

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METAL İYONLARI İLE AŞILANMIŞ TAKIMLARDA AŞINMANIN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdem HOCALAR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14.09.2005

Tezin Savunulduğu Tarih : 23.09.2005

Tez Danışmanı : Yrd. Doç.Dr. Nurşen SAKLAKOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç.Dr. Cevdet MERİÇ

Yrd. Doç.Dr. Serdar KARAOĞLU

MANİSA 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİL LİSTESİ.....	IV
TABLO LİSTESİ.....	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
GİRİŞ	1
BÖLÜM 1. TALAŞ KALDIRMA TEKNOLOJİSİ	3
1.1 Talaş Kaldırma Mekaniği	3
1.2 Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler	4
1.2.1 Kesme Hızı.....	5
1.2.2 Takım Geometrisi.....	6
1.2.3 Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarı.....	7
1.2.4 Kesme Kuvveti.....	8
1.2.5 Titreşimin Etkisi.....	10
1.2.6 Takım Uç Yarıçapının Etkisi.....	11
BÖLÜM 2. KESİCİ TAKIMLAR	13
2.1 Kesici Takımlarda Aranılan Özellikler	13
2.2 Kesici Takım Malzemeleri	14
2.2.1 Karbonlu ve Düşük Alaşımli Çelikler.....	15
2.2.2 Yüksek Hız Çelikleri (YHÇ).....	17
2.2.3 Dökme Karbürler.....	20
2.2.4 Sinter Karbürler.....	21
2.2.4.1 Sinter Karbürlerin Üretilmesi.....	22
2.2.4.2 Sinter Karbürlerin Uygulama Alanları.....	23
2.2.5 Sermetler.....	24
2.2.6 Seramikler.....	26
2.2.6.1 Alüminyum Oksit (Al ₂ O ₃) Esaslı Seramikler.....	26
2.2.6.2 Silisyum Nitrür (Si ₃ N ₄) Esaslı Seramikler.....	27
2.2.6.3 Siyalonlar.....	27

2.2.6.4 Kübik Bor Nitrür (CBN).....	28
2.2.7 Elmaslar.....	29
2.3 Kesici Takımlarda Aşınma.....	29
2.3.1 Takım Aşınmasına Etki Eden Faktörler	30
2.3.2 Takım Aşınma Mekanizmaları.....	31
2.3.2.1 Abrasyon Aşınma Mekanizması	32
2.3.2.2 Difüzyon Aşınma Mekanizması	32
2.3.2.3 Oksidasyon Aşınma Mekanizması	32
2.3.2.4 Yorulma Aşınma Mekanizması.....	33
2.3.2.5 Adhezyon Aşınma Mekanizması.....	33
2.3.3 Takım Aşınma Çeşitleri.....	34
2.3.3.1 Yan Kenar Aşınması (Flank Wear).....	34
2.3.3.2 Krater Aşınması (Crater Wear).....	35
2.3.3.3 Plastik Deformasyon (Plastic Deformation).....	36
2.3.3.4 Çentik Aşınması (Notch Wear).....	37
2.3.3.5 Termal Çatlaklar ((Thermal Cracking).....	38
2.3.3.6 Mekanik Yorulma Çatlakları (Mechanical Fatigue Cracking).....	38
2.3.3.7 Çıtlama- Çentikleme (Chipping).....	39
2.3.3.8 Kırılma (Fracture).....	39
2.3.3.9 Kesici Kenarda Yığılma (BUE).....	40
BÖLÜM 3. YÜZEY İŞLEMLERİ.....	41
3.1 Kesici Takımlara Uygulanan Yüzey İşlemleri.....	41
3.2 İyon Aşılama.....	41
3.2.1 İyon Aşılamanın Uygulandığı Alanlar.....	43
3.3 İyon Işını Ekipmanları.....	45
3.3.1 İyon Aşılama da Kullanılan İyon Kaynakları.....	46
3.3.2 İyon Hızlandırma Sistemi.....	46
3.3.3 Kütle Analiz Sistemleri.....	47
3.3.4 İyon Işını Taraması.....	47
3.4 Metal Buhar Vakum Ark İyon Kaynağının (MEVVA) Genel Prensipleri.....	48
3.5 İyon Kaynağının(MEVVA) Yapısı.....	48
3.6 MEVVA İyon Kaynağının Gelişim Aşamaları.....	50
3.7 MEVVA İyon Aşılamanın Özellikleri ve Getirdiği Avantajlar.....	50

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA	52
4.1 Deneylerin Amacı	52
4.1.1 Aşınma Deneyi Koşulları.....	52
4.1.2 Kuvvet Ölçüm Deneyi Koşulları.....	53
4.2 Literatür Taraması	54
4.3 Materyal ve Metod	57
4.3.1 Deneylerde Kullanılan İş Parçası.....	57
4.3.2 Deneylerde Kullanılan Kesici Uç.....	58
4.3.3 Deneylerde Kullanılan Takım Tutucu(kater).....	59
4.3.4 Deneylerde Kullanılan Torna Tezgahı.....	59
4.3.5 Kesme Kuvvetlerini Ölçüm Sistemi ve Ekipmanları.....	60
4.3.6 Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM) Analizi.....	65
4.3.7 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri.....	66
4.3.8 Metal İyon Aşılama(MEVVA).....	68
4.4 Deneysel sonuçlar	68
4.4.1 Aşınma Sonuçları.....	68
4.4.2 Kuvvet Ölçüm Sonuçları.....	70
4.4.3 Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri.....	74
4.4.4 Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM) Analizleri.....	77
4.4.5 Mikroskopi Sonuçları.....	78
BÖLÜM 5. SONUÇLARIN İRDELENMESİ VE YORUMLAR	81
Öneriler.....	84
Kaynaklar.....	85

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Takım modeli ve ortogonal kesme [1].....	4
Şekil 1.2 Standart kesme açılarının gösterilmesi[2].....	7
Şekil 1.3 Talaş kaldırma kuvvetleri[1].....	9
Şekil 1.4 Tornalama işleminde kesme kuvvetleri[3].....	10
Şekil 1.5 Takım uç yarıçapı[1].....	11
Şekil 2.1 Martenzitik Yapı[2].....	16
Şekil 2.2 Temperlenmiş Martenzitik Yapı[2].....	16
Şekil 2.3 Tam tavlanmış YHÇ[2].....	20
Şekil 2.4 TM metodu ile üretilen YHÇ[2].....	20
Şekil 2.5 %94WC-%6Co alaşımli kaba taneli yapı ve %85WC-%15Co alaşımli kaba taneli yapı[2].....	22
Şekil 2.6 Sinterlenmiş karbürli kesici uçların üretim aşamaları[2].....	23
Şekil 2.7 Sermet takımların seramik ve karbürli takımlarla karşılaştırılması[2].....	25
Şekil 2.8 AL ₂ O ₃ /TiC seramik kesici[2].....	27
Şekil 2.9 SiC Whisker takviyeli seramik[2].....	27
Şekil 2.10 Siyalonların mikro yapısı[2].....	28
Şekil 2.11 Talaş kaldırma parametrelerinin takım sıcaklığı ve aşınma üzerine etkisi[7].....	31
Şekil 2.12 Kesici takımında yan kenar aşınması [8].....	34
Şekil 2.13 Yan kenar ve çentik aşınmasının şematik gösterimi[3].....	35
Şekil 2.15 Kesici takımında krater aşınması[8].....	35
Şekil 2.16 Kesme kuvvetlerinin etkisiyle plastik deformasyona uğramış takım kenarı[8].....	36
Şekil 2.17 Kesici takımında plastik deformasyon[8].....	36
Şekil 2.18 Kesici takımında çentik aşınması[8].....	37
Şekil 2.19 Oksidasyon sebebiyle talaş derinliğinin bittiği yerde oluşan çentik hasarı[8].....	37
Şekil 2.20 Kenara dik konumda meydana gelen çatlaklar[8].....	38
Şekil 2.21 Çıtlamaların verdiği deformasyon hasarları[8].....	39
Şekil 2.22 Kesici takımında kırılma[8].....	39
Şekil 2.23 Adhezyon mekanizmasıyla oluşan Built Up Edge[8].....	40
Şekil 3.1 İyon aşılamanın metalürjik yapıya etkisi[12].....	43
Şekil 3.2 Tipik bir iyon aşılama sürecinin şematik görünümü[14].....	46
Şekil 3.3 MEVVA İyon kaynağının şematik şekli[11].....	49
Şekil 4.1 Kesici ucun standart ölçüleri[27].....	58
Şekil 4.2 Takım tutucu(kater)[27].....	59
Şekil 4.3 C11MS Üniversal torna tezgahı.....	60

Şekil 4.4 Yük hücrelerinin ve kesici takımın torna tezgahına bağlanmasını sağlayan deney aparatı.....	60
Şekil 4.5 Tedeo Huntleigh 355 C3 BB-200kg yük hücresi(load cell).....	61
Şekil 4.6 Advantech ADAM 3016 izoleli uzama ölçer modülü.....	62
Şekil 4.7 Advantech PCI-1711 I/O kartı.....	63
Şekil 4.8 Kalibrasyon Grafiği.....	63
Şekil 4.9 Advantech GeniDaq yazılımı.....	64
Şekil 4.10 Kuvvet ölçüm sisteminin şematik şekli.....	65
Şekil 4.11 SEM'in şematik görünümü[28].....	66
Şekil 4.12 MİTUTOYO SURF TEST SJ-301 Profilometre.....	67
Şekil 4.13 Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi[1].....	67
Şekil 4.14 Aşınma-Zaman Grafiği (V:180m/dak, f:0.3mm/dev, a:2mm).....	69
Şekil 4.15 Aşınma-Talaş Hacmi Grafiği (V:180m/dak, f:0.3mm/dev, a:2mm).....	69
Şekil 4.16 Takım Ömrü Grafiği (V:180m/dak, f:0.3mm/dev, a:2mm).....	70
Şekil 4.17 Kesme Kuvveti(Fc)-Zaman Grafiği (V:180m/dak, f:0.3mm/dev, a:2mm).....	71
Şekil 4.18 İlerleme Kuvveti(Fa)-Zaman Grafiği (V:180m/dak, f:0.3mm/dev, a:2mm).....	71
Şekil 4.19 Kesme Kuvveti(Fc)-Zaman Grafiği (V:300m/dak, f:0.3mm/dev, a:2mm).....	72
Şekil 4.20 İlerleme Kuvveti(Fa)-Zaman Grafiği (V:300m/dak, f:0.3mm/dev, a:2mm).....	72
Şekil 4.21 Kesme Kuvveti(Fc)-Kesme Hızı Grafiği.....	73
Şekil 4.22 İlerleme Kuvveti(Fa)-Kesme Hızı Grafiği.....	73
Şekil 4.23 Yüzey Pürüzlülüğü-Zaman Grafiği.....	74
Şekil 4.24 Yüzey pürüzlülüğü-Kesme hızı grafiği.....	75
Şekil 4.25 Ti-500K yüzey profili.....	76
Şekil 4.26 Mo-500K yüzey profili.....	76
Şekil 4.27 Ti-1000K yüzey profili.....	76
Şekil 4.28 Cr-1000K yüzey profili.....	76
Şekil 4.29 İşlemsiz kesici takımın SEM görünümü(1000x ve 10000x zoom).....	77
Şekil 4.30 Mo-1000K kesici takımın SEM görünümü(1000x ve 10000x zoom).....	77
Şekil 4.31 Ti-1000K kesici takımın SEM görünümü(1000x ve 10000x zoom).....	77
Şekil 4.32 İşlemsiz(untreated) kesici takımın aşınma seyri.....	78
Şekil 4.33 Zr-500K kesici takımın aşınma seyri.....	79
Şekil 4.34 Cr-1000K kesici takımın aşınma seyri.....	80

TABLO LİSTESİ**Sayfa**

Tablo 1.1 Bazı kesici takım malzemelerinin mekanik özellikleri[5].....	15
Tablo 2.1 Sinterlenmiş karbür sermet kesici takımların fiziksel özellikleri[2].....	25
Tablo 4.2 Kalite muadil tablosu.....	57
Tablo 4.3 İş malzemesinin kimyasal analizi.....	57
Tablo 4.4 Kesici ucun ISO standartlarına göre isimlendirilmesi.....	58
Tablo 4.5 Advantech ADAM 3016 modülü teknik özellikleri.....	62
Tablo 4.6 Ra ile yüzey kalite simgesi arasındaki bağıntı[1].....	68
Tablo 5.1 Deneyler sonucu oluşan takım ömürleri.....	80
Tablo 5.2 Takımların aşındığı andaki yüzey pürüzlülük değerleri.....	81

TEŞEKKÜR

Tüm çalıőmalarım boyunca katkılarından ve önerilerinden yararlandığım, her zaman desteğini aldığım tez danıőmanım Yrd.Doç.Dr Nurşen SAKLAKOĞLU'na bana harcadıkları zaman ve emekten dolayı teşekkür ederim.

