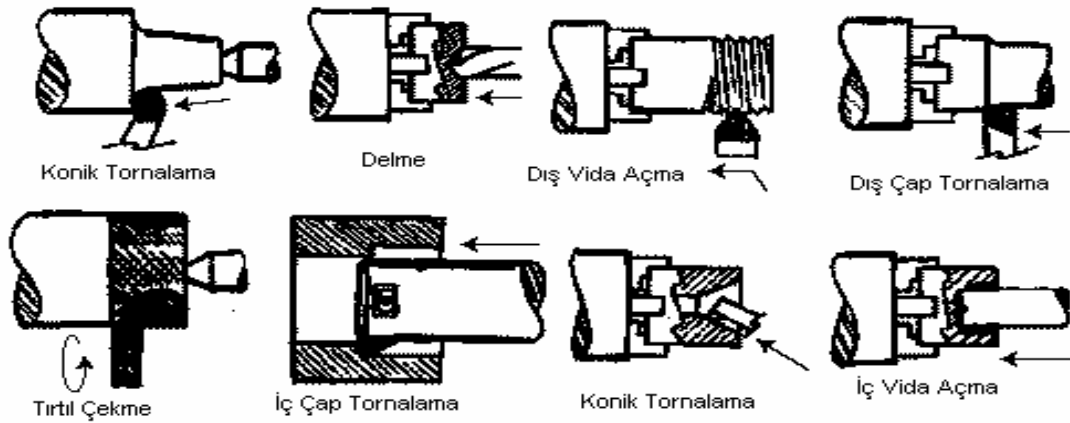
Şekil 1.1. Tornalama

Tornalama işleminde kesme hareketi, döner iş parçası üzerinden sabit konumda bağlanan takımın ilerleme hareketi ile gerçekleşen talaş kaldırma işlemidir. İş parçası torna tezgahının aynasına bağlanır (ayna parçanın durumuna göre 3 – 4 ayaklı veya düz ve mengeneli ayna olabilir) ve istenilen devirde döndürülür. Ayna da fener miline bağlanmıştır ve fener mili ise dişli kutusu aracılığı ile tahrik edilmektedir. İş parçasını işlemek için kullanılan kesici takım çok önemli bir eleman olup kater üzerine rijit şekilde tespit edilir. İş parçası eksenine boyunca (alternatif olarak; takım iş

parçasının sonunda, iş parçası eksenine doğru ilerleyebilir) sabit bir ilerleme miktarı ile hareket ederek silindirik veya daha karmaşık yüzeyden talaş kaldırılır<sup>(9)</sup>.

Tornalama işlemlerini beş ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar:

- \* Boyuna tornalama,
- \* Alın tornalama,
- \* Açılı kopya tornalama,
- \* Yuvarlak profil işleme,
- \* Delik delmedir.

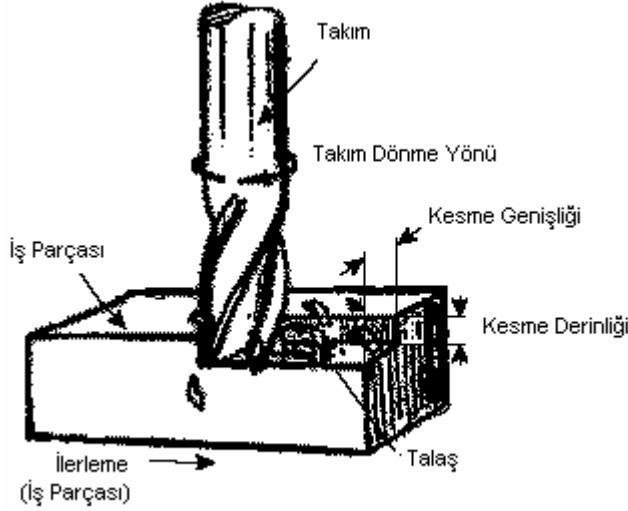


Şekil 1.2. Tornalama yöntemleri

### 1.1.2. Frezeleme

Klasik bir ifade ile frezeleme; parçanın doğrusal hareketine karşı, çok ağızlı bir takımın uyumlu bir şekilde dönmesi ile gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir. Burada takımın dönmesi kesme hareketini, parçanın doğrusal hareketi ilerleme hareketini meydana getirir. Bununla beraber günümüzde frezeleme; parçanın aynı anda çeşitli yönlere ilerlemesi ve çeşitli eksenler etrafında dönmesine karşı, döner bir takımla talaş kaldırma işlemi olarak da ifade edilebilir. Bu işlemde takımın

tutturulduğu iş milinin ekseni, parçanın tutturulduğu tezgah tablasına dik veya eğik konumda olabilir. Bu şekilde frezeleme ile heykelimsi (heykele benzeyen) denilen çok karmaşık yüzeyler işlenebilir hatta heykeller bile yapılabilir. Günümüzde CNC işleme merkezlerinde ve CAM programlama sistemleri ile, bu yüzeyler yüksek bir doğrulukla ve yüzey kalitesi ile işlenebilir<sup>(4,5)</sup>.



**Şekil 1.3.** Frezeleme

Frezeleme işleminin başlıca özellikleri şu şekilde sıralanabilir,

- \* Yüksek talaş kaldırma hacmi,
- \* İyi bir doğruluk ve yüzey kalitesi,
- \* Şekil esnekliği yani çok çeşitli ve karmaşık geometriye sahip yüzeylerin meydana getirilebilmesi<sup>(5)</sup>.

Frezelemede, freze adını taşıyan takımlar silindirik elemanlardır. Bu silindirin çevresinde ve alın yüzeyinde kesme ağızları bulunur. Şöyle ki; takımın bir  $f$  ilerlemesinde (mm/dev), her ağız belirli miktarda talaş kaldırır<sup>(6)</sup>.

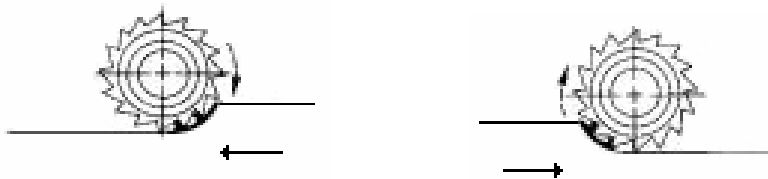
Takımların dönme hareketi esas olarak alınırsa, takım eksenine göre yapılan ilerlemeler aksenal, radyal ve teğetsel olabilir. Buna göre takımın özellikleri de

dikkate alınarak frezeleme işlemi; alın, çevresel ve çevresel – alın olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Alın frezelemede takım; parça ilerleme yönüne dik olan bir eksen etrafında döner. Burada kesme genellikle takım çevresinde bulunan kesme ağızları ile gerçekleştirilir. Çevresel frezelemede takım; teğetsel ilerlemeye paralel olan bir eksen etrafında döner. Takımın kesme ağızları çevresinde bulunur. Çevresel – alın frezelemede takım hem çevresel hem alın frezeleme yapar. Bu işlem kesme ağızları çevresinde ve alın yüzeyinde bulunan ve genellikle parmak freze denilen bir takım ile gerçekleştirilir. Esasen çevresel – alın frezelemede, frezeleme işleminin genel modelini temsil eder, diğer iki işlem bu genel modelin özel durumlarıdır<sup>(7)</sup>.

Bununla beraber çevresel ile alın frezeleme arasındaki kesme derinliği (paso kalınlığı) bakımından önemli bir fark vardır. Çevresel frezelemede kesme derinliği radyal yöndedir ve takım çapının parçaya nüfus etme kabiliyeti tarafından tayin edilir. Alın frezelemede kesme derinliği aksenal yöndedir ve çevresel kesme ağızlarının ne kadar derin kesebileceklerine bağlıdır<sup>(8)</sup>.

Ayrıca frezelemede talaş kaldırma işlemi; frezenin iş parçasına göre dönüş yönüne bağlı olarak iki şekilde gerçekleştirilir. İş parçası, freze dönüş yönünün tersine doğru veya dönüş yönüyle aynı yönde ilerler.

Aynı yönlü frezeleme (aşağı doğru frezelemede denir) esnasında iş parçasının ilerleme yönü takımın dönüş yönü ile aynıdır. Aynı yönlü frezeleme işleminde talaş kalınlığı, başlangıçtaki maksimum değerden kesme işleminin sonunda sıfır olacak şekilde azalır.

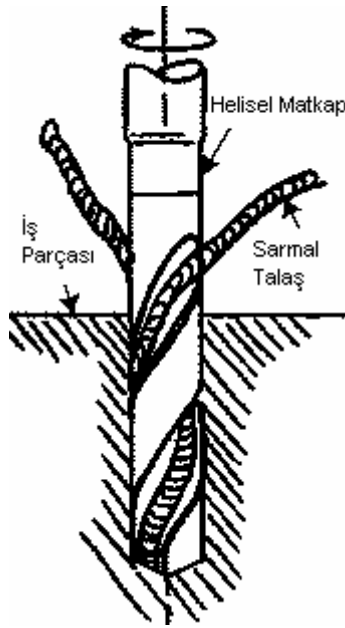


Şekil 1.4. Frezeleme türleri

Karşıt yönlü frezeleme (klasik frezelemede denir) esnasında iş parçasının ilerleme yönü takımın dönüş yönüne terstir. Karşıt yönlü frezeleme işleminde talaş kalınlığı, başlangıçtaki sıfır değerinden kesme işleminin sonunda maksimum olacak şekilde artar<sup>(9)</sup>.

### 1.1.3. Delme

Delmede genellikle parça sabit durur ve takım kesme ve ilerleme hareketlerini yapar. Yalnız çok derin deliklerde parça çevrilir ve matkap ilerleme hareketi yapar. Matkap tezgahları; tabla, sütun, hız kutusu, matkap mili ve ilerleme mili, matkap başlığı ve mandren gibi başlıca elemanlardan oluşur.



Şekil 1.5. Delme

Dönme hareketi motordan kayış – kasnak veya dişli çarklar aracılığı ile ana miline ve buradan takıma iletilir. Sütun üzerine tespit edilmiş bulunan kremayer dişli yardımıyla mil gövdesi ana mili ile birlikte ilerleme hareketi yapar. Matkap tezgahları çeşitli büyüklükte ve şekilde olabilir. Tek milli veya çok milli tipleri

yanında hem yatay hem de düşey matkap tezgahları mevcuttur. Masa tipi küçük tezgahların dışında radyal ve borverk türleri de mevcuttur<sup>(9)</sup>.

Modern takımlar, delme işlemini herhangi bir merkezleme deliğine veya kılavuz deliğe gereksinim olmaksızın tek pasoda gerçekleştirirler. Delinmiş olan delik gerek boyut, gerekse yüzey kalitesi açısından ek bir işlem gerektirmez.

#### **1.1.4. Planyalama – Vargelleme**

Metal malzemelerin düz, eğrisel ve eğimli yüzeylerinin tek ağızlı bir takım ile işlenmesinde kullanılan diğer metotlar ise vargelleme ve planyalama işlemi olup bunlar oluklar ve yivlerin açılmasında da kullanılır. Her iki işlemde de dairesel hareket doğrusal bir harekete çevrilir.

Vargelleme de takım gidip – gelme hareketine sahip ve kesme hareketi kesici yüzeyin temas halinde olduğu ileri gidiş doğrultusunda gerçekleşirken, geri gelme esnasında takımın iş parçasına zarar vermemesi için serbest kalır. İş parçası tabla ilerleme hareketi ile yatay veya dikey yönde ilerleyerek hareket ettiği zaman daha sonraki ilerleme ile kesme hareketi gerçekleşir.

Planyalama da vargellemeye benzer bir işlemdir. Fakat planyalama işleminde takım sabit ve kesme hareketi iş parçasının hareketi ile elde edilir. Bu işlemde kesme hızlarının oldukça düşük olması fakat yüksek ilerleme miktarı kullanılarak daha fazla miktarda talaş kaldırma miktarı sağlanabilmektedir. Aralıklı kesme hareketi her kesme uzunluğu mesafesinde kesici ucun aşırı darbe yüklenmesini getirir ve kesme uzunluğu, genellikle planyalama işleminde vargellemeden daha uzundur<sup>(9)</sup>.





**Şekil 1.6.** Vargel ve planya

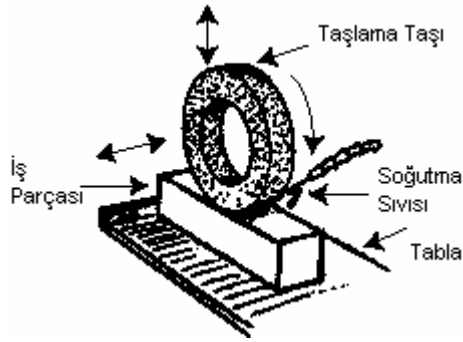
Planya tezgahı; gövde (veya kolon) üzerinde ileri geri doğrusal hareket yapabilen bir ana kızak ve gövdenin ön kısmında bulunan bir tabladan oluşur. Gövde, tezgahın temel plakasına tutturulur; tabla ise gövdeye, kızak yolları ve tabla ayar kızağı ile kızaklanmış durumdadır. Kızağın ön kısmında kafa, takım ayar kızağı, kalemlik ve takım tutturma tertibatı bulunur. Takım kalemlige, parça ise tabla üzerine bağlanır.

Vargel tezgahı; gövde, bunun üzerinde ileri geri hareket edebilen bir tabla, iki kolon, kolonları birbirine bağlayan köprü, kolonların üzerinde yukarı aşağı hareket edebilen bir kızak, kızağın üzerinde sağa sola hareket kabiliyetine sahip olan takım başlıklarından oluşur.

### **1.1.5. Taşlama**

Taşlama ile talaş kaldırmada abrasif (aşındırıcı) özelliğine sahip taneler ve bunları birbirine bağlayan malzemeden yapılmış zımpara taşı denilen takımın dönme hareketi ile hem dönme hem de ilerleme hareketi yapan iş parçası üzerinden talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilir. Ancak bu işlem, tornalama, frezeleme, vargelleme işleminden sonra imalat kalitesini iyileştirmek ve daha hassas yüzey elde etmek

amacıyla uygulanan son bitirme işlemidir. Bu takımında rasgele yönlendirilmiş ve şekillenmiş çok sayıda kesici uç bulunur. Aşındırıcı malzemesi olarak silisyum karbür, alüminyum oksit ve sentetik elmas kullanılmaktadır<sup>(9)</sup>.



**Şekil 1.7.** Taşlama

Abrasiflerin sertliği ile işlenecek malzeme arasındaki fark ne kadar büyük olursa seçilen abrasif o kadar etkili olur. Her uç normal talaş kaldırma işleminden daha az miktarda malzeme parçacığı kaldırır. Bundan dolayı da ölçüdeki farklılık, taşlamanın talaş kaldırmadaki farkını gösterir. Taşlama işlemleri farklı taşlama tezgahlarında gerçekleştirilebilir. Bunlarda;

- \* Düzlem yüzey taşlama,
- \* Silindirik yüzey taşlama,
- \* Puntasız taşlama olmak üzere üç gruba ayrılır<sup>(36)</sup>.

## 1.2. Talaş Kaldırma Mekanığı

Talaş kaldırma belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için ucu keskin bir takım ve güç kullanarak, iş parçası (hammadde, taslak) üzerinden tabaka şeklinde malzeme kaldırma işlemidir. Ayrılan malzeme tabakasına talaş denir. Fiziksel bakımdan talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil

değiştirmeye dayanan, sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun (ağzının) aşınması gibi olaylar meydana gelen, karmaşık bir fiziksel olaydır.

Talaş kaldırma işleminin tanımından da anlaşılacağı gibi talaşın oluşması için üç temel gereksinim vardır. Bunlar:

- \* Kesici takım olarak kullanılan takımın iş parçasından daha sert ve aşınmaya karşı dirençli,
- \* Talaş derinliği ve ilerlemeyle belirtilen iş parçası ve takım arasındaki dalmayı sağlayan kesici uç geometrisine sahip ve
- \* İş parçası malzemesinin direncini yeterli kuvvetle yenmesi için iş parçası ve takım arasında bir kesme hızı veya nispi bir hareket olmasıdır. Bu üç şart var olduğu sürece, takım/talaş ara yüzeyi aracılığıyla talaş oluşturmak için işlenecek malzemenin bir kısmı kaldırılacaktır<sup>(9)</sup>.

Bu işlem için şüphesiz ki bir enerji gerekir ve gerekli olan bu enerjinin büyük bir kısmı kayma düzlemi civarında harcanır.

Kesici takımın kesme kenarının iş malzemesi üzerine bastırılması ile bölgesel kayma deformasyonu oluşur. Bu deformasyon ilk deformasyon olarak da adlandırılır. Kesici takım iş parçasını kesmeye zorlarken malzemede kayma bölgesi aracılığıyla plastik akma meydana gelir ve basma kuvveti ile sıkışan malzeme, takım yüzeyine doğru uzaklaşır. Bu aşamada oluşan bazı iç gerilmeler söz konusudur ki bunlar şöyle özetlenebilir:

- \* Kesici takıma uygulanan kuvvetler nedeniyle iş parçası malzemesinde basma dayanımı meydana gelmesi,

- \* Kesme sırasında iş parçası veya takım ileri doğru hareket ettiğinden gerilme (stres) hattının kesici takım ucunda oluşması ve oradan da malzeme içine yayılması,
- \* Bu konsantre olan gerilmenin talaşın malzemedan kesilmesine (makaslanmasına) sebep olması ve talaş/takım ara yüzeyi boyunca akması,
- \* Plastik akma yada kırılma ile metalin talaş/takım ara yüzeyi boyunca akmaya zorlanması.

Plastik akma kapasitesi, kayma düzleminin sayısına bağlı olup sırasıyla malzemenin kristal yapısı ve davranışı, kayma ve talaş açısına bağlı olarak değişir. Özellikle sünek malzemelerde plastik akma olarak görünen bu olay gevrek malzemelerde kırılma olarak karşımıza çıkar ki bu da oluşan talaşın tipini belirler.

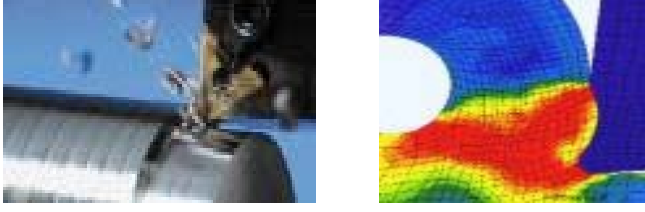
Talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerek takıma karşı talaşın kayma sürtünmesi ve kesilmesinden dolayı ikinci deformasyon olarak adlandırılan ek bir deformasyon işlemine maruz kalır. İkinci olay kayma düzlemindeki olaydan etkilenmektedir. Aynı zamanda kayma yönü talaş yüzeyindeki deformasyon ve sürtünme işlemlerinden doğrudan etkilenir. Kayma doğrultusu ilk deformasyon işleminde talaşın iş sertleşmesi ve ısınmasını etkiler.

Kısaca özetleyecek olursak, talaş kaldırma işlemi,

- \* Elastik ve plastik şekil değişikliğine dayanan,
- \* Sürtünme ve ısı oluşumu,
- \* Talaş oluşumu ve talaş kırılması,
- \* İş malzemesi yüzeyinin sertleşmesi,
- \* Kesici takım ucunun aşınması ve kırılması gibi olayların meydana geldiği fiziksel bir olaydır.

### 1.2.1. Talaş Oluşumu

Gelişen fotoğraf tekniği ve şimdiye kadar yapılan incelemelerin sonucu olarak, konvansiyonel kesme ve ilerleme hızlarında talaşın meydana gelme olayı büyük çapta anlaşılmiş ve metal kesmenin basit olarak bir plastik akma işlemi olduğunu görülmüştür.



**Şekil 1.8.** Talaş oluşumu

Buna göre talaş ana malzemedan plastik şekil değıştirme sonucunda meydana gelmektedir. Keskin bir uç, bir malzemeye nüfus ederek hareket ettiğinde, malzeme ile temas noktasında, malzemenin plastik şekil değıştirmesine neden olan yüksek gerilmeler ve sıcaklık meydana gelmektedir. Bu şekil değıştirmeler ana kesme bölgesi (düzlemi) denilen bir bölgede yoğunlaşır, gerilmeler malzemenin akma sınırını aştığında talaş ana malzemedan kopar, ana kesme düzleminde kaymaya başlar ve sonunda malzemedan tamamen ayrılır.

Malzemedan ayrılan talaş, takımın kesme yüzeyinden kayarak ikinci bir akma bölgesi oluşturur ve ana malzemedan uzaklaşır. Talaşın takımın kesme yüzeyinde kayması, yüksek basınçlar altında meydana gelir. Bu ağır koşullar altında oluşan sürtünmeden dolayı, takım yüzeyinde yüksek sıcaklıklar ( çelikten talaş kaldırmada 1200 °C'ye kadar) meydana gelir. Bu yüzeyde de belirli koşullarda üçüncü kesme düzlemi oluşur<sup>(6)</sup>.

Sonuç olarak; talaş kaldırma olayını tayin eden iki bölge büyük önem taşımaktadır. Birincisi talaşın ana malzemedan ayrıldığı kesme düzlemi ve diğeri

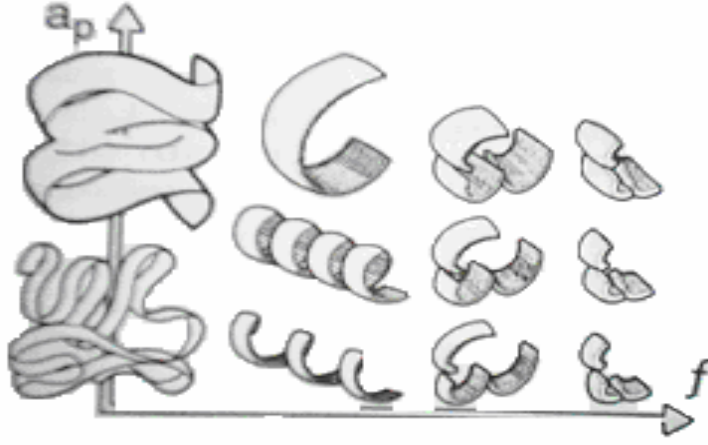
talaşın takım yüzeyi üzerinden aktığı akma bölgesidir. Bu bölgelerde talaş kaldırma olayını karakterize eden, “plastik şekil değiştirme, sürtünme ve ısı” meydana gelmektedir. Bununla beraber talaş kaldırma olayı, belirli bir gücün etkisi altında talaşın zorla ana malzemeden ayrıldığı bir olaydır. Güç kesme kuvvetleri denilen kuvvetlerin yardımı ile uygulanır. Dolayısıyla talaş oluşumunda, güç ve kuvvetlerin incelenmesi de önemli bir olaydır. Talaş oluşumunda; güç dışarıdan verilen bir faktördür ve plastik şekil değiştirme, sürtünme, ısı ise prosesin içinde meydana gelen olaylardır.

### 1.2.2. Talaş Çeşitleri

Talaş kaldırma esnasında meydana gelen olaylar ve kesme şartları hakkında, oluşan talaşın şekli ve hatta rengi kesme esnasında bilgi verdiğinden dolayı oluşan talaş oldukça önemlidir. Kesme yaparken çok çeşitli formlarda talaş meydana gelir.

1 RIBBON CHIPS*	2 TUBULAR CHIPS*	3 SPIRAL CHIPS	4 WASHER-TYPE HELICAL CHIPS*	5 CONICAL HELICAL CHIPS*	6 ARC CHIPS**	7 ELEMENTAL CHIPS	8 NEEDLE CHIPS
1.1 Long	2.1 Long	3.1 Flat	4.1 Long	5.1 Long	6.1 Connected		
1.2 Short	2.2 Short	3.2 Conical	4.2 Short	5.2 Short	6.2 Loose		
1.3 Snarled	2.3 Snarled		4.3 Snarled	5.3 Snarled			

Şekil 1.9. Talaş tipleri



**Şekil 1.10.** Farklı talaş derinliği / ilerlemeler için talaş tipleri

**Kesikli Talaş;** kesikli talaşlar, dökme demir ve sert bronz gibi gevrek malzemeler ve bazı sünek malzemelerin kötü kesme şartlarında işlenmesi durumunda oluşur. Kesici takım uç noktası, metalle temasta olduğu zaman, malzemede basma meydana gelir ve talaş/takım ara yüzeyi boyunca akmaya başlar. Kesme hareketiyle gevrek malzemeye daha fazla gerilim uygulandığı zaman metal kırılmanın olduğu noktaya ulaşıncaya kadar basma gerilmesine maruz kalır ve talaş işlenmemiş kısımdan kopar. Bu çevrim kesme işlemi sırasında kayma düzlemi veya kayma açısı üzerinde oluşan her parçanın kırılmasıyla sınırsız olarak tekrarlanır. Genellikle bu birbiri ardından kırılmaların sonucu olarak, daha kötü bir iş parçası yüzeyi elde edilir.

Sünek malzemeler kesildiğinde tezgah titreşimi veya takım otlaması mevcutsa yine kesikli talaş meydana gelir. Kesikli talaşın oluştuğu şartlar aşağıdaki gibi maddelerle de ifade edilebilir:

- Gevrek iş malzemesinde,
- Küçük talaş açılı kesici takım ile kesme yapıldığında,
- Fazla talaş derinliklerinde ve kaba ilerleme miktarlarında,

d. Aşırı tezgah titreşimi ve takım otlaması mevcut olduğunda.

**Sürekli Talaş;** sürekli talaş tipinde, metalin akması takım yüzeyine yakın olduğu, takım/talaş ara yüzeyindeki sürtünme ve talaş sıvanmasıyla daha fazla ertelenmediği zaman oluşur. Sürekli talaşla çok iyi yüzey kalitesi elde edildiğinden verimli kesme işlemi için ideal olmaktadır. Sünek malzemeler kesildiği zaman malzemedeki plastik akma, kayma düzlemi üzerinde metalin deformasyona uğramasıyla meydana gelir. Kesikli talaşta olduğu gibi metalin doğal sünekliği nedeniyle kırılmalar ve parçalanmalar meydana gelmez.

Kesme işlemi yapılırken kristal yapının deformasyonundan dolayı uzaması, kayma düzlemi doğrultusunda meydana gelmez. Bu basma ve uzama işlemi devam ederken kesici uç üzerindeki malzeme, takım/talaş ara yüzeyi boyunca zorlanır ve iş parçasından uzaklaşır. Genellikle makine çeliği, sinterlenmiş karbür ve yüksek hız çeliği kullanıldığında ve kesme sıvısıyla birlikte işlendiğinde çok az miktarda sıvanmalı talaşla birlikte sürekli talaş elde edilir. Kısaca bu tip talaş aşağıdaki şartlarda ortaya çıkmaktadır:

- a. Sünek iş parçası işlendiğinde,
- b. Düşük ilerleme miktarlarında az talaş derinliği ile yapılan işlemlerde,
- c. Keskin uçlu takımla işleme yapıldığında,
- d. Büyük talaş açılı kesici uçla kesme yapıldığında,
- e. Yüksek kesme hızları ile kesildiğinde,
- f. Kesme sıvısıyla kesici uç ve iş parçasının soğutulduğu şartlarda,
- g. Talaş akma direncinin minimum olduğu şartlarda.



**Sıvanmalı-Sürekli Talaş;** Düşük karbonlu makine çeliği ve birçok yüksek karbonlu alaşım çelikleri, YHÇ ile düşük kesme hızlarında ve soğutma sıvısı kullanılmadan işlendiği zaman sıvanmalı sürekli talaş meydana gelir.

Kesici takım önündeki metal basma gerilimine maruz kalarak sıkıştırılır ve talaş/takım ara yüzeyi boyunca akmaya başlayan talaş tipidir. Takım/talaş ara yüzeyi boyunca talaşın akmasına karşı, yüksek sürtünme direnci ve yüksek basınç, yüksek sıcaklıkların sonucu, talaş kayma gerilimine maruz kalarak ayrılırken, küçük metal parçacıkları kesici takım ucuna yapışmaya başlar. Kesme işlemi devam ettiğinde kesici takıma daha fazla parçacıklar yapışarak daha büyük talaş sıvanmasının oluşması da kesme işlemi etkiler. Talaş yığılma boyutu büyür ve daha çok kararsız bir yapı ortaya çıkar. Daha sonra bu yığılmış parçalar belirli bir noktaya ulaştığında kopar. Bu kopan ufak parçaların bir kısmı hem talaş hem de iş parçasına yapışır.

Kesme işlemi esnasında, talaş yığılması ve yığılan talaşın kopması hızlı şekilde gerçekleşir ve çok sayıda sıvanan talaş parçacıkları işlenmiş yüzeyi kaplar ve genellikle kaba ve tane yapıya yüzey elde edilir. Bu ufak parçacıkların yapışması ve işlenmiş yüzeye çentik etkisi yapması neticesinde kötü yüzey elde edilmiş olur.

Kötü yüzey kalitesine ilaveten sıvanmalı-sürekli talaş kesici takım ömrünü de azaltır. Kesici takım körlenmeye başladığı zaman bu iş parçası üzerinde basma yada sürtünme hareketi meydana getirir ki genelde iş yüzeyini sertleştirir. Bu tip talaş takım ömrünü iki yolla etkilemektedir:

a. Sıvanan talaş parçacıkları talaş ve iş parçasından uzaklaşırken takım yan kenarına sürtünmesi,

b. Talaş takım yüzeyine temas ettiği kesici ucun kısa bir mesafe gerisinde kraterleşmeye sebep olması ve bu kraterleşme devam ettiğinde kesici uç bozuluncaya ve kırılıncaya kadar kesici uca daha çok yaklaşma gösterebilir.

**Talaş Sıvanması;** Aşırı basınç veya yüksek sıcaklıkta oluşan bölgeselliğin ürünüdür. Başka bir deyimle yapısında da birden fazla faz bulunan pek çok alaşımların işlenmesinde malzemelerde iş sertleşmesi nedeniyle kesici uç etrafına ve talaş/takım ara yüzeyine talaşlar yapışarak (BUE) yığılmaktadır. Saf metaller kesilirken BUE gözlenmez, fakat sıkça endüstriyel şartlarda meydana gelir. Çelik gibi sünek ya da dökme demir gibi gevrek malzemeler işlenirken kesikli talaş oluşumu da gözlenebilir. Çok genel olarak orta kesme hızlarında BUE, aşırı düşük hızlarda kaynama ve yüksek hızlarda akma bölgesi oluşur. BUE'nin mevcut olduğu gerçek hız değerleri, işlenecek malzeme alaşımına ve ilerleme miktarına bağlıdır.

Kesme hızı artarsa takım/talaş ara yüzey sıcaklığı ile BUE'nin ölçüsü de azalır. Ara yüzey termal olarak yumuşadığı zaman ara yüzeydeki talaş ana gövdesinden BUE olarak ayrılarak daha düşük gerilmeye sebep olur. BUE'nin esas etkisi takım uç noktasında normal olmayan yüksek sürtünme gerilimi vermesi fakat etkili talaş açısını (gerilmeye karşı kayma gerilimi) arttırmasıdır. Büyük değişkenli BUE ile kesmede her zaman daha kaba yüzey elde edilir yani BUE yüzey pürüzlülüğünü arttırır. Yapışık talaş oluşumu şu faktörlerle kontrol altında tutulabilir:

- a. Kesme hızını arttırarak,
- b. Pozitif talaş açısı kullanarak,
- c. Talaş derinliğini azaltarak,
- d. Soğutma sıvısı kullanarak.

### 1.3. Hızlı Talaş Kaldırma

Özellikle 1990'dan günümüze gelinceye kadar hızlı talaş kaldırma olayı, çeşitli şekilde yorumlanmıştır<sup>(17,19)</sup>. Başlangıçta bu deyim sadece iş milinin dönme hızına yani kesme hızına bağlı olarak kullanılmıştır. Daha sonra buna yüksek kesme, ilerleme hızları, boşta yüksek hızda ilerleme hızları, yüksek ivmelenme ve yavaşlatma oranları, çok çabuk takım değiştirme zamanı gibi hususlar ilave edilmiştir. Birçok incelemede hızlı talaş kaldırma işlemi; yüksek kesme hızında talaş kaldırma (HSC-High Speed Cutting) ve yüksek ilerleme hızında talaş kaldırma (HVM-High Velocity Machining) olarak ikiye ayrılmakta ve HSC ile HVM'in sınırları aşağıda tablodaki gibi tayin edilmektedir.

	Konvansiyonel	Yüksek kesme hızı (HSC)	Yüksek ilerleme hızı (HVM)
n (d/dak)	0 – 10000	10000 – 25000	25000 – 50000
V <sub>c</sub> (m/dak)	0 – 60	60 - 125	125 – 250

**Çizelge 1.1.** HSC ve HVM'in sınırları

Hızlı talaş kaldırma, konvansiyonel talaş kaldırmanın bir alternatifi olarak ortaya çıkmıştır. Buna göre ilerleme hızını, kesme hızını, takım ve parça değiştirme zamanını, bugüne kadar alışılmış değerlerin çok üstünde kontrol edebilen talaş kaldırma prosesine hızlı talaş kaldırma (HSC) veya yüksek hızlı işleme (HVM) denilir. Aslında hızlı talaş kaldırmanın esası, düşük ilerleme hızlarında kalın pasolu talaş kaldırmanın yerine, yüksek ilerleme hızlarında ince pasolarla talaş kaldırmaktır. Yani yavaş ve kalın talaş kaldırmanın yerine hızlı ince talaş kaldırmaktır. Bu şekilde kaldırılan talaş hacmi artmakla beraber, işlenen yüzey kalitesi de iyileşmektedir.



**Şekil 1. 11.** Hızlı talaş kaldırma

Kesme hızları bakımından bugün kabul edilen bir husus, hızlı talaş kaldırmada kullanılan kesme hızları, konvansiyonel kesmede kullanılanlardan 5 – 10 defa daha yüksek olmasıdır. Günümüzde hızlı talaş kaldırma tezgahlarında 50000 – 60000 d/dk'ya kadar iş mili dönme hızları kullanılmaktadır. Bununla beraber hassas işlem denilen alanlarda 100000 – 130000 d/dk değerlerine ulaşılmıştır<sup>(18)</sup>. Kalıp elemanı ele alınır, kalıp malzemesi olarak kullanılan ve oldukça sert olan GG 35 CrMoV malzemesinin CBN bir takım ile  $V_c = 1000$  m/dk kesme hızı ve  $f = 10$  m/dk ilerleme değerleri ile işlenmesi, hızlı talaş kaldırma sınırına girerken, alüminyumdan yapılan bir gövdenin elmas uçla  $V_c = 10000$  m/dk'da işlenmesi normal sayılır.

Yüksek hızda işleme şartlarında kesme hızının artmasıyla oluşacak sürtünme kuvveti artışı, kesme kenarında sıcaklık artışını da hızlandırır. Yüksek hızda işlemede açığa çıkan ısı, konvansiyonel takım malzemelerinin kesme kenarında yumuşamaya (çekme dayanımının azalması) sebebiyet verir ve takım talaş kaldırma işlemini sürdürmez. Kesme kenarının yumuşama sonucu abrasif aşınma direnci azaldığı gibi, yüksek sıcaklıkta takım ve iş parçası malzemesi arasında kimyasal reaksiyonlar ve difüzyon (malzeme transferi) oranında da hızlı bir artış gözlenir. Ayrıca kesme kenarında yoğunlaşan ısıyı mümkün olduğunca çabuk uzaklaştırmak için ısıl iletkenlik katsayılarının da yüksek olması aranan bir özelliktir. Bu sayede yüksek hızda soğutma suyunun kullanılmasıyla ısıl şoklardan dolayı iç gerilmeler oluşmayacağından, kuru şartlarda işlemeden daha yüksek hızlarda işleme imkanı

doğacaktır. Bu yüzden yüksek hızda işleme takım malzemelerinde aranan özellikler, “sıcak sertlik” denilen yüksek sıcaklıkta (800°C üzerinde) malzemenin sertliğini koruması, kimyasal kararlılık, yüksek ısıl iletkenlik ve ısıl şoklara dayanımla birlikte yeterli darbe dayanımıdır. Geliştirilen malzemeler mekanik ve kimyasal özelliklerine göre; seramikler, kübik boron nitrür (CBN) ve polikristal elmas (PCD) olmak üzere üç ana grupta toplanabilir.

### **Hızlı Talaş Kaldırmanın Avantajları;**

- a. İşleme zamanı önemli ölçüde azalmaktadır,
- b. Birim zamanda yüksek bir talaş hacmi kaldırılmaktadır,
- c. Aynı kesme güçleri için, kesme kuvvetlerinde bir azalma meydana gelmektedir,
- d. Kesme kuvvetlerinin azalması, parçada meydana gelen şekil değiştirmeleri azaltmakta ve örneğin çok ince cidar kalınlıklarına sahip alüminyum parçalar işlenebilmektedir. Bu husus uçak ve uzay sanayinde büyük önem taşımaktadır,
- e. Yüksek ilerleme hızları, kaldırılan malzeme tabakasında çok hızlı bir ısınma meydana getirmektedir, bu ısınma malzeme tabakasını yumuşattığı için talaş kaldırmayı kolaylaştırmakta ve kesme kuvvetlerinin azalmasına neden olmaktadır,
- f. Yüzey kalitesi önemli ölçüde iyileşmektedir,
- g. Hızlı talaş kaldırmada ivmelenme ve yavaşlama zamanları çok küçüktür. İvmelenme ve yavaşlatma zamanlarının azalması, işleme doğruluğunu önemli bir şekilde arttırmaktadır,
- h. Kalıp alanında çok küçük kesme strokları çok büyük hızlarda yapılabilir. Bu hem kaba hem de ince işlemlerde geçerlidir. Kalıp işlenen CNC tezgahlar hakkında en büyük şikayet, kaba işlemlerin çok zaman almasıdır. Halbuki hızlı talaş kaldıran tezgahların bu özelliğinden dolayı, çapı küçük olan bir takım ile çok kısa bir zamanda

kaba işlemleri yapılabilir. Ayrıca burada elde edilen yüzey kalitesi ile, yarı ince işlemlerine gerek kalmamaktadır<sup>(17,19)</sup>.

### **Hızlı Talaş Kaldırmanın Sakıncaları;**

a. Yüksek kesme hızlarında iş mili, takım ve takım tutucuları önemli merkezkaç kuvvetlerin etkisi altında kalmaktadırlar. Bu kuvvetler, işleme kalitesini ve doğruluğunu bozan titreşimlere, takımların iş milinden çıkmasına veya kırılmalarına neden olabilmektedir. Bu nedenle özellikle çok yüksek hızlarda çalışan iş mili, takım, takım tutturma sistemi, ek bir iş ve külfet getiren dengelemeye tabi tutulmaktadır.

b. Hızlı talaş kaldırma, tezgahın yatak ve kızaklarında daha büyük miktarda ısı meydana getirmektedir. Bu ısı tezgah parçalarına özellikle gövdelerine gitmekte ve yine işleme kalitesini ve doğruluğunu olumsuz şekilde etkileyen, şekil değiştirmelere neden olmaktadır. Bu olayları gidermek için burada da, tezgah maliyetini yükselten ek önlemler alınmaktadır.

c. hızlı talaş kaldırma yöntemini sınırlayan bir başka olay, işleme kalitesini etkileyen titreşimlerdir. Titreşimlere karşı tezgah konstrüksiyonunda önlemler alınmış olsa dahi, kesme koşullarının, takım şeklinin ve geometrisinin yanlış seçilmesi, titreşimlere neden olabilir.

d. Fiyat bakımından hızlı talaş kaldıran tezgahlar konvansiyonel CNC tezgahlardan daha pahalıdır. Ancak yöntemin gelişmesi ve yaygınlaşması ile çok yakın bir gelecekte fiyatları konvansiyonel CNC tezgahların seviyesine düşecektir<sup>(17,19)</sup>.

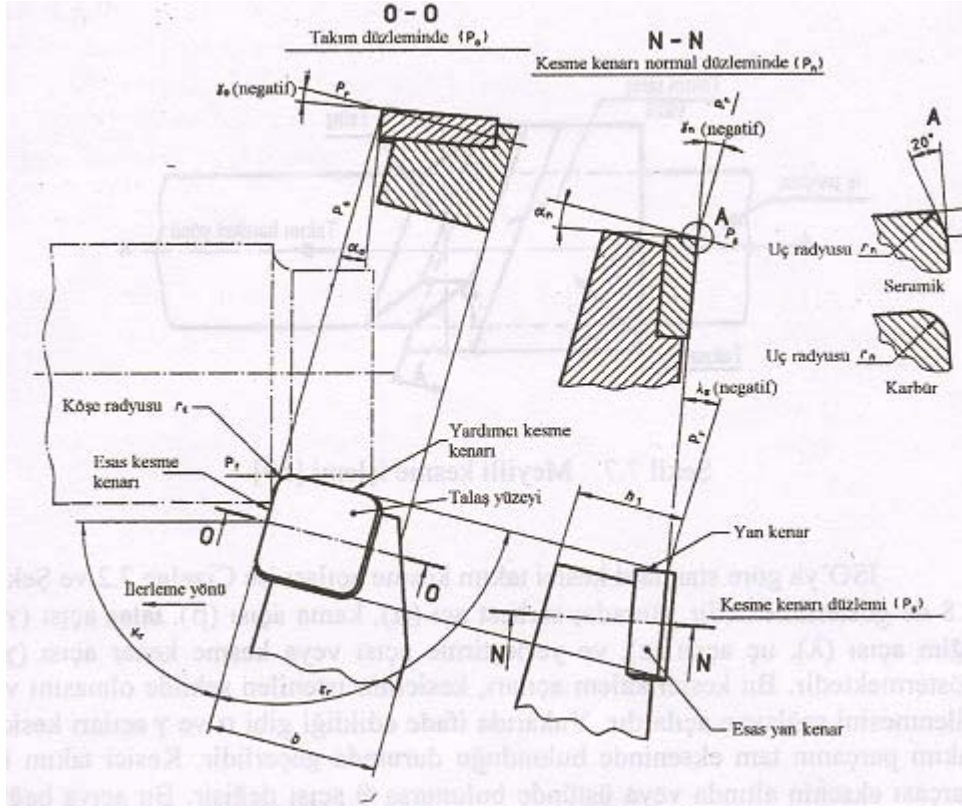
#### **1.4. Talaş Kaldırmaya Etki Eden Faktörler**

Talaş kaldırma işlemi, elastik ve plastik şekil değişikliğine dayanan, sürtünme ve ısı oluşumu, talaş oluşumu ve talaş kırılması, iş malzemesi yüzeyinin sertleşmesi, kesici takım ucunun aşınması ve kırılması gibi olayların meydana geldiği karmaşık, fiziksel bir olaydır ve bu olay bir çok faktörün etkisi altında gerçekleşmektedir.

İmalat endüstrisindeki yarış, birçok şirketin ürünlerini daha kaliteli ve verimli üretmeye, aynı zamanda üretim maliyetlerini azaltmaya zorlamaktadır. Geçmiş yüzyıl boyunca, üretimde sağlanan artışlar, yüksek teknolojili otomasyon, sayısal kontrollü tezgahlar, esnek üretim sistemleri ve diğer yeni gelişmelerden kaynaklanmaktadır. Bu yüksek güçlü sistemler ve daha rijit takım tezgahları geleneksel tezgahlardan daha çok verimli olmaktadır. Ancak, bunlarla hassas parçaların seri olarak tam uygulanabilirliği ve güvenilirlik; talaş kaldırmaya etki eden faktörlerin çok iyi anlaşılıp, tam manasıyla kontrol altına alınabilmesiyle sağlanabilir<sup>(4,9,20)</sup>.

##### **1.4.1. Takım Geometrisi**

İş parçası talaş kaldırma işlemi sırasında kesici geometrisine göre deforme olur. Kesicinin geometrisi kesme esnasında oluşan kuvvetlere mukavemet gösterebilmesi açısından da önemlidir. Ayrıca kesme geometrisi talaşın oluşumu, akışı, talaş kuvvetleri ve takım aşınmasına etki eden bir parametredir. Bu nedenlerden dolayı işlenecek iş parçası malzemesi, kesici takım malzemesi ve tezgah durumu göz önüne alınmalıdır.



Şekil 1. 12. Takım açıları

Talaş açısı ( $\gamma$ ); talaş yüzeyi ile ana kesici kenardan geçen yatay düzlem arasındaki açıdır. Talaş açısı hem pozitif hem de negatif olabilir. Talaş kaldırılan malzemenin işlenebilme özelliğine bağlıdır. Talaş açısı büyük seçildiğinde kesici ağzın stabilitesi üzerinde önemli etkisi vardır. Bu nedenle talaş açısının büyük, pozitif seçilmesi kesici ağzın zayıflamasına neden olabilir. Talaş açısının pozitif seçilmesinin avantajları, kesme ve ilerleme kuvvetlerinin düşük olması ve iyi bir yüzey kalitesi elde edilmesi olarak gösterilebilir. Talaş açısının pozitif olması talaş akışını kolaylaştırmakla birlikte (akma talaş oluşturma eğilimi) buna karşılık negatif talaş açıları kesici ağzın stabilitesini arttırmaktadır. Bu durum ise talaş yüzeyinde krater aşınmasını arttırarak takımın düşük performans (ömür) göstermesine neden olabilir.



Boşluk açısı yada serbest açısı ( $\alpha$ ): kesici kenar düzlemi ile kesici kenardan tabana dik inen düzlem arasındaki açıdır. Serbest açısı genelde pozitifdir. Serbest yüzey üzerinde ölçülen  $V_B$  aşınma şerit genişliği büyük ölçüde serbest açının büyüklüğü tarafından belirlenmektedir. Eğer serbest açısı büyük ise kesici ağız iki yönden zayıflamaktadır. Takımda bir ısı birikimi meydana gelebilir. Buda sıcak sertliğin düşmesine neden olur. Eğer kama açısı ( $\beta$ ) büyük seçilirse kesici takımın ucu küt olduğundan malzemeye nüfuz etmesi zorlaşır, kesme kuvvetleri büyür, ısı oluşumu artar ve takımın ucu kısa zamanda bozulur.  $\alpha = 0^\circ$ 'ye giderse, kesme yerine iş parçasına sürtünme yapacağından temas yüzeylerinde serbest yüzey aşınmaları oluşur. Bunun sonucu metal transferini oluşturur.

Kesici kenar meyil açısı ( $\lambda_s$ ): referans düzlemi ile kesici kenar arasındaki açıdır. Açının sivri ucu kesici kenar köşesine bakar. Göz önüne alınan kesici kenar noktasından geçen referans düzlemi kesici kenar dışında kalıyorsa daima pozitif ancak meyil açısının negatif seçilmesi ile talaş kaldırma işlemi büyük ölçüde stabil hale getirilir. Çünkü kesici takım kesme işlemini kesici kenarın köşesiyle değil tüm kesici ağız boyunca gerçekleştirmektedir. Bu şekilde homojen yükleme yapıldığı için kesici kenar kırılmalarının önüne geçilmiş olur.

Dengeli yükleme halinde yapılan talaş kaldırma işlemleri özellikle kesintili tornalama, frezeleme ve planyalamada, döküm ve dövme parçaların enine kanallı ve boşluklu iş parçalarının işlenmesinde önem kazanmaktadır. Negatif meyil açıları yüksek passive kuvvetlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bunların tezgah tarafından alınması gerekir. Diğer taraftan eğim açısının talaş akış yönünde de etkisi bulunmaktadır. Negatif bir eğim açısı talaşın iş parçası yüzeyinde yönelmesine neden olabilir. Buda işlenen parçanın yüzeyine olumsuz etkide bulunur.

Kesme açısı ( $K_f$ ): referans düzleminde ölçülen, kesici uç kenarı ile takım gövdesi kenarına dik düzlem arasındaki açıdır. Bu açı daima pozitifdir ve daima kesme kamasının dışında kalır. Hatta kesme açısının sivri ucu kesici kenarın köşesine bakar. Sabit ilerleme ve sabit kesme derinliğinde kesme açısı küçüldükçe talaş kalınlığı artmaktadır. Buna bağlı olarak da talaş genişliği artmakta kesici ağza gelen spesifik yük ise azalmaktadır. Bu nedenlerden dolayı özellikle yüksek mukavemetli malzemelerin talaşlı işleminde küçük kesme açıları ile çalışılır. Bu durumda yükler ve aşınmalar düşük seviyede tutulabilmektedir. Kesme açısının küçülmesi ile passive kuvvet artarak kesici takımın titreşim oluşumuna neden olmaktadır<sup>(21)</sup>.

Takım burun radyusu (uç yarıçapı): yan kesme kenarı ile uç kesme kenarını birleştiren pah kısmı olup takım ömrü, radyal kuvvet veya yüzey pürüzlülüğü üzerine büyük etkiye sahiptir. Küçük uç yarıçaplı takımlar düzgün bitirme yüzeyi sağlayarak az talaş derinliğine sahip iş parçalarında kullanılırken büyük uç yarıçaplı takımlar ise takım dayanımını artırır ve aralıklı kesmenin olduğu yerlerde dökme demir vb. parçalarda kullanılır. Burun radyusunun artırılması ile kesici uç noktasında yoğunlaşan yüksek ısı önlenir. Burun radyusu 1.6 mm'ye kadar artırıldığında genellikle yüzey pürüzlülüğünde ve takım ömründe iyileşme sağlanır bununla birlikte burun uç yarıçapı çok büyükse, otlama meydana gelir. Takım ucunun yarıçapı yüzey kalınlığını belirlediği için, ilerleme miktarı ve yüzey pürüzlülüğü arasında ampirik bir bağıntı mevcuttur.  $f^2 \equiv (8 * r * R_t)$

### 1.4.2. Talaş Kesiti

Talaş boyutları, kesme derinliği denilen kaldırılacak tabakanın kalınlığı (a) ve ilerleme (f) ile veya talaş genişliği (b) ve talaş kalınlığı (h) ile ifade edilir. Parçanın çapı başlangıçta D ve bir paso kaldırıldıktan sonra  $D_0$  olursa kesme derinliği:

$$a = D - D_0 / 2 \text{ mm şeklinde ifade edilir.}$$

Talaş genişliği (b) takım ağzının parça ile temasta bulunduğu uzunluk, kalınlığı (h) ise takımın takım ağzına dik bir yönde bir devirde ilerlediği mesafedir.

$h = f \cdot \sin \alpha$  ve  $b = a / \sin \alpha$  bağıntıları bulunur. Bu boyutlara bağlı olarak talaş kesiti;

$$A_s = b \cdot h = (a / \sin \alpha) \cdot (f \cdot \sin \alpha) = a \cdot f \text{ şeklinde ifade edilir.}$$

Sabit bir (a) ve (s) için (h) ve (b) değerleri ( $\alpha$ ) yerleştirme açısına bağlı olarak değişir. Bu durumda belirli bir talaş kesiti  $A_s$  çeşitli h / b oranlarında meydana gelebilir. Pratikte h / b oranı kullanılır. f / a oranı büyük olduğu zaman talaş kalın ve kısa, küçük olduğu zaman ise ince ve uzun olur. f / a oranı azaldıkça takım daha az aşınır ve aynı ömür için kesme hızı daha büyük seçilebilir dolayısıyla f / a oranı küçük olan talaş kaldırma bakımından daha uygundur. Ancak zaman bakımından işleme zamanı artar<sup>(22,23)</sup>.

### 1.4.3. Kesme Hızı, İlerleme ve Kesme Derinliği

Kesme hızı, kesme esnasında kesici takımın iş parçası üzerinden dakikada metre cinsinden aldığı yol olarak ifade edilir ve aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$V_c = \pi \cdot n \cdot d / 1000 \text{ (m/dak)}$$

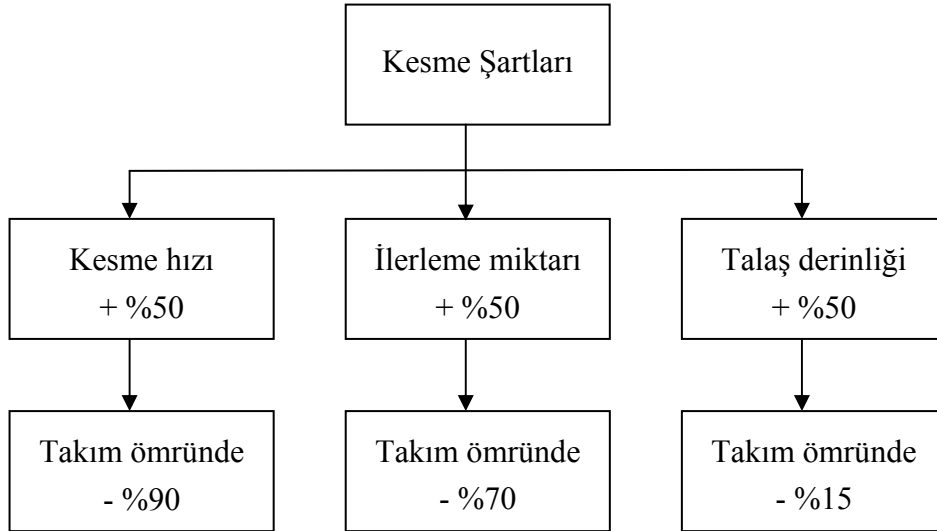
Burada

$$n = \text{devir sayısı (dev/dak)}$$

$d$  = kesici çapı (mm) dir.

İlerleme miktarı (mm/dev); kesicinin bir devrine karşılık, iş parçasının bağlı olduğu tezgah tablasının mm cinsinden kat ettiği yola denir. Kesme derinliği (mm); kesicinin iş parçası üzerinden bir pasoda kaldıracığı talaşın kalınlığına denir.

Talaş kaldırma miktarı, bitirilmemiş iş parçasından kaldırılan malzeme miktarı olup dakikada  $\text{mm}^3/\text{dk}$  veya  $\text{cm}^3/\text{dk}$  cinsinden ölçülür. Bu üç değişken (kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği) herhangi biri değiştirildiği zaman bunun sonucu olarak talaş kaldırma miktarı da değişir. Ayrıca bu üç değişkenin takım ömrüne etkileri de farklı farklı olmaktadır.



**Çizelge 1.2.** Kesme değişkenlerinin takım ömrüne etkileri<sup>(9)</sup>

Yukarıdaki şekilden; kesme derinliğindeki değişmelerin, takım ömrü üzerine en az etkiye sahip olduğu, ilerleme miktarındaki değişmelerin, takım ömrü üzerine kesme derinliğindeki değişikliklerden daha büyük etkisi olduğu ve herhangi bir malzemede kesme hızındaki değişikliklerin takım ömrü üzerine hem kesme derinliği hem de ilerleme miktarından daha büyük etkiye sahip olduğu görülebilmektedir.

En uygun ilerleme miktarı ve kesme derinliği düşünöldüğü zaman, her zaman mümkün olan en derin talaş ve düşük ilerleme miktarı seçilir çünkü bunlar takım ömrü üzerine kesme hızından daha az etkiye sahip olduğundan takım ömrünü daha az oranda azaltacaktır. Optimum ilerleme miktarı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir<sup>(9)</sup>.

#### 1.4.4. Kesme Kuvveti ve Kesme Gücü

Talaş kaldırabilmek için takımın, kesme düzleminde takım/talaş ve takım/parça arasındaki temastan dolayı meydana gelen sürtünme kuvvetlerini yenmesi gerekir. İşte bu yüzden takıma, talaş kaldırma kuvveti ( $F_z$ ) adı verilen bir kuvvet uygulanır. Merchant yaklaşımına göre talaş kaldırma kuvveti ( $F_z$ ) takımın ucunca uygulanan tek bir kuvvetle gösterilebilir ve bu tek kuvvetin bileşenleri şunlardır: kesme yönünde kesme kuvveti ( $F_s$ ) ve bu yöne dik yönde radyal kuvvet ( $F_r$ ); kesme düzleminde makaslama kuvveti ( $F_k$ ) ve bu yöne dik yönde basma kuvveti ( $F_b$ ); sürtünme kuvveti ( $F_f$ ) ve bunu meydana getiren normal kuvvet ( $F_n$ ). Bu kuvvetlerden pratik bakımdan en önemlisi kesme kuvveti  $F_s$  ve radyal kuvvet  $F_r$ 'dir.

Kesme düzleminde, kesme direnç kuvvetinin yanı sıra takımı parçadan ayırmaya çalışan bir radyal direnç meydana gelmektedir. Dolayısıyla takımı parça üzerinde tutmak için takıma radyal bir kuvvetin uygulanması gerekir, buda takımın takım tutturma tertibatına tutturulmasıyla gerçekleştirilir<sup>(8,22)</sup>.

Talaş kaldırırken harcanan güç için en önemli faktör olan kesme kuvveti; malzemenin kesme kopma mukavemetine ( $\tau_k$ ), talaşın boyutlarına ( $b$ ,  $h$ ), talaş açısına ( $\gamma$ ), kesme açısına ( $K_f$ ) ve sürtünme açısına bağlıdır. Kesme açısı optimum kesme

açısı olduğu durumda, belirli bir malzeme ve talaş boyutları için en düşük kesme kuvveti ve dolayısıyla en küçük talaş kaldırma gücü elde edilir.

Kesme kuvveti ( $F_s$ ) ve kesme hızı ( $V_c$ ), tezgah motorunun verdiği enerji ile sağlanır. Bu enerji tezgahın kinematik sisteminden ana mile ulaşır. Bu faktörlere bağlı olarak talaş kaldırmak için gerekli kesme gücü;

$P_s = F_s \cdot V_c$  ifadesi ile hesaplanır.

#### **1.4.5. Titreşim Durumu**

Burada titreşimden kasıt, kesici takım ve iş parçası arasındaki relatif titreşimdir. Talaş kaldırmada titreşimin rolü henüz tam olarak tayin edilmiş değildir. Buna sebep titreşim elemanlarının sınırsız sayıda kombinasyona göre titreşim etkilerinin değişmesidir. Talaş kaldırmada sürekli bir titreşim mevcuttur. Bazı titreşim şekilleri çok zararlıdır. Titreşim takımın dayanma süresine ve işlenen parçanın yüzey kalitesine kötü yönde etkir. Titreşimin en zararlı olan şekli, işlenen yüzey üzerinde titreşimden ileri gelen zararlı takım izleri bırakacak kadar büyük olanıdır. Bu tip titreşime tartaklama titreşimi de denmektedir.

Talaş kaldırmada iki tip titreşim mevcuttur:

- \* Cebri titreşim,
- \* Kendiliğinden doğan titreşim.

Cebri titreşim tezgahın mekanik hareketlerinden ileri gelir. Kendiliğinden doğan titreşim ise talaş kaldırma olayı dolayısıyla tezgahtan ve dış çevreden bağımsız oluşan titreşimdir. Bir tartaklama titreşimin başlaması için kendiliğinden doğan titreşim frekansının, bir kısmının ve özellikle takım ve takım tutucusunun

doğal frekansına uyması yeterlidir. Kalem titreşim yaptığı zaman, kesme kenarının parçaya göre relatif kesme hızı daima değişir. Kalem ucunun parça ile aynı anda hareket ettiği anda relatif kesme hızı nominal kesme hızına göre daha küçüktür. Bu nedenden dolayı kesme kuvveti büyüyerek kalemi “0” konumuna göre daha geri kalmaya zorlar. Kalem ucu geri noktaya gelip geri dönerken ise kesme hızı nominal kesme hızından daha büyük olur. Kesme kuvveti, nominal kesme hızından daha büyük bir değer alır ve böylece kalem ucu parçayı nominal kesme hızından daha büyük bir hızla kesmeye teşvik edilmiş olur. Kalem ucu böylece “0” konumuna geçer. Kendiliğinden doğan titreşim bu olayın tekrarından ibarettir.

Talaş kaldırma olayı esnasında meydana gelen titreşimleri önlemek için aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır:

- \* İş parçası bağlama mesafesi mümkün olduğunca en aza indirilmelidir,
- \* İş parçası dengeli tespit edilmeli ve kesici takım altına altlıklar konulmalıdır,
- \* Rijit tezgah ve takımlar kullanılmalıdır,
- \* Tezgahın hareket eden elemanları arasındaki boşluklar en aza indirilmelidir,
- \* Kesme şartları optimize edilmeli ve kesmede oluşan kuvvetleri azaltmak için talaş derinliği ve ilerleme miktarı azaltılmalıdır,
- \* Kesme kuvvetini azaltmak için kesici takım tasarımında gerekli değişiklikler yapılmalı ve aşınma kriterine ulaşmış olan aşınmış bir takımla talaş kaldırma işlemine devam edilmemelidir,
- \* İşleme hızları takım tezgahı kontrol sisteminin doğal frekansına yaklaşmasına müsaade edilmemelidir<sup>(21)</sup>.

#### 1.4.6. Isı

Talaş kaldırmada önemli bir faktörde ısı oluşumu ve kesme bölgesindeki sıcaklıktır. Isı ve sıcaklık, takım performansını ve parça kalitesini önemli şekilde etkilemektedir. Yüksek sıcaklık, takım ömrünü kısaltan ve kesme hızını sınırlayan faktörlerin en önemlisidir.

Isının büyük kısmı, kesme bölgesi, talaş yüzeyi ve kesme ağzına yakın serbest yüzeyde meydana gelmektedir. Bu hususta yapılan incelemeler ısının;

- \* Yaklaşık %80'i talaşın oluşması için mekanik şekil değiştirmelerden,
- \* %18'i talaşın takım yüzeyinde kaymasından ve
- \* %2'si takım ucunda meydana gelen olaylardan (talaş birikintisi) oluşur.

Kesme bölgesindeki sıcaklık; takım talaş teması, kesme kuvvetlerinin büyüklüğü ve takım ile parça arasındaki sürtünme durumuna bağlıdır. Ayrıca burada kesme hızı önemli bir rol oynamaktadır. Kesme hızının artması ile sıcaklık hızlı bir şekilde artmaktadır, ilerleme hızının etkisi çok daha azdır. Oluşan ısının yaklaşık;

- \* %75...%80'ni talaş tarafından,
- \* %5...%10'nu parçadan,
- \* %10...%20'si takımdan dışarıya atılmaktadır<sup>(8,24,25,26,27,28,29)</sup>.

Talaş kaldırma esnasında oluşan sıcaklıklardan en yüksek olanı takımda; takımın talaş yüzeyinde, talaşın takımı terk etme noktasına yakın bir bölgede meydana gelmektedir. Genelde krater aşınması bu bölgede oluşmaktadır.



#### 1.4.7. Soğutma Sıvısı

Talaşlı imalatta kesme maliyetini azaltmak ve işlenen parçanın kalitesini arttırmak amacıyla kesme sıvılarının kullanılması 200 yıl öncesine dayanır. 1868 yılında W. H. Northcott'un Londra'da yazmış olduğu "A Treatise on Lathes and Turning" (Tornalar ve Tornalama Üzerine Bir İnceleme) kitabı bu konuda yazılmış ilk önemli eser olarak kabul edilebilir. Bundan yaklaşık 15 yıl sonra F. W. Taylor'un kesme bölgesine yoğun bir şekilde su uygulayarak kesme hızının %30-40 arttırılabileceğini göstermesi üzerine, kesme sıvıları üzerine gelişmeler daha da hız kazanmıştır<sup>(21)</sup>.

Soğutma sıvısı kullanılması durumunda talaş/takım ara yüzeyinde oluşan ısının taşınması veya tahliye edilmesi daha kolay gerçekleşir. Uygun soğutma veya yağlama sıvısı ile takım/talaş ara yüzeyinde oluşan ısının en azından %50'si kesme sırasında talaşla birlikte dışarı tahliye edilir. Yapılan çalışmalarda soğutma sıvısının kesici takım ömrüne olumlu etkisi olduğu deneylerle, diğer kesme faktörleri sabit kalmak şartıyla, ispatlanmıştır. Keza uygun kesme sıvısı ile yapılan kesme işlemlerinde kuru şartlarda yapılan kesmeye göre daha yüksek kesme hızları elde edilebilmektedir. Ancak endüstride kullanılan bütün kesici takımlarda soğutma sıvısı kullanılmayabilir. Bunun sebebi de bazı kesici takımların termal şoklara karşı duyarlılıklarından kaynaklanmaktadır (seramik kesiciler, sinterlenmiş karbürler vb.). Bilhassa kırılğan malzemeler bu kesici takımlarla kuru olarak işlenebilir<sup>(30)</sup>.

Sıcaklıktaki çok az azalma bile takım ömrünü bir hayli arttırmaktadır. Örneğin; takım sıcaklığı 510°C'den 482°C'ye indirildiğinde takım ömrü 19.5 dak'dan 99 dak'ya çıkmakta, yani takım ömrünü 5 kez arttırabilmektedir<sup>(31)</sup>. Kesme sıvısının

hem soğutma hem de yağlama fonksiyonu mevcut olup başlıca faydaları kısaca şöyle özetlenebilir:

- \* Kesme sıcaklığını azaltarak takım ömrünü arttırması,
- \* Kesici takıma iş parçasının yapışmasını dolayısıyla daha kötü yüzey kalitesi ve daha kısa takım ömrünü engellemesi,
- \* Tezgah veya iş parçasını korozyon, pas, lekelenme ve oksitlenmeye karşı koruması,
- \* Kesme işlemi esnasında iş parçasının operatör tarafından daha iyi görülebilmesini sağlaması,
- \* Talaş ve parçacıkların daha kolay akışının sağlanmasıdır<sup>(9)</sup>.

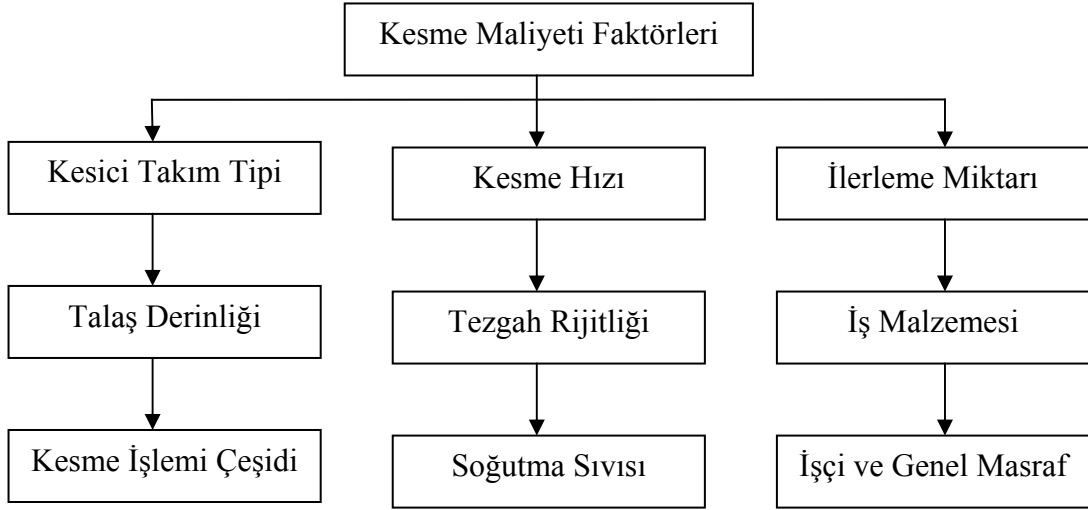
#### **1.4.8. Takım - İş Parçası Malzemesi Çifti**

Talaş kaldırma esnasında, talaş kaldırma miktarına etki eden en önemli etken, kullanılan kesici takım çeşididir. Geleneksel kesici takım maliyeti, PCD (çok kristalli elmas) yada CBN (kübik bor nitrür) gibi süper abrasifli kesici takımların maliyetinin yanında çok düşük olmasına rağmen, toplam işleme maliyeti göz önüne alındığında süper abrasifli kesici takımları kullanmak daha düşük maliyet ortaya çıkarabilir.

Talaş kaldırma miktarına etki eden diğer bir etken de iş parçası malzemesidir ve bu etkiye işlenebilirlik denmektedir. İşlenebilirlik evrensel olarak tanımlanmıştır, standart bir özellik değildir. Genellikle iş parçasının işlenebilme kabiliyeti, bir başka deyişle iş parçasının kesici bir takım ile şekillendirilmesinin ne kadar kolay veya zor olduğu işlenebilirlik olarak adlandırılır.

Talaşlı imalat işlemini etkileyen iş parçası malzemesine ait tüm özelliklerin karşılaştırılması işlenebilirliğin incelenmesi bakımından yararlı olacaktır. İş parçası

malzemesinin metalürjisi, kimyası, mekaniği, ısıl işlemi, katkı maddeleri, içerisindeki kalıntılar, yüzeyindeki sert tabakanın kalınlığı gibi özellikler işlenebilirliği etkiler.



**Çizelge 1.3.** Bir parçanın işleme maliyetine etki eden faktörler<sup>(9)</sup>

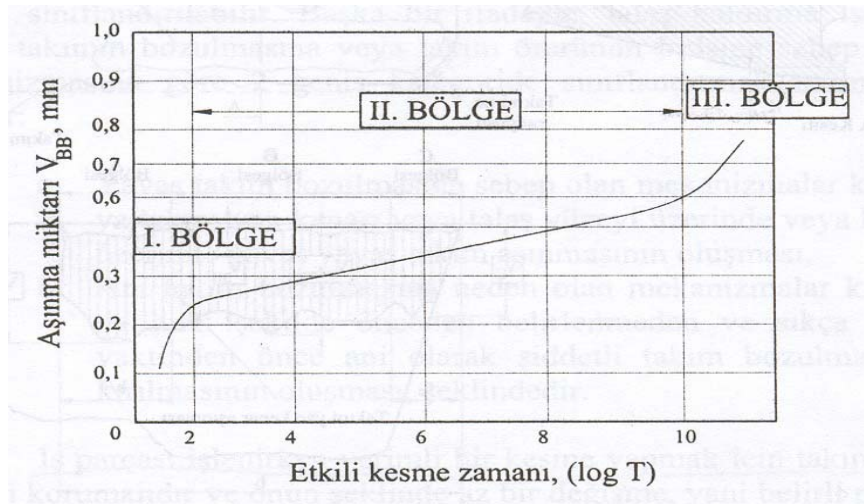
### 1.5. Takım Aşınması

Aşırı artan ihtiyaçlar teknolojik olarak değişmeyi ve ekonomik rekabeti ortaya çıkarmaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak için de yeni takım malzemeleri araştırılmakta, bunu yaparken de sadece takımların iyileştirilmesi değil, iyi ve kaliteli üretim, hassas yüzey kalitesi, az güç sarfiyatı ve ekonomiklik sağlanması gerekir. Ancak bunları gerçekleştirmede kesici takımında oluşan aşınma tipleri ve kriterlerinin bilinmesi ve buna göre gerekli tedbirlerin anlaşılması ile gerçekleşir.