Deneysel çalıőmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, her zaman fikirlerine baővurduđum, bu tezin ortaya çıkmasında büyük katkıları olan Yrd.Doç.Dr İ. Etem SAKLAKOĞLU'na teşekkür ederim.

Deney düzeneğinin kurulmasında yönlendirmelerinden yararlandığım, yoğun çalışmaları arasında bana vakit ayıran Levent BAYIN Bey'e teşekkür ederim.

İş parçalarının hazırlanması aşamasında ve deney düzeneğindeki parçaların imalatının gerçekleőtirilmesinde katkıları bulunan ARMAK çalıőanlarına, yoğun iş temposu içinde atelyesini kullanmama izin veren ve teknik destek sağlayan Korhan Bey'e teşekkür ederim.

Tüm bu çalıőmalarım esnasında ve öğrencilik hayatımda benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teőekkürü borç bilirim.

ÖZET

Takım aşınması talaşlı imalatın temel problemlerinden biridir. Çünkü aşınan takım, işgücü, malzeme ve zaman kaybına sebep olurken, işlem verimliliği ve maliyetini olumsuz etkiler. Bu yüzden takım aşınmasının kontrollü ve önceden tahmin edilebilir olması istenir. Aşınmanın kontrolü; aşınma zamanını önceden kestirerek gerekli tedbirin alınması ve aşınma tiplerinin oluşma şartlarını göz önüne alarak takımın özelliklerinin iyileştirilmesini gerektirir.

Bu çalışmada metal iyon aşılama ile yüzeyi iyileştirilmiş kesici takımların aşınma davranışları ve kesme sırasında oluşan kesme kuvvetleri incelenmiştir. Avustralya Nükleer Bilim ve Teknoloji kurumunda kesici takımlar metal iyon aşılama yöntemi ile çeşitli dozlarda Mo, Cr, Ti ve Zr ile aşılansmıştır. Elde edilen numuneler 'Mo-500K', 'Mo-1000K', 'Cr-500K', 'Cr-1000K', 'Ti-500K', 'Ti-1000K', 'Zr-500K', 'Zr-1000K' ve 'Untreated' olarak adlandırılmışlardır. Kesme testleri ISO 3685 'Tek noktalı tornalama takımlarıyla takım ömür testine' göre yapılmıştır. Tüm testler \varnothing 120x300mm ebatlarında hazırlanmış AISI 4140 malzemesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Aşınma testlerinde işlem parametreleri kesme hızı 180m/dak, ilerleme 0.3 mm/dev ve 2 mm talaş derinliği olarak belirlenmiştir. Kesme işlemlerinde soğutma sıvısı soğutma sıvısı kullanılmamıştır.

Kuvvet ölçüm testleri için, asıl kesme kuvvetini(F_c) ve ilerleme kuvvetini(F_a) ölçebilecek strengeli dinamometre tasarlanıp, imal edilmiştir. Testler ilerlemenin 0.3mm/dev, talaş derinliğinin 2mm olduğu durumda gerçekleştirilmiştir. Bu iki değer sabit tutulup 180 ve 300 m/dak'lık iki farklı kesme hızı kullanılmıştır.

Deneyler sonucu metal iyonlarıyla aşılansan kesici takımlarda takım ömrü artmış, kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

ABSTRACT

Tool wear is one of the main problems in machining. Because, worn tools cause both loss of labor, material and time, it unfavorably affect process efficiency and cost. Therefore, tool wear should be both controllable and predictable. Control of wear requires estimations of tool life how previous usage and tool properties taking account the type of wear involved.

In this study, The wear behaviour of cutting tools whose surface had been modified using metal vapor ion implantation(MEVVA) were investigated. Mo, Cr, Ti and Zr metal ions at various dose were implanted in cutting tools with MEVVA at the Australian Nuclear Science and Technology Organisation. These samples were named 'Mo-500K', 'Mo-1000K', 'Cr-500K', 'Cr-1000K', 'Ti-500K', 'Ti-1000K', 'Zr-500K', 'Zr-1000K' and 'Untreated'. The cutting tests were performed in accordance to the International Standards of Organization ISO 3685 'Tool-life testing with single point turning tools'. All of the tests were performed on AISI 4140 workpiece material that had been prepared to a size of $\varnothing 120 \times 300$ mm.

Machining parameters for the wear tests were a cutting speed of 180m/min, feedrate of 0.3 mm/rev and a depth of cut of 2 mm. The cutting process was performed without coolant.

For the cutting force measurement, a strain gauge dynamometer was designed and constructed to measure the main cutting force(F_c) and feedrate force(F_a). Tests were performed when the machining parameters were feedrate of 0.3 mm/rev and depth of cut of 2 mm. These two parameters were fixed and 180 m/min,300 m/min cutting speed were used.

In view of the test results, the life of the tools whose surfaces were modified using metal vapor ion implantation(MEVVA) was increased. It was found that when the cutting speed increased, the cutting forces were reduced.

GİRİŞ

Talaşlı imalatın temel amacı üretilecek iş parçasının geometrik ve boyutsal tamlığıyla birlikte yüzey kalitesinin de istenen sınırlar içerisinde ve ekonomik olarak sağlamaktır. Bu şekillendirme esnasında istenmeyen malzemelerin talaş olarak iş parçasından ayrılmasının mümkün olduğu kadar kontrollü gerçekleştirilmesi işlemin temel problemidir. Bunun için de, metallerin talaşa dönüşmeleri esnasındaki davranışlarının ve bu davranışlarının sebeplerinin iyi anlaşılması-analiz edilmesi gereklidir. Çünkü talaşlı imalat işlemini diğer metal kesme ve işleme yöntemlerinden farklı kılan, kesme olayının kesici takım üzerindeki lokal bir bölgede gerçekleşmesi ve bu esnada ısı, mekanik, kimyasal ve aşındırıcı yük faktörlerine maruz kalmasıdır.

Kesme sırasında, talaşın kesme yüzeyinde sıkışması, şekil değiştirme ve ayırma işi nedeniyle iç sürtünmeler, talaşın takım yüzeyinden akması ile talaşın takım yüzeyine teması sonucu dış sürtünmeler meydana gelir. Tüm bu sürtünmeler, kesici takımın ısınmasına neden olmaktadır. Isı oluşumu daha çok, kesici kenarın yakınlarındaki lokal alanlarda meydana gelir. Kesme kuvvetlerinin meydana getirdiği sürtünme ile kesici takımda oluşan ısı, takım sertliğini etkiler. Takım sertliğinin azalması kesici takımlarda bazı aşınma mekanizmalarını doğurur. Takım ve iş-parçası arasındaki sürtünmelerin azaltılması, oluşan kesme ısısını ve aşınmayı azaltacaktır.

Takım aşınması talaşlı imalatın temel problemlerinden biridir. Çünkü aşınan takım, işgücü, malzeme ve zaman kaybına sebep olurken, işlem verimliliği ve maliyetini olumsuz etkiler. Bu yüzden takım aşınmasının kontrollü gerçekleşmesi istenir. Eş çalışan bütün makina parçalarında olduğu gibi kesici takımlarda da aşınma kaçınılmaz olmasına rağmen, aşınmanın hangi şartlarda, nasıl gerçekleştiği ve temel oluşum mekanizmaları hakkında yeterli bilgi, aşınmanın kontrolüne imkan sağlar. Aşınmanın kontrolü; aşınma zamanını önceden kestirerek gerekli tedbirin alınması ve aşınma tiplerinin oluşma şartlarını göz önüne alarak takımın özelliklerinin iyileştirilmesini gerektirir.

1950'li yılların sonunda üretimlerin artırılması amacıyla hızlı çalışan tezgahlar üretilmiştir. Bu tezgahların üretilmesiyle kesici takımların ömrünün nasıl arttırılabileceği sorusu gündeme gelmiştir. Söz konusu takımların ömrünü arttırarak, makine durma sürelerini en aza indirmek için yapılan araştırmalar sonucunda takımların üzerlerine TiN, TiC v.s. gibi sert tabakalar kaplanmaya başlanmıştır. Bu çözüm sert metaller için uygun olmasına karşın ısı işlem görmüş takım çeliklerinde iyi sonuç vermemiştir. CVD (Chemical Vapour Deposition) adı verilen yöntemle 1000–2000 °C gibi sıcaklıklarda kaplama yapılabildiği için hassas olarak işlenen ısı işlem görmüş takım çelikleri bu sıcaklıklarda deformasyona uğramış ve istenen iyileşme sağlanamamıştır. Alternatif kaplama teknikleri aranırken 1960'lı yılların sonunda Amerika'da

PVD (Physical Vapour Deposition) adı verilen metot geliştirilmiştir. Bu metot 200–500 °C arasındaki sıcaklıklarda, ısıtılmış takım çeliklerini kaplama imkanı sağlamıştır. Fakat tekniğin laboratuvar aşamasından, sanayiye geçerek ticari anlamda kaplama yapılması 1970'li yıllarda mümkün olabilmektedir.

1970'li yılların sonundan itibaren geliştirilen iyon aşılama yöntemi önceleri sadece yarı iletken endüstrisinde kullanılmış, 1980'li yılların sonundan itibaren de farklı yöntemleri geliştirilerek metalurjik uygulamalara yönelik deneyler yapılmaya başlanmıştır.

Bu çalışma da iyon aşılama yöntemi kullanılarak yüzeyleri iyileştirilen kesici takımların performansları belirlenmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 1. TALAŞ KALDIRMA TEKNOLOJİSİ

1.1 Talaş Kaldırma Mekaniği

Talaş kaldırma belirli boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip bir parça meydana getirmek için ucu keskin bir takım ile ve güç kullanarak, iş parçası (hammadde) üzerinden 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.

Bir parçanın üzerinden belirli bir malzeme tabakası kaldırılması için takımın o malzemeye nüfuz etmesi gerekir. Bu da, ancak takıma uygulanan kuvvetlerin yeterli ve takım malzemesinin parça malzemesinden daha sert olması halinde gerçekleşir. Ayrıca takım ucunun kama şeklinde yapılması, olayı kolaylaştıran bir etkidir. Talaş kaldırma olayını incelemek için kama şeklinde bir kesme ucundan (ağzından) meydana gelen ve Şekil 1.1'de gösterilen bir takım modeli oluşturulur. Bu takım ile talaş kaldırma işlemine ortogonal kesme denilir.

Ortogonal kesmede takımın kesme kenarı, takım ile parça arasındaki kesme hızına dik (Şekil 1.1 a) veya eğik (Şekil 1.1 b) olabilir. Bu son duruma ortogonal eğik (meyilli) kesme denilir. Böyle bir takımın bir parça üzerine belirli bir kuvvetle bastırıldığı ve kuvvet yönüne doğru hareket ettirildiği düşünülürse (Şekil 1.1 c) takım ucunun temas ettiği metal tabakasında önce elastik sonra plastik şekil değiştirmeler meydana gelerek metal tabakasında akmalar başlar ve gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı anda tabaka talaş şeklinde belirli bir yüzey boyunca parçadan ayrılır (Şekil 1.1 c). Tabakanın parçadan ayrılma şekli parça malzemesinin özelliklerine ve işleme koşullarına bağlı olarak farklı bir şekilde gerçekleşir. Buna göre çeşitli talaş şekilleri meydana gelir.