Aşınma, sistemde eş çalışan makine elemanlarında genel olarak ortaya çıkan malzeme kaybı olarak ifade edilir. Talaş kaldırmada ise aşınma etkili kesme zamanının sona ermesi, bunun da takımın orijinal profilini kaybetmesi veya birbiri ile

etkileşim yaparak malzeme kaybına yol açmasıdır ki bu da istenilen ölçü ve boyutta ürün elde edilmesinin önlenmesi demektir<sup>(38)</sup>.

Talaş kaldırma işlemi sürekli temiz ve taze bir yüzeyin oluşması ve bunun yüksek basınç ve sıcaklık altında takım malzemesi üzerinde kaymaya zorlanması anlamına gelmektedir. Talaş kaldırma esnasında kesici takımın uç yüzeyi, yan kenar, talaş ve boşluk yüzeyleri hareket eden iş parçası ile temas halindedir. Kesicinin temas yüzeylerinde meydana gelen malzeme kaybı aşınma olarak ifade edilebilir. Gerçekten de talaş çok yüksek bir basınçla takım üzerine basmakta, talaşın akması sırasında talaş/takım ara yüzeyinde büyük sürtünmeler meydana gelmektedir (sürtünme katsayısı 0.5'in üstünde ve 1'e yakın olarak). Gerek sürtünmelerden, gerekse malzemenin plastik şekil değiştirmesinden ve talaş şeklinde kopmasından dolayı burada yüksek ısı oluşmaktadır. Kuvvet, basınç, gerilme ve sıcaklık şeklindeki tüm bu etkenler, belirli bir çalışma süresi sonunda takımda, başta aşınma olmak üzere ağız kısmında kırılmalar ve takım ile paça arasında kimyasal reaksiyonlar gibi bir takım bozulmaları meydana getirmektedir.



Şekil 1.13. Paso sayısına göre takım aşınma grafiği

Aşınma paso sayısı ile doğru orantılıdır. Paso sayısına göre takım aşınma grafiği çizildiğinde (şekil 1.13) bu orantının lineer olmadığı görülür. Grafik üç kademedен oluşur. İlk kademedē hızlı bir aşınma periyodu, ikinci kademedē yavaş artan ve son kademedē ise yine hızlı artan bir aşınma periyodu gözlenir. Takım aşınma oranı ise ilk pasolarda maksimumdur, sonra minimuma yaklaşır ve tekrar artan bir eğilim gösterir.

### **1.5.1. Takım Aşınmasını Etkileyen Faktörler**

Takım aşınması, kesiciden koparılan küçük parçacıkların kaybı olduğundan, işlenen yüzey üzerine de doğrudan kötü etkiye sahip bulunmaktadır. Çünkü parçanın kopmasıyla takım körleşmiş ve kesici takımın serbest açısı 0'a yaklaşacağından, daha çok uç alan bölgesi sürtünme işlemi yapacak ve kesme işlemi esnasında bu daha da büyüyecektir. Bu durumda kesici takım kesme işleminden ziyade iş parçasını zorlamakta, sıvama veya iş parçası yüzeyinin sertleşmesine yol açmakta, dolayısıyla takım körleşmektedir. Bunun belirli kriterlere bağlı olarak etkili kesme zamanını tayin etmek için belirlenmesi gerekir. Bu nedenle kritik değerlerin ne olduğunun bilinmesi ve nelere bağımlı olduğunun anlaşılması gerekir. Bunlar;

\* Takım malzemesi,

\* İş parçası malzemesi,

\* Kesme hızı,

\* İlerleme miktarı,

\* Talaş derinliği,

\* Talaş geometrisi,

\* Takım geometrisi,

\* Soğutma sıvısı vb. olarak özetlenebilir.

Talaş kaldırma parametrelerinin takım sıcaklığı üzerine dolayısı ile takım aşınması üzerine etkileri vardır<sup>(38)</sup>.

### 1.5.2. Aşınma Mekanizmaları

Özellikle takım/talaş ara yüzeyinde nelerin olduğu, hangi mekanizmaların olduğu ve hangi şartlarda ortaya çıktığının anlaşılması ve ona göre gerekli tedbir ve şartların yerine getirilmesi gerekmektedir. Genellikle, kesici takımlarda yaygın olarak oluşan aşınma mekanizmaları şöyle sınıflandırılabilir :

- \* Abrazyon aşınması,
- \* Difüzyon aşınması,
- \* Oksidasyon aşınması,
- \* Yorulma aşınması,
- \* Adezyon aşınması,

**Abrazyon Aşınması;** genellikle talaş altındaki iş malzemesine ait sert parçacıklar; takım yüzeyinden geçerken zımpara tozu gibi yüzeyler arasında kazıyıcı görevi yaparak, taşlama işlemine benzer bir işlem yapar ve takımı aşındırırlar. Bu aşınma özellikle ağızdan başlayarak takımın serbest yüzeyinde yan kenar aşınması ve talaş yüzeyinde ise krater (oyuk) meydana getirmektedir.

Abrazyon aşınmasının iki yumuşak yüzey arasına sert parçacıkların girmesiyle olduğu ve boşluklu dökme demirlerin kaba işlenmesinde, sert parçacık içeren alaşımların işlenmesi esnasında abrazyon aşınması meydana gelmektedir.

Kesici ucun abrazyon aşınmasına karşı dayanma kabiliyeti önemli ölçüde ucun sertliğine bağlıdır. Sert parçacıkların sıkıştırılması ile elde edilen takım malzemesi abrazyon aşınmasına karşı dayanacaktır. Ancak bu malzemenin diğer tip yüklere de dayanabilmesi için gereken önlemler alınmalıdır<sup>(38)</sup>.

**Difüzyon Aşınması;** Bir metal kristal kafesinde, atomlar yüksek konsantrasyon bölgesinden düşük konsantrasyon bölgesine hareket ettiğinde katı difüzyon meydana gelir. Bu işlem sıcaklığa bağlı olup difüzyon miktarı sıcaklıkla üstel olarak artar. Talaş kaldırmada, takım malzemesi ve iş parçası arasındaki sürtünmeden dolayı yüksek sıcaklıklar olduğundan atomlar takım malzemesinden iş parçasına doğru hareket eder ve difüzyon meydana gelir.

Takım, iş parçasının yüzey katmanıyla dar bir reaksiyon bölgesinde reaksiyona girer ve takım yüzeyinin zayıflamasına yol açar, bu da difüzyon aşınması olarak adlandırılır. Bu tip aşınma, takımın metalurjik olarak iş parçasına bağlandığı yerde görülür. Difüzyon aşınması, takım ve malzemesinin farklı fazlarının çözünebilirliğine ve sıcaklığa bağlıdır. Takım malzemesi sertliğinin bu tip aşınma üzerine etkisi yoktur. Takım malzemesi içine bir veya iki kübik karbürler TiC ve TaC katılarak difüzyon azaltılabilmektedir.

Difüzyon aşınmasını etkileyen faktörler şöyle sıralanabilir:

- \* Yeterli derecede yüksek sıcaklığın yaklaşık 750-900°C oluşması,
- \* İki yüzey arasında metalurjik olarak oluşan bağdan dolayı atomların ara yüzey boyunca serbest olarak hareket etmesi,
- \* Takım malzemesinden iş parçasına belli bir çözünebilirliğin oluşmasıdır.

Difüzyon ve kimyasal etkileşim, yüksek kesme hızlarında, krater (oyuk) aşınması için muhtemelen önemli aşınma mekanizmasıdır<sup>(38)</sup>.

**Oksidasyon Aşınması;** Yüksek sıcaklıkların ve havanın varlığı pek çok metal için oksidasyon demektir. Oksitler birbirlerine göre farklılık gösterirler. Tungsten ve kobalt gözenekli oksit film tabakaları oluştururlar, ancak bu tabakalar talaş ile yüzeyden uzaklaştırılabilirler. Alüminyum oksit gibi bazı oksitler ise son derece dayanıklı ve serttir. Bu nedenle bazı takım malzemeleri için kesici kenarın aşınması söz konusudur. Özellikle kesici kenarın talaş ile temasta olan kısmında talaş genişliğinin sona erdiği noktada (talaş derinliğinde) hava da kesme işlemine etkiye bulunur ve oksidasyon nedeni ile kenarda çentikler oluşur. Oksidasyon aşınması bugün talaşlı imalat alanında pek yaygın olmayan aşınma tipidir.

**Yorulma Aşınması;** Yorulma aşınması, talaş kaldırma sırasındaki termik ve mekanik olayların etkisi ile meydana gelen birçok bozulma olaylarını içermektedir. Sıcaklıktaki dalgalanmalar ve takıma etkileyen kesme kuvvetlerinin sıfır ile maksimum değer arasında değişmesi kesici kenarın çatlamasına ve kırılmasına yol açar. Aralıklı kesme işlemi ucun sürekli olarak ısınıp soğumasına ve talaş ile temasta olan kesici kenarda şok etkisine neden olur. Bazı takım malzemelerinin diğer malzemelere göre yorulma aşınmasına daha duyarlı olduğu bilinmektedir. Mekanik yorulma, kesme kuvvetlerinin kesici kenarın mukavemetinden çok daha büyük olduğu durumlarda görülür. Bu durum sert ve dayanıklı iş parçası malzemelerinin çok yüksek ilerleme hızlarında işlendiği veya takım malzemesinin yeterince sert olmadığı durumlarda söz konusudur. Bu gibi durumlarda plastik deformasyon oluşur.

**Adezyon Aşınması;** Birbiri ile temas halinde çalışan iki metal parçanın birbirine bastırılması halinde yüzeyler yüksek noktalarda temas ederler. Bu durumda temas noktalarında çok yüksek basınçlar meydana gelir. Bu yüksek basınç nedeniyle metallar arasında temas bölgelerinde atomik bağlar oluşarak mikro kaynaklar



meydana gelir. Temas yüzeyleri birbirine göre rölatif olarak hareket ederse atomik bağlar kopar ve mikro kaynaklar kırılır. Bu durumda takım ve iş parçası birbirlerinin yüzeylerinden (yumuşak olandan) çok ufak talaş zerreleri koparılır. Bu şekilde ortaya çıkan aşınma adezyon aşınması olarak adlandırılır<sup>(38)</sup>.

Adezyon aşınması genellikle takımın talaş yüzeyindeki düşük işleme sıcaklıklarından dolayı ortaya çıkar. Çelik, alüminyum ve dökme demir gibi uzun ve kısa talaş oluşumunun söz konusu olduğu malzemelerde görülür. Bu aşınma mekanizması genellikle kenar ile talaş arasında yığma kenar oluşumuna neden olur. Bu kenarın çok fazla büyümesi ve bir noktada kopması, kesici kenar üzerinden bir kısım malzemenin de yığma kenar ile birlikte uzaklaşmasına neden olur.

Bu tip aşınmaya en fazla etki eden faktörler; temas eden yüzeylerin sertliği, yüzey kaliteleri ve yüzeyler arasındaki basınçtır. Bu aşınma türü talaş derinliğinin maksimum değerinde hızlı bir bölgesel aşınmaya neden olur. Bu durum çentik aşınmasının en yaygın şeklidir. Ender de olsa talaş yüzeyinde saf adezyon aşınması da meydana gelebilir<sup>(38)</sup>.

### **1.5.3. Aşınma Tipleri**

Talaş kaldırma esnasında kesici takımın uç yüzeyi, yan kenar, talaş ve boşluk yüzeyleri hareket eden iş parçası ile temas halindedir. Bu yüzeylerde aşınma alanları zamanla kesme hızının artmasıyla büyüyerek takım orijinal şeklini kaybeder. İş parçası işlenirken verimli bir kesme yapmak için takım hassas şeklini korumalıdır ve takımın şeklinde az bir değişme yani belirli miktarda aşınma olduğunda takım atılır. Diğer önemli bir faktör, önceden tahmin edilemeyen ve istenmeyen kırılma şeklinde olup o da mekanik kırılmadır. Bu da kesici uçta ufak taşlama veya uçta büyük

kırılma şeklinde ortaya çıkmaktadır ki bunlar bazen kesici takım ömrünü kontrol eder. Bu nedenlerle kesici takım ucunda genellikle beş tip aşınma meydana gelmektedir:

- \* Yan kenar veya boşluk yüzeyi aşınması,
- \* Talaş yüzeyi veya üst yüzey aşınması (krater),
- \* Uç boşluk yüzeyi aşınması,
- \* Mekanik hasar veya kırılma,
- \* Çentik aşınması<sup>(38)</sup>.

**Yan Kenar veya Boşluk Yüzeyi Aşınması;** takımın yan kenar yüzeyi temas alanı ve yeni işlenmiş iş parçası yüzeyi arasındaki sürtünmeden dolayı oluşur, iş parçasının rijitliği nedeniyle aşınma alanı, kenar yüzey alanı olarak adlandırılır ve kesme doğrultusuna paraleldir. Aşınma bölgesinin alanı aşınma miktarının bir ölçümü olarak alınır ve optik mikroskop ile belirlenir. Böyle aşınma alanının genişliği için sınır değerleri farklı kesici takımlar için belirlenebilir. Bu kriter belli bir değere ulaştıktan sonra takım değiştirilmez veya takım bilenmezse takım aşırı bozulabilir. İş parçasına karşı titreşim meydana getirerek aşırı sürtünmeye ve kötü yüzey kalitesine yol açar. Bu durumda yüksek ısı ortaya çıkar, ve takım deformasyona uğrayarak yan kenar aşınması artar<sup>(38)</sup>.

**Talaş Yüzeyi veya Üst Yüzey Aşınması (Krater);** takım-talaş temas alanında baskıyla veya talaş altında aşırı kazımayla ortaya çıkar. Genellikle talaş yüzeyi aşınması krater derinliği veya krater oranı olarak ölçülmekte olup, krater gerçek kesici kenarın bir miktar gerisinde oluşmaktadır. Kesme işlemi anında sıcaklık gerçek kesici kenarda daha az fakat kraterin olduğu bölgede daha yüksektir. Talaş

yüzeyi aşınması sadece kesme hızı ve ilerleme faktörleri ile değil, üst talaş açısı, talaş derinliği, yaklaşma açısı ve boşluk açısı tarafından da etkilenir<sup>(38)</sup>.

**Uç Boşluk Yüzeyi Aşınması;** bu tip aşınma için esas sebep oksitlenme olup bu talaşla doğrudan temasta olmayan takımın bir kısmında meydana gelir. Kesme işlemi esnasında boşluk yüzeyi üzerinde bir oksit tabakası oluşur ki bu kademeli olarak kratere doğru yayılır. Kesme devam ederken krater derinleşir, oksit tabakası oluşur, ve sonunda kopar. Bu kopma takımın kesme yapmayan kısmı üzerinde gerçekleştiğinden, takım performansını etkilemez. Ancak bu kazımadan sonra takımın burun kırılmasına dolayısıyla takım bozulmasına yol açabilir. Bu sıcaklığa bağlı kırılma şekli olduğundan ve oksitlenme ile olduğundan;

\* Oksijen olmayan atmosferde kesme yapılarak,

\* Oksitlenmeye dayanıklı takım malzemesi kullanılarak kontrol altına alınabilir<sup>(38)</sup>.

**Mekanik Hasar veya Kırılma;** bir takım malzemesinde temel gereksinimlerden biri de sert olmasıdır. Fakat takım malzemelerinde yüksek sertlik hep sünekliği azaltır bu da çoğu takım malzemelerini gevrek yapar ve kullanıldığında kırılmaya maruz kalır. Bu nedenle seramik esaslı takımlar daha tok olan YHÇ ve sinterlenmiş karbürlü takım uçlarından daha kolay şekilde kırılır. Bu takımlarda pah ve dar honlanmış bir kısım kesici uç dayanımını artırmada önemli rol oynarken, takım kırılma ihtimalini de oldukça azaltmaktadır. Takım uç dayanımını arttıran diğer önemli bir parametre ise kırılmaya karşı burun yarıçapıdır. Bununla takımda ki titreşimler yok edilir. Büyük burun yarıçaplı takım ile daha uzun takım ömrü ve daha iyi yüzey kalitesi sağlanır. Burun yarıçapı için en iyi değer, son bitirme yüzeyi ve kesme şartları arasında bir optimizasyonu gerektirir. Takımdaki kırılmalar ise dikkatsiz çalışma, kötü ayarlama ve dengesiz bağlamadan kaynaklanabilir<sup>(38)</sup>.

**Çentik Aşınması;** çentik aşınmanın normal olarak kimyasal reaksiyonla ve hem esas kesici kenar boyunca hem de kesici ucun bir kısmında, iş parçası ile takım arasında fiziksel temas alanının dışında yani kesme derinliğinin bitimine yakın yerde oluşur. Her iki durumda da çentik aşınma hem talaş hem de yan kenar yüzeyini aynı zamanda etkiler. Çentik aşınma bazen şiddetli aşınmaya sebep olur. İş parçası yüzeyi ile takım kesici uç boyunca oluşan abrazyon aşınmasından ( $V_{BA}$ ) ayırt edilmelidir. Çentik aşınması, takımdan önceden geçen iş parçasının sertleşme etkisinden kaynaklanabilir<sup>(38)</sup>.

#### **1.5.4. Aşınma Kriterleri**

Takım ömrü testi ile ilgili ISO standardında tavsiye edilen kriterler aşağıdaki gibidir (ISO, 3685):

##### **Sinterlenmiş Karbürlü Takımlar İçin Genel Kriterler;**

- \* Yan kenar aşınma alanı B bölgesinde düzgün olarak aşınmamışsa, maksimum yan kenar aşınma alanı,  $V_{Bmax}=0.6$  mm olması,
- \* Yan kenar aşınma alanı B bölgesinde düzgün aşınmışsa ortalama yan kenar aşınma alanı,  $V_{BB}=0.3$  mm olması,
- \* Verilen KT krateri derinliği mm olarak şu formülle hesaplanabilir:  
 $KT=0.06+0.3f$   
Bu formülde; f: her devir için mm'deki ilerleme miktarını göstermektedir.
- \* Uç mesafedeki krater, KF değerini azaltır ( $KF=0.02$  mm)'dir.
- \* Kesici uca az miktarda krater geçerse kötü yüzey kalitesi elde edilir.

Yukarıda karbürlü takımlarda açıklanan genel kriterler; seramikler, CBN'ler ve elmas takımlar içinde genelleşebilirler .

### **Seramik Takımlar İçin Genel Kriterler;**

\*Yan kenar aşınması B bölgesinde düzgün değilse maksimum yan kenar aşınma bölgesi genişliği ,  $V_{BBmax}=0.6$  mm,

\*Yan kenar aşınma alanı B bölgesinde düzgün aşınmışsa ortalama yan kenar aşınma alanı genişliği,  $V_{BB}=0.3$  mm'dir.

Benzer aşınma kriterleri elmas ve kübik bor nitrürlü (CBN) takımlar dahil kaplamalı takımlarda da uygulanır.

Aşınma limiti dışında takım ömrünü tanımlamak için diğer kriterler de kullanılabilmekte olup, bunlar; bitirme yüzeyi, istenilen ölçü elde edilememesi veya tolerans, kesme kuvvetleri, güçte artışlar, verilen yük altında bir deliği delmek için gerekli zaman veya takımın tamamen kırılması olarak gösterilebilir. Otomatikleştirilmiş işlemlerde takım aşınmasını bilgisayarla birlikte çalışma esnasında kaydetmek çok faydalı olup böylece takımın kırılmadan önce dolayısı ile de bozuk parça üretilmeden önce takım değiştirilebilir. Takım aşınmasının dolaylı yoldan belirmesindeki metotlardan biri de ilerleme kuvvetinin ölçülmesidir. Yani, takım aşındığı ve körlendiği zaman ilerleme kuvveti kesme kuvvetinden daha çok artar. Takım bozulması için bir kriter belirlendikten sonra dakikadaki takım ömrü, başlama ve bitirme işlemi arasında harcanan zamandır. Zamandan başka da takım ömrünü ifade eden diğer metotlar şunlardır:

\* Bilemeler arasında veya takım değişmesi arasında kaldırılan malzeme hacmi,

\* Verilen bir takım ile delinecek delik sayısı,

\* Her takım için işlenen parça sayısının belirlenmesidir<sup>(38)</sup>.



mesafesi aşınmış kesici kenarın çeyreği; B bölgesi, A ve C bölgeleri arasında kesici ucun kalan düz kısmı; C bölgesi, takım kesici ucun eğri kısmından takım köşesine kadar olan mesafesi; N bölgesi, esas kesici kenar boyunca yaklaşık 1-2 mm iş parçası ve takım arasında aynı temas alanına kadar uzanmakta olup, aşınma şekli çentik tiplidir. Esas kesici kenara dik kesici uç düzleminde B bölgesi içinde yan kenar aşınma bölgesi,  $V_{BA}$  ölçülebilir. Orijinal kesici uç durumundan yan kenar aşınma alanı genişliği ölçülebilecektir. Krater derinliği (KT), B bölgesi içinde orijinal yüzey ve krater dibi arasındaki maksimum mesafe ölçülerek belirlenebilecektir.

Aşınmanın ölçülmesinde kullanılacak takım ve avadanlıklar şöyle özetlenebilir:

- \* Titreşim ve anormal deflasyonlara karşı kararlı test yapılacak bir tezgah,
- \* Takım geometrisini doğru olarak ölçen aygıt,
- \* Takım köşelerini ölçmek için profil kesit projektörü,
- \* Kesme zamanını kaydetmek için kronometre,
- \* Yan kenar aşınmasını ölçmek için kullanılan takım mikroskobu,
- \* Krater derinliğini ölçmek için yaklaşık 0.2 mm çapında nokta temaslı komparatör,
- \* Daha doğru takım aşınması ölçmek için x-y hareketli tabla,
- \* İş parçası ve takım sertliğinin belirlenmesi için sertlik ölçme cihazı,
- \* İş parçası tezgaha bağlı iken yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi için taşınabilir yüzey pürüzlülüğü aygıtı,
- \* Kesme hızını ölçen bir aygıt,
- \* Kesme yağının akış miktarını ölçen aygıt<sup>(38)</sup>.

Takım aşınmasını algılayan fakat endüstride kullanımı pratik olmayan birçok metot geliştirilmiştir. Takım aşınmasının algılanması; doğrudan ölçme metotları ve

dolaylı ölçme metotları olmak üzere iki grup altında incelenebilir. Biz burada sadece doğrudan ölçme metotları üzerinde duracağız.

**Optik Ölçme Metodu;** bilgisayar ve elektronik cihazlardaki gelişmelere paralel olarak optik prensipleri kullanarak yan kenar aşınmasını ölçen bazı sistemler geliştirilmiştir. Kesici takımın iş parçası ile temas halinde olmadığı anda aydınlatılmış aşınma bölgesinin görüntüsünü analiz etmek için optik ve elektro-optik teknikler kullanılabilir.

Uzman sistemlerle bütünleşik CCD kameraları ile görüntü analizleri kullanılan bir sistem esnek imalat hücrelerinde takım ömrünü tayin etmekte kullanılmaktadır. Metot yüksek bir tamlığa sahip olmakla beraber kesme kenarında yapışık kenarlı talaş oluşumu aşınmış alanların incelenmesini zorlaştırmaktadır. Ölçme sadece kesme çevrimleri sırasında yapılabilir. Aşınma sınırları ve krater derinliği optik kompratör ile hassas olarak ölçülebilir. İşlem esnasında takım yan kenar aşınmasının ( $V_B$ ) ölçülmesinde fiber optik sensörler kullanılabilir. Takım bir lazer ışın demeti tarafından aydınlatılır ve aşınma bölgesi bir kamera ile görüntülenir. Görüntü sayısal piksel verilerine dönüştürülerek aşınma yüzeyinin genişliği ölçülür. Deney sonuçları bu metot ile takım aşınmasını 0.1 mm tamlıkta ve 1.7 saniye işlem süresinde algılanabildiğini göstermiştir<sup>(33)</sup>.



Metot	İşlem	Ölçme	Algılayıcı	Ölçüm Şartları
Doğrudan Ölçme Metotları	Optik	Takım geometrisi	TV kamerası, optik algılayıcı	Ölçüm bölgesi temiz ve kargaşadan uzak olmalıdır
	Aşınma partikülleri ve radyoaktivite	Partikül büyüklüğü ve yoğunluğu	Radyasyon ölçer spektrofotometre	Uzun zaman alır, aşınma hassas tespit edilemez, ölçüm güvenli değildir
	Takım/iş temas direnci	Direnç	Voltmetre	Kuru kesme şartlarında uygundur, kesme kuvvetlerindeki değişim bağlantı direncinide etkilemektedir
	İş parçası ölçüsü	İş parçasının boyutları	Mikrometre, optik, pnomatik, ultrasonik, elektro manyetik algılayıcılar	Hassas aşınma ölçümü için parça sıcaklığı dikkate alınmalı, kuru kesme şartlarına uygun, çapaklar temizlenmeli
	Takım/iş mesafesi	İş parçası, takım, takım tutucu arasındaki mesafe	Mikrometre, pnomatik, kompratör, yer değiştirme algılayıcıları	Ölçümü basittir, ısıl genleşme, yüzey kalitesi ve işin sehimi dikkate alınmalıdır
Dolaylı Ölçme Metotları	Kesme kuvveti akustik yayım	Kesme kuvvetlerindeki değişimler, gerilme dalga enerjisi	Uzama ölçer, dinamometre, akustik yayım algılayıcı	Hassas ve kullanışlı, kuru ve sulu kesme şartlarına uygun kesme esnasında karmaşadan etkilenmez, talaş sıvanmasına dikkat edilmelidir, sessiz laboratuvar şartlarında ölçümler daha hassastır, sinyal cevaplama hızı yüksektir
	Ses	Ses dalgaları	Mikrofon	Sessiz ortamlarda uygulanabilir, ölçümde takım ve iş parçası özellikleri dikkate alınmalıdır
	Titreşim	Takım yada takım tutucunun titreşimi	İvme ölçer	Kalibrasyon ve tezgahın rijitlik problemi sebebiyle ölçüm hassasiyeti azdır
	Sıcaklık	Takımdaki sıcaklık değişimi	Termoçift, pirometre	Algılayıcıların yerleşimi ve sıcaklıktan etkilenmeleri problem arzeder
	Giriş gücü	Harcanan güç yada akım	Ampermetre, dinamometre	Ölçüm şekli basit, her türlü kesme şartlarına uygulanır, hassas değildir
	Yüzey pürüzlülüğü	İş parçasının yüzey pürüzlülük değişimi	Mekanik pürüzlülük cihazları, optik algılayıcılar	Takımın uç aşınmasının bir göstergesi olup diğer aşınma tipleri hakkında bilgi vermez, diğer metotlarla anlamlı

**Çizelge 1.4.** Takım aşınması ölçüm metotları, araçları ve şartları

**Aşınma Partikülleri ve Radyoaktivite Analizi;** kesme esnasında kesici takımların kesici partikülleri talaşla birlikte uzaklaştırılır. Talaş kimyasal ve radyoaktif metotlarla analiz edilerek talaştaki partikül miktarına göre takım aşınması

tespit edilebilmektedir. Takımlar radyasyonlu bir ortamda radyasyona maruz bırakılarak yan kenarlarına radyoaktif malzeme kaplanır veya emdirilir. Kesme esnasında aşınan takımındaki radyoaktif malzemeler talaşa geçer. Bu malzemeler radyoaktif sensörlerle ölçülerek takımındaki aşınma miktarı tespit edilir. Her çevrim sonunda takım gözlenir. Takımda eksilen radyoaktif malzeme aşınma ile doğru orantılıdır.

Ayrıca talaşların bir elektron mikroskobu ile taranması ile de takım aşınması ölçülebilir. Bu teknik ile talaşların röntgen filmleri çekilir ve x-ışınları spektrometresi ile analiz edilir. Metot iyi bir aşınma inceleme tekniği olmasına rağmen yan kenar aşınmasını krater aşınmasından ayırt etmesi mümkün değildir.

**Takım İş Parçası Teması Elektrik Direnci;** takım aşınırken onun iş parçası ile temas alanı artar ve eğer temas boyunca elektrik akım akışı sağlanırsa bu temas direnci azalır. Bu prensip takım aşınmasını algılamak için kullanılır. Direnç ölçümü kolay olmakla beraber sıcaklık değişimi, kesme kuvvetleri ve üretilen tabii elektromotor kuvvet değişimleri yüzünden etkili değildir.

Diğer bir metot ise; ince bir film iletken takım yan (serbest) yüzeyine yapıştırılır ve iletkenden akım geçirilir. Takım aşınırken bir kısım iletkende aşınır ve geçen akım azalırken direnç artar. Bu değişim takım yan kenar aşınması ile ilişkidir. Bu sistemde yüksek sıcaklık ve basınç altında takım yan yüzeyinden iletkenin ayrılmasında bazı problemler vardır. Temas direnci; kesme kuvvetleri, yüksek sıcaklık ve plastik deformasyondan etkilendiğinden kullanımı pratik değildir.

**İş Parçası Ölçüsündeki Değişme;** kesici takım ucu aşınırken iş parçası ölçüsünde de değişim meydana gelir. İş parçası boyutundaki değişimin ölçülmesi ile takım aşınması doğrudan ölçülebilir. Ölçü değişimlerinin temaslı ve temassız

ölçümleri için çeşitli sensörler geliştirilmiştir. On-line ölçümleri için basınçlı havanın tepki basıncının ölçümüne dayalı pnömatik sistemler ve lazer ışınları kullanılmaktadır. Çap ölçümlerinde kullanılan elektromanyetik sensörlerde sensör çıkışı ile sensör iş parçası arasındaki mesafenin değişimi doğru orantılıdır. İki sensör aynı modda çalıştırılarak sapmalar ve titreşimler için kompenzasyon sağlanır. Bu cihazlar burun aşınması 0.015 mm'de sabit tutulduğu zaman 0.2 – 0.25 mm yan kenar aşınmasını algılayabilmektedir.

Bu sistemler çap değişimine bağlı takım aşınmasını tespit etmekle beraber takım tahribatını algılamada ve aşınma tipini tayin etmede yeterli değildir. Ayrıca iş parçasının ısıl genişmesi, titreşimler ve takım taşıyıcıların hassas olmayan hareketleri ölçüm tamlığını etkilemektedir<sup>(34)</sup>.

**Takım – İş Parçası Mesafesinin Ölçülmesi;** bu metot takım aşınmasına bağlı olarak kesme esnasında takım veya takım tutucusu ile işlenmiş yüzey arasındaki mesafenin ölçülmesine dayanır. Bu mesafe elektronik mikrometreler, yansıtılmış ultrasonik dalgalar, pnömatik kompratörler ve endüktif proksimiti sensörler ile doğrudan ölçülebilir. Ancak parça sıklığı, yüzey kalitesi, kesme sıvısı ve iş parçası çapı ölçüm duyarlılığını etkiler.

Takım aşınmasının doğrudan ölçümünde elektrikli sentil (fiber) mikrometreler de kullanılır. Sentil işlenen parça yüzeyi ile temas halindeki takım taşıyıcıya bağlanır. Takım yan kenar aşınması artarken işlenmiş yüzey takım eksenine karşı kısmen yer değiştirir ve bu durum takım aşınmasını yansıtan sentilin yer değiştirmesine sebep olur. Bu metot; takım ısıl genişmesi, kesme kuvvetleri sebebi ile takımın sapması, iş malzemesinin eğilmesi veya titreşimi, takım tezgahının rijitliği ve işlenmiş yüzeydeki düzensizlikler yüzünden endüstriyel uygulamalar için

uygun değildir. Ayrıca mesafe ölçümü, takım tutucuya bağlı küresel uçlu bir prob tarafından da yapılabilir. Aradaki mesafeye bağlı olarak prob değişir. Hassas olmayan kızak hareketleri, ilerleme kuvvetindeki değişimler ve takılma sisteminin uygunsuzluğuna rağmen bu sensörler takım başarısızlığını izlemede yeterli bulunmuştur.

## 1.6. Takım Ömrü

Aşınmalar belirli bir değere ulaştığında işlenen parça yüzeyi bozulmaya başlar, enerji sarfiyatı büyür ve sistemde titreşimler meydana gelebilir. Parça yüzeyini bozan aşınma değeri takımın körelidiğini gösterir ve körelinceye kadar toplam işleme zamanına takım ömrü denilir. Genel bir ifade ile takım ömrü, takımın kesme ucunda kabul edilebilen bir aşınma meydana gelinceye kadar geçen talaş kaldırma zamanıdır. Takım ömrü genelde T ile gösterilir ve dakika ile ölçülür.

Takım ömrü, çeşitli aşınmalar tarafından sınırlanmaktadır. Bu aşınma çeşitleri takım ömrünü tayin eden kriterleri oluşturmaktadır. Pratik bakımdan takım ömrünü tayin eden en önemli kriter, takımın serbest yüzeyinde meydana gelen aşınmadır. İkinci sırada krater aşınması meydana gelir. Serbest yüzeyde meydana gelen aşınma kesme ağzından başlayarak kabul edilen bir  $V_{B(em)}$  aşınma değerine erişinceye kadar sürekli ilerlemektedir. Bu bakımdan takım ömrü kabul edilen bir aşınma değerine bağlıdır.

Şimdiye kadar kabul edilen aşınma değeri ile ilgili bir standart yoktur. Bunun nedeni, kabul edilen aşınma değerinin birçok faktöre bağlı olarak farklı farklı değerlendirilmesidir. Bu husus şimdiye kadar açık bir şekilde tayin edilememiş ve çeşitli hallerde çeşitli kriterler kullanılmaktadır. Örneğin yüzey bozulması ele

alınırsa, nihai talaş kaldırmada çok küçük aşınmalar dahi yüzey kalitesini bozabilir. Yüzey bozulma endişesi olmayan kaba talaşta; enerjinin artması, kesme ağzının talaş kontrol kabiliyetini kaybetmesi, titreşimler veya takımın kırılması gibi kriterler kullanılabilir. Örneğin yüzey kalitesi önemli olmayan kaba talaş kaldırmada kabul edilen aşınma değeri frezelemede 0.6 – 1 mm gibi oldukça yüksek olarak alınabilir. İnce talaş kaldırmada bu değer çok daha küçüktür; 0.25 – 0.4 mm olabilir.