Esasen talaşın iş parçasından ayrılması bir mekanik kopmadır; bu kopma burada makaslama (kesme) şeklinde gerçekleşmektedir. Bilindiği gibi genelde kopma sünek ve gevrek olmak üzere iki çeşittir. Sünek kopmada malzeme kopmadan önce büyük plastik şekil değiştirmeler göstermektedir. Sünek şekilde kopan malzemelere sünek malzemeler denilmektedir. Gevrek kopmada kopmadan önce çok az veya hiç bir plastik şekil değiştirme meydana gelmez. Bu tip malzemelere gevrek malzeme denilmektedir. [1]

Buna göre işlenen malzemenin cinsine göre talaş kaldırma olayı şu şekilde meydana gelir. Sünek malzemelerde takımın kesme ağzının önünde bir plastik şekil değiştirme (kesme) bölgesi meydana gelmekte ve bu bölgede malzeme talaş şeklinde sürekli olarak iş parçasından

derinliğinin takım ömrüne ve talaş kaldırma miktarına önemli etkisi vardır. Talaş kaldırma işlemi; elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan, sürtünme ve ısı oluşumu, talaş oluşumu ve talaş kırılması, iş malzemesi yüzeyinin sertleştirilmesi ve kesici takım ucunun aşınması ve kırılması gibi olayların meydana geldiği karmaşık fiziksel bir olaydır. Her hangi bir iş malzemesi yüzeyinden belirli miktarda malzeme tabakasının kaldırılması için kesici takım olarak adlandırılan bir kalemin o malzeme içine batması gerekir. Bunun içinde takım olarak kullanılan kesicinin, işlenecek iş parçasından daha sert, dayanıklı olması ve takıma kafi derecede bir kuvvetin uygulanması ile yine kesme olayının gerçekleşmesi için kesici takımın belirli bir takım geometrisine sahip olması ve belirli kesme şartlarının uygulanması lazımdır. Tornalamada yapılan kesme işleminin sürekliliğinden ve talaş kaldırma işlemi en iyi şekilde temsil etmesinden dolayı, tek-noktalı kesme işlemi ele alınmaktadır. Aynı şekilde diğer takım tezgâhlarında da benzer olaylar daha basit olarak ortaya çıkmaktadır. [1]

1.2.1 Kesme Hızı

Kesme hızı, talaş kaldırma esnasında, kesici takımın dönen iş parçası üzerinden dakikadaki metre cinsinden aldığı yol olup, tornalama ile talaş kaldırma işleminde $V = \pi \cdot D \cdot n / 1000$ (m/dak) olarak ifade edilir. Burada; V: Kesme hızı (m/dak), D: İşlenecek iş parçası çapı (mm), n: İş parçasını işlemek için kullanılan tezgaha verilmesi gereken devir sayısı (dev/dak)'nı göstermektedir.

Talaş kaldırma esnasında uygulanması gereken kesme hızı işlenecek malzemeye, kesici takım malzemesine, talaş derinliğine, ilerleme miktarına, soğutma sıvısına ve tezgah rijitliğine bağlıdır.

Her iki kesme konumunda da kesme hızı dış çapa göre verilir. Ancak özellikle alın tornalama işleminde, kesici takım dış çevreden iç merkeze doğru ilerleyerek kesme yaptığından kesme hızı merkezde 0(sıfır) olurken dış çapta maksimum değere sahip olmaktadır. Bu nedenle, iş parçalarının işlenmesinde iş parçası merkezine yaklaştıkça daha kötü yüzey elde edilir. Bunu önlemek için özellikle büyük parçaların üretiminde, devir kontrolü gibi tedbirler alınmalıdır. Aksi halde farklı kalitede parçası üretilmiş olacaktır. Kesmede genel kural olarak, ideal kesme şartlarının belirlenmesinde düşünülmesi gereken en önemli faktör, önceki deneylerden yararlanılarak, uygun kesme hızı seçiminin yapılmasıdır. Kesme hızı düşük seçilirse az parça üretilir ve çok düşük kesme hızlarında takım ucunda, talaş sıvanması meydana gelebilir. Bu durum takım değişikliğini gerekli kılabilir. Ancak, kesme hızı yüksekse, takım hızla bozulacak ve sıkça takım değişikliği gerekecektir. Bu nedenle her hangi bir talaş kaldırma işlemi için optimum kesme hızı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengeleyecek şekilde seçilmelidir.[2]

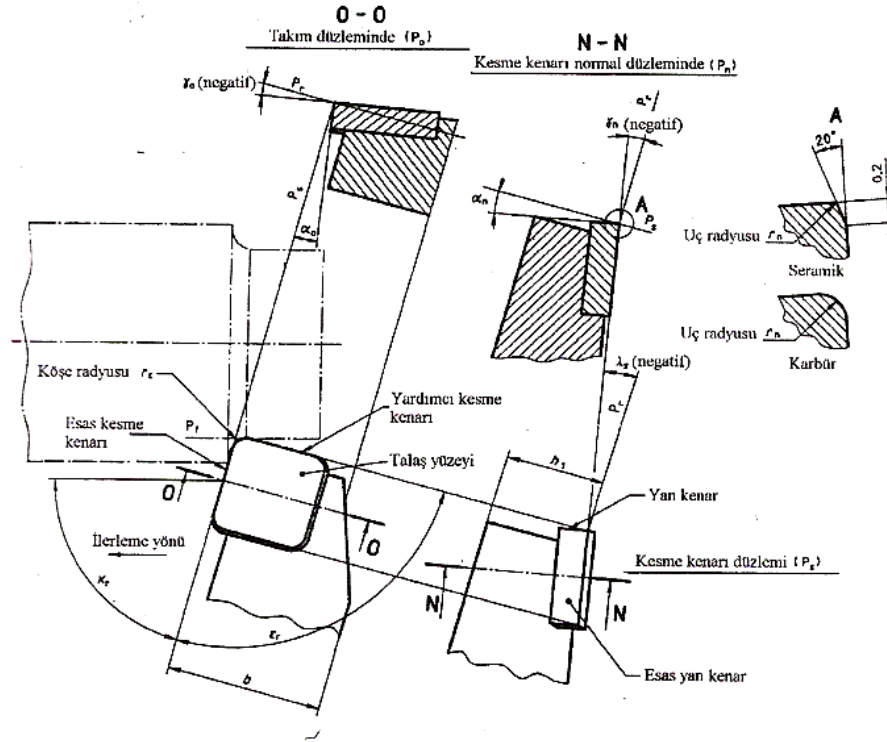
1.2.2 Takım Geometrisi

Görünürde birbirinden çok farklı olmalarına rağmen, tüm takımlar kesici ve tutturma olmak üzere iki kısımdan meydana gelirler. Keskin uç, ağız veya diş denilen takımların kesici kısmı tüm takımlar için geçerli olmak üzere ortogonal bir tarzda temsil edilebilir. Bu haliyle kama şeklinde olan takımın kesici kısmı, talaşın temas ettiği talaş yüzeyi ve parçanın işlenmiş yüzeyine dönük serbest yüzey ile sınırlıdır. Bu iki yüzeyin kesişmesi takım ucunu meydana getirir.

Parçanın işlenmiş yüzeyi ve ona dik bir doğru, koordinat sistemi olarak seçilirse, bu koordinat sistemine göre takımın kesme özelliğini tayin eden dikey doğru ile talaş yüzeyi arasında talaş açısı(γ), kesici kısmın kama açısı(β) ve serbest yüzey ile parçanın işlenmiş yüzeyi arasında serbest açısı(α) vardır. Ayrıca eğik kesmede takım ağzının kesme hızı doğrultusu ile yaptığı ve eğim açısı(λ) denilen bir açı daha vardır. Bu açı dik kesmede 0° dir.[1] Bu açıların en önemlisi kayma açısı olup, kayma düzlemi ile takımın hareket yönü arasındaki açıdır. Kayma açısı değiştiği zaman talaş kalınlığını değiştirdiği için önemi büyüktür. Boşluk açısı; kesici takım ucunun ve taban alt yüzeyinin işlenecek iş parçasına sürtünmesini önlemek amacıyla verilir. Bu açının değeri genelde $5-8^\circ$ arasında olmakla beraber kesici takım ve iş parçasına göre de değişmektedir. Kama açısı; kesici takım ucunun kesme özelliğinin sağlanması yani batmanın kolaylaştırılması için verilmekte olan bu açının değeri hem takım malzemesi hem de iş malzemesi çifti için deneyle tespit edilen tecrübeyle sağlanır. Ancak bu açının değişmesi talaş açısını da değiştirir ve dolayısıyla bu açı talaş açısındaki değişmeye bağlıdır. Talaş açısı; talaşın kesici takım yüzeyinden akarak uzaklaşmasını sağlayan açı olup, bu açı genellikle pozitif olarak verilir. Ancak bazı hallerde özellikle seramik takım ile kesme yapıldığında, talaş açısının değeri negatif olabilmektedir. Bu dik kesme işleminde boşluk açısı, kama açısı ve talaş açıları toplamı her zaman 90° olmalıdır.

ISO'ya göre standart kesici takım kesme açıları Şekil 1.2 de gösterilmektedir. Burada; serbest açısı (α), kama açısı (β), talaş açısı (γ), eğim açısı(λ), uç açısı (ϵ), ve yerleştirme açısı veya kesme kenar açısı (χ) gösterilmektedir. Bu kesici kalem açıları, kesicinin istenilen şekilde olmasını ve bilenmesini sağlayan açılardır. α ve γ açıları kesici takım parçanın tam ekseninde bulunduğu durumda geçerlidir. Kesici takım iş parçası eksenin altında veya üstünde bulunursa kayma açısı değişir. Bu açıya bağlı olarak da α ve γ açısının değerleri değişir. Kesici takım eksenin altında olduğunda γ artarken α azalır. Kesici takım eksenin üzerinde olduğu zaman ise α artar ve γ azalır. Bu açıların değişmesi de kesme kuvvetleri ve takım ömrüne ve takım otlamasına yol açar. Bu nedenle kesme işlemi esnasında etkili talaş kaldırma işlemi elde etmek için kesici takımın uç noktası iş parçası veya fener mili merkezinde olmalıdır.[2]

Kesici takım Cinsi	Talaş açısı, ° (γ)	Boşluk açısı, ° (α)	Kesici kenar meyil açısı, ° (λ_s)	Kesme açısı, ° (κ_d)	Toplam kenar açısı, ° (ϵ_d)
YHÇ takımı	25	8	0	75	90
Karbürlü Takım	7	5	0	75	90
Seramik takım	-7	7	-7	75	90



Şekil 1.2 Standart kesme açılarının gösterilmesi[2]

1.2.3 Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarı

Talaş kaldırma miktarı, bitirilmemiş iş parçasından kaldırılan malzeme miktarı olup mm^3/dak veya cm^3/dak cinsinden ölçülür. Bu değişkenlerden herhangi biri değiştirildiği zaman bunun sonucu olarak talaş kaldırma miktarı da değişir. Örneğin, kesme hızı veya talaş derinliği %25 artırılsa talaş kaldırma miktarı da %25 artacak fakat kesici takımın ömrü azalacaktır. Her bir parametredeki değişiklik, kesici takım ömrüne farklı olarak yansır. Kesme şartlarının değişmesinin etkileri, işlenen bir iş parçası üzerinde düşünülecek olursa; torna tezgahı

işlenecek malzeme için uygun devire ayarlanır. İlerleme miktarı seçilmiş ve genellikle minimum derinlik kabul edilen talaş derinliği, ilerleme miktarının 10 katı kadar seçilir. İşlem yapıldıktan ve takım ömrü belirlendikten sonra her değişken %50 kadar arttırılacak olursa;

- Talaş derinliğinin %50 oranında artırılması halinde takım ömrünü % 15 oranında azalacağı,
- İlerleme miktarının %50 oranında artırılması halinde takım ömrünü % 70 oranında azalacağı,
- Kesme hızının %50 oranında artırılması da takım ömrünü %90 kadar azalacağı,
- Talaş derinliğindeki değişmelerin, takım ömrü üzerine en az etkiye sahip olduğu,
- İlerleme miktarındaki değişmelerin, takım ömrü üzerine talaş derinliğindeki değişikliklerden daha büyük etkisi olduğu,
- Herhangi bir malzemede kesme hızındaki değişikliklerin takım ömrü üzerine hem talaş derinliği hem de ilerleme miktarından daha büyük etkiye sahip olduğu görülebilmektedir.