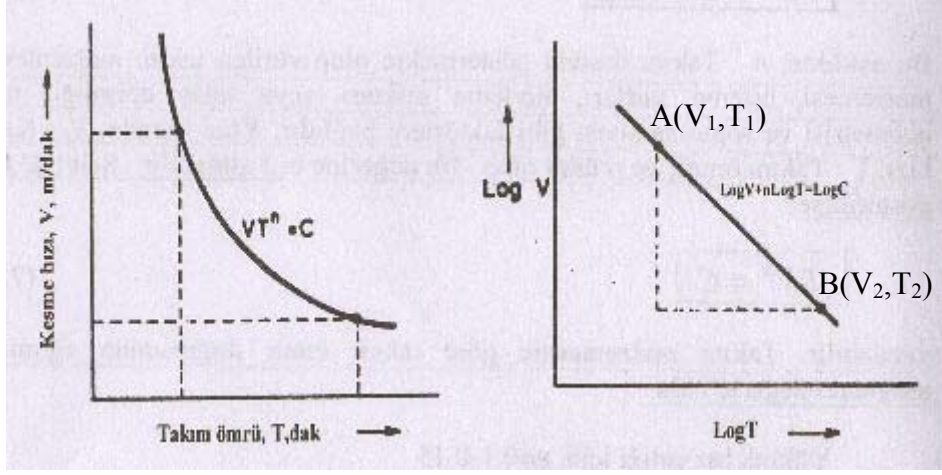
Kesme işleminin optimizasyonu için kesme hızı (V) ve takım ömrü (T) arasındaki ilişkiyi bilmek gerekir. Bu konuda ilk çalışma Taylor tarafından yapılmış olup, aşağıdaki ampirik formül ile ifade edilmiştir.

$$VT^n = C = \text{sabit} \quad (1)$$

bu eşitlikte n: takım üssünü göstermekte olup verilen takım malzemesi, iş malzemesi, işleme şartları, ilerleme miktarı veya talaş derinliği, takım geometrisi ve soğutma sıvısı gibi faktörlere bağlıdır. Takım malzemesine göre takım ömür doğrusunun eğimi (n) aşağıdaki değerleri alır:

<b>Takım Malzemesi</b>	<b>n</b>
Yüksek hız çeliği	0.06 – 0.15
Karbürlü takımlar	0.15 – 0.25
Kaplamalı karbürlü takımlar	0.30
Seramikler	0.45 – 0.55
Kaplamalı seramikler	0.55 – 0.60
Elmaslar	0.65
Kübik bor nitrür (CBN)	0.70

**Çizelge 1.5.** Takım malzemesine göre ömür doğrusunun eğimi



**Şekil 1.15.** Kesme hızı ve takım ömrü ilişkisi

Bunun yanında  $\text{Log}V - \text{Log}T$  grafiğinden de  $n$  değerini hesaplamak mümkündür.  $A(V_1, T_1)$ ,  $B(V_2, T_2)$  koordinatları için değerler yerine konulduğunda  $n$  eğimi şöyle hesaplanabilir:

$$n = \tan \alpha = \frac{\log V_1 - \log V_2}{\log T_2 - \log T_1}$$

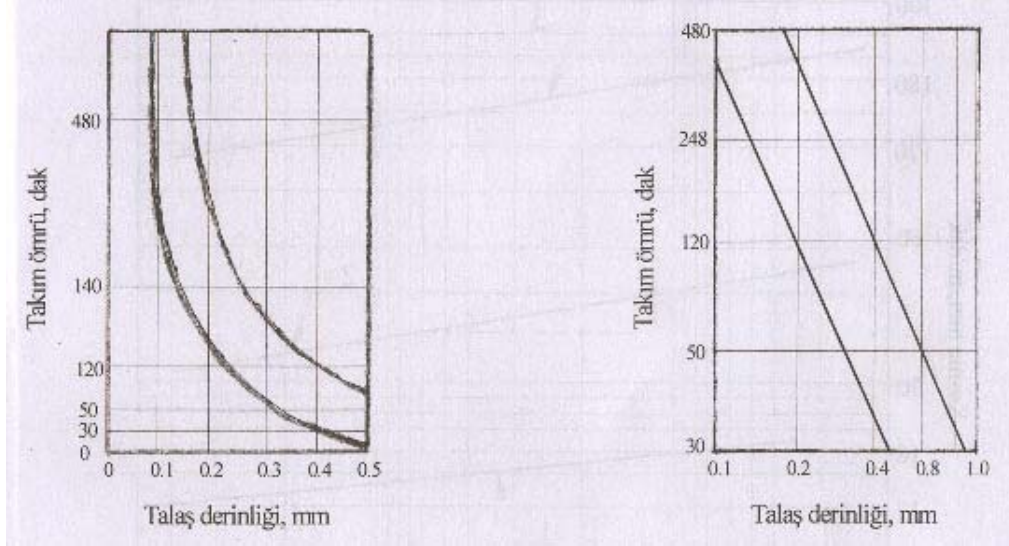
Kesme hızı şu şekilde de hesaplanabilir:

$$V_2 = V_1 \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^n$$

Fakat  $n$  değeri daha çok takım malzemesinden etkilenirken  $C$  değeri daha çok iş malzemesi ve kesme şartlarına bağlıdır.  $C$ , 1 dakikalık ömür için kesme hızını ifade etmektedir. Yani doğrunun apsis eksenini kestiği noktadır. 1 eşitliğine logaritmik işlem uygulanırsa;

$$\text{Log}C = \text{Log}V + n \text{Log}T$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade ile şekilde gösterildiği gibi bir doğru elde edilir. Bu doğru  $T - V$  doğrusu adını alır. Burada da  $n$ : takım ve parça malzemesine bağlı olup aynı zamanda doğrunun eğimine, yani  $\tan \alpha$  açısına eşittir.



**Şekil 1.16.** Kesme derinliğinin ömre etkisi

Benzer olarak kesme derinliğinin takım ömrü üzerine etkisi şekilde gösterilmiştir. Bu grafik  $t_1 = 0.2mm$  ve  $t_2 = 0.4mm$  kesme derinliğinde yapılmış olup bu şekilden görüldüğü gibi kesme derinliği azaldıkça aynı kesme hızı için takım ömrü artmaktadır. Farklı kesme derinlikleri ile yapılan deneylerde bu şekilde de görüldüğü gibi paralel doğrular elde edilmektedir. Takım ömrü faktörü mevcut doğruların eğimi (n) değişmemekte başka bir ifade ile t değerlerine bağlı olmamaktadır.

$$\frac{t_1}{t_2} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^n \text{ veya } \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^{1/n} \text{ geçerli olur.}$$

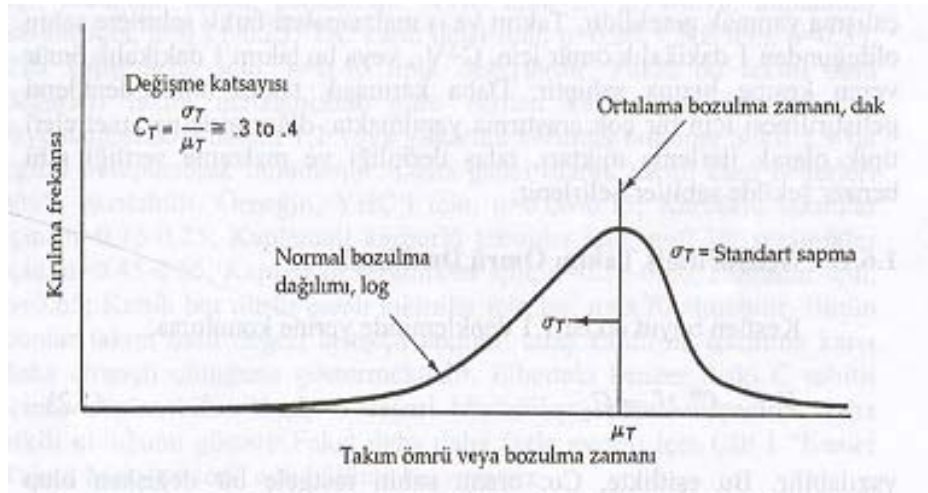
### **Geliştirilmiş Takım Ömrü Denklemi;**

$$VT^n f^m t^p = C_0$$

Bu eşitlikte,  $C_0$ : orantı sabiti rastgele bir değişken olup ölçülemeyen bütün faktörlerin etkileşimini göstermektedir. Kesme hızı ve diğerleri de giriş değişkenleridir. Bunlardan; f: ilerleme miktarı (mm/dev), t: kesme derinliği (mm), m: ilerleme miktarı üssü, ortalama değeri 0.5 – 0.8, p: kesme derinliği üssü, ortalama

değeri 0.2 – 0.4, göstermektedir. Belli bir takım ömrü için optimum kesme hızı, kesme derinliğinden daha ziyade ilerleme miktarındaki değişmelerden daha çok etkilenir. Ancak takım ömrü de ilerleme miktarından daha ziyade kesme hızındaki değişmelerden daha çok etkilenirken kesme derinliğindeki değişmelerden daha az oranda etkilendiği şekilde gösterilmiştir<sup>(37)</sup>. Takım ömrü değişkenliğinin sebepleri şöyle özetlenebilir:

- \* Parçadan parçaya ve bir parça içinde iş malzemesi sertliğindeki değişme,
- \* Kesici takım malzemeleri, takım geometrisi ve bunların hazırlanmasındaki değişiklikler,
- \* İş bağlama, takım bağlama aygıtları rijitliği ve takım tezgahındaki titreşimler,
- \* İş parçalarının yüzey karakteristiğindeki değişmeler olarak sıralanabilir.



**Şekil 1.17.** Rastgele değişken olarak takım ömür görünümü

Değişik çeliklerin işlenmesi ile yapılan çok sayıda takım ömür çalışmalarının incelenmesi, takım malzemesi veya işlenmesi ile ilgili olmadığını göstermiş, takım ömür dağılımları genellikle normal log ve tipik olarak büyük standart sapmaya sahip olduğunu göstermektedir. Şekilde gösterildiği gibi, takım ömrü dağılımı büyük



değişme katsayısına,  $C_v$ , sahip olduğu bu nedenle de takım ömrü çok hassas olarak tahmin edilemez ve önceden hesaplanamaz. Kesme derinliği ve ilerleme miktarı ile ilgili uygun olan düzeltilmiş değerleri aşağıda tabloda gösterilmiştir.

Talaş Derinliği (t)	$t^{0.37}$	T (mm)	$t^{0.37}$	İlerleme Miktarı (f)	$f^{0.77}$	f (mm/dev)	$f^{0.77}$
0.01	0.182	0.25	0.598	0.001	0.004	0.025	0.059
0.02	0.235	0.30	0.640	0.002	0.008	0.030	0.067
0.04	0.305	0.35	0.678	0.004	0.017	0.035	0.075
0.06	0.353	0.40	0.712	0.006	0.019	0.040	0.084
0.08	0.393	0.45	0.744	0.008	0.024	0.045	0.092
0.10	0.427	0.50	0.744	0.010	0.029	0.050	0.099
0.14	0.482	0.75	0.899	0.014	0.037	0.075	0.135
0.18	0.530	1.00	1.00	0.018	0.045	0.100	0.170
0.22	0.571	-	-	0.022	0.053	-	-

**Çizelge 1.6.** Kesme derinliği ve ilerleme miktarları için düzeltilmiş değerler

Kesici takım geometrisi değişikliklerinden takım ömrü çok etkilenir. Ancak geometriyi değiştiren testler eğriyi vermez halihazırda verilmiş olan matematiksel terimle yorumlamak yeterlidir. Keza iş parçası sertliğinin ve mikroyapının takım ömrüne çok etkisi mevcuttur. Takım ömrünün Brinell sertlik değeri (BHN) ile ilişkisi yaklaşık olarak aşağıdaki denklemle ifade edilebilir.

$$C_0 = VT^n f^m t^p (BHN)^{1.25}$$

Fakat metalin mikroyapısının takım ömrü üzerine sertlikten daha fazla etkili olduğu söylenebilir. Örnek olarak, aynı sertlikte fakat farklı mikroyapıya sahip iki çelik parça olsun. Bu iki metal parçası aynı kesme şartlarında işlendiği zaman farklı takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü elde edilecektir. Keza takım ömrü takım malzemesine ve kullanılan kesme sıvısına göre de değişmektedir. Bu faktörleri dikkate alan denklem aşağıda verilmiştir.

$$V = \frac{C_1}{t^{0.37} f^{0.77} (60/T)^{1/6} CF}$$

Bu formülde; V: kesme hızı (m/dak), C<sub>1</sub>: orantı sabiti, (60/T)<sup>1/6</sup>: istenilen takım ömrü için kesme hızına karşılık gelen 60 dak'lık takım ömründe elde edilen kesme hızını düzelten faktör, T: takım ömrü (dak) ve CF: takım malzemesi için düzeltme faktörüdür.

**Takım Açılarının Ömre Etkisi;** kötü kesme şartlarının, genellikle, özgül kesme enerjilerini ve takım sıcaklıklarını arttırdığı ve bunun sonucunda da daha fazla takım aşınması meydana geldiği bilinmektedir. Talaş yüzeyi açısının artması her zaman kesme şartlarında iyileşme sağlar, daha uzun takım ömrü elde edilir. Ancak takım/talaş açısı çok fazla büyüdüğünde ise kesici uç mekanik olarak zayıflar, daha çok aşınma miktarı ve daha kısa ömür ile sonuçlanabilir. Bu nedenle, maksimum takım ömrü için optimum talaş açısı seçilmelidir.

Genelde deneyler, yan kenar aşınma alanı genişliğinin, takımın ömrünü belirleyen faktör olduğunu göstermektedir. Fakat takım yan yüzeyi üzerinde aşınma miktarını belirleyen hız, sıcaklık ve gerilme durumları aşınma alanı boyunca sabit kalır ve fiziksel şartlar aşınma alanı genişliğindeki değişikliklerden fazla etkilenmezse oldukça küçük aşınma alanı oluşturur. Bu iki nedenden dolayı takım malzemesinin aşınma miktarının sabit olduğu ve normal boşluk açısından bağımsız olduğu varsayılır.

**Talaş sıvanmasının ömre etkisi;** talaş kaldırma sırasında takım ucunda yapışma veya sıvanmanın oluşması, takım ömrünü farklı şekilde etkiler, bazen takım ömrünü azaltırken bazen de artırır. Kararsız sıvanmayla sıkışarak sertleşen parçacıklar kırılarak talaş altına yapışır ve yeni bir yüzey oluşturur. Takım yüzeyine

sürtünerek takım aşınma miktarını artırır. Ancak dökme demir gibi çok sert malzemeler kesildiği zaman kararlı oluşan talaş sıvanması faydalı olabilir. Sabit bir talaş yapışması takım yüzeyini aşınmadan korur ve kesme işlemini kendisi yapar. Fakat takım hemen kesme yapmadığı zaman kesme sırasında takım yüzeyine kaynaklanan kısım yani talaşın bir kısmı takım malzemesinden küçük bir parçayı koparır. Talaş sıvanmasının bir diğer mahsuru da kesme sonunda takımın soğuması sırasında takım ömrünü azaltabilmesidir. Çünkü genellikle iş parçasının uzama katsayısı, takımın yaklaşık iki katı kadar olduğundan soğuma esnasında talaş yapışmasının meydana geldiği yerde büzülmeden dolayı çatlaklar meydana gelir ve bu çatlaklar takımın kırılmasına yol açar<sup>(38)</sup>.

### **1.7. Kesici Takım Malzemeleri**

Talaş kaldırma ve şekil verme işlemlerinde takım malzemelerinin geliştirilmesi insanların ihtiyaçları doğrultusunda devam etmektedir. Günümüzde kesici takımların fazla çeşitte ve şekillerde yapılması makine parçalarının imalatında takım seçiminde çok fazla alternatifler sunmaktadır. Kesici takımların temelini demir ve alaşımları oluşturmaktadır. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak makine parçalarının imalatında da gelişmeler son hızla devam etmektedir. Kesici takımların bu kadar hızlı gelişmesi ve çok çeşitli olmasından dolayı makine parçalarının imalatında kullanılacak takımların seçimi de çok fazla önem arz etmektedir.

Yapılacak operasyona göre uygun tezgah seçimini de göz önüne alırsak, kesici takımlardan istenen özellikler:

- \* Sert olmalı, serbest yüzey aşınmasına ve deformasyona dayanmalıdır,
- \* Yüksek tokluğa sahip olmalı, çatlaklara ve kırılmaya direnç göstermelidir,

- \* İş parçası ile kimyasal reaksiyona girmemelidir,
- \* Kimyasal açıdan kararlı olmalı, oksidasyon mukavemeti yüksek olmalıdır,
- \* Isıl şoklara karşı iyi bir dirence sahip olmalıdır.

Bir işlem için uygun kesici takımın seçimi takım malzemesi ve geometrisinin yanı sıra aşağıdaki faktörlerden etkilenir:

- \* İşlemin tipi,
- \* İş parçasının şekli ve malzemesi,
- \* Takım tezgahı,
- \* Kesme verileri,
- \* Arzu edilen yüzey kalitesi,
- \* Genel rijitlik,
- \* İşleme maliyetleri<sup>(21)</sup>

Bugün kesici takım malzemelerinin daha yüksek ilerleme ve kesme hızlarında talaş kaldırmaları için önem taşıyan üç ana özellik vardır:

- \* Aşınmaya karşı dayanma kabiliyeti (aşınma direnci),
- \* Kırılmaya karşı mukavemet (mukavemet),
- \* Yüksek sıcaklıklarda sertliği ve kimyasal kararlılığı koruma (kızıl sertlik)

**Aşınma Direnci (WR);** serbest yüzey aşınmasının genellikle bir ölçü olarak alındığı aşınma direnci yine de doğrudan kullanılan bir özellik değildir. Bu özellik kesici takım kesme kabiliyetini planlanan şekilde sürdürebilmesi için çeşitli aşınma tiplerine olan dayanma kabiliyeti olarak tanımlanır.

**Tokluk(T);** genellikle eğilme direnci, kırılma direnci gibi çeşitli şekillerde ifade edilir. Ölçümlerin oda sıcaklığında yapılması nedeni ile talaş kaldırma işlemi esnasındaki durum ile ilgili tam bir bilgi vermez ve kenar yuvarlatmasının etkisini göz önüne almaz.

**Kızıl Sertlik(HH);** diğer önemli bir özelliktir. Yüksek kesme hızlarının bir sonucu olan yüksek sıcaklıklar nedeniyle son derece önemlidir. Fakat kesici takım malzemeleri farklı kızıl sertlik değerlerine sahiptirler.

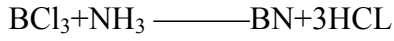
Takım malzemesinin frezeleme ve diğer aralıklı kesme işlemlerinde ısı şoklarına dayanabilmesi gerekmektedir. Takım ile iş parçası arasındaki kimyasal afinite talaş kaldırma esnasında kesici kenar ile parça arasında istenmeyen reaksiyonların ortaya çıkmasına neden olabileceği için önemlidir. Oksidasyona karşı direnç belirli aşınma tiplerinin gelişmesine karşı bir direnç oluşturması açısından önemli bir başka kesici takım özelliğidir.

Takım malzemesinin doğru seçimi ekonomik talaş kaldırma işlemi için son derece önemlidir. Takım tezgahının kırılmış veya aşınmış takımlar nedeni ile durması verimliliği sınırlayan en belli başlı nedenlerdendir. Bu nedenle takım malzemesinin ve doğru takım kalitesinin seçimi için çok önemlidir. Bir takım malzemesi tek başına talaşlı imalat alanındaki tüm talepleri karşılayamaz, ancak bazı kalitelerin geniş uygulama alanları vardır ki bu takımlar bir çok işlemi gerçekleştirebilirler<sup>(36)</sup>.

### 1.7.1. CBN

Yüksek sıcaklık ve aşırı yüksek basınç altında sinterlenerek elmasa yakın özelliklere sahip olan bu malzemeler aşınmaya dirençlidir. Sıcak sertlik, oksidasyon direnci ve kırılma tokluğunun iyi olması nedeniyle çok kristalli bor nitrürden yapılan bu uçlar sert demir içerikli malzemelerin kesme işleminde daha uzun takım ömrü ve mükemmel uç dayanımına sahiptirler.

Borklorür ve amonyak aşağıdaki reaksiyonla, bor nitrür bileşimini meydana getirir:



Burada; BN bileşiği, yaklaşık eşit sayıda boron ve azot atomlarının sırasıyla düzenlenerek oluşturduğu grafit yapısına benzer hegzagonal yapıya sahiptir. Bu altı köşe boron nitrür (BN) yumuşak hegzagonal karbon grafit gibi kaygan bir maddedir. Hegzagonal boron nitrür (HBN), kübik boron nitrüre (CBN) dönüşebilir. Burada da katalizör olarak bir alkali metali veya nitrürleri (lityum nitrür) gibi çözücü malzemeleri kullanmak pratiktir.

İlk defa 1980'li yıllarda lehimlenebilir ve değiştirilebilir uçlar olarak üretilmeğe başlanmıştır. Bu üretilen uçlar tungsten karbür ana malzemesi ile çok kristalli bor nitrür (PCBN) tabakasından oluşmaktadır. Son zamanlarda katı CBN uçlar mevcut bulunmaktadır, ancak CBN kesici takım üretici firmaların sayısı azdır. De Beers Amborite üretirken, General Elektrik Şirketi Boran (BZN) üretmektedir. Japonya da Sumitama Elektrik Şirketi Sumiboron BN2000'i üretmektedir<sup>(39,40)</sup>. Rusya da bazı CBN malzemeler üretilmekte fakat bunlar batı ülkelerinde bulunmamaktadır.

Amborite ve BZN aşırı CBN-CBN bağ ile çok kristalli yapıya sahiptir. Ancak her durumda da ekstra bağlayıcı malzemesi kullanılır. Amborite seramik bağlayıcıya

sahipken BZN'de metalik nikel-kobalt bağlayıcı kullanılır. Fakat her iki durumda da kullanılan bağlayıcı yüzdesi azdır. Yüksek konsantrasyonlu CBN uçların oda sıcaklığı sertliği karbür ve seramiklerden oldukça yüksek olup 3500-4000 Hv arasında değişir. Yüksek sıcaklıkta 800-1000 C de CBN'ün sertliği alumina ve çoğu karbürlerin oda sıcaklığı sertliği ile karşılaştırabilir. Özel durumda karbürlerin yerini almış şimdilerde ise esas taşlama işlemi alanlarında kullanılmaktadır. Bugüne kadar CBN endüstride veya araştırmalarda kullanımı, çoğunlukla tornalama ve delik büyütme işlemlerinde çok az olarak da frezeleme işlemlerinde yapılmıştır<sup>(9)</sup>.

### 1.7.2. Sermet

Son 20 yıldan beri imalat sanayinde yüksek kesme işlemi için sermet, kübik bor nitrür, çok katlı kaplamalar gibi yeni kesici takım malzemelerinin üretim tekniklerinde hayli gelişmeler olmuştur. Bunlardan her kesici takım malzemesi, kullanılan kesme şartları ve kesme işlemine bağlı olarak kesici uçta değişik aşınma mekanizmaları sergilemişlerdir. Kesici takım teknolojisinde son gelişmelerden biri de sermet kesici takımlarıdır. "Sermet" terimi, genellikle toz metallurjisi tekniği ile "Metal" ve "Seramik" tozların bir araya getirilmesi ile üretilir. Bunlardan metalik bileşen kesme esnasında termal şok direnci ve sünekliğini artırırken seramik bileşeni ise sıcak sertlik ve oksidasyon direnci sağlamaktadır. Metallerle seramik bileşenlerin bağlanması, karmaşık bir işlemdir. Bu ısınma özelliklerine, çözünebilirliğe ve seçilen malzemelerin faz ilişkilerine oldukça bağlıdır.

Sermetler; titanyum esaslı karbür kesici takım olarak ilk defa 1930 yılında üretilmiş olup %42.5 titanyum karbür (TiC), %42.5 molibden karbür (Mo<sub>2</sub>C) ile %14 nikel (Ni) ve %1 krom (Cr) bileşiminden oluşmaktadır<sup>(41)</sup>. Bu ilk TiC esaslı takımlar

WC-Co esaslı karbürli takımlardan %50-60 oranında daha düşük dayanıma sahip olduğundan mevcut düz karbürlere karşı üstünlük getirmemiştir. Düz karbürlerle dayanımda karşılaştırma yapmak amacıyla ince dereceli TiC sinterlenmiş karbür takımlar Ford Motor şirketi tarafından 1960 yılına kadar üretilmiştir.

Şu andaki sermet kesici takımlar, değişik oranlarda TiC, TiN, TaC, WC ve Mo<sub>2</sub>C gibi sert malzemeler ile Ni, Co, Mo ve Al gibi metallere oluşur. Bunlar geleneksel WC-Co esaslı takımlardan farklı olup bazen sinterleme sıcaklığında sıvılaştıran kobalt metal bir bağlayıcı ile bağlanan farklı miktardaki TiC ve Ta (Nb)C parçacıkları içerirler. Sermetin temel bileşeni TiC olup, çok sert ve sinterlenmiş karbürün temel elemanı olan WC'den hem termal hem de kimyasal olarak daha karardır. Bu nedenle, daha yüksek aşınma direncine sahip bulunmaktadır. Sermetler içinde en sert olan TiC'li türü olup tok olan tungsten karbür uçlarla, sert ve gevrek olan seramik takımlar arasında boşlukları doldurmak amacıyla kullanılır.

Bu takımlar yüksek verimlilik nedeniyle düz karbür ve kaplamalı karbür veya seramik uçlardan daha ekonomik olması aşağıdaki sebeplere bağlıdır.

- \* İyi aşınma direnci dolayısıyla daha uzun takım ömrü,
- \* Minimum talaş sıvanması ve iyi yüzey kalitesi,
- \* Daha yüksek kesme hızlarında aşınma direnci gibi özelliklerdir.

Bütün bu özellikler bu takımları, ekonomik yönden daha verimli kılmaktadır. Bu takımların diğer özellikleri, yüksek sıcaklıklarda iyi aşınma direnci, düşük yoğunluk ve iyi krater aşınma direncidir. Tungsten karbüre göre düşük sürtünme katsayısı ve daha düşük termal iletkenliğe sahip olması, kesme sırasında kesme uçlarında oluşan ıstıyı azaltır. Bu özellikler; sermetli takımları, yüksek kesme hızları



ve orta ilerleme miktarlarında esas olarak dökme demir ve çeliklerin ekonomik işlenmesinde uygun yapmaktadır.

Sinterlenmiş karbürlerle karşılaştırıldığında yüksek kesme hızlarında demir esaslı malzemeler işlendiğinde demire karşı TiC ve TiN'ün ilgisi düşük olduğundan dolayı sermetli takımlarla, genellikle, daha seri olan dökme demir ve sertliği 45 Rc'den az olan çelikler ve toz metalurji tekniğiyle üretilen parçalarda daha uzun takım ömrü ve hassas bitirme işlemlerinde tercih edilir, dolayısıyla, taşlama işlemi elimine edilebilir.

Sermetli takımların yüksek yan kenar aşınma direnci TiC ana elemanın yüksek sertliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır. TiC, keza WC'den daha yüksek termal kararlılığa sahip olduğundan dolayı daha yüksek krater aşınma direncine sahiptir. Sermetli takımların yüksek adhezyon direnci de diğer bir temel sebeptir. Sermetli takımlarla işleme esnasında ihmal edilebilir seviyede çentikleme oluşmakta, yüksek oksidasyon direncinden dolayı da iyi bitirme yüzeyi sağlanabilmektedir. Ancak, sermetli takımlar TiC, Co ile zayıf bağ nedeniyle daha düşük termal iletkenliğe ve çekme dayanımına, daha yüksek termal uzama katsayısına sahip olması yanında sinterlenmiş karbürlerden mekanik ve termal şoklara karşı daha düşük dirence sahiptir.

Molibden ilaveli karbür parçacıkları, ıslanabilirliği artırarak karbür tane ölçüsünü inceltir ve preslenmiş plaketin sertlik ve dayanımında oldukça artış sağlanır. Bu nedenle de kesme esnasında aşınma direncinde iyileşme sağlanır. Vanadyum karbür (VC) ve TiN'ün katılması ile birlikte metal bağlayıcıda metalik bileşenler arasında alüminyum çökmesi, kesici takımın termal iletkenliğini artırarak, sermet kesici takımın aşınma direncini iyileştirir. Sermetli takımın tokluğunda artış mikro-yapıda metalik bağlama fazı ile oluşur.

Sermetler kesme hızı bakımından kaplamalı karbürü takımlardan daha iyi performans göstermekte ve kesme hızında yaklaşık üst sınır olarak %100 artış sağlayarak 340 m/dak'ya kadar ulaşabilirken karbürü takımlar ise yaklaşık 160 m/dak civarında kalmaktadır. Kaplamalı takımlarda ise bu değer yaklaşık 240 m/dak'a yaklaşmaktadır. Seramiklerle karşılaştırıldığında ise karbürü takımlarda ilerleme miktarı aralığının 0.08 mm/dev ila 0.30 mm/dev iken bu değer seramiklerde daha dar aralıkta olup yaklaşık 0.12 mm/dev-0.24 mm/dev arasında değiştiği görülebilir. Bu nedenle bu takımlar, kaplamalı takımlar ve seramikler arasında dengeyi sağlamaktadır.

Sermetler, hafif ve orta ilerleme miktarlarında ve yüksek kesme hızlarında çeliklerin bitirme ve hassas işlenmesinde geniş olarak kullanılır. Değişik çeliklerin ve dökme demirlerin bitirme işlemlerinde, daha uzun takım ömrü ve iyi son bitirme yüzeyi elde edilebilir<sup>(42)</sup>. Ancak sermet kesici takımlar, çok düşük kesme hızlarında veya çok fazla talaş derinlikleri ile kesme işleminde tercih edilmez. Bu takımlar, paslanmaz çelik ve sertleştirilmiş çeliğin fasıllı olarak kaba işlenmesinde sinterlenmiş karbüre göre yeterli olmayan tokluk nedeniyle çabuk kırıldıklarından tercih edilmezler.

Sermet takımlar aşırı yan kenar aşınması nedeniyle, dökme demirin kaba işlenmesinde tercih edilmez. Keza bu takımlarla sert dökme demirler grafit, yüksek sıcaklık alaşımlarının yanında çoğu demir içermeyen alaşımların işlenmesi için veya fazla abrasif yüzeyli parçaların işlenmesinde tercih edilmez. Alüminyum alaşımları gibi demir içermeyen alaşımlar işlendiği zaman iş malzemesi ve takım arasındaki kimyasal etkileşim takım performansını aşırı etkileyen BUE' oluşmasına sebep olur.

### 1.7.3. Seramik

Talaşlı imalatta kesici takımların yüksek kesme hızlarında daha uzun takım ömrü ile daha fazla üretim artışı sağlama gereksinimi, seramik kesicilerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Seramik kesiciler yeni bir malzeme olmayıp ilk defa 1930'lu yılların başlarında kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, teknolojik alt yapının yetersizliğinden dolayı bu kesiciler tam olarak kullanılamadığından çalışmaların yavaşlatılmasına sebep olmuştur. Fakat II. Dünya Savaşı sırasında arzu edilen seri imalatın yapılmasında, düşük performans sergileyen sert metal kesicilerin yerini alacak yeni tip kesici arayış süreci, seramik kesiciler konusundaki çalışmaları hızlandırmıştır<sup>(43)</sup>.

Makine imalat sanayinde, değişik fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip malzemelerin verimli bir şekilde işlenebilmesi her zaman sorun olmuştur. Seri imalatın yapıldığı otomotiv, uçak vb. gibi endüstrilerde, kır dökme demir, yüksek alaşımli ve nikel alaşımli çeliklerin mevcut kesicilerle (YHÇ, sinterlenmiş karbürler: WC, TiC vb.) zor işlenmesi veya hiç yapılamaması gibi sebepler, üretim maliyetini doğrudan, etkilemektedir. Parça başına üretim maliyetinin azaltılmasında makine işleme zamanı önemli bir kriter olmaktadır. Makine işleme zamanının düşürülmesi, yüksek teknolojiye sahip tezgahların kullanılmasını ve imalatın ilerleme, talaş derinliği, kesme hızı gibi yüksek kesme parametreleriyle yapılabilir olmasını gerektirmektedir,

Günümüzde imalatın yüksek kesme parametreleriyle yapılabilirliği genel çalışma konusu olmuştur. Kesme parametrelerinden, özellikle kesme hızının artırılması, en çok tercih edilen metottur. Çünkü kesicinin kullanılma süresini kesme hızı doğrudan etkilemektedir. Diğer parametrelerinin değiştirilmesi (ilerleme, talaş

derinliği vb.) kesme kuvvetlerini daha fazla artırdığından daha rijit ve daha güçlü ekipmanlara ihtiyacı gerektirir. Bu nedenle bu da pek fazla tercih edilmemektedir. Ancak, yüksek kesme hızları, kesici ile talaş yüzeyi arasında yüksek sıcaklıklar oluşturur. Bu durum yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığını koruyan ve termal şoklara karşı iyi direnç gösteren dolayısıyla da iyi mekaniksel özellikleri içeren malzemeleri gerektirmektedir.

Sinterlenmiş tungsten karbür esaslı (WC-Co) kesici uçlar 800°C sıcaklıklara kadar yüksek performans göstermektedir. Fakat daha fazla sıcaklık yükselmelerinde sertlik düşmektedir. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanma direnci dikkate alındığında seramikler, çok daha iyi performans göstermektedirler. Çünkü bu kesiciler sertliklerini 1200°C kadar koruyabilmektedir. Fakat bununla birlikte seramik kesiciler, diğer kesicilere oranla daha sert ve dolayısıyla da daha kırılğan bir yapıya sahiptir. Bu nedenle bu kesiciler, sürekli bir talaş alma işleminin olduğu yerlerde, sert metallerin son bitirme pasolarında tercih edilmektedir. Son bitirme pasolarında yüksek kesme hızlarında kullanılabilen seramik kesicilerle, taşlama kalitesinde yüzeyler elde edilmektedir<sup>(44)</sup>. Fakat seramik kesicilerin kullanılabilmesinde daha yüksek devir sayılarına sahip rijit takım tezgahlarına ve yüksek güçlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Seramik kesici takım malzemeleri modern CNC tornalarda, daha yüksek devir sayıları ve daha geniş esneklik nedeniyle dökme demirlerin işlenmesinde başarılı şekilde uygulanmaktadır. Bunların daha yüksek sıcaklıklara dayanma yeteneği nedeniyle sinterlenmiş karbürlerden çok daha yüksek hızlarda kullanılabilir, iyi bir bitirme yüzeyi gerektiğinde alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) esaslı seramikler sıkça kullanılır. Ancak, kaba talaş kaldırma işlemlerinde özellikle fasılalı kesmede veya yarı-bitirme

işlemleri için Sialon seramiklerin seçilmesi gereklidir. Yüksek aşınma miktarına rağmen, sialon takımlar kopmaya karşı daha dayanıklı olduğundan ani uç kırılması oluşmaz bu nedenle takım ömrü oldukça uzun sürmektedir.

Seramikler yüksek sıcaklıklarda oksidasyon direnci takım aşınma miktarını azalttığı ve iyi sıcak sertlik performansları nedeni ile istenilen takım malzemeleri olup, bu özellikler işlenmesi zor olan malzemelerin 300 m/dk kesme hızından daha büyük hızlarda kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Kesme hızı arttığında sıcak sertlik ve abrazyon direnci önemli olurken, yüksek ilerleme ve talaş derinliğinde fasıllı kesme esnasında dayanım ve tokluk birinci derecede önemini korumaktadır. Yüksek kesme hızları ve kesmede yüksek mekanik gerilmelerde termal şok direncinin iyi olması arzulanır veya kesme sıvılarının kullanılmasını gerektirir. Keza yüksek kesme hızlarında kimyasal kararlılık önemli bir özelliktir. Silisyum nitrür ve silisyum karbür, kobalt ve demirde reaksiyona girerken, alüminyum oksit kimyasal olarak en kararlı olanıdır. Demirli malzemelerin SiC ile reaktifliği, nikel esaslı süper alaşımlı iş parçalarının işlenmesinde SiC takviyeli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramiğin uygulanmalarını sınırlı kılmaktadır.

Yüksek sıcak sertliği ve kimyasal kararlılığı nedeniyle seramikler işlenmesi güç olan malzemelerin yüksek kesme hızlarında örneğin 300 m/dk'dan büyük bitirme işlemlerinde kullanılmaktadır.