En uygun ilerleme miktarı ve talaş derinliği düşünüldüğü zaman, mümkün olan en derin talaş ve düşük ilerleme miktarı seçilir. Çünkü bunlar takım ömrü üzerine kesme hızından daha az etkiye sahip olduğundan ömrünü daha az oranda azaltacaktır. Optimum ilerleme miktarı, kesici takım ömrü ve talaş kaldırma miktarını dengelemelidir.[2]

1.2.4 Kesme Kuvveti

Talaş kaldırma olayını gerçekleştirmek için takıma kesme düzleminde meydana gelen dirençlere karşı, talaş kaldırma kuvveti(F_z) adını taşıyan bir kuvvet uygulanır (Şekil 1.3 a). Kesme düzlemindeki kuvvetler kesme kuvveti, takım ile talaş ve takım ile parça arasındaki sürtünme kuvvetlerinden oluşmaktadır. Düzlem boyunca yayılmış durumda olan bu kuvvetler, kesme düzlemin ortasında veya takımın ucuna (Şekil 1.3 b) uygulanan tek bir kuvvet ile gösterilebilir. Bu son durumda takım ucuna uygulanan kuvvet talaş kaldırma kuvveti F_z olursa, bu kuvvetin aşağıda gösterilen bileşenlerden meydana geldiği düşünülebilir. Kesme yönünde kesme kuvveti (F_c), bu yöne dik yönde radyal kuvvet (F_r); kesme düzlemde 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 . F_n ile F_z arasındaki ρ açısı sürtünme açısıdır.

Sürtünme katsayısı μ ile ifade edilirse;

$$\mu = F_f / F_n = \tan \rho ; \quad \rho = \arctan \mu \text{ olur.}$$

Bu kuvvetlerden pratik bakımdan en önemlisi kesme kuvveti F_s ve radyal kuvvet F_r dir. Şekil 1.3 de görüldüğü gibi 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, bu da takımın takım tutturma tertibatına bağlanması ile gerçekleştirilir.

Kesme kuvveti ve kesme kesiti τ_k malzemenin kesme mukavemeti olmak üzere

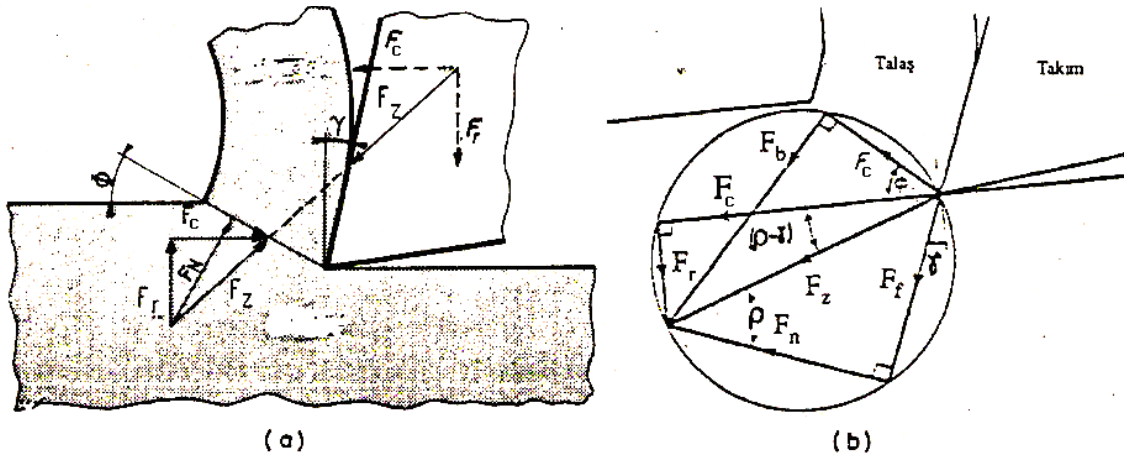
$$F_k = A_k \cdot \tau_k \quad ; \quad A_k = h \cdot b / \sin \phi$$

Şeklinde ifade edilirse, Şekil 1.3 b'den kesme ve radyal kuvvetler

$$F_c = h \cdot b \cdot \tau_k \cos (\rho - \gamma) / \sin \phi \cdot \cos (\phi + \rho - \gamma)$$

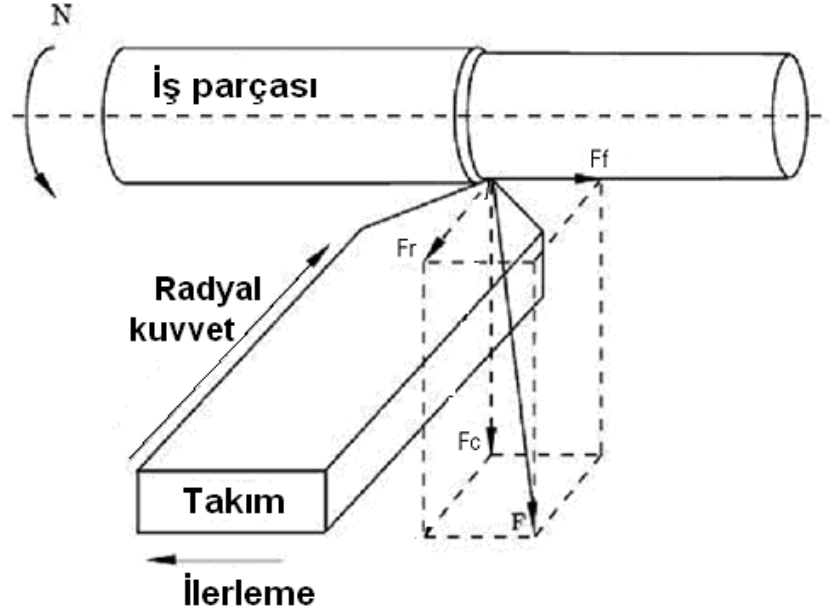
$$F_r = h \cdot b \cdot \tau_k \sin (\rho - \gamma) / \sin \phi \cdot \cos (\phi + \rho - \gamma)$$

olarak bulunur.



Şekil 1.3 Talaş kaldırma kuvvetleri[1]

Bu denklemlerde görüldüğü gibi, talaş kaldırma için harcanan güç için önemli olan F_c kesme kuvveti; malzemenin kesme kopma mukavemetine (τ_k), talaşın boyutlarına (b, h) talaş açısı (γ), kesme açısı (ϕ) 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 düşük talaş kaldırma gücü elde edilir.[1]



Şekil 1.4 Tornalama işleminde kesme kuvvetleri[3]

1.2.5 Titreşimin Etkisi

Titreşimin kesici takım ömrüne ve işlenen yüzey kalitesine, kesici takım iş parçası arasında sürekli oluşan bir relatif titreşimin mevcut olması nedeniyle, kötü etkisi vardır. Talaş kaldırma esnasında, genellikle, zorlanmış titreşim ve kendiliğinden doğan titreşim olmak üzere iki tür titreşim ortaya çıkmaktadır. Zorlanmış titreşim, tezgahın mekanik hareketlerinden dolayı oluşurken kendiliğinden doğan titreşim ise talaş kaldırma olayından dolayı meydana gelen titreşimdir. Genelde kendiliğinden doğan titreşim, kesme hızı arttığı zaman kesme kuvvetlerinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Bu titreşimlerin en kötü hali ise, işlenen yüzeyde titreşimden doğan takım izleri bırakacak derecede büyük olan "tırlama" veya "otlama" olarak adlandırılan titreşimin ortaya çıkmasıdır ki bu doğrudan yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etki yapar. Herhangi bir kesme işleminde titreşim veya otlama iş parçası yüzeyinde kuvvetli dalgalanmalar ile sonuçlanır. Otlama meydana geldiğinde farklı bir ses oluşur. Bu durum herhangi bir operatör tarafından da anlaşılabilir. Talaş kaldırma esnasında oluşan bu olayı önlemek için aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır. [2]

- İş parçası bağlama mesafesi mümkün olduğunca en aza indirilmeli,
- İş parçası dengeli tespit edilmeli ve kesici takım altına altlıklar konulmalı,
- Rijit tezgâh ve takımlar kullanılmalı,
- Tezgahın hareket eden elemanlar arasındaki boşluklar en aza indirilmeli,

- Kesme şartları (kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği) optimize edilmeli ve kesmede oluşan kuvvetleri azaltmak için talaş derinliği ve ilerleme miktarı azaltılmalı,
- Kesme kuvvetini azaltmak için kesici takım tasarımında gerekli değişiklikler yapılmalı ve aşınma kriterine ulaşılmış olan aşınmış bir takım talaş kaldırma işlemi devam ettirilmemeli,
- İşletme hızları takım tezgahı kontrol sisteminin doğal frekansına yaklaşılmamasına müsaade edilmemelidir.[2]

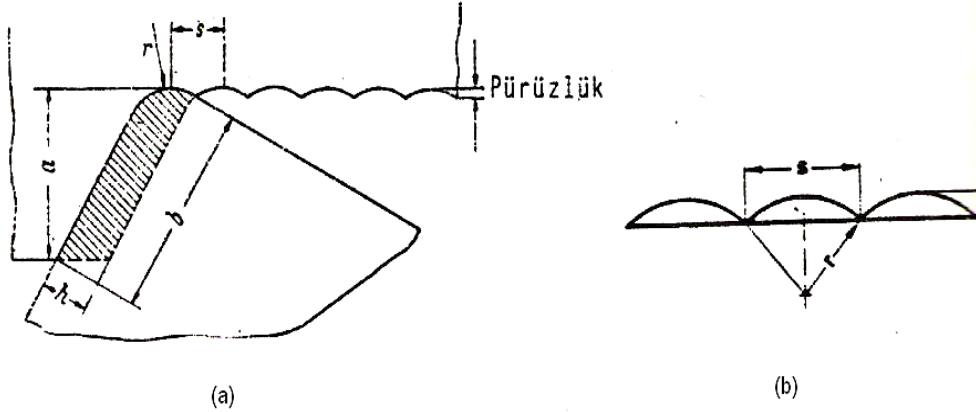
1.2.6 Takım Uç Yarıçapının Etkisi

Takım ucunun yuvarlatılmış olması, talaş kesitinin dik değil de Şekil 1.4 a'daki gibi yuvarlatılmış olarak oluşmasına neden olur. Böylece gerçek talaş kesiti (A_{sg}) teorik

$A_s = b \cdot h = s \cdot a$ talaş kesitinden daha küçük olur ve parça üzerinde $A_{sv} = A_s - A_{sg}$ değerinde kaldırılmamış talaş kalır. Kaldırılmamış bu talaş kesiti yüzey pürüzlülüğünü oluşturur.

Bununla beraber takım ucunun yarıçapı (r), işlenen yüzeyin yüzey pürüzlülüğünü de tayin eder.

$$R_{max} = s^2 / 8r \quad \text{veya} \quad s = \sqrt{8r R_{max}} \text{ olarak bulunur.}$$



Şekil 1.5 Takım uç yarıçapı[1]

Teorik bir bağıntı olan bu ifade ilerleme (s), takım ucunun yarıçapı (r) ile maksimum yüzey pürüzlülüğü (R_{max}) arasında sıkı bir ilişkinin olduğunu gösterir. Görüldüğü gibi, belirli bir yüzey pürüzlülüğü için, s 'nin değeri büyüdükçe, r değerinin azalması gerekir. Pratikte bu bağıntı ince pasolar için ilerleme değerinin istenilen bir yüzey pürüzlülüğüne göre tayin edilmesini sağlar.

Gerçek pürüzlülüğün değeri $R_{\max} = s^2 / 8r$ bağıntısından elde edilen değerlerden daha küçüktür ve pürüzler birbirine eşit değildir. Bunun nedeni, takım ve parça arasında oluşan titreşimlerdir. Buna rağmen $R_{\max} = s^2 / 8r$ bağıntısı, r ve R_{\max} 'a göre ilerlemenin (s) seçilmesini sağlar.