Seramiklerle bütün malzemeler işlenmez. Seramiklerle çeliklerin çoğu, dökme demirler, nikel esaslı süper alaşımlar, sertleştirilen çelikler ve demir olmayan malzemelerin çoğuyla birlikte kompozit malzemeler başarılı olarak işlenmektedir. Ancak Sialon ve SiCw takviyeli seramiklerin bazı malzemelerle kimyasal etkileşimi nedeni ile uygulama alanları sınırlıdır.

**Üretimi;** günümüzde seramik kesicilerin preslenerek kalıplanmasında 4 teknik uygulanmaktadır:

- \* Soğuk presleme,
- \* Sıcak presleme,
- \* Sıcak izostatik presleme,
- \* Kimyasal bağ oluşturmadır.

Soğuk Presleme ve Sıcak Presleme; kimyasal ve ısı işlemlerle, alüminyum tozlarının ayrıştırılması ile saf alümina ( $Al_2O_3$ ) tozları elde edilir. %99 saflıkta elde edilen alümina tozları çok ince tane boyutunda ( $0.5 \mu m$ ) olacak şekilde öğütülür. Öğütülen bu tozlar yıkama işleminden sonra kurutulur ve geçici bağlayıcılık görevini üstlenecek olan balmumuyla karıştırılır. Balmumu aynı zamanda presleme anında kalıp içinde yağlayıcılık görevi yaparak preslenen şekillerin daha kolay kalıptan ayrılmasına yardımcı olur. Sıcak presleme yapılmadan önce şekillenmiş bu tozlar,  $1300-1520^{\circ}C$  arasında yaklaşık 30 dakika ve 1.3 MPa vakum altında ön sinterleme işlemine tabi tutulur. Daha sonra  $1500^{\circ}C$ 'den  $1800^{\circ}C$  sıcaklığa kadar 20 MPa basınçla yaklaşık 1 saat bekletilmek suretiyle sıcak presleme ve sinterleme işlemi aynı anda yapılır ve elde edilen kesici uçlar , kendi halinde soğumaya bırakılır,

Sıcak İzostatik (Hipping) Presleme; bu teknik sıcak presleme tekniğinden daha çok kullanılmaktadır. Preslenerek şekillenen tozlar,  $1450^{\circ}C$  sıcaklıkta argon gazıyla birlikte 160 MPa basınç altında 1 saat tutulur. Bu tip kesiciler, "Alümina" seramik kesiciler olarak bilinmektedir. Bu da seramiklere açık renk, çoğu kez düz porselenlere benzeyen beyazımsı bir görüntü vermektedir. Bu tip seramik kesicilere, kırılma direncini (tokluğu) artırmak için %2-%5 dolayında Zirkonyum (Zr)

sertleşmeyi kolaylaştırmak ve tane büyümesini önlemek için de Mn ilave edilerek 5 µm'den küçük ince taneli bir yapı elde edilmektedir<sup>(9,45)</sup>.

Alümina seramik kesiciler, metalik bağdan ziyade iyonik bağ yapısına sahiptir. Bu onları düşük ısıl iletkenlik gösteren, yalıtkan kesiciler yapmaktadır. Çok sert ve gevrek olan bu kesicilerin kırılma tokluğu sinterlenmiş karbürlerden (WC, TiC) daha düşüktür. Isıl şoklara olan duyarlılığından dolayı talaşlı işlemlerde soğutma sıvısı kullanılmamaktadır. Yüksek kesme hızlarında kimyasal kararlılık bu kesiciler için önemli bir özelliktir. Sinterlenmiş karbürü kesiciler, 800-900 °C sıcaklıklarda kimyasal reaksiyona maruz kalırken alümina seramik kesiciler bu sıcaklıklarda kimyasal kararlılığını koruyabilmektedir. Yaklaşık 400 BSD (Brinell sertlik değeri) sertliğindeki esmer ve temperlenmiş dökme demirlerin aynı zamanda 1600 N/mm dayanımındaki çelikler ve 48 HRC sertliğindeki sementasyon çeliklerinin işlenmesinde kullanılabilirlerdir.

Kimyasal Bağ Oluşturma; bu teknikte kesici uç üretimi diğer tekniklere oranla çok daha kolaydır. Fakat yapının iri gözenekli olması nedeniyle birçok uygulamalar için dayanıklı değildir.

Silisyum nitrür seramikleri, sertlik, yüksek ısıya dayanıklılık ve kimyasal kararlılık yanında tokluğunun yüksek olması, düşük ısıl genleşme katsayıları (alumina ve sinterlenmiş karbür'e göre) en büyük avantajları arasındadır. Bu takımlarla 1500 m/dk'da, özellikle dökme demirler işlenebilmektedir. Esmer dökme demirin fasıllı şekilde kaba tornalanmasında ve yüksek ilerlemeler ile frezeleme işlemleri yanında nikel alaşımların işlenmesinde uygulama alanı bulmuştur. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> esaslı takımların yüksek termal şok direncinden dolayı, özellikle, yüksek kesme

hızları, talaş derinliği veya ilerleme miktarlarında fasıllı kesme için bunları uygun yaparken kaba talaş kaldırma işlemlerinde en iyi işlenebilirlik elde edilmektedir.

Nitrür esaslı kesici takımların takım ömrü, sadece işleme şartlarına bağlı değil işlenecek malzemeye de bağlıdır. Bunun sebebi ise takım aşınma mekanizmasına aynı zamanda etkiyen çok işlem olduğundan çok karmaşıktır. Ancak makine çeliğinin işlenmesinde, talaş/takım ara yüzeyinde kimyasal reaksiyonu meydana gelmesinden dolayı kullanılması tavsiye edilmez.

**Kaplamalı Seramikler;** takımı ve iş parçası arasında oluşan kimyasal etkileşimleri ortadan kaldırmak amacıyla, seramik kesici ana malzemesi üzerine 2-5 µm kalınlığında ince bir tabaka kaplanır. Örneğin, silisyum nitrürlü ( $Si_3N_4$ ) takımlar, dökme demirlerin yüksek hızlarda işlenmesinde başarılı olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu takımlar çeliklerle çabuk kimyasal reaksiyona girdiklerinden dolayı yüksek hızlarda çeliklerin işlenmesinde kullanılamazlar.

Oluşan reaksiyonu elimine etmek ve böyle hızlarda çeliklerin işlenmesini sağlamak için sialon ve  $Si_3N_4$  gibi ana kesici malzeme üzerine  $Al_2O_3$ -TiC veya TiC-TiN gibi çok katlı kaplamalar, sinterlenmiş karbürlü kesicilere benzer şekilde, uygulanmaktadır. Bu gibi kaplamalı seramiklerle çelikler ve diğer malzemelerin yüksek kesme hızlarında işlenmesi mümkün ve diğerleriyle rekabet halinde olup ihtiyaca göre kullanılabilir. Ancak bunlarla ilgili çalışmalar deneysel aşamada halen devam etmektedir<sup>(9)</sup>.



#### 1.7.4. WC

Sert metal uçlar; aşınmaya dirençli, yüksek sıcaklığa dayanıklı malzeme sınıfından olup, sert karbür parçacıklarının yumuşak ve sünek metallere birleştirilmesiyle üretilir. Bu malzemeler ilk olarak 1920'li yıllarda Almanya'da elmas kullanımının pahalı olmasından dolayı ve yeterli aşınma dirençli kalıp malzemesi üretmek amacıyla geliştirilmiştir. Önce tungsten karbür (WC) ile kobalt bağlayıcı kullanılarak döküm yöntemiyle güçlükle üretilmiştir. Fakat birçok hatalara sahip kaba bir yapı gözlenerek kesici takım ve kalıp malzemesi olarak tatmin edici bulunmamıştır.

1923 yılında Fransa'da toz metallurjisi tekniği ile ince tungsten karbür tozlarla az miktarda demir, nikel veya kobalt tozları karıştırılarak preslenmiştir. Sonra yaklaşık 1300 °C'de sinterlemeye tabi tutulmuş ve kobalt en iyi bağlayıcı matriks olarak ortaya çıkmıştır. O zamandan beri esas WC-Co esaslı karbür malzemeler, farklı malzemeler ve kesme operasyonları için değişik tipleri olan karbürler geliştirilmiştir. Karbür üretiminin yaklaşık %50'si talaş kaldırma işlemlerinde kullanılmaktadır. Talaş kaldırma işlemi dışında madencilik, inşaat, kaya delme ve metal şekillendirme gibi aşınmaya dirençli yerlerde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Keza bu malzemeler "sinterlenmiş karbür" olarak tanımlanır. Bunlar iyi aşınma direnci gösterdiklerinden sanayi tarafından kabul görmüş ve 40 m/dk'dan 350 m/dk kesme hızına kadar sertliğini ve kesiciliğini kaybetmeden etkili şekilde kullanılabilir<sup>(9)</sup>.

**Üretimi;** sert metal kesiciler, toz metalurji metodu ile karbür tozları ile, genellikle kobaltın, ergime noktası altında sinterlenmesiyle üretilir. Değişik tipli sert metal takım yapmak için metal olarak, titanyum, tantalum ve niobiyum kullanılır.

Bu tür kesicilerin üretimi; karıştırma, sıkıştırma, ön sinterleme ve sinterleme aşamalarından oluşur.

Karıştırma; karbür yapımında tungsten karbür (WC), titanyum karbür (TiC), tantalum karbür (TaC) ve niobiyum karbür (NbC) ve kobalt bağlayıcı olarak kullanılır. Bu karbür tozların biri veya ikisi ile kobalt, istenilen karbür derecesine bağlı olarak farklı oranlarda harmanlanır ve bu tozlar alkol içinde karıştırılır. Karıştırma işlemi 24 saatten 190 saate kadar çıkabilir. Toz ve alkol her tarafa nüfuz ettikten sonra alkol kurur ve presleme işlemini basitleştirmek için parafin katılır.

Sıkıştırma İşlemi; bu işlemde; tozlar homojen olarak karıştırıldıktan sonra, arzulanan şekil ve boyutta kalıplanır. Bu işlemler; ekstrüzyon, sıcak presleme, izostatik presleme, külçe presleme ve briket presleme olarak 5 farklı metotla yapılabilir. Bunlardan biriyle yaklaşık 4000 atm. basınç altında ön şekil verilir. Sıkıştırılmış bu ham ürünler, parafini eritmek için ön sinterlemeye tabi tutulur. Böylece karbür parçacıklar hafifçe bağlanarak bunlar kolaylıkla elle tutulabilir hale gelirler<sup>(46)</sup>.

Ön Sinterleme; ham olarak şekillenen bu ürünler, hidrojen atmosferi altında, fırında yaklaşık 815 °C'de ısıtılır. Bu işlemden sonra istenilen şekilde işlenerek taşlanabilir. Son sinterleme sırasında büzülmeler dikkate alınarak, ölçüler yaklaşık %40 daha büyük seçilir.

Sinterleme; bu aşamada ön sinterlenerek taşlanmış parçalar, karbür uçlara dönüştürmek için son basamak olup, bu işlem ya hidrojen atmosferi yada vakum altında üretilen karbür derecelerine bağlı olarak 1400-1500 °C sıcaklıklarda yapılır. Sinterleme sırasında bağlayıcı kobalt, toz karbür parçacıklarını bağlayarak oldukça sert karbür kristalli bir yapı oluşturur.

**Sinterlenmiş Karbürlerin Özellikleri;** günümüzde sinterlenmiş karbürlerin iki çeşidi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar:

- \* Tungsten karbür + kobalt alaşımlı düz karbür uçlar (WC+Co)
- \* Tungsten karbür + kobalt + titanyum karbür + tantalum karbürü uçlar (WC+Co+TiC+TaC) dir.

**WC-Co'lu Sert Metal Uçlar;** Sinterlenmiş karbürü oluşturan karbürler ve bağlayıcı içeriğinin mekanik özellikler üzerine etkileri dikkate alınmalıdır. Tungsten karbür grup bileşiklerinden biri olup bunlar; nitrürler, borürler, karbürler ve silisler olarak sınıflandırılır. Bunlardan WC takım malzemesi yapımında kullanılan en önemli bileşenlerden biridir. Sinterlenmiş karbürlerde yapının hacimce yaklaşık %55'ini karbür parçacıkları meydana getirir. Fakat talaş kaldırmada kullanılan takım malzemesinde bu değer hacimce en azından %80'lere ulaşmaktadır.

Tungsten karbür-kobalt alaşımlı kesicilerde, kobalt içeriği %4 ile %30 arasında değişir. Ancak talaş kaldırma işleminde genellikle %4-12 arasında kobalt içerikli karbürler tercih edilir. Bunların tane boyutunda 0.5 ile 10 mikron arasında değişmektedir. Hem sertlik hem de basma dayanımı, düşük kobalt içerikli takımda en yüksek fakat kobalt içeriği arttıkça sertlik ve basma dayanımları sürekli düşmektedir. Kobalt içeriği arttıkça enine kırılma dayanımı kademeli olarak artmaktadır. Sertlik daha ince tane dokulu karbürlerde daha yüksek olarak ortaya çıkmaktadır.

Sert metal kesici ucun sinterlenmesinde içerisinde karbür fazının kısmen çözüldüğü bir sıvı faz görülür. Preslenecek plaket 1400 °C sinterleme sıcaklığına kadar ısıtıldığında katı fazda C ve WC 600 °C'nin üzerinde sertleşmeye başlar. 1000 °C'de % 0.5 kadar C ve % 2'den biraz az WC kobalt içerisinde çözülebilir. WC-Co ötektik sıcaklığın 1280 °C aşılmasıyla kobalt içerisinde WC'nin giderek artması

nedeniyle 1490 °C olan Co'nun ergime sıcaklığı azalır ve 1400 °C sıcaklığında bileşim % 19 WC ve % 81 Co değerine ulaşır ve bağlantı fazı tamamen eriyiğe dönüşür. Ancak bu esnada sinterli parçada yaklaşık % 91.5 katı WC ve % 8.5 eriyik fazı mevcuttur.

Sinterlemenin devam etmesi ile, WC çözülmesi devam eder. Sıvı faz, karbürleri ağ gibi sararak karbür parçacıkları arasında teşekkül eden köprülerde çözülerek tüm boşlukları doldurur. Müteakip yapılan soğutma esnasında kobalt içerisinde çözünen WC tekrar geri ayrışır ve normal şekilde ötektik yapı meydana gelmez. Hızlı soğutmada çökme olayı düzenli olmaz ve bağlantı metal fazı katılaşmadan sonra %4 WC içerir. Çözünürlük azalan sıcaklıkla tekrar azalır ve öyle ki kobalt katı çözeltileri en fazla %1 WC içerebilir. Diğer sert metal uçlu kesicilerin sinterlenmesindeki olaylar, karışık karbürler teşekkül ettiğinden daha karmaşıktır.

Kesici takım ucunun performansı; bu karbürlerin bileşimine, tane boyutuna ve kobalt içeriğine bağlıdır. Tane boyutu arttıkça sertlik ve basma dayanımı azalırken kobalt içeriğinin artması ile elastik modülünün düştüğü ancak kırılma dayanımı ve tokluğun arttığı görülmektedir.

Uygulamalarda en iyi takım, en sert ve kırılmaya karşı yeterli dirençte tokluğa sahip takım olmalıdır. Pratikte WC-Co alaşımı için %6 Co içeren ve tane boyutu 2 µm olan karbürler seçilir. Bu pek çok uygulamalar için diğerlerinden daha iyi özelliğe sahiptir. Ancak aşınma direncinin iyi olması isteniyorsa daha ince taneli ve daha düşük kobalt içeren karbürü takımlar tercih edilmelidir<sup>(9)</sup>.

**WC-TiC-Co ve WC-Co-TaC Sert Metal Uçlar;** WC-Co düz karbüre TiC ilavesi ile sertlik, yüksek sıcaklık dayanımı ve oksidasyon direncinin artmasının

yanında ısı iletme kabiliyetinin azalması ve kaynaklanmama eğilimi sağladığından çelik gibi malzemeler daha ekonomik işlenebilir.

Sert metallerde talaş yüzeyi aşınması ve kaynaklanma eğilimi TaC (NbC) ilavesi ile de azaltılır. Ayrıca TaC içerikli WC-Co alaşımları WC-TiC-Co alaşımlarından daha sünek ve kenar dayanımı daha yüksektir dolayısıyla bunlarda ulaşılabilecek kesme gücü daha azdır. Fakat TiC ve TaC'ün birlikte kullanılması ile daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Bu takımlarda Co yanında TiC/TaC içeriği arttıkça elastik modülü ve sertliği düşmektedir. Sinterlenmiş karbürlerin hem sertlik hem de basma dayanımı sıcaklık arttığında düşmektedir.

**Kaplamalı Karbür Uçlar;** daha iyi kesme işlemi için yapılan araştırmalar, sinterlenmiş karbürli takımların TiC, TiN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> malzemelerle değişik metotlarla kaplanmasına yöneliktir. Kaplanmış karbür uçlar daha uzun takım ömrü, daha fazla üretim artışı, daha kolay talaş akmasını sağlamaktadır. Kaplama; kesme kuvvetini, oluşan ısıyı ve aşınmayı büyük oranda azaltarak geçici bir yağlayıcı görevi yapmaktadır. Bu, özellikle daha kaliteli bir yüzey elde edilmek istendiğinde, kesme esnasında daha yüksek hızların kullanılmasına imkan sağlar. Kaplamanın yağlayıcı ve talaş yapışmasını önleyici özelliği talaş kaldırmada oluşan gerilme ve ısı miktarını büyük oranda azaltır, dolayısıyla takım ömrünü hayli arttırmaktadır.

Kaplamalı kesicilerin kullanımı, karbür uçlar üzerine çok ince sert bir tabakanın kimyasal buhar çökertme (CVD) metoduyla kaplanmasıyla 1980'li yıllarda başlamıştır. Bu metot ile, takım üzerine yaklaşık 10 µm'den daha az kalınlıkta ince bir tabaka sıkıca bağlanmakta, kaplama maddesi olarak TiC, TiN, Ti(C, N), H<sub>3</sub>N ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kullanılmaktadır.

Günümüzde tek yerine çok katmanlı kaplamalar tercih edilmektedir. TiN daha düşük sürtünme katsayısı verdiği, BUE'yi azalttığı için ve daha ince olduğundan dış tabakada, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığı ve abrasive aşınma direnci sağladığından dolayı ikinci katman olarak ve TiC ise ana malzeme üzerine, dayanım ve aşınma direnci daha iyi olduğu için, ilk katmanı oluşturmaktadır.

İlk kaplama işleminde, gri renkli TiC kaplama maddesi, metan titanyum tetraklorür ve hidrojen arasında reaksiyona sokulur. Sıcaklığı yaklaşık 1000°C olan bir fırında sinterlenmiş karbür ana malzemesi yüzeyine 0.005 mm kalınlığında TiC katmanı kaplanır. Bu işlemle, kaplanmamış takım sertliğine göre 3 kat artış ve takım ömründe ise yaklaşık 5 kat artış sağlanmıştır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalar TiC'den daha kolay fark edilebilir fakat yalıtıcıdır. Ancak karbür ve nitrür katmanları iyi iletkenlik özelliğine sahiptir. Metan içine azot konularak titanyum nitrür (TiN) kaplama yapılabilir. Sıcaklık, gaz konsantrasyonu ve akma usulü gibi kritik değişkenlerin kontrolü, ana malzemeye kaplamanın yapışıp yapışmadığından emin olmak için gereklidir. Ana malzemeye yapışan kaplamanın, kesme basınçlar ve sıcaklık şartlarını kopma olmadan sürdürmesi için diğer kaplama uygulamalarından daha iyi olması lazımdır.

TiC, TiN ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamaların aşınmaya dirençli olması, kesici yüzeyinde yapışmanın olduğu yerde difüzyon aşınmasına karşı direnç göstermesinden kaynaklanmaktadır. Ancak ani durumlarda yüksek hızda çelik kesilirken kaplamalar yüzeydeki yapışıklığı önleyememekte fakat düşük hızda talaş yığılmasını ortadan kaldırılabilmektedir. Talaş kaldırma miktarı, özellikle, çok sert malzemelerin işlenmesinde ana malzemenin basma gerilmesi özelliği ve kesme kenarının sıcaklığı ile sınırlı kalmaktadır. Değişik kaplamaların yan kenar ve krater aşınmaya karşı

dirençlerinde bazı farklılıklar mevcut bulunmaktadır. Örneğin, çeliklerin işlenmesinde krater aşınmaya karşı TiN, TiC'den daha dayanıklı olurken, yan kenar aşınmaya karşı TiC daha dayanıklı olarak ortaya çıkmaktadır. Alumina kaplamalı kesicilerin krater ve yan kenar aşınmaya karşı dirençlerinin, karbür ve nitrür kaplamalı takımlardan pek farklı olmadığı görülmektedir. Fakat alumina kaplamalı takımların krater aşınması, difüzyondan ziyade plastik deformasyondan kaynaklanmaktadır<sup>(9)</sup>.

### **1.7.5. HSS**

Genel kullanımda yüksek hız çelikleri en düşük sertliğe ve en yüksek tokluğa sahiptirler. En büyük dezavantajları sertliklerinin doğal olmayıp ısıl işlem sonrası oluşmasıdır. Kesme kenarındaki sıcaklık 600 °C'ye ulaştığında HSS'lerde yumuşama görüldüğünden kenar hızla aşınır. Bu sebepten maksimum 50 m/dk gibi son derece düşük kesme hızları ile sınırlıdır.

Bugün sanayileşmiş ülkelerde tornalama işlemlerinde HSS kullanımı %10'u geçmez. En geniş kullanım alanları delik delmede matkap ucu olarak kullanılmalarıdır. Delme işlemleri %80 HSS malzemelerle yapılır. Bunun en büyük sebebi delik delmede sert metal matkap uçlarının ihtiyaç duyduğu yüksek rijitlik ve yüksek güçlü makinelerin yaygın olarak kullanılmamalarıdır. İkinci en yaygın kullanım alanı ise parmak freze, kanal freze ve alın frezeleme işlemleridir.

CNC tezgahlarda frezeleme ve delme işlemlerinin daha rijit ve daha hızlı yapılabilmesine olanak sağlayan sert metal uçların kullanımının artmasına rağmen HSS takımlar halen yaygındır.

HSS malzemelerin daha yüksek hızlarda kullanımını sağlayan diğer bir gelişme ise takım üzerine uygulanan çok ince bir TiN kaplamadır. Böylece matkap uçlarının daha yüksek hızda ve ilerlemede kullanımı sağlanmıştır. TiN kaplama 3 mikron kalınlığında, altın renkli, oldukça sert ve rijit bir yapı gösterir. PVD (Fiziksel Buhar Çökertme) denen yöntemle 500 °C'nin altındaki sıcaklıklarda kaplama gerçekleştirildiğinden takımın sertliği etkilenmez.

HSS çelikler genelde üçe ayrılır. Bunlardan ilki tungsteni (W) temel alaşım malzemesi olarak kullanır ve İngiltere'de "T" serisi olarak adlandırılırlar. İkinci tip, daha az tungsten ve ana alaşım metali olarak molibden (Mo) içerir ve "M" serisi olarak bilinir. Üçüncü tip ise kobalt (Co) içerir ve hem T hem de M serisine dahil edilebilir.

Kobalt içermeyen T serisi M serisi kadar tok değildir, fakat ısıl işlemi daha kolaydır. M serisi özellikle matkap ucu ve parmak freze malzemesi olarak tercih edilir. Kobalt ilavesi malzemenin sıcak sertliğini ve aşınma direncini artırırken tokluğunu azaltır. Kobalt içeren HSS çelikleri 275 HB üzerindeki sertlikteki çeliklerin işlenmesinde avantajlıdır.

HSS çeliklerin ısıl işlem sonrası sertlikleri Rockwell cinsinden belirtilir ve 62 – 68 HRC arasındadır. Fakat daha sert kaplama ve malzemelerin sertlik ifadesi Vickers cinsinden belirtildiğinden HSS çeliklerini de 800 – 900 Hv sertlik ölçüsü aralığında ifade edebiliriz.

Matkap ve kılavuz imalatında M2 HSS çelikleri en popüler alaşımıdır. Standart kılavuzlarda çok başarılı bir uygulama alanı bulmuştur. Yaklaşık 1000 Hv sertliğindeki daha sert T42 malzemesi ile kesme kenarındaki abrasif aşınma direncinin yüksek olması gerektiği durumlarda kullanılır. Yüksek sıcaklık



malzemelerinin işlenmesi durumunda olduğu gibi sıcak sertliğin gerekli olduğu uygulamalarda M42 kullanılır. Avrupa kıtasında benzer özellikli M35 tercih edilir.

M42, aynı zamanda kaplamalı konvansiyonel HSS çelik uçlar için iyi bir zemin oluşturmuştur. M35 ise TiN kaplı toz metal HSS'ler için uygundur<sup>(37)</sup>.

YIL	ALAŞIM İÇERİĞİNİN GELİŞMESİ
1903	%0.7 C, %14 W, %4 Cr Modern HSS prototipi
1904	%0.3 V ilave edilmesi
1906	Elektrik fırınının uygulamaya konulması
1910	İlk AISI T1 18-4-1 kimyasal bileşiminin başlaması
1912	Sıcak sertliğin artırılması için %3-5 Co ilave edilmesi
1923	Kesme hızlarını arttırmak için %12 Co ilave edilmesi
1939	Süper HSS için C ve V eklenmesi
1940-1952	Tungsten yerine Molibden kullanılmaya başlanması (M4 ve T15)
1953	Sülfür katılması
1961	Süper sert HSS'in yüksek C ve Co içermesi (M40 serisi)
1970	Toz metallurjisi tekniği ile HSS üretiminin başlaması
1973	Sertliği arttırmak için M7'ye daha yüksek oranda SiN ilavesi
1980	Kobaltsız süper HSS'lerin kullanılması
1982-1990	Hss kesici takımların Alüminyum ile modifiye edilmesi

**Çizelge 1.7.** HSS kesici takımların tarihsel gelişimi

**HSS'lerin Özellikleri;** M veya T türüne bakılmaksızın HSS'ler fiziksel olarak oldukça fazla benzerliklere sahiptir. Bunlar şöyle sıralanabilir;

- \* Hepsi yüksek alaşım içeriğine sahiptir,
- \* Genellikle 64 HRC sertliğe müsaade etmesi için yeterli oranda C içerirler,
- \* Bunlar merkezden yüzeye üniform sertliğe sahiptir,
- \* Bunların hepsi yüksek sıcaklıkta sertleşebilir<sup>(9)</sup>.

## **1.8. Takım Çelikleri**

Düşük alaşımlı (ucuz) çeliklerin yetersiz kaldığı uygulamalarda yüksek alaşımlı ve çeşitli uygulamalar için spesifik özellikler taşıyan ve çoğunlukla takım imalatında kullanılan daha pahalı malzemelerdir.

Takım çelikleri talaşlı veya talaşsız imalatta kullanılan, sıcak veya soğuk haldeki iş parçasını kesme, dövme ve sıkıştırma yöntemlerinden biri veya birkaçı ile biçimlendiren yüksek nitelikli çeliklerdir.

Bir çeliğin takım çeliği olarak kullanılmasının koşulu onun ısıl işlemidir. Başarılı bir ısıl işlem olmadan kullanılan takım çeliğinin gerçek performansını elde etmek mümkün değildir. Hatalı ısıl işlem takım çeliğinden çok büyük emeklerle üretilen kalıp-takım vb. gibi parçaların çoğu zaman geri dönülmez bir şekilde hasar görmesine neden olur . Başlıca üç ana bölüme ayrılan takım çeliklerinin adları kullanım amaçlarını da belirler.

### **Takım Çeliklerinin Genel Olarak Özellikleri;**

- \* Yüksek Mukavemet
- \* Yüksek Aşınma Direnci
- \* Yüksek Sertlik
- \* Yüksek Sertleşebilirlik
- \* Yüksek Süneklik ve Tokluk
- \* İyi Yüksek Sıcaklık Özellikleri
- \* Düşük Isıl Genleşme
- \* Yüksek İşlenebilirlik
- \* İyi Kaynaklanabilirlik
- \* İyi Parlatılabilirlik.

### 1.8.1. Soğuk İş Takım Çelikleri

Çok yüksek nitelikler gereken yerlerde ve nispeten düşük sıcaklıklar (200 °C'yi aşmayan) için kullanılırlar. Örnek olarak kesme kalıpları, kesme takımları, talaşlı imalat takımları, makina bıçakları, ölçü aletleri, plastik işleme takımları, keskiler, çapak alma takımları verilebilir.

**Soğuk İş (Yağda Sertleştirilmiş) Takım Çelikleri (O Tip);** bu takım çelikleri aşınma direnci ve tokluğun önemli olduğu kalıp uygulamaları ve soğuk iş takımlarında yaygın olarak kullanılır. Yağda sertleştirilmiş soğuk iş takım çelikleri en sık kullanılanlardır. Yüksek hızla soğutulmuş sertliğe, düşük su verme sıcaklığından yüksek sertleşebilirliğe, girintili çıkıntılı kesitlerin hızlı soğutulmasında çatlakların oluşmamasına ve kesme işlemleri için kesici uçların korunması gibi özelliklere sahiptirler. Buna karşın bu çelikler yüksek hızda kesme veya sıcak iş için kullanılmazlar.

En yaygın olanlarından birisi O1'dir. Bu çelik yüksek manganla beraber %0.5 Cr ve %0.5 W içeriğine sahiptir. Bu elementler çeliğin sertleştirilebilirliğini artırarak suda soğutmayı önleyebilir. Suda soğutma hızından daha yavaşta olsa yağda soğutma ile martenzitik yapı elde edilir. Bu surette boyut değişimi, çarpılma ve çatlak tehlikesi suda soğutmadan daha azdır. Buna karşın yağda soğutma ile oluşabilecek boyutsal değişim havada soğutma ile elde edilebilecek olandan daha fazladır.

AISI Tipi	% C	% W	% Mn	% Cr	% Diğer
O1	0.90	0.50		0.50	1.00 Mn
O2	0.90				1.60 Mn
O6	1.45		0.25		1.80 Mn-1.00 Si
O7	1.20	1.75		0.75	

**Çizelge 1.8.** O tipi takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları

O1 takım çeliği tavllanmış şartlarda ferrit ve küreselleştirilmiş karbürlerden oluşur. Karbürlerin çoğunun 815 °C’de östenitleşme sırasında çözülmesine karşın yapıda hala küçük bir miktar karbür, beynit ve kalıntı östenit bulunur. Yağda sertleştirilmiş çeliği 150 °C’de 2 saat temperledikten sonra bazı çözünmemiş karbürlerle martenzitik bir matris oluşur. Burada östenitleşme sıcaklığı önemlidir. Yüksek sıcaklıkta östenitleşme yapılırsa kaba bir yapı elde edilir.

### **Soğuk İş (Orta Alaşım, Havada Sertleştirme) Takım Çelikleri (A Tipi);**

Havada sertleştirilmiş soğuk iş takım çelikleri özellikle gerdirme, biçimlendirme ve çekme kalıpları gibi oldukça iyi aşınma direnci ve tokluğun gerekli olduğu uygulamalar için uygundur. Bu çelikler karmaşık kalıplar için de kullanılabilir. Çünkü bu çeliklerin sertleştirme ve temperlemeden sonraki boyutsal değişikliği yaklaşık yağda sertleştirilenin 1/3 katıdır.

Havada sertleştirilen soğuk iş takım çeliklerinde prensip olarak alaşım elementleri %1-2 C’na ilaveten krom, mangan, molibden, vanadyum ve nikeldir. Bu serinin iki önemli alaşımı A2 ve A4 alaşımalarıdır.

AISI Tipi	% C	% W	% Mn	% Cr	% V	% Diğer
A2	1.00		1.00	5.00		
A3	1.25		1.00	5.00	1.00	
A4	1.00		1.00	1.00		2.00 Mn
A6	0.70		1.25	1.00		2.00 Mn
A7	2.25	1.00	1.00	5.25	4.75	
A8	0.55	1.25	1.25	5.00		
A9	0.50		1.40	5.00		1.50 Ni-1.80 Mn
A10	1.35		1.50			1.25 Si-1.80 Ni

**Çizelge 1.9.** A tipi takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları

Havada sertleştirilen A2 tip takım çeliği aşınma direncinin daha önemli olduğu yerlerde takım uygulaması olarak kullanılır. Krom, molibden ve vanadyum alaşım elementlerinin östenitte çözünmesi bu çeliğin sertleşebilirliğini yükseltir. Bu alaşımla

büyük kesitlerdeki parçalar 968 °C gibi yüksek sıcaklıklarda östenitlendikten sonra güvenli bir şekilde havada soğutulabilir. Ancak yavaş soğutmada beynit oluşumu söz konusu olabilir. Bu durumda 540 °C'de tuz banyosunda soğutma yapılarak bu oluşum önenebilir.

Tavlanmış şartlarda A2 takım çeliğinin mikroyapısı düşük alaşımlı ferrit ve ağırlıkça %15 karbürden oluşur. Bu çeliklerin östenitleştirilmesi 970 °C'nin üzerinde gerçekleştirilir. Çünkü alaşım karbürlerinin çoğu yaklaşık 927 °C'de çözünmez. Östenitleştirmeden sonra karbon, krom, molibden ve vanadyumun çoğu östenitte çözünür. Buna karşın yaklaşık %5 karbür geri kalır. Alaşımın iki kez temperlenmesi kalıntı östenit miktarını azaltarak oda sıcaklığında östenitin martenzite dönüşmesini sağlar, bu boyutsal değişimin önlenmesi için gereklidir.

Eğer A2 takım çeliği östenitleme sırasında aşırı ısıtılırsa, örneğin 1010 °C, ergimiş karbürler kapsayan kaba tane yapısı elde edilmiş olur. Böyle bir durum istenmez çünkü istenilen sertlik değerine bu yapı ile ulaşılamaz. Alaşım oda sıcaklığına soğutulmadan önce temperlendiği zaman da istenmeyen bir yapı elde edilir. Bu durumda alaşım aşırı sert olur ve boyutsal farklılık oluşur.

**Soğuk İş (Yüksek Karbon) Takım Çelikleri (D Tipi);** yüksek karbon, yüksek krom takım çelikleri 1915'de ABD'de tanıtılmış ve orijinal olarak muhtemelen yüksek hız takım çeliklerinin yerini alması için geliştirilmiştir. Bu çelikler yüksek kesme hızlarında etkili sertliğe sahip olmadıklarından ve de çok kırılğan olduklarından bu amaç için çok sınırlı kalmışlardır. Buna karşın yüksek aşınma dirençleri ve deforme olmayan özellikleri ile soğuk çalışma kalıp çelikleri için oldukça iyi kullanım alanı bulmuştur. Bu çelikler bugün de kullanılmakta olup D tipi olarak da bilinmektedir.

AISI Tipi	% C	% W	% Mo	% Cr	% V	% Diğer
D2	1.50		1.00	12.00	1.00	
D3	2.25			12.00		
D4	2.25		1.00	12.00		
D5	1.50		1.00	12.00		3.00 Co
D7	2.35		1.00	12.00	4.00	

**Çizelge 1.10.** D tipi takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları

D tipi takım çeliklerinin yüksek aşınma dirençleri yüksek krom ve karbon (%12 Cr, %1.5-2.3 C) içermelerinden dolayıdır. Bunların arasındaki farklılık karbon içeriklerinin farklı olmasından kaynaklanır. Bu çelikler yüksek sıcaklıklarda oksidasyona karşı koydukları gibi sertleştirilip parlatıldıklarında da lekelenmeye karşı iyi bir dirence sahiptirler.