Takım ucunun r yarıçapı minimum kesme kalınlığını da belirler. Kesme kalınlığı a , r 'den daha küçük olduğu halde (Şekil 1.4 a) takım talaş kaldıracağına yüzeyi bastırır ve sertleştirir. Hareketin devam etmesi ile takım önüne toplanan malzemeyi tırlama yolu ile kaldırır; bunun sonucu işlenen yüzeyin bir kısmı bastırılmış ve parlak, diğer kısmı ise yüzey kalitesi kötü olarak ortaya çıkar. Ancak minimum kesme derinliği (a_{\min}) sadece r 'ye bağlı olmayıp, takım ve parça malzemesine, kesme sıvısına ve bilhassa kesme hızına bağlıdır.[1]

BÖLÜM 2. KESİCİ TAKIMLAR

2.1 Kesici Takımlarda Aranılan Özellikler

Kesici takımlar talaş kaldırma işleminde diğer malzemelere şekil verme, şekil değiştirme, kesme, koparma ve istenilen toleransta ölçüye getirme işlemi esnasında değişik zorlamalara maruz kalırlar. Ekonomikliğin yanında değişik makine ve makine parçalarının imalatını sağlamak için kullanılan kesici takımın talaş kaldırma esnasında oluşan yüksek zorlamaları karşılaması zorunludur. Talaş kaldırma yöntemlerinin çeşitliliği ve farklılığı takımın kullanılmasında gerekli olan farklılıklar ve aşırı artan ihtiyaçlar nedeniyle teknolojik rekabet ortaya çıkmış, metalik ve metalik olmayan çok sayıda takım malzemesinin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu malzemelerle kesme işlemi ve takım geliştirilmesi büyük oranda farklı şartlarda yapılan pratik uygulamaları ile elde edilmektedir. Birçok uygulama için birden fazla takım malzemesi uygun olabilir ve nihai takım seçimi ise malzemenin kolay temin edilebilirliği ve ekonomikliğine bağlıdır. Bu gereksinimleri karşılamak için yeni takım malzemeleri araştırılmış ve çok sayıda malzemeler denenmiştir. Ticari olarak bugün mevcut takım malzemelerinin değişik uygulamadaki performansları; takım ömrüne, talaş kaldırma miktarına, yüzey hassasiyetine ve takım maliyetine bağlı olarak değişmektedir.[2]

Talaş kaldırma işlemlerinde kesme şartları kesici takımın etkili kullanımında önemli bir rol oynar. Özellikle nümerik kontrollü tezgahların gereken karlılığı elde etmek için mümkün olduğunca etkili bir şekilde işletilmesi ekonomik bir ihtiyaçtır. İşleme maliyetleri kesme şartlarına ve kesme şartlarındaki optimum değerlerin önceden bilinmesine de bağlıdır.[4]

Talaş kaldırma işlemlerinde belirli bir malzeme için uygun takım seçimi kesici takımların mekanik özellikleri ile belirlenir. Uygun takım malzemesinin seçiminde takımın kesme işlemi ve fonksiyonu üzerine nasıl etki edeceğinin belirlenmesi için bu malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin anlaşılması gerekmektedir. Fiziksel ve mekanik özellikler malzeme karakteristikleri olup belli kesme şartları altında kesici malzemenin nasıl performans göstereceğini belirler. Fiziksel özellikler malzemenin tabii özellikleri olup malzemenin kendisi değiştirilmeden bu özellikler sürekli değiştirilemez. Bu özellikler; ağırlık, renk, ısı ve elektriksel iletkenlik, ısı uzama miktarı ve ergime noktasıdır. Mekanik özellikler ise; dayanım, sertlik, aşınma direnci, tokluk, gevreklik ve elastikiyet modülü gibi özellikler olup ısı işlemler ile değiştirilebilir.[2]

Kesici takımlar talaş kaldırma sırasında, diğer makine elemanlarına göre çok daha farklı ısı ve mekanik zorlamalara maruz kalırlar. Bu fark, kesici takımların talaş kaldırma sırasında, diğer makine elemanlarına göre, çok daha küçük alanlarda (lokal), aşırı mekanik ve ısı yüklerine maruz kalmalarındandır. Kesici takımların, talaşlı imalat sırasında oluşan bu ısı ve mekanik yükleri

karşılabilmesi için, kırılmaya karşı dayanımın yanı sıra (tokluk), istenilen yüzey sertliğinin elde edilmesi gerekir. Hem iyi bir tokluğa sahip, hem de çok sert bir takım malzemesi yoktur. Ancak, yüzey sertleştirme metotlarındaki gelişmeler, matris malzemeye sahip olmadığı özellikleri daha ekonomik olarak sağlamak ve daha kolay üretilebilmektedir.

Talaş kaldırma işlemlerinde, ya tornalama ve delme işleminde olduğu gibi tek noktalı takımlarla sürekli kesme işlemi, ya da frezeleme işleminde olduğu gibi çok uçlu takımlarla fasıllı kesme yapılır. Sürekli kesme işleminde kesici uçta yüksek sıcaklıklar oluşurken süreksiz kesme işleminde ise kesici uçlar darbeli yüklere maruz kaldığından daha büyük kuvvet ve sıcaklık değişimleri meydana gelir. İşlenen malzemelerin iç yapışma ve istenilen yüzey kalitesine göre uygun kesme hızlarında çalışması gereklidir. Yüksek kesme hızları kesici uç bölgesinde yüksek sıcaklıklar oluşturmaya rağmen ekonomiklik dikkate alınmalıdır. Bir kesici takımın kesme esnasında yüksek sıcaklıklarda kesme yeteneğini muhafaza etmesi için yüksek sıcaklık sertliğine sahip olması gerekir. Uçta meydana gelen sıcaklık için sıcak sertliği yeterli değilse o zaman takım hızla bozulur ve kullanılamaz hale gelir. Takım sürekli dönme çevriminden de oluşan ısıtma ve soğutma etkisini yenmesi için yeterli ısıl darbe direncine sahip olması gereklidir. Frezeleme işlemi veya eksantrik tornalama işlemi tipik örneklerdir. Bu ısıl darbe direnci çok düşükse takım ucu hızlı şekilde aşınır. Düşük şok dirençli uçlar sadece sürekli kesme işlemlerinde kullanılabilir. Talaş kaldırma esnasında oluşan kuvvetler, basınç, sürtünme, ısı oluşumu ve aşınma vb. olaylar ve ekonomiklik dikkate alınır, genellikle bir kesici takımın bulunması gereken özellikler şöyle özetlenebilir:

- Yüksek basma ve eğilme mukavemeti,
- Yüksek sertlik ve aşınma direnci,
- Yüksek sıcaklıkta aşınmaya karşı dayanıklılık ve iyi kimyasal kararlılık,
- Isı birikiminin önlenmesi için yüksek ısı iletim yeteneği,
- Ucuz olması yanında darbe etkisine karşı yeterli tokluk.

Ancak bütün bu özelliklere sahip bir kesici takım malzemesi yoktur çünkü bu özellikler birbiri ile ters düşebilmektedir. Yüksek sıcaklık ve aşınmaya dirençli takım malzemelerinin eğilme ve darbelere karşı dayanımları düşüktür. Burada önemli olan işlenecek iş parçasına göre teknik ve ekonomik koşulları bağdaştıracak en uygun takım malzemesinin seçimidir.[2]

2.2 Kesici Takım Malzemeleri

Kesici takımlar, iş parçalarının şekillendirilmesinde kullanılan yüksek kaliteli, yüksek boyut hassasiyetli ve çoğu ileri teknoloji ürünü olan malzemelerden üretilirler. İşlenecek parçanın özellikleri, kullanılacak kesici takım malzemelerine sınırlandırmalar getirdiği gibi, takımın

kullanım şartları da takım malzemesi seçimini büyük çapta etkiler. Kesici takım malzemelerinden istenen ortak özellikler ise sertlik ve sıcak sertlik, aşınma direnci, tokluk ve ekonomiktir. Uygun takım malzemesinin seçimi ile kesici takım-iş parçası malzemeleri arasında sürtünme sonucu oluşan yüksek sıcaklık aşınma mekanizmalarının (difüzyon, oksidasyon vb.) bertaraf edilmesi ile yüksek kesme hızlarına ulaşılır. Böylece takım ömrü ve üretim hızı artırılarak ekonomiklik sağlanır. Takım malzemeleri üç ana grupta toplanabilir: Metal esaslı, karbür esaslı ve seramik esaslı takım malzemeleri. Günümüzde yaygın olarak kullanılan takım malzemeleri yüksek hız çelikleri ve sement karbürlerdir. Yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve takım ömrünün artırılmasına yönelik çalışmalar sonucunda, kübik bor nitrür (CBN) ve elmas kaplanmış takımlar da kullanılmaya başlanmıştır.

Tablo 1.1 Bazı kesici takım malzemelerinin mekanik özellikleri[5]

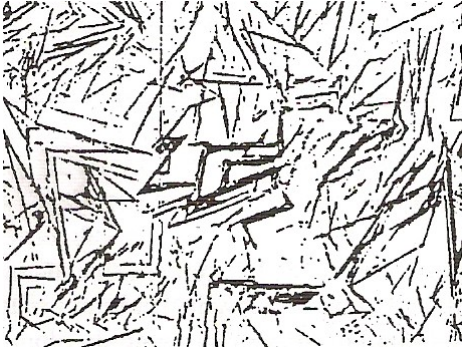
Özellik	Yüksek Hız Çeliği	Döküm Alaşımı	WC	TiC	Al ve Si Esaslı Seramik	CBN	Elmas
Sertlik (Gpa)	8.5	8.0	14-24	18-32	20-30	40-50	70-80
Basma mukavemeti (MPa)	4100-4500	1500-2300	4100-5850	3100-3850	2750-4500	6900	6900
Darbe mukavemeti (J)	1.35-8	0.34-1.25	0.34-1.35	0.79-1.24	<0.1	-	-
Elastisite Modülü (Gpa)	200	200	520-600	310-450	310-410	850	820-1050
Yoğunluk (g/cm ³)	8.6	8-8.7	10-15	5.5-5.8	4-4.5	3.48	3.5
Ergime/Bozunma Sıc. (°C)	1300	-	1400	1400	2000	1300	700
Isıl İletkenlik (W/m°C)	-	-	42-125	17	17-29	13	70
Isıl Genleşme Katsayısı (x10 ⁻⁶ /°C)	12	-	4-6.5	7.5-9	3.2-8.5	4.8	1.2

2.2.1 Karbonlu ve Düşük Alaşımli Çelikler

Karbon çelikleri, kesici takım malzemesi olarak kullanılan en eski tip çeliklerdir. Karbon içerikleri %0.6-1.4 arasında değişmektedir. Düşük alaşımli çeliklerde, kesme özelliklerini iyileştirmek amacıyla az miktarda krom (Cr), vanadyum (V), tungsten (W), molibden (Mo), mangan (Mn) gibi

alaşım elementleri bulunmaktadır. Çelikler, tavlama şartlarında kolayca şekillendirilebilir ve takiben su verme ve temperleme ile yüzeyi sertleştirilir. Takım kesitinin tamamı martenzite dönüşmez, iç kısım tok ve yüksek şok direncine sahip olur. (Trent, 1977). Karbon çeliklerinin sertliği martenzitik yapısından ileri gelir (58-64Rc). 250 C° üzerindeki sıcaklıklarda temperleme sonucu martenzit yumuşar; bu nedenle, karbon çelikleri sadece ahşap gibi yumuşak malzemelerin işlenmesi için uygundur ve sadece düşük üretim hızlarında (10m²/dk) kullanılırlar. Karbon çeliklerinin en önemli avantajı, kolay işlenmesi ve ucuz olmasıdır. Ayrıca çalışma sıcaklıklarında (max. 200-250C°) sertliklerini ve keskinliklerini korurlar.[5]

Karbonlu takım çeliği 850°C - 835°C arasında sertleştirilir ve bunu oda sıcaklığına kadar çok hızlı suda soğutma takip eder. Sertleştirme esnasında iş parçalarının iç ve dış kısımlarında çatlama eğilimi fazladır. Bu nedenle çarpılmaya neden olan iç gerilmeler meydana gelmesi, karışık şekilli takımlar için elverişli değildir. Diğer alaşımli çeliklere göre aşınmaya karşı dayanımları daha düşüktür. Bu işlemler ile yavaş soğutulan takım çeliğinin sertliği 200 Vickers'den (Hv) daha az iken suda soğutma neticesinde sertlik 950 Hv'ye çıkabilmektedir. Su verme sıcaklığı kızıl sıcaklık üzerine çıkarsa sertlikte daha fazla artma olmaz. Fakat daha gevrek olur ve şok altında takım daha kolay kırılır. Çok büyük sertlik artışı, atomların yeniden düzenlenmesiyle ortaya çıkan ve martenzit olarak adlandırılan bir yapı neticesinde oluşur. Bu yapının özelliği iğne şeklinde hacim merkezli kübik tetragonal yapıya sahip olup optik olarak mikroskobik yapısı şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Martenzitik Yapı[2]



Şekil 2.2 Temperlenmiş Martenzitik Yapı[2]

Alaşımli takım çeliklerinde, karbonlu çeliklerin kesme özelliklerini iyileştirmek amacıyla alaşım elementleri ilave edilerek mukavemet özellikleri ve kritik soğuma hızları değiştirilebilir. Alaşım elementleri olarak az miktarda tungsten(W), krom(Cr), vanadyum(V), kobalt(Co), nikel(Ni), molibden(Mo) ve manganez(Mn) katılır. Alaşım elementleri östenit halde katı eriyik halinde bulunan özel elemanların kritik hızını düşürmeleri avantajlarıdır. Bundan dolayı da bu çelikler

yağda hatta havada sertleştirme işlemine imkan sağladığından çatlama ve deformasyon bozuklukları azaltılır. Alaşım miktarlarına bağlı olarak yapılarına göre, takım çelikleri, martenzitik (havada sertleşen) takım çelikleri, östenitik takım çelikleri ve ledeburit takım çelikleri gibi isim alırlar.[2]

2.2.2 Yüksek Hız Çelikleri (YHÇ)

20. yüzyılın başından beri bilinen ve sürekli geliştirilen takım malzemesi grubu olup, diğer takım malzemelerine oranla düşük maliyeti ve işlenebilme kabiliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek hız çelikleri, oda ve yüksek sıcaklıklarda yüksek sertliği ve yüksek şok direnci sayesinde iyi performansıyla kesici takım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yüksek hız çelikleri önemli miktarda W, Mo, V ve Cr gibi karbür yapıcı elementlerle alaşımlandırılmıştır. Bu çelikler ihtiva ettikleri ana refrakter elemente göre iki ana gruba ayrılırlar: Molibdenli yüksek hız çelikleri (AISI M grubu: %0.8 C, %0.4 Cr, %5-8 Mo, %0-6 W ve % 1-2 V) ve tungstenli yüksek hız çelikleri (AISI T grubu: %0.7 C, %4 Cr, %18 W ve %1 V). Üretilen bütün yüksek hız çeliklerinin büyük çoğunluğunu (ABD'de %95'ini) M grubu çelikler oluşturmaktadır. M grubu çeliklerin başlangıç maliyeti benzer T grubu çelikten %40 daha düşüktür. Ayrıca M grubu yüksek hız çelikleri daha yüksek abrasif dirence sahiptir ve ısı işlem esnasında daha az distorse olurlar.[5]

Yüksek hız çeliklerinin matris yapısı martenzittir. Metalik alaşım elementleri ile karbon, kuvvetli bağ yapılı karbürleri oluşturur. Tungsten ve molibden, nihai mikroyapıda yüksek miktarda M_6C tipi karbürleri $[Fe_3(W,Mo)_3C]$ oluşturur. M_6C tipi karbür ostenitleme esnasında (1190-1270 °C) çözünerek matrisin sertleşmesini sağlar. Çözünmemiş M_6C karbürleri (~1600 HV) ise aşınma direncinin artmasına yardımcı olurlar. Vanadyum, kuvvetli karbür oluşturucu olarak MC tipi (V_4C_3) karbür oluşturur. Çok sert (2600 HV) ve kimyasal kararlılığı yüksek olan bu karbür, ostenitlemede çok az çözünür; çözünmeyen serbest karbür partikülleri abrasif aşınma direncini artırır. Krom ise hem karbür oluşturur, hem de katı eriyik sertleşmesi sağlar. Alaşım elementlerinin oluşturduğu karbürler, toplam hacmin %10-20'lik bir kısmını kaplar ve 550°C'e kadar yapılan ısıtma ve soğutmalarda sertlikte herhangi bir azalma olmaz (M_2C ve MC tipi karbür çökmesinin sebep olduğu ikincil sertleşmeden dolayı). %5-8 Co ilavesi yüksek hız çeliğinin temperleme esnasında sertleşmesini geciktirip kızıl sertliğini artırarak daha yüksek sıcaklıklarda çalışmasına imkan verir, bu çeliklerde karbon içeriği daha yüksektir (M40-T15 kaliteleri). Co ihtiva eden çelikler daha gevrek oldukları için işlenebilirlikleri, bilenmesi ve ısı işlemleri daha zor ve maliyetleri de daha yüksektir.[5]

Belirli özellikler kazandırmak için T ve M serisine değişik elementler katılır. Bu elementlerin etkileri şunlardır:

Karbon; en önemli katkı elementi olup genellikle C içeriği dar sınırlarda tutulur. Bu sınırlamalar içinde değişiklikler, mekanik özelliklerde ve kesme yeteneğinde önemli değişikliklere sebep olabilir. Karbon içeriği artarsa, oda sertliği ve yüksek sıcaklık sertliği artar. Sert, kararlı kompleks karbür sayısı da bu da aşınma direncini ve diğer özelliklerin artmasını sağlar.

Krom; her zaman %3-5 arasında katılır ve esas fonksiyonu sertleşebilirliği sağlamasıdır. Bu tür takımlar büyük kesitli takımlarda bile oldukça yavaş soğutulur ve parça boyunca sert bir martenzitik yapı meydana getirir. Sertlik ve tokluk arasında denge oluşturduğundan, genelde % 4 oranında katılır. Buna ilave olarak Cr oksitlenmeyi ve termal çatlamayı da azaltır.

Tungsten; 3 tane M serisi hariç hepsinde mevcuttur. YHÇ' inde demir karbür, tungsten ve karbür çok sert olduğundan aşınma direncini oldukça artırır. Bununla beraber, tungsten sıcak sertliği iyileştirir, ikinci sertleşmeyi sağlar ve temperleşmeye karşı da dirençlidir. YHÇ' de T içeriği azaltılırsa genellikle bunun kaybını önlemek için Mo katılır.

Molibden; T mevcutsa, karbon ve demirle aynı çift karbür oluşturur fakat tungsten atom ağırlığının yarısı kadardır. Bunun sonucu olarak, M, tungstenin yerine kullanılırsa, yaklaşık ağırlıkça 1 M' e karşılık 2 T parçası gerekir.

Molibden çeliğin ergime noktası, T serisinden daha düşük ve bu nedenle bunlar daha düşük sertleşme sıcaklığına ve daha dar sertleştirme oranına sahip bulunmaktadır. M serili YHÇ'leri T serisinden daha toktur fakat sıcak sertliği biraz düşüktür. Bu sıcak sertliğinin düşük olması T ve V katılarak telafi edilebilir. M2, M3, M4 gibi molibden-tungsten derecelerinin istenilmesinin en önemli nedeni budur. Bunlar iyi sıcak sertlik verirler ki YHÇ'lerinde de bu aranan bir özelliktir.

Vanadyum; çok sert ve kararlı karbür oluşturur, bunlar ikinci sertleştirmeyi kuvvetlendirir ve mümkün olabilecek tane büyümesini kontrol eder. Mikroskopik ölçekte V_4C_3 küçük hacimli sert parçacıkla alaşımın en sert bileşenidir. Bunlar; aşınma direncini, sıcak sertliği oldukça fazla miktarda artırır. V'nin artışı, karbonla uyumlu olduğu zaman, tokluk üzerine az etkisi vardır. Bu nedenle, çok hızlı kesme işlemlerinde veya kaba tormalama işlemlerinde etkilidir. Aynı zamanda dökme demir gibi kesik talaş veren malzemelerin işlenmesinde iyi performans gösterirler. Parça yüzeyi sert olduğundan V serisi seçimi gerekir. Yüksek V oranının katılmasıyla, çok iyi sıcak sertlik ve aşınma direnciyle birlikte yüksek tokluğun gerekli olduğu yerlerde, çok aşırı kesme şartları için özel YHÇ'leri geliştirilmiştir.

Kobalt; esas etkisi sıcak sertliği ve dolayısıyla yüksek sıcaklıkta kesme verimliliğini artırmaktır. Isıl davranış sıcaklığını yükseltir ve YHÇ'nin kırılgenliğini az oranda artırır. Kobalt kendisi bir karbür oluşturmazken çökeltmiş karbür parçacıklarının büyümesini önler. Özellikle, talaş

derinliği fazla ve kesme hızının yüksek olması gereken yerlerde ve sert malzemelerin işlenmesinde kobalt esaslı YHÇ'leri kullanılır. %'e kadar Silisyumun etkisi azdır. Si içeriği %O.15'den %0.45 kadar sertlikte az artış sağlar, aynı zamanda, toklukta hafif düşme olmasına rağmen karbür morfolojisine etki eder.

Manganez; gevrekliği ve sertleşmede çatlak yapma ihtimalini artırır. Fosforda oda sıcaklığında gevrekliğe sebep olabilir ve en az oranda tutulmalıdır.

Sülfür; % 0.3 katılarak, işlenebilirliği ve taşlanabilirliği iyileştirir.

YHÇ takımları dökme, dövme ve toz metalürjisi tekniği olmak üzere 3 metotla üretilir. Döküm ve dövme çeliklerde işlemin uygun olmayışı halinde büyük karbür parçacıklarının oluşması, karbür yığılması veya matristeki karbür dağılımının uniform olmaması ve karbür boyutundaki büyük değişmelerle sonuçlanır. Takıma istenilen şekli vermek için, taşlama işlemi güçleşmekte ve mekanik özelliklerde hayli farklılıklara, burulma, çatlama ve takım performansında dengesizliklere sebep olmaktadır. Bu problemleri yok etmek için toz metalürjisi (TM) tekniği geliştirilmiş olup, atomize edilmiş ön alaşımlı takım çeliği karışımı üzerine sıcak izostatik presleme uygulanır. Böylece değişik TM alaşımları ile daha homojen ve ince dokulu takımlar üretilir. Bu teknikle üretilen kesici takımlar daha iyi taşlanabilme yeteneğine sahip olmakla beraber daha yüksek tokluk, daha iyi aşınma direnci ve daha yüksek sıcak sertlik özelliği gösterirler. Ancak, bu takımlar normal YHÇ takımlarına göre maliyet bakımından 2 kat daha pahalıdır. Tam tavllanmış YHÇ'nin yapısı Şekil2.3 ve toz metalürji yöntemi ile üretilen YHÇ'nin yapısı Şekil2.4'de gösterilmiştir.[2]

Her tür yüksek hız çeliği arzu edilen boyuta sıcak haddelenebilir veya dövülebilir. Tavllanmış halde iken geleneksel talaşlı imalat teknikleri ile kesici takımlar kolayca üretilebilir. Son bilemeden önce, takımlara ısıl işlem uygulanır. Ostenitleme (1190-1270°C) ve genelde üç kere menevişleme (~550°C) ile makul ölçüde tokluk özelliği ile birlikte yüksek mukavemet ve yüksek sertlik (750 HV) kazanırlar. Yüksek hız çelikleri, 650°C'e kadar olan işlem sıcaklıklarında kullanılabilmekte ve takımlar tekrar tekrar bilenebilmektedir. Talaşlı işlemden eğilimin yüksek hızlara kayması nedeniyle yüksek hız çeliklerinin önemi giderek azalmaktadır. Bu takımlar metal kesme endüstrisinde (özellikle tokluk beklenen alanlarda) özellikle matkaplar, broşlar ve diğer tüm şekil verme takımları olarak önemli kullanım alanına sahiptirler.[5]



Şekil 2.3 Tam tavlanmış YHÇ[2]



Şekil 2.4 TM metodu ile üretilen YHÇ[2]

Ergitme ve döküm tekniklerindeki gelişmeler takım kalitesini iyileştirmektedir. İnce karbürlerin daha üniform bir dağılımını sağlamak için, bazı kaliteler ön alaşımlanmış atomize tozların konsolidasyonu ile yapılmaktadır. Yönetimin pahalı olması, mikro yapısal avantajların kullanılmasını büyük ölçüde engellemiştir (piyasa payı %5). Takım yüzeylerine, refrakter metal karbür ve nitrür ince kaplama yapılarak yüksek sertlik ve aşınma dayanımı elde edilmektedir. Böylece yüksek hız çeliğinden üretilmiş takımların performansında birkaç misli artış sağlanır. Düşük sıcaklıklarda (300-550°C) PVD yöntemi ile takım malzemesinin olumsuz yönde etkilenmesi engellenir. Buharda temperleme (mavileştirme) uygulanması ile takımın ömrünü artıran sert ve poröz mavi oksit film (Fe_3O_4) oluşturulur. TiC, TiN, HfN ve alümina kaplama yapılarak takım ömründe 2-6 kat artış sağlanır. Yaygın olarak altın renkli TiN kaplamalar uygulanmaktadır.[5]

2.2.3 Dökme Karbürler

Karbür miktarı yüksek oranlara ulaştığı zaman, takım malzemesi daha fazla sıcak dövülemez; bu nedenle, dökümle şekillendirilir. Kesici takımlar için dökme Co-Cr-W alaşımları tescilli malzemedir. İstenilen özelliklere bağlı olarak, alaşımların genel bileşimi; %38-46 Co, %25-35 Cr, %4-25 W ve %1-3 C şeklindedir. Stellite olarak adlandırılan Co-Cr-W alaşımının sertliği, tungsten ve karbon oranına bağlı olarak 40-60 Rc arasında değişir. Isıl işlem uygulanmasına gerek yoktur. Mikroskobik olarak alaşım, tungsten esaslı bileşikler ve toplam miktarı %45 mertebesinde karbürlerden ibarettir.