Bu çeliklerde farklı tipler elde etmek için az miktarlarda molibden, vanadyum, kobalt, tungsten ilave edilir. Molibden sertleşebilirliği arttırdığı gibi tokluğu da iyileştirir, ancak kalıntı östenit miktarına hemen hemen hiç etki etmez. Vanadyum tane boyutunu inceltir fakat %0.8'den fazla katıldığında sertleşebilirliği azaltır. Kalıntı östenit miktarını azaltır ve tokluğu artırır.

Bu tip çeliklerin sertleştirilmesinde tuz banyoları yada atmosfer kontrollü fırınlar kullanılır. D2 çeliğinde %8 Mo ilavesi perlitin oluşmasını kısıtlayarak havada soğutma ile tam sertlik eldesi sağlar. D2 çeliği yüksek sıcaklıklarda östenitlenir ve temperlenirse sertlikte düşme görülür. Bunun nedeni daha çok karbür ve kromun östenit içeriğine dahil olmasıdır.

### 1.8.2. Sıcak İş Takım Çelikleri

Yüksek sıcaklık altında sertliğini yitirmeyen çeliklerdir. Genel olarak yüzey sıcaklığı 200 °C'yi geçen 300 – 600 ° C arası ısıya tabi takımlarda kullanılır. Örnek

uygulama: döküm kalıpları, sıcak kesme takımları, delici zımbalar, kalıplar, kalıp ve boru presleri, pres mandrenleri. Bu takım çelikleri için aşağıdaki özellikler önemlidir:

\* Sıcak iş sıcaklıklarında deformasyona direnç. Karbonlu çelikler böyle sıcaklıklarda yumuşar ve zayıflar bu nedenle yüksek sıcaklıklarda kullanılmazlar.

\* Mekanik ve termal şok direnci. Bu takım çeliklerinin şok direncini arttırmak için karbon içeriği alt seviyede tutulur.

\* Yüksek sıcaklıklarda aşınma direnci.

\* Isıl işlem deformasyonuna direnç. Komplike kalıplar ısıl işlem sırasında çarpılmamalıdır. Bu problem yüksek sertleşebilirlikteki bir çeliğin kullanılması ile çözülebilir.

\* Takım yüzeyinde ince ve derin olmayan çatlaklara karşı direnç.

AISI Tipi	% C	% W	% Mo	% Cr	% V	% Diğer
H10	0.40		2.50	3.25	0.40	
H11	0.35		1.50	5.00	0.40	
H12	0.35	1.50	1.50	5.00	0.40	
H13	0.35		1.50	5.00	1.00	
H14	0.40	5.00		5.00		
H19	0.40	4.25		4.25	2.00	4.25 Co
H21	0.35	9.00		3.50		
H22	0.35	11.00		2.00		
H23	0.30	12.00		12.00		
H24	0.45	15.00		3.00		
H25	0.25	15.00		4.00		
H26	0.50	18.00		4.00	1.00	

**Çizelge 1.11.** H tipi takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları

Bu takım çeliklerinin üç esas tipi vardır. Krom, tungsten ve karbon esaslı sıcak iş takım çelikleri. H11, H12 ve H13 gibi %5 Cr içeren sıcak iş çelikleri yüksek sertleşebilirliğe sahiptir. Oldukça geniş kesitler havada soğutulduklarında boyutsal

değişikliğe uğramazlar. Ayrıca bu çeliklere silisyum ilavesi ile yüksek sıcaklıklarda oksidasyon direnci kazandırılır<sup>(35)</sup>.

### 1.8.3. Plastik Kalıp Çelikleri

Çeliklerin temel alaşım elementi olan karbon, çeliklerin üretim işlemleri sırasında yapıdaki yerini alır. Karbon miktarı, çeliklerin mekanik özelliklerini en çok etkileyen faktördür. Karbon, çeliğin akma ve çekme mukavemetini artırır, yüzde uzamayı, şekillenebilirliği ve kaynak kabiliyetini azaltır. İşlenebilirliğin ön planda olduğu çeliklerde karbon miktarı düşük tutulmalı, dayanım değerlerinin yüksek olması gerektiği durumlarda ise çeliğin karbon içeriği yüksek olmalıdır.

Krom paslanmaz çeliklerin temel alaşım elementidir. Krom, korozyon ve oksidasyon direnci sağlar. Sertleşebilme kabiliyetini artırır. Yüksek karbonlu çeliklerde aşınma direncini yükseltir. Krom karbon ile tane sınırlarında biriken  $Cr_{23}C_6$  bileşimini oluşturur. Oluşan bu bileşik paslanmaz çeliklerde tane sınırlarındaki krom miktarını paslanmazlık sınırı olan %12 nin altına çeker. Bu bileşik yüksek sıcaklıklarda karbon yayılımının hızlanması ile kolayca meydana gelir ve kaynaklı paslanmaz çeliklerde, kaynak dikişi yakınlarında kaynak bozulmalarına neden olur.

Molibden tane büyümesini önler, sertleşebilme kabiliyetini artırır. Meneviş gevrekliğini giderir. Meneviş sıcaklığından yavaş soğumalarda bazı alaşımların tane sınırlarında karbür çökmesi meydana gelir, bu da kırılabilirliğe neden olur. Molibden bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırır. Ayrıca molibden çeliklerin sürünme dayanımına ve aşınma direncini yükseltir. Alaşımli takım çeliklerinde önemli bir alaşım elementidir.



Nikelin darbe tokluğunu ve tavlı çeliklerde dayanımı artırır. Nikel östenitik paslanmaz çeliklerin kromdan sonra ikinci en önemli alaşım elementidir. Östenitik paslanmaz çeliklerde ki nikel miktarı %7-20 arasındadır. Nikel östenit kararlaştırıcı bir elementtir ve östenitik paslanmaz çeliklerin, adından da anlaşılacağı gibi oda sıcaklığında bile kafes yapısı YMK'dir. YMK kafes yapısı östenitik paslanmaz çeliklere yüksek şekillendirilebilme özelliği kazandırır.

Mangan da karbon gibi üretim işlemlerinde çelik yapısında yer alan bir elementtir ve çeliğin dayanımını arttıran etki gösterir. Bunun yanında sertleşebilme ve kaynak kabiliyetini de artırır, östenit kararlaştırıcı bir elementtir. Manganın en önemli özelliği kükürtle MnS bileşiği yapması ve demir kükürt FeS bileşiği oluşumunu engellemesidir. FeS sıcak kırılma eğilimine neden olur.

Silisyum oksijen giderici olarak kullanıldığı için çelik içinde yer alır. Çeliğin akma, çekme dayanımını ve elastikiyetini artırır. Çelik yapısındaki silisyum miktarı azaldıkça tufal yapma oranı artar. Silisyum ucuz bir alaşım elementidir, yaygın olarak yüksek elastikiyet gerektiren yay çeliklerinde kullanılır. Ayrıca elektriksel akım zayıflığını önleyen bir elementtir. Silisyum miktarı fazla olan filmaşınlar çok küçük çaplara indirilmeleri zordur. Çünkü silisyum, malzeme tel haline getirilirken teli sertleştirir ve kopmalara neden olur. Filmaşınlerde bu yüzden düşük silisyum tercih edilir.

#### **1.8.4. Paslanmaz Çelikler**

Paslanmaz çelikler kendi başına bir malzeme grubu oluşturur. En belli başlı alaşım elementi %12'nin üzerinde bir yüzdeye sahip kromdur. Krom, yüzey üzerinde bir oksit tabakası oluşturması nedeniyle paslanmaz çeliklerin en önemli parçasıdır.

Paslanmaz çelikler korozyona karşı dirençleri ile tanınmışlardır. Bu direnç genellikle krom yüzdesinin artışı ile doğrusal olarak artar. Karbon yüzdesi yeterince yüksek ise, paslanmaz çelikler aynı karbon çelikleri gibi sertleştirilerek mukavemet kazanırlar.

Birçok paslanmaz çelik önemli oranlarda diğer alaşım elementlerini de içerir. Bunun amacı genellikle yapıyı değiştirmek, korozyon direncini ve diğer özellikleri iyileştirmek ve çeliğin mukavemetini arttırmaktır. Bazı özellikler doğrudan yapı ile ilişkilidir.

Yapılarına bağlı olarak paslanmaz çelikler sistematik olarak 3 ana gruba ayrılırlar:

- \* Ferritik
- \* Martenzitik
- \* Östenitik

Ana alaşım elementi olan krom bir ferrit oluşturucu olup, ferritin yapısını değiştirmez. Bu nedenle paslanmaz krom çeliklerinin saf demire benzeyen özellikleri vardır. Nikel yapıyı ve mekanik özellikleri etkileyen bir elementtir. Bir stabilizatör görevi görür ve sertleştirilebilirliği artırır. Nikel yüzdesi yeterince yüksek ise paslanmaz çelikler östenitik bir yapıya sahip olurlar. Böyle bir yapı mekanik özelliklerde önemli değişikliklere yol açar: daha iyi işlenebilirlik, tokluk, yüksek sıcaklıklarda mukavemet, kaynak edilebilirlik, korozyon direnci gibi. Bu yapıdaki çelik manyetik özelliğini kaybeder.

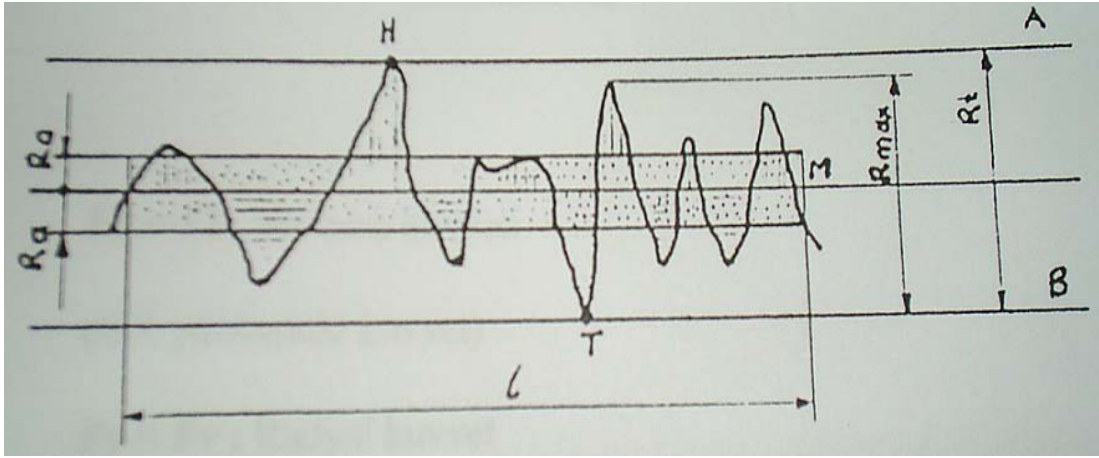
Molibdenin yapı üzerinde kromun etkisine benzer bir etkisi vardır. Molibden genellikle mukavemet ve korozyon direncini artırır. Bu çelikler aside dayanıklı çeliklerdir. Azot, östenitik çeliklerin mukavemetini artırır ve yapı üzerinde nikelin etkisine benzer bir etkide bulunur. Bakır belirli asitlerde korozyon direncini

iyileştirir. Titanyum ve niyobyum karbonu bağlayarak çeliği stabilize eder. Diğer alaşım elementleri mangan, titanyum ve silisyumdur.

Östenitik, ferritik/östenitik birçok paslanmaz çelik için bir düşük, birde yüksek kesme hızı aralığı mevcuttur (40 – 90 m/dk ve 180 – 400 m/dk). Bu değerlerin arasındaki kesme hızı değerleri yığılma kenar oluşumunun gerçekleştiği değerlerdir.

Genellikle paslanmaz çelik içerisindeki alaşım miktarı arttıkça, işleme o derece zorlaşır ve işleme maliyeti o derecede artar. Malzeme özellikleri ile ilgili talepler (örneğin korozyon direnci) bazı uygulamalarda işlenebilirliği arttıran katkı malzemelerinin (Si, Pb gibi) miktarını sınırlar.

### 1.9. Yüzey Pürüzlülüğü



Şekil 1.18. Yüzey pürüzlülük grafiği

Talaş kaldırma işleminde, tezgaha girişlerin ve tezgaha dahil diğer önemli işlemlerle birlikte çıkışlarında dikkate alınması gerekir. Bunlar arasında kesici takım malzemeleri, işlenecek iş parçası, tezgahın kinematığı, stabil olması, ve ekonomikliği sayılabilir. Bunlara ilaveten gerekli hassasiyet ve yüzey pürüzlülüğü son amacı belirlediğinden en önemli çıkış parametresidir. İmalatta işlenmiş yüzey

hassasiyetinin elde edilmesi her zaman önemli çıkış parametrelerinden biri olmaktadır. Yüzey hassasiyeti pek çok parametreyi içine alan bir terim olup bunlar özetle yüzey bitimi ve çatlaklardan arınma, kimyasal değişme, yanma, dönüşme ve aşırı temperleme şeklinde termal hasar ve kalıcı çekme gerilmesi olarak sayılabilir. Bunlardan ilki yani son bitirme yüzeyi talaş kaldırma işleminde en önemlisi olup diğerleri esas olarak taşlanmış yüzeylerle ilgilidir. Son yüzeylerin çok önemli olduğu yerde özellikle makine imalatında ve özdeş parçaların imalatında bitirme işlemi tamlığının her zaman dikkatle tasarlanması gerekmektedir.

Talaş kaldırma işleminde amaç, parça yapım resminde belirtilen tolerans derecesine göre parçaların istenilen geometrik ölçü ve yüzey kalitesinde imal edilmesidir. Makine parçasının geometrisi, boyutu ve yüzey kalitesi işleme kalitesini oluşturur. Ancak parça yapım resminde gösterilen ideal ölçülere göre üretimi tamamlanan parça üzerinde boyut, yüzey kalitesi ve geometrisi yönünden bazı hatalar ortaya çıkabilir. Bu hatalar “tolerans” olarak adlandırılır ve parçanın kullanıldığı yere göre müsaade edilen belli bir değerde tutulduğu takdirde parçanın çalışmasına engel teşkil etmez. Bu toleranslarda parçanın hem boyutu hem de yüzey kalitesini meydana getirirler. Ancak hatalar (toleranslar) ne kadar küçük olursa o kadar yüksek yüzey kalitesi elde edilir. Başka bir deyişle, toleranslar ne kadar büyük, yani kaba olursa, o derecede düşük yüzey kalitesinde parça imal edilir.

Kesme maliyeti ile toleranslar arasında ters bir ilişki vardır. Çünkü toleranslar büyüdükçe parça maliyeti büyük oranda azalır. Fakat parçanın fonksiyonunu yerine getirmesi yüzey kalitesi toleransların küçülmesi ile artar. Bu nedenle imalat mühendisliği açısından parçaların kullanılacağı yere göre ekonomiklikte dikkate alınarak parçanın uygun yüzey kalitesinde işlenmesini gerçekleştirecek üretim

metodu yanında yüzey kalitesi tolerans ve maliyet arasında bir uzlaşma sağlayacak şekilde belirlenmelidir.

**Yüzey Yapısı Kalitesi ve Ölçümü;** pürüzlülük veya kabalık; imalat işlemlerinden kaynaklanan genellikle daha ince düzensizliklerden oluşur. İlerleme izleri dahil diğer belirsizlikler örnekleme uzunluğunu sınırlar.

Dalgalık; dalgalık, pürüzlülük örnekleme uzunluğundan daha büyük olan geniş aralıklı düzensizlikleri kapsar ve dalgalık, tezgah, iş parçası defleksiyonu, otlama, titreşim, ısıl davranış veya kesici takım aşınmasından ileri gelebilir. Pürüzlülük dalgalı bir yüzey üzerinde konumlanmış olabilir her ikisi de aynı anda görülebilir. İzlerde, yüzey işleme tarzının doğrultusu normal olarak kullanılan üretim metodu ile belirlenir.

Hatalar; hatalar, bir yerde olan amaçsız düzensizlikler veya yüzey üzerinde geniş aralıklı olarak oluşabilir. Fakat sıkça oluşmayabilir. Yüzey üzerinde bulunan bu kusurlar; çatlaklar, delikler, artıklar, menteşeler ve çizgiler şeklinde olup bütün bunları kapsar. Aksi belirlenmedikçe kusurların etkisi ortalama pürüzlülük ölçüsüne dahil edilmez.

Bitirme yüzeyi; bir yüzeyin genel kalitesini göstermek için kullanılan geniş bir terimdir. Bitirme yüzeyi, yüzeyin karakteristik tarzı olup yapıya özel değildir veya spesifik pürüzlülük değerine bağlı değildir. Ancak "iyi bitirme yüzeyi" düşük pürüzlülük değerlerini ve terside her zaman "yüksek pürüzlülük" değerlerini gösterir.

**Ölçme ve Gösterilmesi;**  $R_a$ , uluslar arası benimsenmiş sembol olup pürüzlülük değerini gösterir. Ancak yüzey pürüzlülüğü hala bazen AA, veya CLA veya  $R_t$ ,  $R_z$  şeklinde gösterilmektedir. Ölçme aygıtları hala pürüzlülük merkezinden ortalama ayrılmayı kullanır.  $R_q$  ise ortalama karekök olarak belirtilir ve 1950'li yıllardan beri

hala kullanılmaktadır.  $R_a$ , ortalama profil doğrusundan y aritmetik ortalama olarak sapmasıdır. Bu normal olarak birkaç tane birbiri ardı sıra örnekleme uzunlukları (L) sonuçlarının ortalaması alınarak belirlenir.  $R_q$  ise ortalama karekök parametresine karşılık gelir.

$R_t$ , değerlendirme uzunluğu içinde maksimum tepe-çukur yüksekliğini gösterir.  $R_{max}$ , örnekleme uzunluğu (L) içinde maksimum tepe-çukur yüksekliğidir. Fakat yüzey üzerindeki bir parçacığı veya sahte izlerden bu değerler etkilendiği için birbiri ardı sıra 5 örnekleme uzunluğunun ortalamasının ( $R_{tm}$ ) kullanılması daha geneldir.

$R_z$ , 10 nokta yüksekliği olup örnekleme uzunluğu içinde 5 derin çukur ve 5 en yüksek tepe noktaları arasında ortalama mesafeyi gösterir. Fakat buna dik olarak ölçülür.

$R_p$ , ise örnekleme uzunluğu içinde ortalama doğrudan maksimum profil yüksekliğidir.  $R_{pm}$  ise 5 örnekleme uzunluğu üzerinde belirlenen  $R_p$ 'nin ortalama değeridir.

**Yüzey Kalitesini Etkileyen Faktörler;** genellikle yüzey kalitesine etki eden faktörler şöyle özetlenebilir. Bunlar;

- \* Takım tezgahının yeterli rijitlikte olmaması, tezgahın kinematik mekanizması,
- \* Yataklama sisteminden kaynaklanan tezgah hataları,
- \* Takım tutucu ve katerin rijit olmaması ve imalat hataları,
- \* Takım konumlama ve bağlama hataları,
- \* Takım aşınmasından kaynaklanan hatalar,
- \* Çevrenin etkisiyle oluşabilen hatalar<sup>(9)</sup>.

## 1.10. Önceki Çalışmalar

A. M. Abroa ve D. K. Aspinwal, tormalanmış ve özüne kadar sertleştirilmiş yatak çeliğinin bitirme tormalamasındaki işleme şartlarını taşlama ile karşılaştırarak yüzey etkilenmesini yorumlamışlar, yüzeydeki yapı farklılıklarını, sertlikteki değişimleri, kalıcı gerilme dağılımını, yorulma ömrü gibi kriterleri dikkate almışlardır. En iyi yorulma direncini PCBN kesici takımların kullanımında ve en sonda taşlama işleminde görmüşlerdir<sup>(47)</sup>.

R. Dewes, sert çeliklerin işlenmesinde kesici takımla iş parçası sıcaklığının takım aşınmasına etkilerini araştırmış, takım ömrünü hem tormalama hem de frezeleme için ayrı ayrı bulmuş, sertleştirilmiş E 52100 çeliğinin PCBN takımlarla işlenmesinde kesme bölgesinde 1550 °C'ye ulaşan sıcaklıklar gözlemiş, tormalama ve frezelemede takım ömrünü aynı değerde bulmuştur<sup>(48)</sup>.

R. C. Dewes ve diğerleri, 52 HRC'ye sertleştirilmiş kalıp çeliklerinin 2000 d/d'lık hızla işlenmesinde sıcaklığın ölçülmesi çalışmalarında , sıcaklığı enfraruj ve termokupl teknikleri kullanarak ölçmüşler, PCBN kesicilerde kaydedilen takım iş parçası temas noktası ile talaştaki sıcaklıkları nispeten (200-400 °C) düşük bulmuşlardır<sup>(49)</sup>.

Wuyi Chen, 45-55 HRC orta sertlikteki çeliklerin CBN takım kullanılarak işlenmesinde; yüzey işleme ve bitirme çalışmasında radyal itmeli kesme kuvvetlerinin en büyük etkili kesme kuvveti olduğunu, kesici kenar geometrisi ve takım aşınmasına en hassas olduğunu, kesme hızının takım aşınması ile iş parçasının plastik davranışının yüzey kalitesine tesir ettiğini belirlemiştir<sup>(50)</sup>.

Y. Kevin Chou ve diğerleri, sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin CBN kesici takımlarla tormalanmasının deneysel incelenmesinde verim ve aşınma davranışını

araştırmışlardır. Kesici takım verimini, aşınmasını, iş parçasını yüzey kalitesini değerlendirmişlerdir. CBN-L (düşük CBN içerikli, seramik bağlayıcılı) kesici takımların, CBN-H (yüksek CBN içerikli, metal bağlayıcılı) kesici takımlardan daha uygun şartlar taşıdığı sonucuna varmışlardır<sup>(51)</sup>.

S. E. KILIÇ ve diğerleri; 60 HRC sertliğindeki karbonlu çeliği CBN kesici takımlarla işlemişler ve yüzey pürüzlülüğünün tahmini için model oluşturmuşlardır. Modelin çözümü için cevap yüzeyi yöntemi ve regresyon analiz yöntemini kullanmışlardır. Kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği) yüzey pürüzlülüğüne etkileri tahmin edilmiştir. Yapılan ince tornalama işleminde taşlama kalitesinde yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Özellikle küçük ilerleme ve kesme derinliklerinde  $R_a = 0.30-0.35 \mu\text{m}$  değerlerine ulaşılmıştır. Kesme faktörlerinden kesme hızının artması yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönden etkilerken, kesme derinliği ve ilerleme miktarı olumsuz yönde etkilemektedir. Kesici takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin az olduğu belirtilmekte ve bunun nedeni de CBN takımların aşınma mekanizmalarına dayandırılmaktadır<sup>(42)</sup>.

S. Y. LUO ve diğerleri; AISI 4340 çeliğini seramik, CBN ve kaplamalı karbür (P10) kesici takımlarla işlemişler ve kesici takımların aşınma davranışını incelemişlerdir. Kesici takımlardaki aşınma değişikliklerini görmek için farklı sertliklerde iş malzemesi ve yüksek kesme hızları uygulamışlardır. Kesme hızı 60, 100, 200 m/dk, ilerleme miktarı 0.1, 0.2, 0.3 mm/dev, kesme derinliği 0.2, 0.5 mm olarak alınmıştır. Çalışmanın sonunda; CBN kesici takımların aşınma mekanizmalarının temelinde abrazyon aşınmanın olduğu, bunun sebebinin de iş parçası karbür taneciklerinin sıkı bir şekilde yapışmasından meydana geldiği; seramik kesici takımlarda ise adhezyon ve abrazyon aşınmasının mevcut olduğu;



takım ömrünü ve kesme hızını arttırmak için CBN ve seramik kesici takımlara takım yüzeyini koruyucu kaplama ve talaş akma yüzeyinin verilmesi gerektiği, CBN ve seramik kesici takımların materyal bağlayıcılarının kuvvetlenmesi gerektiği belirlenmiştir. Bununla birlikte yüksek kesme hızlarında uygun bir yöntemle takım yüzeyindeki sıcaklığın giderilmesi gerektiği, sıcaklığın yüksek olmasından dolayı aşınmanın hızlanacağı ve takım malzeme taneciklerinin arasındaki kopmaların hızlanacağı belirtilmiştir. CBN ve seramik kesici takımların aşınması sertliklerinin artması ile azaltılabilir. Sertliği 50 HRC'den fazla olan malzemelerde aşınmanın artmaya başladığı görülmüştür<sup>(30)</sup>.

Dewes R. S. ve diğerleri; 52 HRC'ye sertleştirilmiş AISI H13 ve 62 HRC'ye sertleştirilmiş AISI E52100 çeliklerini, seramik ve CBN kesici takımlarla tornada işlemişlerdir. Kesme hızı 50, 100, 150, 200 m/dk, ilerleme miktarı 0.06, 0.25 mm/dev, kesme derinliği 0.5, 2 mm değerleri arasındaki kesme parametrelerini kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda; H13 çeliğinin işlenmesinde yoğunluğu düşük olan CBN ve karma seramik takımlar iyi sonuç vermiştir. Silisyum nitrür ( $Si_3N_4$ ) kesici takımlar kullanılırken uygun iş malzemesi ve kesme parametreleri kullanılmalıdır. Sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde takımın sıcaklık iletkenliğindeki değişimler operasyonun performansında önemli rol oynamaktadır. H13 çeliğinin işlenmesinde kesme hızındaki değişiklikler takım ömrü yönünden önemli değişikliklere neden olmaktadır. Yüksek yoğunluktaki CBN ve karma seramik kesici takımlar yüksek kesme hızlarında (600-800 m/dk), düşük yoğunluktaki CBN ve düz seramik kesici takımlar ise düşük kesme hızlarında (< 500 m/dk) kullanılabilirler sonuçları elde edilmiştir<sup>(52)</sup>.

### 1.11. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı PCBN kesici takımları, aşınma mekanizmalarını ve bunun sonucunda işleme performanslarını incelemek, hızla gelişmekte olan ülkemiz talaşlı imalat sektörünün, teknoloji ve sürat çağını yakalama sürecinde oluşacak ihtiyaçlarını gidermek için modern takım malzemeleri konusunda bilgi altyapısını sağlamlaştırmaya katkıda bulunmaktadır.

Ülkemizi gelişmiş ülkeler seviyesine çıkarmak için teknolojik gelişmelerin yakından takibi ve uygulanması en önemli unsurlardan biridir. Globalleşen dünya pazarında en kaliteli ürünü, en ucuza ve en kısa sürede imal eden ülkeler pazarda yerlerini sağlamlaştıracak ve bu hızlı gelişime entegre olmayan ülkeler ise pazar paylarını hızla kaybetmeye mecbur kalacaklardır. Bunun sağlanması yüksek hızda işleme takım malzemelerinin tanınması, uygulama alanlarının bilinerek belli uygulamalar için en uygun takımın ve işleme şartlarının seçilmesiyle mümkündür.

PCBN kesici takımlar, yüksek hızda işleme takım malzemeleri içinde en geniş uygulama alanına sahip olduğundan ve ülkemiz şartlarına adaptasyonu diğer yüksek hızda işleme takım malzemelerine göre daha kolay olduğundan önemi artmakta ve bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Bugün ülkemizde otomotiv, çelik üretimi ve uçak-uzay sanayi hızla gelişen sektörlerden olup, yabancı sermayeli birçok şirket bu alanda yatırım yapmaktadır. Dolayısıyla bu sanayi dallarında yüksek alaşımlı çelikler, takım çelikleri, sféro döküm, sert dökme demir, yüksek sıcaklık alaşımları gibi PCBN kesici takımların uygulanabileceği çok geniş bir zemin oluşmuştur.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Malzeme



Şekil 2.1. Kalıp çeliği (1.2738) P20

**Alaşımları;** aşağıda tablo halinde verilmiştir.

C	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S
0.40	1.50	1.90	1.00	0.22	0.01	max.0.002

Çizelge 2.1. P20 kalıp çeliğinin kimyasal kompozisyonu

**Özellikleri;** önsertleştirilmiş, en geliştirilmiş kalıp çeliğidir. İşlenebilirliği iyi olmakla beraber %1 Ni ihtiva ettiği için parlatılabilirliği son derece iyidir. Ayrıca yapısında az miktarda ( $S < 0.002$ ) kükürt içermesinden dolayı sürtünme mukavemeti yüksektir. Yapısında bulunan %1 Ni sayesinde yüzeyden çekirdeğe kadar olan sertlik değişimi (özellikle blok malzemelerde) minimum oranda meydana gelmektedir.

**Kullanım Alanı;** taşıt aksesuarları, büro makineleri ve araçları, büyük basınçla çalışan preslerde ve kalıplarda kullanılır. Polisajlama özelliği yüksektir.

**Fiziksel ve Mekanik Özellikleri;** aşağıda tablo halinde verilmiştir.

Özellik	Değer
Normal halindeki sertlik (HRC)	32 – 35
Gerilim alma derecesi (°C)	600
Sertleştirme derecesi (°C)	(840 – 860), (860 – 880)
Sertleştirme vasıtası	(y), (H)
Sertleştirmeden sonraki sertlik (HRC)	55
Çekme gerilmesi (MPa)	993
Akma gerilmesi (MPa)	826
Elastisite modülü (GPa)	205
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	7.85
Akma uzaması (%)	17

**Çizelge 2.2.** P20 kalıp çeliğinin fiziksel ve mekanik özellikleri

## 2.2 Kesici Uç ve Bağlama Elemanı

Deneylerde iki farklı tip Kennametal PCBN kesici uç kullanılmıştır. Bunlar KD120 ve KD050'dir. Kesici uç bağlama elemanı olarak özel olarak imal ettirilen 80 mm çapında yüzey frezeleme tarama kafası kullanılmıştır. Tarama kafasında kesici uçların bağlanabileceği 2 adet kartuş bulunmaktadır. Her deney esnasında sadece 1 adet kesici uç bağlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 2.2.a.** Kesici uç



**Şekil 2.2.b.** Bağlama elemanı

### 2.2.1. SNGA120408S02020 (KD120)

S	Şekil	Kare
N	Boşluk açısı	0°
G	Tolerans	±0.005 - ±0.13
A	Uç tipi	Silindirik delik, talaş kırıcı yok
12	Ölçü	12 mm
04	Kalınlık	4 mm
08	Köşe radyusu	0.8 mm
S	Kesme kenarı durumu	Negatif alan artı honlama
020	T alanı genişliği	0.02 mm
20	Kenar fazı açısı	20°
	Uç tipi	Standart tip

#### Çizelge 2.3. KD120 kesici ucun özellikleri

**Bileşimi;** yüksek CBN katkılı, metalik bağlayıcılı PCBN uç sert metal taşıyıcı üzerine lehimlenmiştir.

**Uygulama Alanı;** yüksek CBN katkılı kalite için belli başlı uygulama alanları; tam perlitik gri dökme demir, yüksek krom çelikler, sinterlenmiş toz metal parçalar ve sertleştirilmiş çeliklerde ( $\geq 45$  HRC) kaba işlemeden son işleme kadar uzanır. Ayrıca beyaz dökme demir ve tam perlitik dökme demir son işleme içinde kullanılır. Düzgün ölçülü uç olarak kullanılır.

### 2.2.2. SNGA120408S01020M (KD050)

S	Şekil	Kare
N	Boşluk açısı	0°
G	Tolerans	±0.005 - ±0.13
A	Uç tipi	Silindirik delik, talaş kırıcı yok
12	Ölçü	12 mm
04	Kalınlık	4 mm
08	Köşe radyusu	0.8 mm
S	Kesme kenarı durumu	Negatif alan artı honlama
010	T alanı genişliği	0.01 mm
20	Kenar fazı açısı	20°
M	Uç tipi	Mini tip

#### Çizelge 2.4. KD050 kesici ucun özellikleri

**Bileşimi;** düşük CBN katkılı, seramik bağlayıcılı PCBN uç sert metal taşıyıcı üzerine lehimlenmiştir.

**Uygulama Alanı;** 65 HRc sertlik değerine kadar sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesi için uygundur. Bu uç son işlemede istenen boyutsal kararlılık için çok iyi sonuç verir.

### 2.3. CNC Dik İşleme Merkezi

Deneyler tablası sabit, kolunu hareketli olan MAZAK VTC 20B CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. CNC dik işleme merkezi 15 kw güçlü iş mili motoruna, maksimum 7000 d/dk'lık yüksek iş mili devrine, hızlı takım değiştirme özelliğine, 30 m/dk eksen hızlarına ve Mazatrol PC-Fusion-CNC 640M kontrol ünitesine sahiptir.



**Şekil 2.3.** CNC dik işleme merkezi (MAZAK VTC-20B)

Özellikler	Değerler
X eksen hareket mesafesi	1120 mm
Y eksen hareket mesafesi	510 mm
Z eksen hareket mesafesi	510 mm
İş mili koridorunun konikliği	7/24 koniklik No:40
Tabla üzerindeki çalışma alanı	1460 mm * 510 mm
X-eksen hızlı ilerleme hızı	24000 mm/dk
X-eksen talaşta ilerleme hızı	1-5000 mm/dk
Y-eksen hızlı ilerleme hızı	24000 mm/dk
Y-eksen talaşta ilerleme hızı	1-5000 mm/dk
Z-eksen hızlı ilerleme hızı	20000mm/dk
Z-eksen talaşta ilerleme hızı	1-5000 mm/dk
Maksimum takım kapasitesi	24 takım (standart)
İzin verilebilir takım çapı	Φ 80 mm
İzin verilebilir takım boyu	350 mm
İzin verilebilir takım ağırlığı	8 kg
Magazinde maksimum ağırlık	96 kg

**Çizelge 2.5.** CNC dik işleme merkezinin özellikleri

## 2.4. Optik Mikroskop

Yanal yüzey aşınmaları SCNBRR TUMICO marka optik mikroskopla her pasodan sonra ölçülmüştür. Optik mikroskopun tablası x, y eksenlerinde hareket edebilmekte ve 0.002 mm hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir.



**Şekil 2.4.** Optik mikroskop

## 2.5. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Yüzey pürüzlülüğü HOMMER TESTER T1000 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile her pasodan sonra ölçülmüş ve değerlendirilmede “R<sub>a</sub>” ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri dikkate alınmıştır.



Şekil 2.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Özellikler	Değerler
Aydınlatmalı gösterge alanı	240x160 piksel
Batarya kapasitesi	500 ölçüm
Çalışma sıcaklığı	0-50 C % 85 bağıl nem
Ara yüzey	v24 rs 232
Hafıza hacmi	200 profil 999 ölçüm
Boyutları	253x193x80 mm
Ağırlığı	1600 gr
Toplam sapma	DIN 4772 sınıf 1

Çizelge 2.6. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının özellikleri



### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Deneyler 4 set şeklinde gerçekleştirilmiştir. Deney değişkenleri aşağıda tablolar halinde verilmiştir.