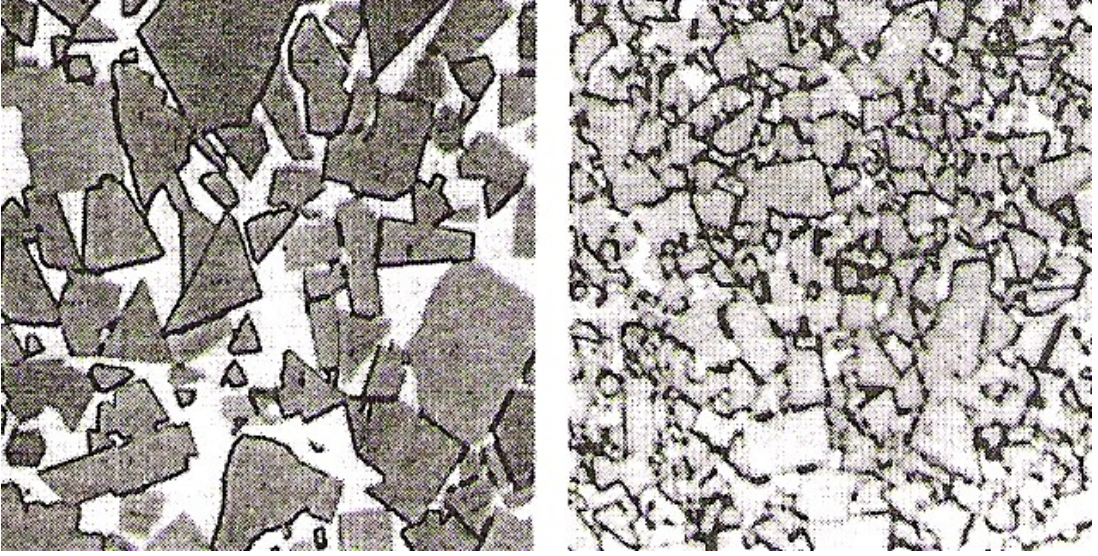
Bu alaşımın özelliği; yüksek sertliği, yüksek aşınma, oksidasyon ve korozyon direnci ve mükemmel kızıl sertliğidir. Bu özelliklerin kombinasyonu, bu alaşımı kesme uygulamaları için uygun kılmaktadır. Dökme alaşımlar, kesici uçta hasar olmaksızın yüksek hız çeliklerinden daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Yumuşama yavaş bir şekilde meydana geldiği için, daha yüksek kesme hızlarında çalışmak mümkündür; fakat, bu sırada süneklik azalır. Stellite kesici

takım olarak uygulanabilirliği yüksek hız çeliklerinden daha sınırlıdır. Zira döküm alaşımları daha gevrek ve takım dizaynı sınırlıdır. Ayrıca maliyeti de daha yüksektir. Stellite metal kesme takımları yaygın olarak çelik, dökme demir, dökme çelik, paslanmaz çelik, pirinç ve bazı diğer işlenebilir malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Çoğunlukla tek noktalı torna tezgahlarında, şekillendirici takımlarda ve freze çakılarına kullanılmaktadır.[5]

2.2.4 Sinter Karbürler

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

Bu tür kesici takımlarda abrasif eleman olarak tungsten karbür (WC) ile beraber titanyum karbür (TiC), tantalyum karbür (TaC) ve niobyum karbür (NbC) de mikro yapıda yer alabilir. Bu tür ilave karbürlerin, difüzyona direnç gösteren bir ara tabaka meydana getirmelerinden dolayı kesici takımlarda karşılaşılan önemli hasar türlerinden biri olan kraterleşme engellenmektedir. Bazı özel sert metallerde sert faz olarak krom karbür, molibden karbür ve bağlayıcı metal olarak nikel bulunabilir. Sade tungsten karbürü kaliteler dökme demir, ostenitik çelik, demir dışı ve metal dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılırken tungsten karbür yanında titanyum ve tantalyum karbür de ihtiva eden kaliteler ise ferritik çeliklerin işlenmesinde kullanılırlar. [5]



Şekil 2.5 %94WC-%6Co alaşımlı kaba taneli yapı ve %85WC-%15Co alaşımlı kaba taneli yapı[2]

2.2.4.1 Sinter Karbürlerin Üretilmesi

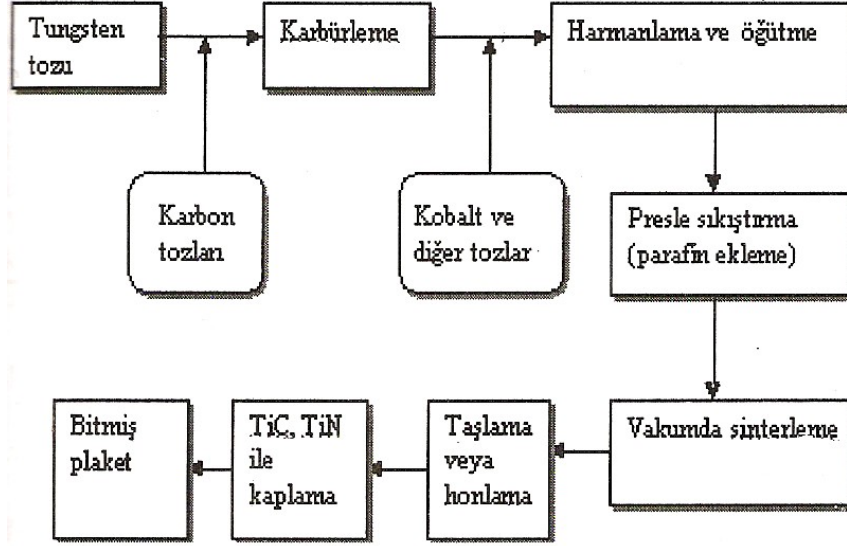
Bu kesiciler, toz metalürji metodu ile tungsten ve karbon tozları ile, genellikle kobaltın, ergime noktası altında sinterlenmesiyle üretilir. Değişik tip kesici takım yapmak için metal olarak, titanyum, tantalum ve niobiyum kullanılır. Bu tür kesicilerin üretimi; karıştırma, sıkıştırma, ön-sinterleme 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 ise 24 saatten 190 saat'e kadar çıkabilir. Toz ve alkol her tarafa nüfuz ettikten sonra alkol kurur ve presleme işlemi basitleştirmek için parafin katılır.

Sıkıştırma işlemi: Bu işlemde; tozlar homojen olarak karıştırıldıktan sonra, arzulanan şekil ve boyutta kalıplanır. Bu işlemler; ekstrüzyon, sıcak presleme, statik 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.

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 büzülme dikkate alınarak, ölçüler yaklaşık %40 kadar büyük seçilir. ,

Sinterleme: Bu aşamada; ön-sinterlenerek taşlanmış parçalar, karbür uçlara dönüştürmek için son basamak olup, bu işlem ya hidrojen atmosferi ya da 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. Bütün bu kesicilerin üretim aşamaları Şekil 2.6 da gösterilmektedir.[2]



Şekil 2.6 Sinterlenmiş karbürü kesici uçların üretim aşamaları[2]

2.2.4.2 Sinter Karbürlerin Uygulama Alanları

Sinterlenmiş karbürlerin oldukça sert, iyi aşınma dirençli özelliklerinden dolayı; bunlar talaş kaldırma işlemlerinde aşırı şekilde, matkaplar, raybalar, freze çakıları ve planyalama, özellikle, torna kesici takımı olarak kullanılmaktadır. Kaplamalı takımlarda yine frezeleme, vida çekme, kanal kalemi ve tornalamada kullanılmaktadır. Ancak PVD'li kaplamalarla, özellikle, freze çakıları ve oluklama işlemlerinde oldukça yüksek sıcaklık alaşımları ve paslanmaz çelikler gibi işlenmesi güç olan malzemelerin işlenmesinde başarılı şekilde kullanılmaktadır.

Kobalt esaslı karbürü kesiciler, bünyesindeki sert karbürler dolayısıyla iyi aşınma direncine sahip olduklarından endüstride kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlardan düz WC-Co alaşımlı takımlarda iki esas, değişken kobalt içeriği ve WC'nin tane boyutu, takım

performansına etki ettiği, özellikle, dökme ve dövme demir gibi malzemelerin işlenmesinde kullanılırken, çelik dereceli kesicilerin özelliğini ise, hem WC-Co alaşımına katılan TiC ve TaC'lerin yüzdesi ve kobalt içeriği, hem de karbürlerin üretimi, sinterleme ve diğer değişkenlerden etkilendiğini göstermektedir. Uygun karbür dereceli takım için;

- Küçük tane boyutlu olmalı,
- Daha düşük kobalt içerikli takım seçilmeli,
- Kraterleşme, talaş kaynaması ve kopmaya karşı ise TiC içerikli takım tercih edilmelidir.

Bu nedenle bu takımların düz karbürü kobalt alaşımına göre kesme hızı yaklaşık 3 kat artmaktadır. Başarılı bir talaş kaldırma işlemi için verilen iş malzemesi için uygun olan takım malzemesinin seçimine bağlıdır. Farklı özellik ve performansta çok sayıda kesici takım malzemeleri bulunmaktadır. Fakat günümüzde karbürü takımların çoğunun da CVD metodu ile kaplama yapılmaktadır. Tabii olarak da bu takımlar kaplamasız veya kaplamalı olsun bu malzemelerin üretiminin kolay, temin edilebilirliğinin kolay ve ucuz olması bunları çok daha çekici yapmaktadır.[2]

2.2.5 Sermetler

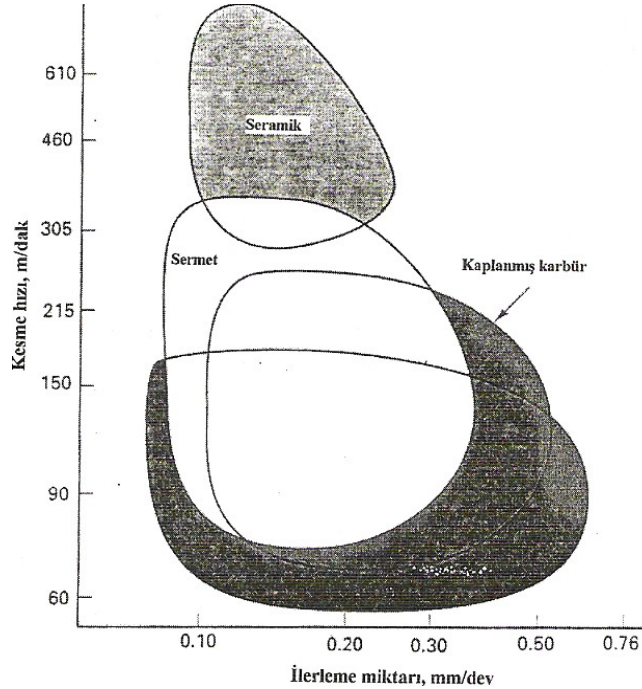
Sermetler, metalik bir fazla bağlanmış seramikler olup esasen sementte karbürler sermetlerin bir alt sınıfıdır. Çelik kesimi için, nikel ve molibdenle bağlanmış TiC tercih edilmektedir. Tipik bileşimi %8-25 Ni, %15-8 Mo₂C ve %60-80 TiC şeklindedir. Ayrıca küçük miktarlarda WC, Co, TiN içerebilir. Sermetlerin mikro yapısı geleneksel sementte karbürlerden farklıdır. Çünkü sinterleme sıcaklığında karbürün, bağlayıcı nikel içindeki çözünürlüğü kobaltinkinden daha fazladır. Bu nedenle sermetler, sementte karbürlerden daha gevrek karakterdedir. Bu malzemeler yüksek krater ve oksidasyon direnci, düşük sürtünme katsayısı ve termal iletkenlik ile nispeten düşük yoğunluğa sahiptir. Bununla birlikte sertlik derinliği yüksek, abrasif direnci kobaltla bağlanmış tungsten karbürden daha düşüktür.[5]

Sermetlerin; seramikler, kaplamalı ve düz karbürlerle ilerleme miktarı ve kesme hızı bakımından karşılaştırılması Şekil 2.8 de gösterilmiştir. 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 ulaşabilmektedir. Seramiklerle karşılaştırıldığında karbürü takımlarda ilerleme miktarı aralığının 0.08 mm/dev ile 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 Sermetler, kaplamalı takımlar ve seramikler arasında dengeyi sağlamaktadır.