<b>Takım 1</b>	SNGA120408S1020M (KD050)
<b>Takım 2</b>	SNGA120408S02020 (KD120)
<b>İş Parçası</b>	1.2738 (55 HRC)

<b>V<sub>c</sub></b>	300 / 450/ 600	m/dak	kesme hızı
<b>a<sub>p</sub></b>	0.06/0.12/0.18	Mm	talaş derinliği
<b>f</b>	0.10/0.15/0.20	mm/dev	ilerleme
<b>a<sub>r</sub></b>	10 / 15 / 20	mm	talaş genişliği
<b>Q</b>	6480	mm <sup>3</sup>	Kaldırılan en yüksek talaş hacmi

<b>1. SET</b>	<b>V<sub>c</sub></b>	<b>a<sub>p</sub></b>	<b>f</b>	<b>a<sub>r</sub></b>
S. No	(m/dak)	(mm)	(mm/dev)	(mm)
1	300	0.12	0.15	15
2	450	0.12	0.15	15
3	600	0.12	0.15	15

<b>2. SET</b>	<b>V<sub>c</sub></b>	<b>a<sub>p</sub></b>	<b>f</b>	<b>a<sub>r</sub></b>
S. No	(m/dak)	(mm)	(mm/dev)	(mm)
1	450	0.06	0.15	15
2	450	0.12	0.15	15
3	450	0.18	0.15	15

<b>3. SET</b>	<b>V<sub>c</sub></b>	<b>a<sub>p</sub></b>	<b>f</b>	<b>a<sub>r</sub></b>
S. No	(m/dak)	(mm)	(mm/dev)	(mm)
1	450	0.12	0.10	15
2	450	0.12	0.15	15
3	450	0.12	0.20	15

<b>4. SET</b>	<b>V<sub>c</sub></b>	<b>a<sub>p</sub></b>	<b>f</b>	<b>a<sub>r</sub></b>
S. No	(m/dak)	(mm)	(mm/dev)	(mm)
1	450	0.12	0.15	10
2	450	0.12	0.15	15
3	450	0.12	0.15	20

Çizelge 2.7. Deney değişkenleri

### 3.1. Değişken Kesme Hızı ( $V_c$ )

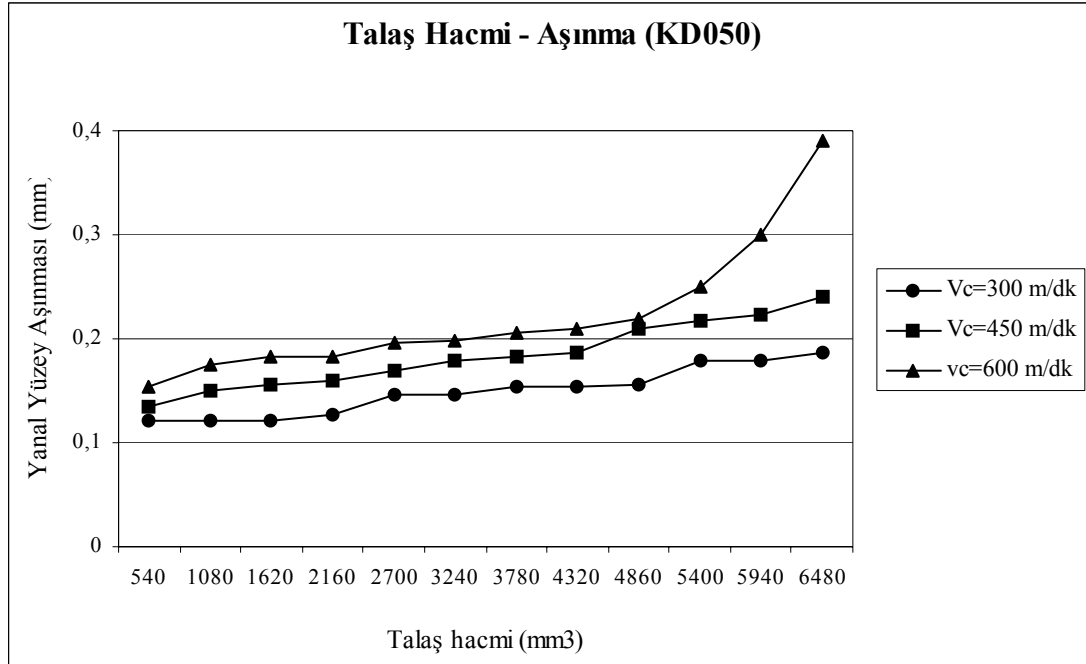
Sabit ilerleme ( $f$ ), talaş derinliği ( $a_p$ ) ve kesme genişliği ( $a_r$ ) değerlerinde 3 farklı kesme hızı ( $V_c$ ) değerinde takım aşınması deneyleri her 2 tip takım için de gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

#### 3.1.1. Takım Aşınması

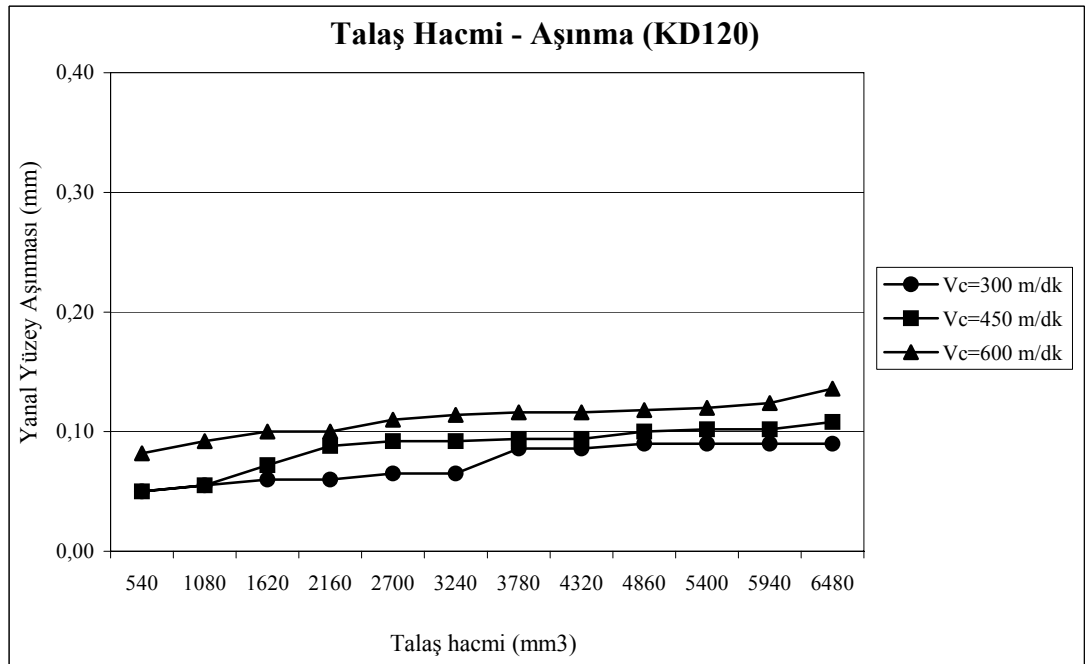
Çizelge 3.1 ve 3.2 farklı kesme hızlarında kaldırılan talaş hacmi miktarına bağlı olarak yanal yüzey aşınmasındaki artışı göstermektedir. Kesme hızının artmasıyla, aşınma değerlerinde artış olduğu görülmektedir. KD120 takım için kesme hızına bağlı olarak aşınmada görülen artış çok fazla değildir. Bu takım için son pasolarda kesme hızı 600 m/dk iken aşınma 0.13 mm, 300 m/dk kesme hızında ise aşınma 0.09 mm civarındadır. Bu nedenle KD120'nin yüksek kesme hızlarında kullanılması rahatlıkla önerilebilir. KD050 takım ise 600 m/dk kesme hızında son pasolara doğru hızlı bir şekilde aşınmıştır. Bu sonuç bu takımın daha düşük kesme hızlarında kullanılması gerektiğini göstermektedir.

Çizelge 3.1 ve 3.2. karşılaştırıldığında, yüksek oranda CBN (% 88) içeren metal bağlayıcılı takımın (KD120), düşük oranda CBN (% 50) içeren seramik bağlayıcılı takımdan (KD050) tüm kesme hızlarında daha az aşındığı görülmektedir. Özellikle 600 m/dk kesme hızında KD050 takımı, son pasolarda çok hızlı bir şekilde aşınmış ve yanal yüzey aşınma değeri 0.4 mm'ye kadar çıkmıştır. Aynı şartlarda KD120 takımında görülen aşınma değeri ise 0.13 mm civarındadır. Bu sonuçlara bakıldığında, KD120 takımın aşınma direncinin KD050'ye göre özellikle yüksek kesme hızlarında çok daha üstün olduğu görülmektedir. KD120 yüksek CBN oranı (% 88) nedeniyle, düşük CBN oranına (% 50) sahip KD050'den daha sert ve metalik

bağlayıcı nedeniyle, seramik bağlayıcılı KD050'den daha toktur. KD120'nin KD050'den daha üstün bir aşınma direnci göstermesi bu nedenlerle açıklanabilir.



**Çizelge 3.1.** Farklı kesme hızlarında KD050'ye ait aşınma değerleri



**Çizelge 3.2** Farklı kesme hızlarında KD120' ye ait aşınma değerleri

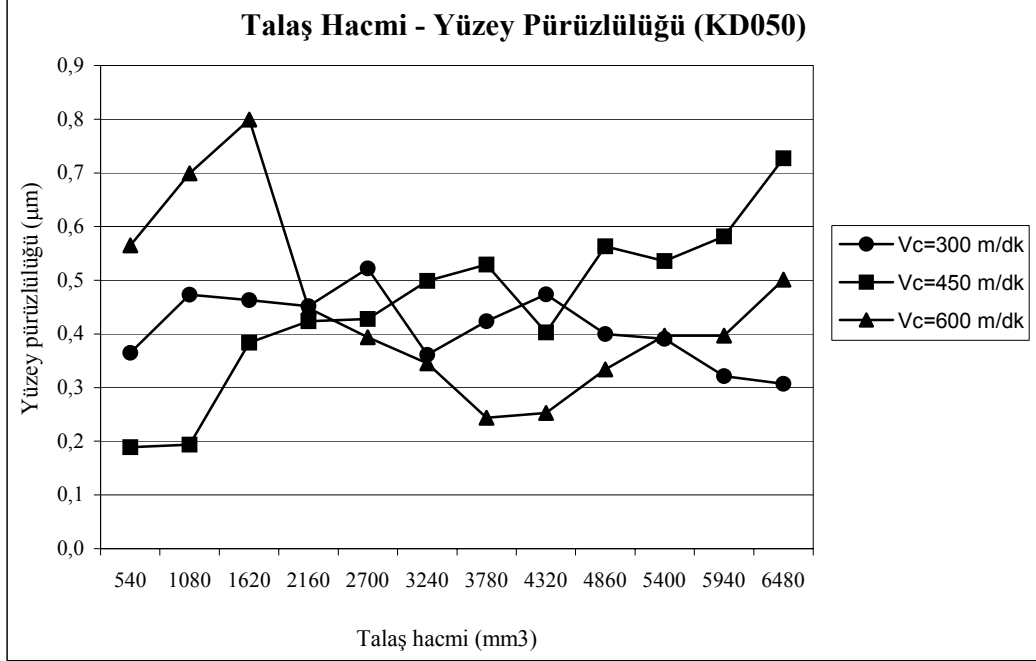
### 3.1.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Çizelge 3.3 ve 3.4 farklı kesme hızlarında kaldırılan talaş hacmi miktarına (dolayısıyla aşınmaya) bağlı olarak işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğündeki değişimi göstermektedir. Bu eğrilerden yüzey pürüzlülüğü ile aşınma arasında doğrudan bir ilişki kurmak zor görünmektedir. Genellikle aşınma arttıkça yüzey pürüzlülüğünde de artış olması beklenir. Ancak bu eğrilere bakıldığında böyle bir artış görülmemektedir. Hatta tam aksine ilk pasalarda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin son pasalarda elde edilen değerlerden daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. Sadece KD050 takımını 450 m/dk kesme hızında kullanıldığında tam beklenildiği gibi artan aşınma ile artan pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Ancak unutulmamalıdır ki bu deneylerde çok yüksek aşınma değerlerine çıkılmamıştır. Eğer daha yüksek aşınma değerlerine çıkılmış olsaydı, aşınmanın yüzey pürüzlülüğüne olan olumsuz etkisi daha net görülebilirdi.

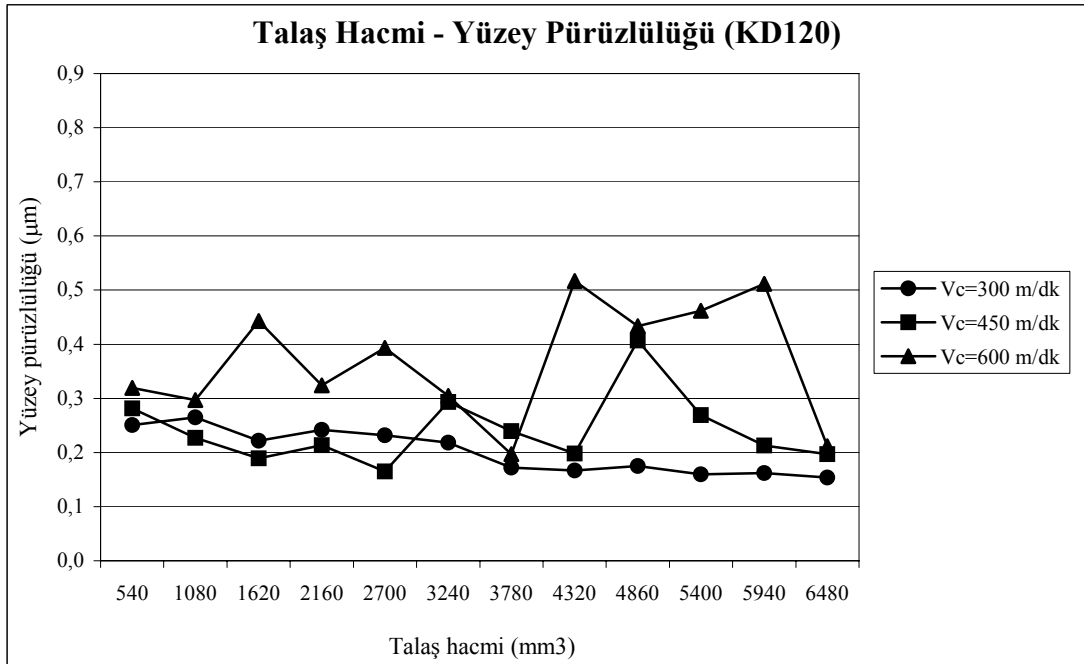
Çizelge 3.3'e bakıldığında, KD050 takım için kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi konusunda da çok kesin yorum getirmek mümkün görünmemektedir. Ancak 300 m/dk kesme hızında elde edilen pürüzlülük değerleri, 450 ve 600 m/dk kesme hızlarında elde edilen değerlerden genellikle düşüktür. Bu durum KD120 takımını için daha açık bir şekilde görülmektedir. (çizelge3.4). En iyi yüzey kalitesi 300 m/dk'da, en kötü yüzey kalitesi ise 600 m/dk'da görülmüştür.

Çizelge 3.3 ve 3.4 karşılaştırıldığında, KD120 takımının tüm kesme hızlarında, KD050 takımdan daha iyi yüzey kalitesine neden olduğu görülmektedir. Yüzey pürüzlülük değerleri 600 m/dk'da KD050 takım için 0.34-0.80 $\mu$ m aralığında, KD120 için 0.2-0.5 $\mu$ m aralığında; 450 m/dk'da KD050 için 0.19-0.72 $\mu$ m aralığında, KD120 için 0.18-0.41 $\mu$ m aralığında; 300 m/dk'da KD050 için 0.3-0.52 $\mu$ m aralığında,

KD120 için 0.15-0.27 $\mu\text{m}$  aralığındadır. KD120'nin tüm kesme hızlarında, KD050'den daha az aşınması, elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerini de etkilemiş görünmektedir.



**Çizelge 3.3** Farklı kesme hızlarında KD050'ye ait yüzey pürüzlülüğü değerleri



**Çizelge 3.4** Farklı kesme hızlarında KD120'ye ait yüzey pürüzlülüğü değerleri

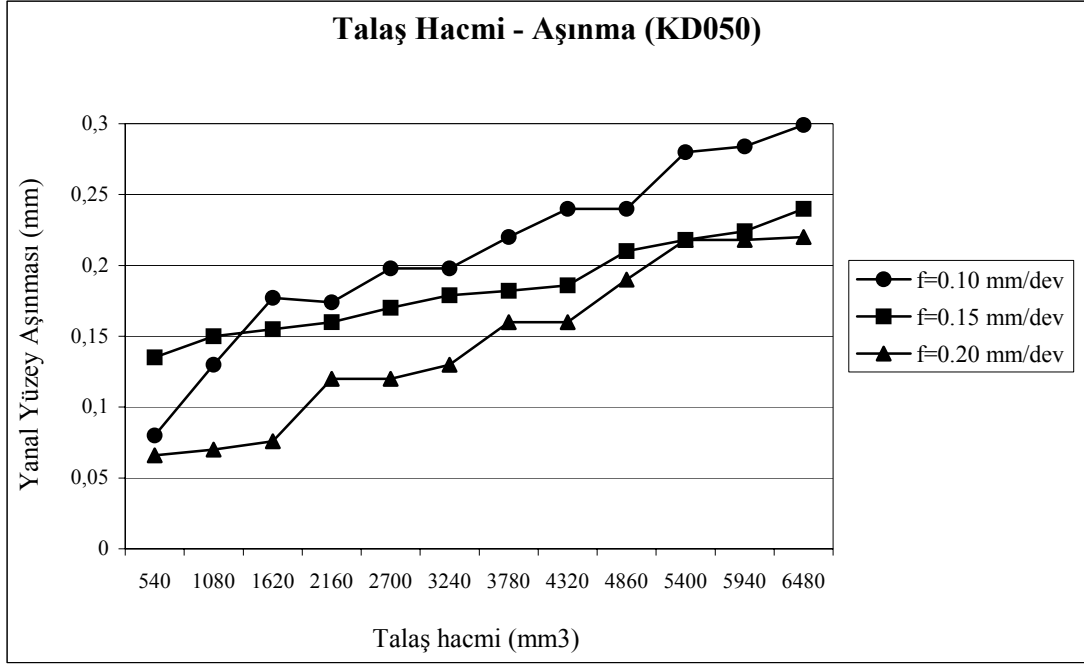
### 3.2. Değişken İlerleme (f)

Sabit kesme hızı ( $V_c$ ), talaş derinliği ( $a_p$ ) ve kesme genişliği ( $a_r$ ) değerlerinde 3 farklı ilerleme (f) değeri için takım aşınması deneyleri her 2 tip takım için de gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

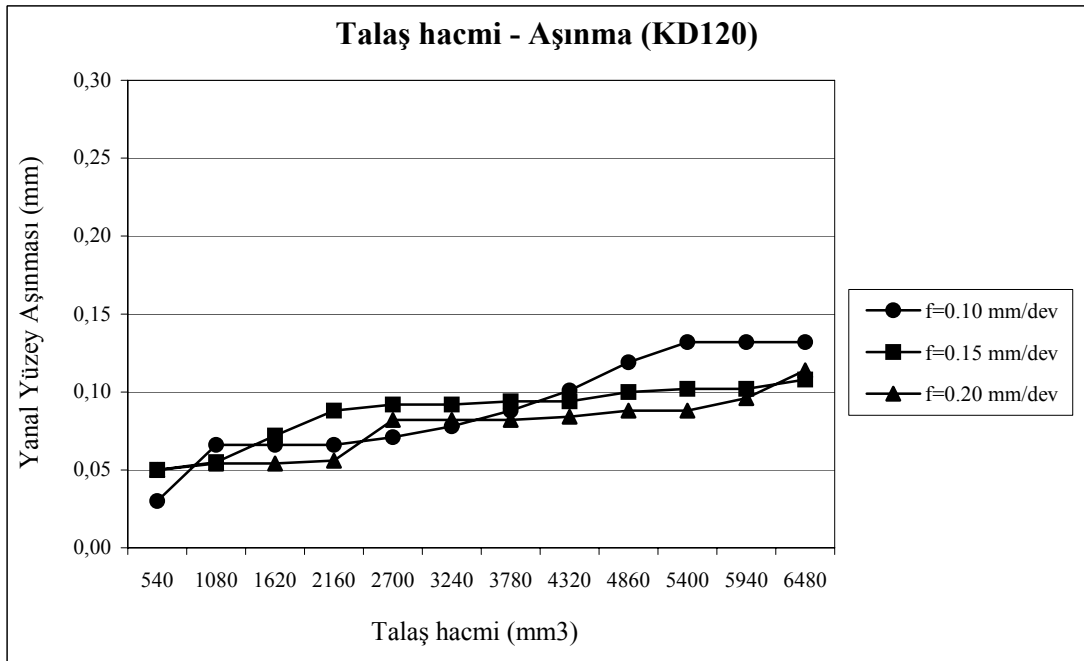
#### 3.2.1. Takım Aşınması

Çizelge 3.5 ve 3.6 farklı ilerleme değerlerinde kaldırılan talaş hacmi miktarına bağlı olarak, yanal yüzey aşınmasındaki artışı göstermektedir. Her iki uç içinde paso sayısı arttıkça yanal yüzey aşınması değerinin arttığı görülmektedir. Literatürde ilerleme değerinin % 50 arttırılmasının, takım ömrünü % 70 oranında azaltacağından bahsedilmektedir<sup>(9)</sup>. Ancak çizelge 3.5 ve 3.6'dan da görülebileceği gibi genel olarak 0.10 mm/dev ilerleme değerindeki yanal yüzey aşınmasının, 0.15 mm/dev ve 0.20 mm/dev ilerleme değerlerindeki yanal yüzey aşınmalarından daha yüksek olduğu, 0.20 mm/dev ilerleme değerindeki yanal yüzey aşınmasının da en düşük olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bunun nedeni, düşük ilerleme değerlerinde, takım-iş parçası sürtünmesinin daha uzun süre devam etmesi ve bu sürtünme sonucunda da aşınmanın artması olabilir.

KD050 (CBN-DS; düşük içerikli, seramik bağlayıcılı CBN); KD120 (CBN-YM; yüksek içerikli metalik bağlayıcılı CBN)'e göre tüm ilerleme değerlerinde daha çok aşınmıştır. KD050 (CBN-DS) son pasalarda 0.22 mm ile 0.3 mm arasında aşınırken, KD120 (CBN-YM) son pasalarda 0.11 mm ile 0.14 mm arasında aşınmıştır. KD120 (CBN-YM) takımın aşınma direncinin KD050 (CBN-DS)'ye göre tüm ilerleme değerlerinde daha üstün olduğu görülmektedir. Bunun nedenlerinden daha önce bahsedilmiştir. Burada da benzer nedenler söz konusudur.



**Çizelge 3.5.** Farklı ilerleme değerlerinde KD050'ye ait aşınma değerleri



**Çizelge 3.6.** Farklı ilerleme değerlerinde KD120'ye ait aşınma değerleri

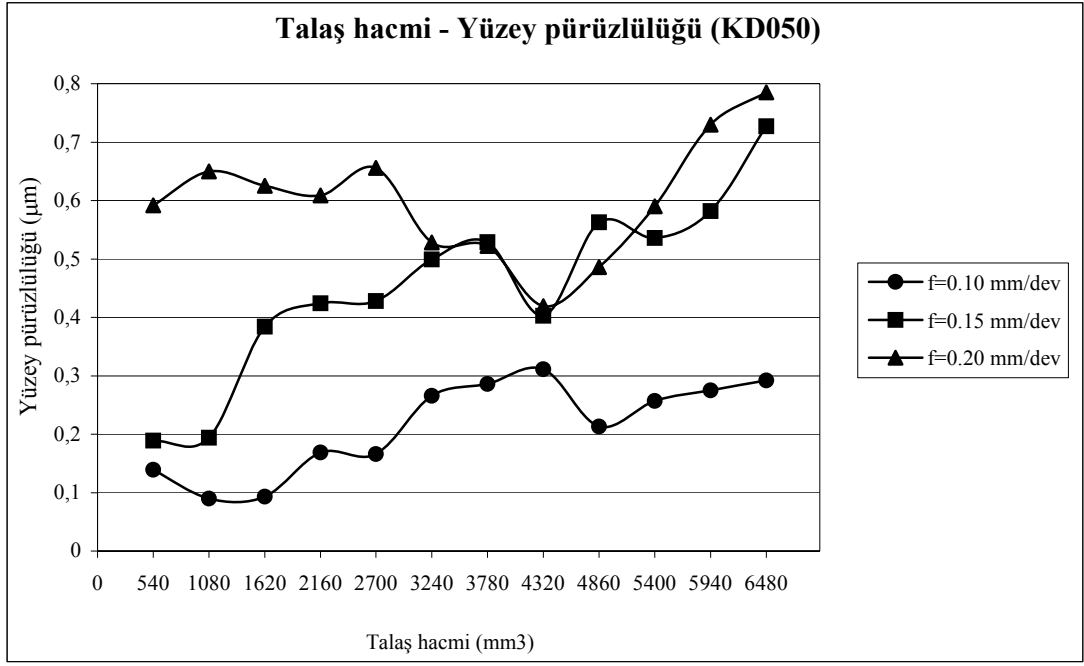
### 3.2.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Çizelge 3.7 ve 3.8 farklı ilerleme değerlerinde kaldırılan talaş hacmi miktarına (dolayısıyla aşınmaya) bağlı olarak işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğündeki değişimi göstermektedir. Her iki çizelgede de en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin en düşük ilerleme değerlerinde elde edildiği görülmektedir. KD050 (CBN-DS) için  $f = 0.10$  mm/dev ve  $f = 0.15$  mm/dev ilerleme değerleri için paso sayısının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinde beklendiği gibi artış görülmüştür.  $f = 0.20$  mm/dev ilerleme değerinde ise başlarda azalma gözlenmekle birlikte, 8. pasodan sonra beklenen artış değeri görülebilmektedir (çizelge 3.7). KD120 (CBN-YM) için belirlenen yüzey pürüzlülüğü değerleri ile aşınma arasındaki ilişki hakkında yorum yapmak mümkün görünmemektedir (çizelge 3.8). Hatırlanacağı üzere KD120 (CBN-YM), KD050 (CBN-DS)'den daha az aşınmıştır (çizelge 3.5 ve çizelge 3.6). Bu nedenle aşınma az olduğu sürece, yüzey pürüzlülüğüne fazla bir etki etmediği söylenebilir.

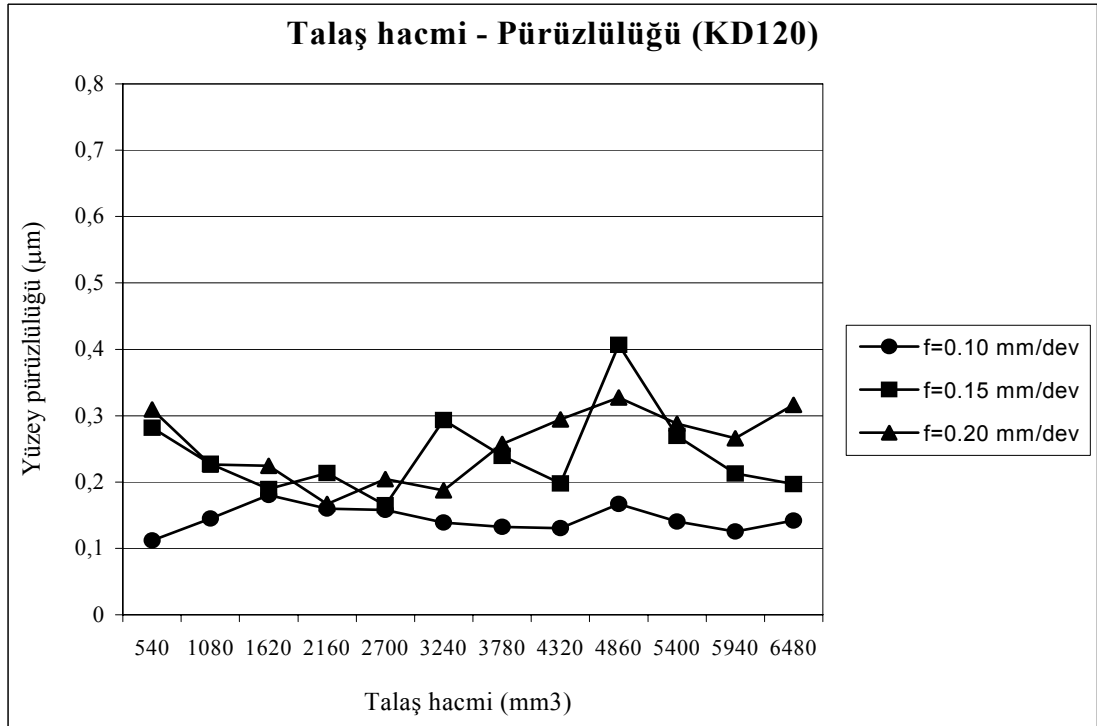
Çizelge 3.7 ve çizelge 3.8 karşılaştırıldığında KD120 (CBN-YM) takımın tüm ilerleme değerlerinde KD050 (CBN-DS) takımdan daha iyi yüzey kalitesi meydana getirdiği açık bir şekilde görülmektedir. Buda KD120 (CBN-YM)'nin, KD050 (CBN-DS)'den daha az aşınmış olmasıyla açıklanabilir.

Yüzey pürüzlülük değerleri  $f = 0.10$  mm/dev ilerleme değeri için; KD050 (CBN-DS) takımda  $0.09 - 0.31 \mu\text{m}$ , KD120 (CBN-YM) takımda  $0.11 - 0.19 \mu\text{m}$  aralığındadır.  $f = 0.15$  mm/dev ilerleme değeri için; KD050 (CBN-DS) takımda  $0.19 - 0.72 \mu\text{m}$ , KD120 (CBN-YM) takımda  $0.18 - 0.41 \mu\text{m}$  aralığındadır.  $f = 0.20$  mm/dev ilerleme değeri için; KD050 (CBN-DS) takımda  $0.41 - 0.79 \mu\text{m}$ , KD120 (CBN-YM) takımda  $0.18 - 0.32 \mu\text{m}$  aralığındadır.





**Çizelge 3.7.** Farklı ilerleme değerlerinde KD050'ye ait yüzey pürüzlülüğü değerleri



**Çizelge 3.8.** Farklı ilerleme değerlerinde KD120'ye ait yüzey pürüzlülüğü değerleri

### 3.3. Değişken Talaş Derinliği ( $a_p$ )

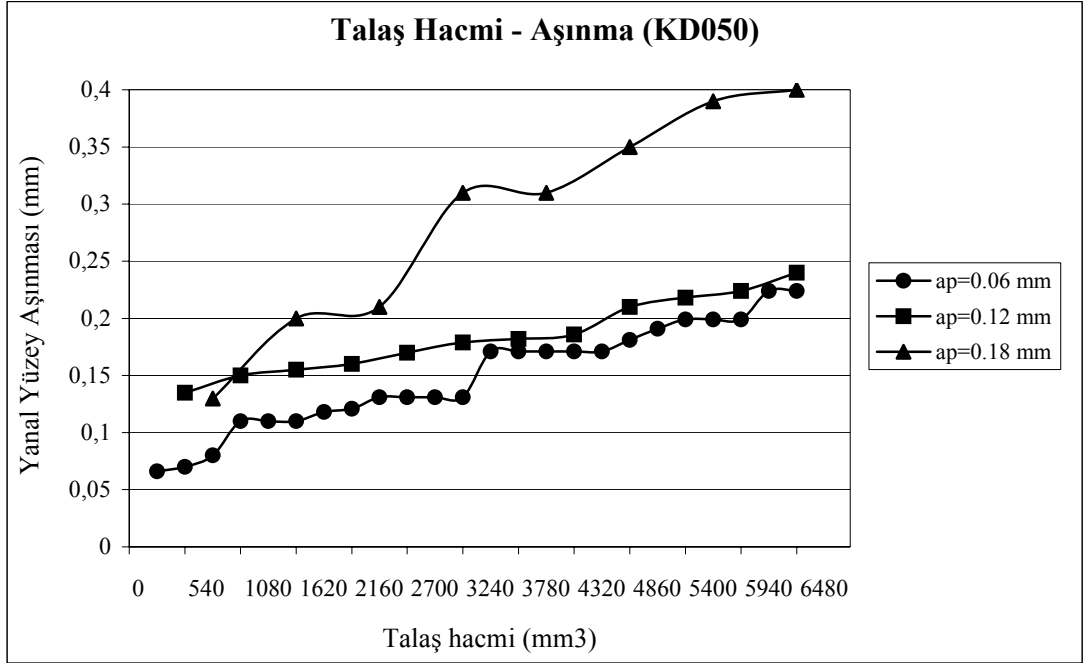
Sabit kesme hızı ( $V_c$ ), ilerleme ( $f$ ) ve kesme genişliği ( $a_r$ ) değerlerinde 3 farklı talaş derinliği ( $a_p$ ) değeri için takım aşınması deneyleri her 2 tip takım için de gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

#### 3.3.1. Takım Aşınması

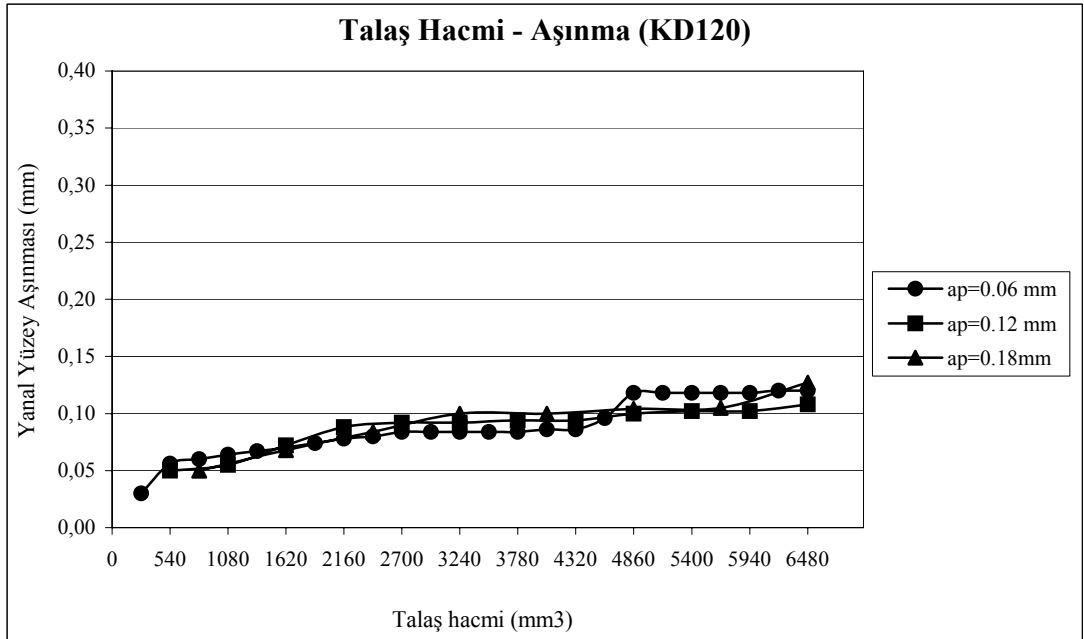
Çizelge 3.9 ve 3.10 farklı kesme derinliği ( $a_p$ ) değerlerinde, kaldırılan talaş hacmi miktarına bağlı olarak, yanal yüzey aşınmasındaki artışı göstermektedir. Literatürde kesme derinliği ( $a_p$ ) değerinin % 50 arttırılmasının, takım ömrünü % 15 azaltacağından bahsedilmektedir<sup>(9)</sup>. Çizelgelerden de görülebileceği gibi, kaldırılan talaş hacminin artması ile takım aşınması doğru orantılı olarak artmış; fakat bu artış oldukça küçük ( $\sim 0,07$  mm) olarak gerçekleşmiştir. Fakat bunun tek istisnası KD050 için  $a_p=0,18$ mm değerinde görülmektedir. Bu değerde takım 0,4mm kadar aşınmıştır. Bu durum KD050'nin seramik bağlayıcılı olması ve seramiklerin kırılğan yapıya sahip olmaları ile açıklanabilir. Yüksek kesme derinliklerinde kesici takım daha büyük kuvvetlere maruz kalacağından kırılğan seramik bağlayıcı bu kuvvetlere direnç gösteremeyip, kesicinin kenarında çatlamalara ve kopmalara (çıtık oluşması) yol açarak hızlı bir şekilde aşınmaya yol açar. KD050  $a_p=0,06$ mm'de 0,24mm,  $a_p=0,18$ mm'de 0,4mm aşınmıştır (Çizelge 3.9). Talaş derinliğinin KD120 takımın aşınmasında belirgin bir etkisi olmadığı görülmüştür. Tüm kesme derinliği değerlerinde KD120 takımın son pasodaki aşınması 0,11 ile 0,13 mm arasındadır.

KD120 takımın aşınma direncinin KD050'ye göre tüm kesme derinliği değerlerinde daha üstün olduğu görülmektedir. Bunun nedenleri daha önce de

belirtildiği gibi KD120'nin yüksek CBN oranı (% 88), nedeni ile daha sert oluşu, metalik bağlayıcılı olması ve metalik bağlayıcının seramik bağlayıcıya göre daha tok bir yapıya sahip olmasıdır.



**Çizelge 3.9.** Farklı kesme derinliği değerlerinde KD050'ye ait aşınma değerleri



**Çizelge 3.10.** Farklı kesme derinliği değerlerinde KD120'ye ait aşınma değerleri

### 3.3.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12 farklı kesme derinliği ( $a_p$ ) değerlerinde kaldırılan talaş hacmi miktarına (dolayısıyla aşınmaya) bağlı olarak, işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğündeki değişimi göstermektedir.

Beklenen; yanal yüzey aşınmasının artması ile birlikte, elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de artmasıdır. KD050 takım ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri beklendiği gibi her üç kesme derinliği değerinde de, takım yanal yüzey aşınmasının artması ile genellikle artış göstermiştir. Fakat bu takım için en büyük aşınma değeri  $a_p=0,18$  mm kesme derinliği değerinde gerçekleşirken buna karşılık en kötü yüzey  $=0,06$  mm kesme derinliği değerinde meydana gelmiştir. Genelde düşük kesme derinliklerinde daha iyi yüzey kalitesi elde edilmesi beklenirken, neden böyle bir sonuç elde edildiği tam olarak anlaşılamamıştır.

KD120 takım ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri, takım yan yüzey aşınmasında olduğu gibi iç içe geçmiş durumdadır ve belirgin bir fark ortaya çıkmamıştır. KD120 takım için her üç kesme derinliği değerinde de birbirine yakın yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiş ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne pek bir etkisi saptanamamıştır.

Yüzey pürüzlülüğü değerleri,  $a_p=0,06$  mm. kesme derinliği için;

KD050 → 0,2 – 0,9  $\mu\text{m}$  aralığında

KD120 → 0,15 – 0,25  $\mu\text{m}$  aralığında

$a_p=0,12$  mm. kesme derinliği için;

KD050 → 0,19 – 0,72  $\mu\text{m}$  aralığında

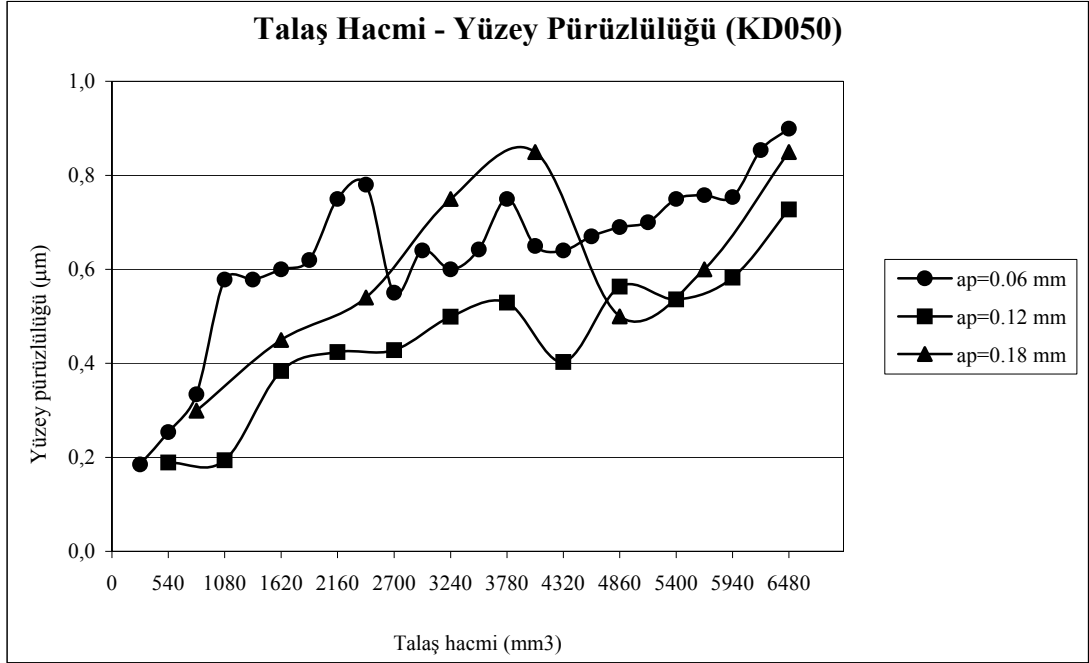
KD120 → 0,18 – 0,41  $\mu\text{m}$  aralığında

$a_p=0,18$  mm. kesme derinliği için;

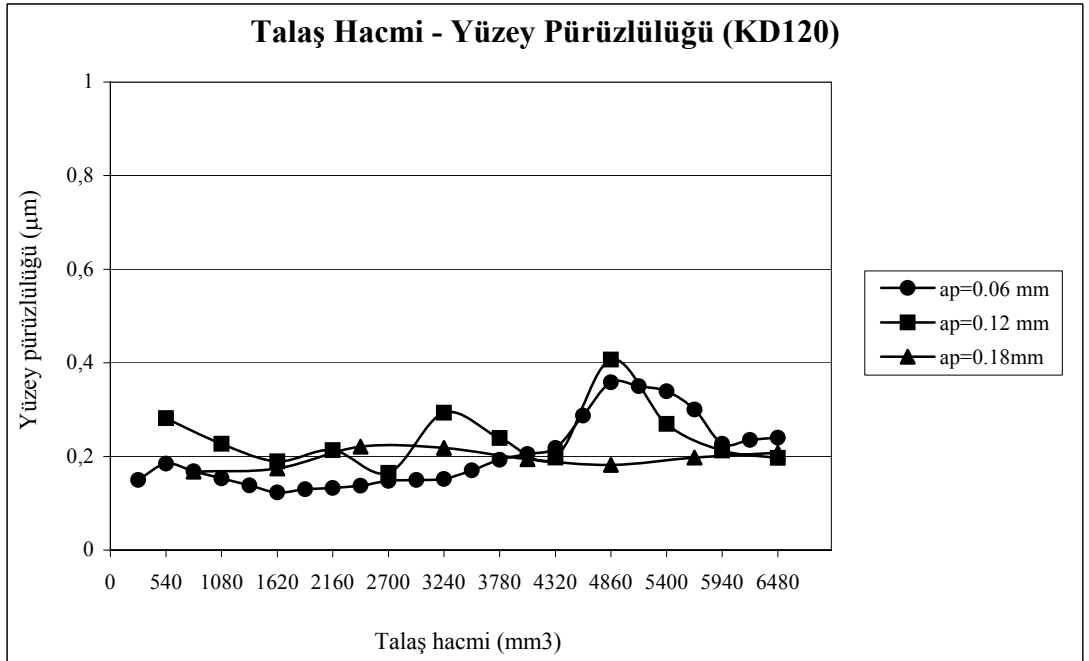
KD050 → 0,3 – 0,85  $\mu\text{m}$  aralığında

KD120 → 0,15 – 0,22  $\mu\text{m}$  aralığında

gerçekleşmiştir.



**Çizelge 3.11.** Farklı kesme derinliği değerlerinde KD050'ye ait yüzey pürüzlülüğü değerleri



**Çizelge 3.12.** Farklı kesme derinliği değerlerinde KD120'ye ait yüzey pürüzlülüğü değerleri

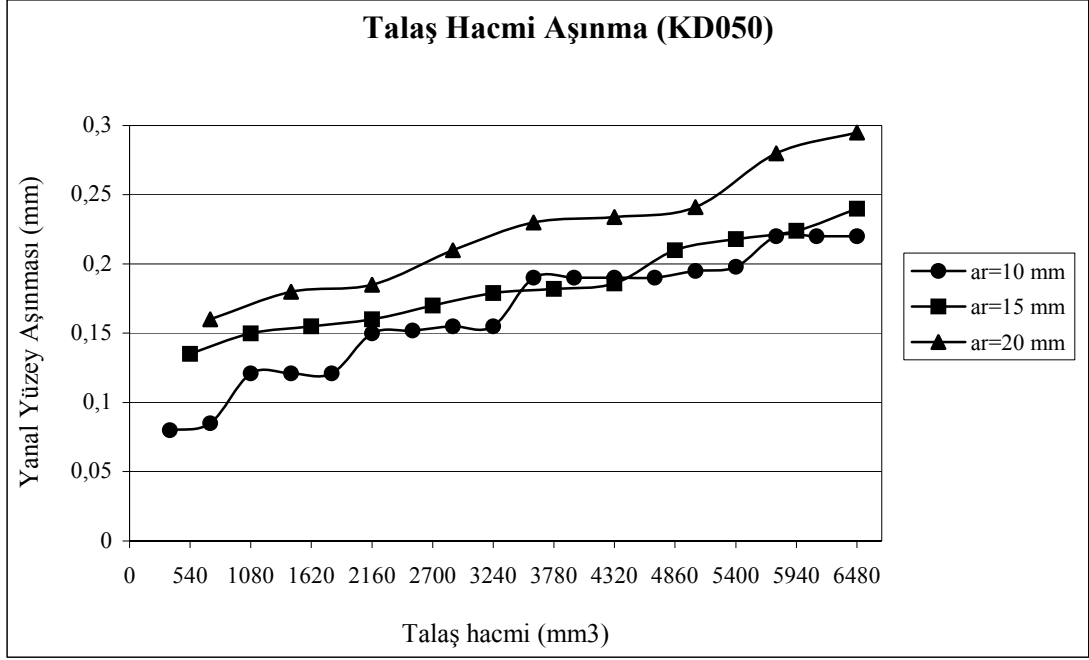
### **3.4. Değişken Kesme Genişliği ( $a_r$ )**

Sabit kesme hızı ( $V_c$ ), ilerleme ( $f$ ) ve kesme derinliği ( $a_p$ ) değerlerinde 3 farklı kesme genişliği ( $a_r$ ) değeri için takım aşınması deneyleri her 2 tip takım için de gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

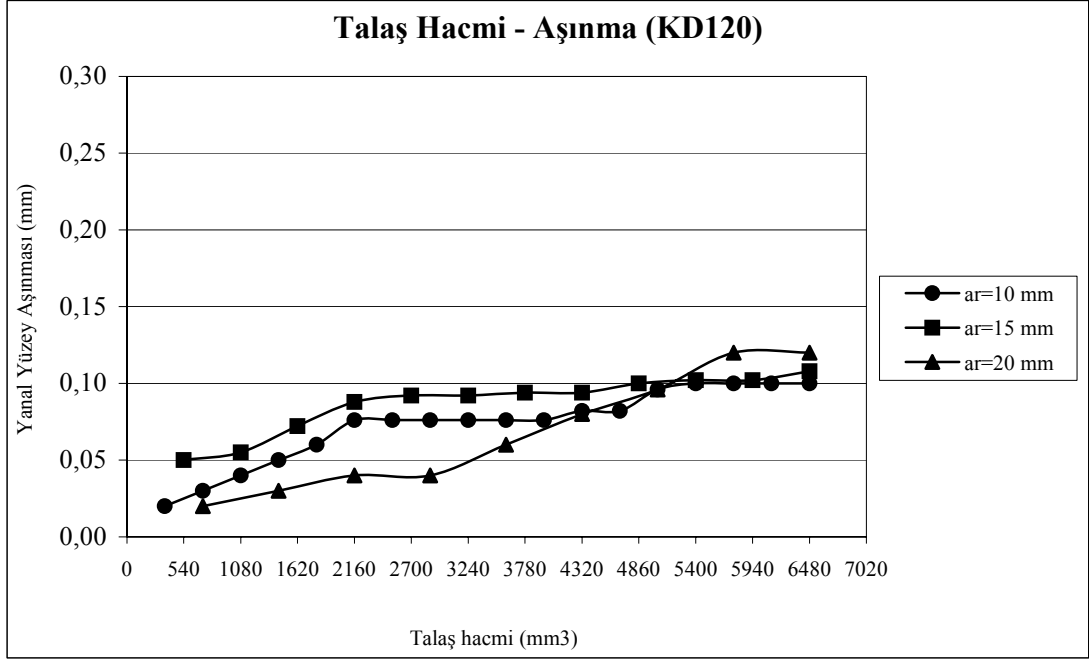
#### **3.4.1. Takım Aşınması**

Çizelge 3.13 ve Çizelge 3.14 farklı kesme genişliği değerlerinde; kaldırılan talaş hacmi miktarına bağlı olarak, yanal yüzey aşınmasındaki artışı göstermektedir. Kesme genişliğinin artması ile aşınma değerlerinde artma olduğu görülmektedir. KD120 takım için kesme genişliğine bağlı olarak aşınmada görülen artış pek fazla değildir. Bu takım için son pasoda kesme genişliği 20 mm iken aşınma 0,12 mm, kesme genişliği 15 mm iken aşınma 0,11 mm, kesme genişliği 10 mm iken aşınma 0,10 mm'dir. Bu nedenle KD120'nin büyük kesme genişliği değerlerinde kullanılması rahatlıkla önerilebilir. Normal olarak beklenen; kesme genişliğinin artması ile yanal yüzey aşınmasının artmasıdır. Bunun nedeni sürtünme yüzeyinin ve sürtünme süresinin artması olabilir. Fakat 4320 mm<sup>3</sup>'lük talaş hacmine kadar en az aşınma  $a_r=20$  mm kesme genişliği değerinde gerçekleşmiştir. Yine de aşınma değerleri birbirine çok yakın olduğundan göz ardı edilebilir. Kesme derinliğinin aşınmaya olan etkisi KD050 takımında daha net görülmektedir. Bu takım son pasoda, 20 mm kesme genişliği değerinde yaklaşık 0,29 mm, 15 mm kesme genişliği değerinde yaklaşık 0,24 mm, 10 mm kesme genişliği değerinde yaklaşık 0,22 mm aşınmıştır.

Çizelge 3.13 ve 3.14 karşılaştırıldığında yüksek oranda CBN içeren metalik bağlayıcılı takımın (KD120), düşük oranda CBN içeren seramik bağlayıcılı takımdan tüm kesme genişliği değerlerinde daha az aşındığı görülmektedir. Bu durum daha önce de söylenen benzer nedenlerle açıklanabilir.



**Çizelge 3.13.** Farklı kesme genişliği değerlerinde KD050'ye ait aşınma değerleri



**Çizelge 3.14.** Farklı kesme genişliği değerlerinde KD120'ye ait aşınma değerleri

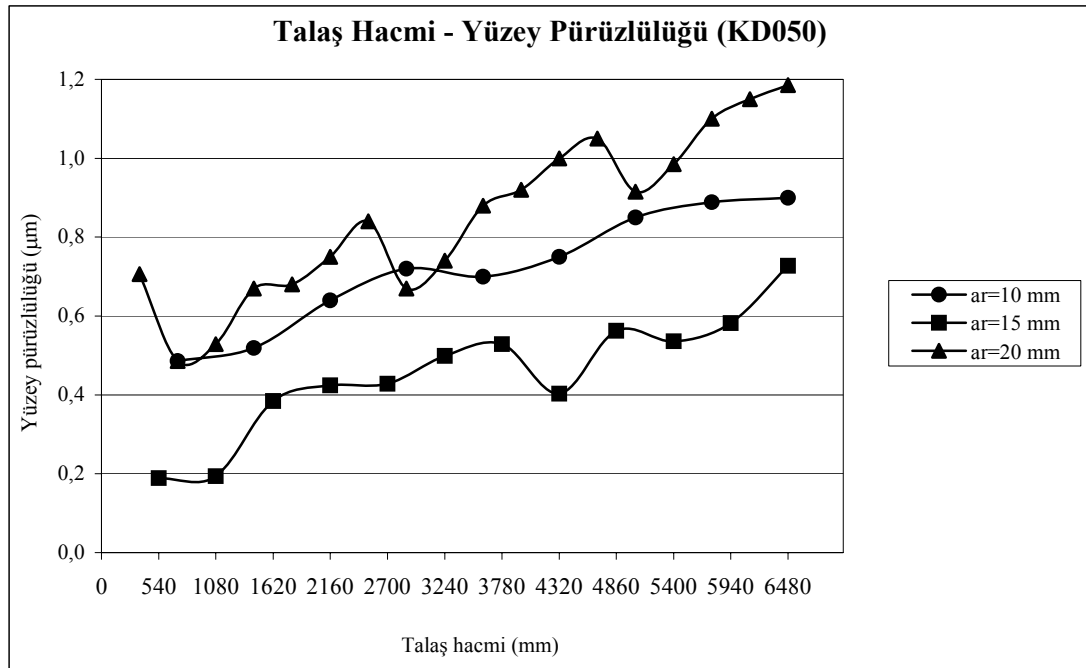
### 3.4.2. Yüzey Pürüzlülüğü

Çizelge 3.15 ve Çizelge 3.16, farklı kesme hızlarında talaş hacmi miktarına (dolayısıyla aşınmaya) bağlı olarak işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğündeki değişimi göstermektedir. Fakat kesme genişliği ile yüzey pürüzlülüğünün genellikle arttığı görülmektedir.  $a_r=20$  mm kesme genişliğinde en fazla yüzey pürüzlülüğü gerçekleşmiştir. Fakat KD050 takım için  $a_r=15$  mm kesme genişliğindeki yüzey pürüzlülüğü değerlerinin  $a_r=10$  mm kesme genişliği değerlerinden daha fazla çıkması beklenirken bunun tam aksi bir sonuç ortaya çıkmıştır.

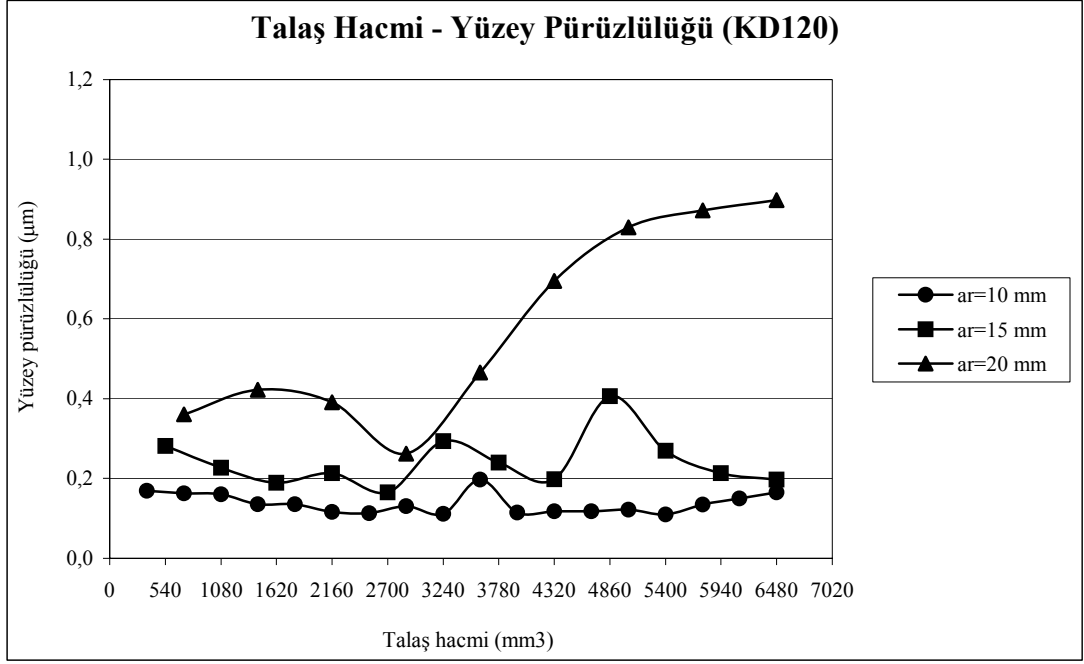
KD120 takım için  $a_r=10$  mm ve  $a_r=15$  mm kesme genişliği değerlerinde takım yanal yüzey aşınmasının az da olsa artmasına rağmen, başlangıç pasosunda ve son pasoda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri nerede ise aynıdır.  $a_r=20$  mm kesme genişliği için  $3240 \text{ mm}^3$  talaş hacmine kadar yüzey pürüzlülüğü değerleri fazla değişmezken, daha sonra hızla artmış ve yaklaşık  $0,9 \mu\text{m}$  değerine ulaşmıştır.



KD050 ve KD120 için elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri karşılaştırılırsa KD120'nin daha iyi bir performans ortaya koyduğu gözlenmektedir. KD120 için özellikle düşük  $a_r$  değerlerinde nerede ise taşlama kalitesinde yüzey elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri  $a_r = 10$  mm kesme genişliği değeri için; KD050 takımında  $0.06 - 0.20 \mu\text{m}$ ;  $a_r = 15$  mm kesme genişliği değeri için KD050 takımında  $0.19 - 0.72 \mu\text{m}$ , KD120 takımında  $0.18 - 0.41 \mu\text{m}$ ;  $a_r = 20$  mm kesme genişliği değeri için KD050 takımında  $0.47 - 1.18 \mu\text{m}$ , KD120 takımında  $0.27 - 0.90 \mu\text{m}$  aralığındadır.



**Çizelge 3.15.** Farklı kesme genişliği değerlerinde KD050'ye ait yüzey pürüzlülüğü değerleri



**Çizelge 3.16.** Farklı kesme genişliği değerlerinde KD120'ye ait yüzey pürüzlülüğü değerleri

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

55 HRC'ye sertleştirilmiş P20 (1.2738) kalıp çeliğinin frezelenmesinde, iki farklı kesici takım yanıl yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca kesici takımlarda oluşan yanıl yüzey aşınmasına ve iş parçasının yüzey pürüzlülüğüne, kesme parametrelerinin (kesme hızı “ $V_c$ ”, ilerleme miktarı “ $f$ ”, kesme derinliği “ $a_p$ ”, kesme genişliği “ $a_r$ ”) etkileri incelenmiştir.

Genel olarak yapılan tüm frezeleme deneylerinde, KD120 takımın aşınma direncinin KD050'ye göre tüm kesme parametreleri için çok daha üstün olduğu belirlenmiştir. KD120 yüksek CBN oranı (hacimce %88) nedeniyle, düşük CBN oranına (hacimce %50) sahip KD050'den daha sert ve metalik bağlayıcı nedeniyle, seramik bağlayıcılı KD050'den daha toktur. KD120'nin KD050'den daha üstün bir

aşınma direnci göstermesi bu nedenlerle açıklanabilir. KD120 takım, KD050 takıma göre daha az aşındığından dolayı, bu takım ile frezeleme neticesinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ( $R_a$ ) daha düşüktür.

KD050 takım ile yapılan frezeleme deneyleri sonucunda yanal yüzey aşınmasına en belirgin etkiyi kesme hızının yaptığı belirlenmiştir. Kesme hızının artması ile birlikte yanal yüzey aşınması orantılı olarak artmıştır. Fakat ilerleme miktarı ( $f$ ), kesme derinliği ( $a_p$ ) ve kesme genişliğinin ( $a_r$ ), yanal yüzey aşınmalarına etkilerine bakılacak olursa, belli bir değere kadar orantılı bir artış söz konusu olurken, belli bir değerden sonra çok hızlı bir şekilde aşınma gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar göz önüne alınacak olursa, KD050 takım için  $f = 0.20$  mm/dev,  $a_p = 0.18$  mm ve  $a_r = 20$  mm değerlerinin çok yüksek olduğu sonucuna varılabilir. KD050 takım ile 55 HRC'ye sertleştirilen P20 (1.2738) kalıp çeliğinin işlenmesi için belirlenen optimum kesme parametreleri şunlardır:  $V_c = 300$  m/dk,  $f = 0.15$  mm/dev,  $a_p = 0.12$  mm ve  $a_r = 15$  mm.

KD120 takım ile yapılan frezeleme deneyleri sonucunda yanal yüzey aşınması üzerinde hangi kesme parametresinin daha etkili olduğunu söylemek zordur, çünkü yüksek aşınma değerlerine çıkılamamıştır. Yinede kesme hızının artması ile birlikte yanal yüzey aşınmasının da az da olsa arttığı görülebilmektedir. İlerleme miktarı ( $f$ ), kesme derinliği ( $a_p$ ) ve kesme genişliğinin ( $a_r$ ) bu takım aşınmasına olan etkileri hakkında kesin bir yorum yapmak zordur. Ancak sonuçlar, KD050 takımdan elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında KD120 takımının, bu çalışmada kullanılan kesme parametrelerinin en üst düzeyinde rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir. Bu da, frezeleme işleminin daha kısa sürede bitirilmesi anlamına geldiğinden, üretim verimliliği ve maliyeti açısından, yüksek CBN içerikli, metal bağlayıcılı KD120

takımın, Düşük CBN içerikli, seramik bağlayıcılı KD050 takımdan çok daha üstün olduğunu göstermektedir.

Yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına bakıldığında, kesme hızı ( $V_c$ ) ve kesme derinliğinin ( $a_p$ ) işlenen parçanın yüzey pürüzlülüğüne çok fazla bir etkisi olmadığı görülmektedir. Ancak ilerleme ( $f$ ) ve kesme genişliğinin ( $a_r$ ) her iki takımda da yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri çok belirgindir. İlerleme ve kesme genişliği arttırıldıkça, yüzey pürüzlülüğü değerleri de artmaktadır. Özellikle kesme genişliğinin en üst düzeyinde ( $a_r = 20\text{mm}$ ), her iki takımdan da diğer deneylerden elde edilen sonuçlara kıyasla çok yüksek yüzey pürüzlülüğü sonuçları elde edilmiştir. Ancak kesme genişliği ve ilerleme değerleri düşük ve orta düzeylerde tutulduğu sürece, özellikle KD120 takımdan taşlama kalitesinde yüzeylerin elde edilebildiği görülmektedir.

#### KAYNAKLAR

1. Casto, S. , L. , Valvo, E. , L. , Ruisi, V. , F. , 1993, Wear Mechanism of Ceramic Tools, Wear, sayı: 160, sayfa: 227-235,
2. Özçatalbaş, Y. , Ercan, F. , 1998, Alaşım Elementlerinin Çeliğin İşlenebilirliğine Etkisi, Makine Tek, sayı: temmuz, sayfa: 28-31,
3. Özçatalbaş, Y. , Ercan, F. , 1996, Talaşlı İmalatta İşlenebilirlik ve İşlenebilirliğin Ölçülmesi, Standart, sayı: mayıs, sayfa: 84-89,
4. Akkurt, M. , 1992, Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul,
5. Handbook, 1980, Machining Data Handbook 3rd Edition, Vol 1, Machinability Data Center, Prentice Hall, Newyork,
6. Sandvik-Coromat, 1994, Modern Metal Cutting, Sandvik-Coromat, İsveç,
7. Shaw, M. C. , 1991, Metal Cutting Principles, Claredon Press, Oxford,

8. Trent, E. M. , 1984, Metal Cutting, Butterworths, London,
9. Şahin, Y. , 1999, Talaş Kaldırma Prensipleri, Cilt 1, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara,
10. Time I. I. , 1980, On the Resistance of Metals and Wood to Cutting, Permacov, St. Petersburg,
11. Astakov V. P. , Shvets S. V. , 1998, A System Concept in Metal Cutting, J. Mate. Proces. Techn., 79, 189-199,
12. Merchant M. E. , 1945, Mechanics of the Metal Cutting Proces. J. Appl. Phys. 16, 267-274,
13. Lee E. H. , Shafer B. W. , 1951, The Theory of Plasticity Applied to a Problem of Machining, ASMe, J. Appl. Mech. 18, 405-413,
14. Beer F. P. , Johnston, E. R. , 1985, Mechanics of Material, Mc Graw-Hill Ryerson, Toronto,
15. Metals Handbook, 1986, 9 rd Edition, Vol 15, Machining, ASM, Metals Park, OH,
16. Zorev N. , 1963, Int. Research in Production Engineering, Pittsburg, pp 42,
17. -----, 1997, The Biggest Breakthrough Since NC, Modern Machine Shop, August, 30-35,
18. -----, 1997, High Speed Machining or High rpm Machining, MEN, Jan/Feb, 49-51,
19. Ebersbach, S. J. , 1997, Trocken, Hart und HSC Bearbeitung, VDI-Z, August, 30-35,
20. Groover, P. Mikel, 1996, Fundamentals of Modern Manufacturing, New Jersey,
21. Avuncan, G. , 1998, Talaş Kaldırma Ekonomisi ve Kesici Takımlar, Makine Takım Endüstrisi AŞ. , mayıs,

22. Akkurt, M. Takım Tezgahları Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Teknolojisi. Birsen Yayınevi, İstanbul, 1985,
23. Akkurt, M. Takım Tezgahları ve Talaş Kaldırma Problemleri. Birsen Yayınevi, İstanbul, 1987,
24. Kronenberg, M. , Machining Science and Application, Pergamon Pres, Oxford, 1966,
25. Boothroyd, G. , Fundamental of Metal Machining and Machine Tool, McGraw-Hill, New York, 1975,
26. De Garmo, E.P. , Black, J.T. and Kohser, R. A. , Material and Processes in Manufacturing, Macmilan Publishing Company, New York, 1988,
27. Shaw M. C. and Vyas A. , Chip Formation in Machining of Hardened Steels, CIRP Annals, 42, 29-32, 1993,
28. Davies, M. A. , and Chou, Y. and Evans, C. J. , On Chip Morphology Tool Wear and Cutting Mechanics in Finish Hard Turning, Annals of the CIRP, 45, 77-82, 1991,
29. Kocks, U. F. , Argon, A. S. And Ashby, M. F. , Thermodynamics and Kinetics of Slip, Progres in Materials Science, 19, Pergamon Pres, Oxford, 1975,
30. Luo, S. Y. , Liao, Y. S. , Tsai, Y. Y. , Wear Characteristics in turning High Hardeness Alloy Steel Ceramic and CBN Tools, J. Of Processing Technology, Sayı: 88, Sayfa: 114-121, 1999,
31. Özcan, Ş. , Aran, A. , Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Malzeme Bilgisi, Cilt 1, MBEAE Matbaası, Gebze, 1988,
32. Sağlam, H. , Ünüvar, A. , Takım Aşınmasına Dayalı Olarak On-line Takım Durumu İzleme Sistemleri ve Verilerin Değerlendirilmesi, Makine İmalat Teknolojileri Sempozyumu, 14-15, Ekim 1999, Konya,

33. Wilkins, P. , McLachan, S. , Shelton, P. , Walker, M. , Tool Wear Monitoring Using the Performance Index Method, 32<sup>nd</sup> ISATA Conference 14-18 June, Vienna AUSTRIA, 1999,
34. Elefherion, E. , Bates, C. , E. , Effects of Inoculation on Machinability of Grey Cast Iron, Universty of Alabama Birmingham, Alabama, AFS Transactions,
35. Dinçmen M. , Takımlar ve Takım Tezgahları, KTÜ Yayınları, Trabzon, 1980,
36. Modern Metal Cutting Sandvik Coromant Technical, Editorial Department, Printed in Sweden by Tofters Tryckeri AB, 1994, Çeviren Cemal Çakır, Mayıs, 1999, Bursa,
37. Edwards, R. , Cutting Tools, The Institute Of Materials, London, 1993.
38. Şahin, Y., Talaş Kaldırma Prensipleri, Cilt 2, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2001.
39. Machining Data Handbook, 3<sup>rd</sup> Vol I ve II Compiled by US Machinability Data Center, Available from Metcut Research Associates, Inc. Rosslyn Drive, Cincinnati, OH 45209, 1980.
40. Turning Tools and Inserts, Main Catalogue and Technolgical Guide, SECO, 1995.
41. Ezugwu E.O., The Performance of Cermet Cutting Tools Materials in the Machining of Steel, Key Engineering Materials, Vols. 138-140, 1998.
42. Gülyaz H. A., Abişev, E., Engin Kılıç, S., Sertleştirilmiş Karbon Çeliklerinin CBN ile Taşlama Kalitesinde Tornalanmasında Oluşan Yüzey Pürüzlülüğü Tahmini Model Oluşturulması, 7. Uluslar arası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, 11-13 Eylül, Ankara, 1996.
43. Ceramic Cutting Tools, Materials Development and Performance (Edited by E. Dow Whitney), Noyes Publ. Park Ridges, New Jersey, USA, 1989.

44. Kayır Y, Şahin Y., Günümüz Kesicileri Seramikler, Tekn. Geliş. Dergi., s.38, 1996.
45. Trent E. M., Metal Cutting, 2<sup>nd</sup> Edition, Butterworth-Heinemann, 1991.
46. Şahin Y, Gültaş A. M., Sert Maden Uçlu Kesici Takımlar, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt 37, s.443, sayfa 13-18, Ankara, 1996.
47. Abrao A. M., and Aspinwall D. K., The Surface Integrity of Turned and Ground Hardened Bearing Steel, Wear, 196, 279-287, 1996.
48. Dewes R., Effect of Tool/Workpiece Temperature on Tool Wear When Cutting Hard Steels, Metal Powder Report, 52- 53-54, 1997.
49. Dewes R. C., Ng E., Chua K. S., Newton P. G., Aspinwall D. K., Temperature Measurement When High Speed Machining Hardened Mould/die Steel, Journal of Materials Processing Technology, 92-93, 293-301, 1999.
50. Wuyi Chen, Cutting Forces and Surface Finish When Machining Medium Hardness Steel Using CBN Tools, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 40, 455-466, 2000.
51. Y. Kevin Chou, Chris J. Evans, Mashe M. Barash, Experimental Investigation on Cubic Boron Nitride Turning of Hardened AISI 52100 Steel, Journal of Materials Processing Technology, 134, 1-9, 2003.
52. Dewes, R. C., Abrao A. M., Aspinwall D. K., Paper Accepted for the European Conference on Advances in Hard Materials Production, the Effect of Tool Workpiece Interface Temperature on Tool Wear and Cutting Performance When Turning and High Speed and Milling, Hardened Steel Using PCBN and Conventional Ceramic Tooling, Euru PM96, 27-29 May, Stockholm, Sweden, 1996.