Tablo 2.1 Sinterlenmiş karbür sermet kesici takımların fiziksel özellikleri[2]

Fiziksel özellikler	Sinterlenmiş karbür	Sermet
Sertlik (Hv)	2100	3200
Serbest enerji oluşumu (Kcal/g atm 1000 °C)	-10	-35
Demir içinde çözünürlüğü (1250°C de ağırlık yüzdesi)	8	0.5
Oksitlenme sıcaklığı (°C)	800	1100
Co ile ıslanabilirliği (1380 °C temas açısı)	0	25
Termal iletkenliği (Cal/cm Sn °C)	0.42	0.052
Termal uzama katsayısı	28.1	1.9
Termal şok katsayısı = (Termal iletkenlik x Çekme dayanımı) / (Termal uzama katsayısı x Elastik modülü)		

Kesici takım olarak sermetler %20'den daha az bağlayıcı içermektedirler. Bu malzemeler çelik ve dökme demirler için özellikle orta ve hafif yükler altında yüksek hızda yüzey operasyonlarında kullanılmaktadır. Buna karşın, kaba ve darbeli işlemlerde, boşluklu ve porözlü yüzeylerde, sert dökümlerde, grafit ve sıcak iş takım çeliklerinde, demir dışı malzemelerde (Al, Cu vb.) ve yüksek oranda nikel içeren malzemelerde (malzemelerdeki nikel ile sermetteki nikel birleşme eğilimi göstermektedir) kullanılması halinde iyi sonuçlar vermemektedir.[2]



Şekil 2.7 Sermet takımların seramik ve karbürü takımlarla karşılaştırılması[2]

2.2.6 Seramikler

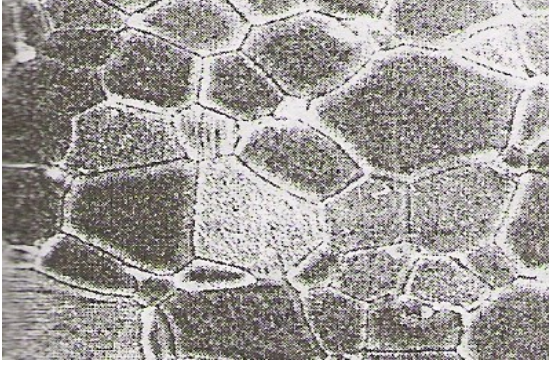
Metal işleme teknolojisinin gelişmesi ile işleme hızlarının artması daha uzun ömürlü (yüksek hızlarda çalışan) ve iş parçası ile etkileşmesi minimize edilmiş takım malzemesi arayışlarını hızlandırmıştır. Seramik malzemeler, tokluk dezavantajlarına karşılık yüksek sıcaklıklardaki mekanik ve kimyasal kararlılıkları ile özellikle sürekli çalışan takımlar olarak kullanım alanı bulmaktadırlar. Bu maksatla kullanılan seramik malzemeler alumina, siyalon ve kübik bor nitrürdür.[5]

2.2.6.1 Alüminyum Oksit (Al_2O_3) Esaslı Seramikler

Seramik takımlar, tane boyutu ortalaması birkaç mikron mertebesinde polikristalin, yoğun ve korundum kristal yapılı alümina ($\alpha-Al_2O_3$) esaslı malzemelerdir. Seramik takım insertleri sıcak veya soğuk presleme ile üretilir. Soğuk preslemede seramik istenilen şekilde şekillendirilir ve 1600-1700°C'de sinterlenir. Sıcak preslemede, presleme ve sinterleme birlikte yapılır. Bazı tür seramiklere, sinterlemeye yardımcı olmak ve tane büyümesini geciktirmek için, az miktarda titanyum oksit ve magnezyum oksit ilave edilir. Şekillendirildikten sonra takım, elmaslı disklerle perdahlanır. Geleneksel kesici takım malzemesi olan alumina (Al_2O_3) 3 grupta toplanabilir:

- 1. Grup : %10 kadar oksit ve karbür (özellikle titanyum, magnezyum, molibden, krom, nikel, kobalt) içeren alümina. Bu karışım soğuk pres+sinterleme ile üretilir.
- 2. Grup: Saf alümina, sıcak presleme ile üretilir.
- 3. Grup : %25-30 refrakter karbür (TiC, SiC, vb.) içeren alümina, sıcak presleme ile üretilir.

Alüminaya %10 ZrO_2 ilavesi ile kırılma tokluğunu önemli ölçüde (~%25) iyileştirmekte, dökme demir ve nikel esaslı alaşımların işleme kapasitesini artırmaktadır. Titanyum karbür (TiC) ilavesi Al_2O_3 'ün ısı iletkenliğini, dolayısıyla ısı şok direncini artırmakta fakat ancak sıcak presleme ile üretilebildiği için şekil sınırlandırmasını da beraberinde getirmektedir. Al_2O_3 takımların SiC wiskerlerle takviye edilmesi kırılma tokluğu, mukavemet ve ısı şok direncini artırmaktadır. Yaklaşık 1 mm çapında ve 20 mm boyutunda olan bu wiskerler, yapının sertliğini ve aşınma direncini yükseltirler. Sıcak presleme ile üretilen bu kesici takımlar, üstün özellikleri nedeniyle sertleştirilmiş çelik, nikel esaslı alaşımlar ve dökme demirin fasıllı talaş kaldırma işlemlerinde kullanılabilir.[5]

Şekil 2.8 AL₂O₃/TiC seramik kesici[2]

Şekil 2.9 SiC Whisker takviyeli seramik[2]

2.2.6.2 Silisyum Nitrür (Si₃N₄) Esaslı Seramikler

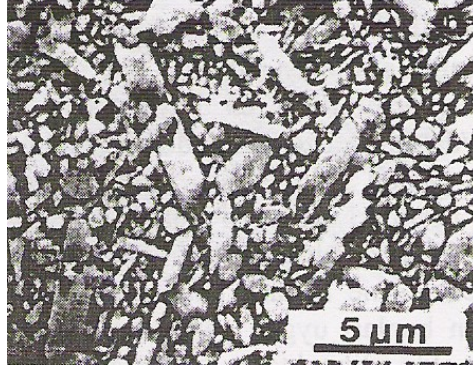
Silisyum nitrür esaslı seramik kesici uçlar, sadece sıcak presleme ve kimyasal bağ oluşturma teknikleriyle üretilmektedir. Yitrium Oksit (Y₂O₃) ile silisyum nitrür (Si₃N₄) ve alümina (Al₂O₃) tozları karıştırılarak önce düşük basınç altında preslenir. Daha sonra yaklaşık 10-30 MPa basınçla grafit kalıp içinde 1800°C sıcaklıkta bir vakum altında 45 dakika tutularak sinterlenir. Elde edilen kare şeklindeki plakalar 10-8µm olan elmas disklerle istenen ölçülere getirilir. Son olarak da 16 µm tane boyutundaki elmas disklerle de parlatılır. Karışımın ağırlıkça %88 Si₃N₄, %6 Al₂O₃ ve %6'nı ise Y₂O₃ oluştururken sırasıyla tane boyutları 1 µm, 1 µm ve 3 µm'dir. Sıcak presleme olarak yapılan bu yöntemle daha sık dokulu yapı elde edilebilmektedir.

Silisyum nitrür seramikleri, sertlik, yüksek ısıya dayanıklılık ve kimyasal kararlılık yanında tokluğun artmış olması, düşük ısıl genleşme sayıları (alümina ve sinterlenmiş karbür'e göre) en büyük avantajları arasındadır. Bu takımlarla 1500 m/dak' 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. Si₃N₄ 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 işletme şartlarına bağlı değil işlenecek malzemeye de bağlıdır. Makine çeliğinin işlenmesinde, talaş-takım ara yüzeyinde kimyasal reaksiyonun meydana gelmesinden dolayı kullanılması önerilmez.[2]

2.2.6.3 Sialonlar

Sialon (Si-Al-O-N) bir silisyum-alüminyum oksinitrür tipi seramik malzeme olup, sinterlenebilen silisyum nitrürün (Si₃N₄) bir türevidir. Silisyum nitrürün kırılma tokluğu alüminanın yaklaşık iki

katıdır ve daha yüksek bağ mukavemetine sahiptir. Termal genleşme katsayısı düşük olması nedeni ile iyi termal şok direnci verir. Alüminanın kırıldığı hızlı ve aralı talaş kaldırma işlemlerinde kullanılabilir. Yüksek yoğunluklarda sıcak presleme ile üretilir ve takımın şekillendirme maliyeti yüksektir.[5]



Şekil 2.10 Siyalonların mikro yapısı[2]

Sialon silisyum nitrür, alüminyum nitrür ve alüminyum oksite, yitrium oksit (Y_2O_3) katkısıyla $1800^\circ C$ 'de sinterlenmesi ile elde edilir. Yitrium oksit sinterlemede silikat oluşturarak sıvı faz sinterlemesine ve böylece porozite oranını düşürerek yaklaşık tam yoğunlukta (%98) malzeme elde edilmesini sağlar. Sialonun kırılma tokluğu ve enine kopma mukavemeti alüminadan daha yüksek, fakat Al_2O_3/SiC wisker seramiklerden daha düşüktür. Sialon kesici takımlar özellikle dökme demir ve süper alaşımların (Ni esaslı gaz türbin diskleri) işlenmesinde kullanılır.[5]

2.2.6.4 Kübik Bor Nitrür (CBN)

Sentetik elmas yapımı için kullanılanlara benzer yüksek sıcaklık ($1500^\circ C$), yüksek basınç (8GPa) teknikleri ile hekzagonal-kübik kafes dönüşümü ile elde edilen kübik bor nitrür (CBN), elmasın ikinci en yüksek sertlik değerine sahiptir. Küçük miktarlardaki seramik veya metal bağlayıcı ile %100 yoğunlukta bor nitrür karıştırılır. Günümüzde, General Electric firmasının BZN ve De Beers firmasının Amborite ticari adı ile piyasaya sunduğu iki ürün yaygın olarak kullanılmaktadır. Kübik bor nitrür, özellikle CBN-CBN metaller arası bağlarla bağlanmaktadır.

Kübik bor nitrürün sertliği, sıcaklık artışı ile azalmaktadır. Elmasla karşılaştırıldığında kübik bor nitrürün en önemli avantajı, demir veya diğer metaller ile temasında veya havada yüksek sıcaklıkta sahip olduğu çok yüksek kararlılığıdır. Çok kristalli kübik bor nitrür endüstriyel alanda son birkaç yıldır kullanım alanı bulmaktadır. Ferro malzemeler ile reaksiyon direnci ve

mükemmel abrasif direnci ile kombine edilen kübik bor nitrür, diğer takım malzemelerden daha yüksek sıcaklıklarda ve daha yüksek hızlarda sert malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Özellikle, elmasın kullanımını engelleyen hızlı aşınma olmaksızın yüksek hızlarda sert dökme demir ve sertleştirilmiş çeliğin kesimi için kullanılmaktadır. Ayrıca, süper alaşımlar (nikel ve kobalt esaslı), kübik bor nitrür kompozit kesici takımlarla, sement karbürlerden çok daha yüksek hızlarda işlenebilmektedir.[5]

2.2.7 Elmaslar

Elmas, karbonun tetrahedral formudur ve en sert ve en yüksek çizme dirençli malzeme olarak bilinir. Mohs ölçeğinde sertlik numarası 10'dur. Bu özellikler elması takım malzemesi olarak çekici kılar; ne var ki, endüstriyel alanda kullanılan doğal tek kristal elmasın küçük miktarları bile oldukça pahalıdır. Ayrıca elmas çok gevrek ve belirli kristalografik düzlemler boyunca kolayca ayrılır. Elmas 650°C'de hızla okside olmaya başlar ve atmosferik basınçta 1500°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tekrar grafit dönüşür. Yüksek sıcaklıkta demir için karbonun kolaylıkla çözünmesi veya demire difüze olan grafit dönüşmesi sebebiyle ferro malzemelerin işlenmesinde elmas yeterli performansı sağlamamaktadır. Bununla birlikte, elmas takımlar yüksek silisyumlu dökme alüminyum alaşımları, bakır ve alaşımları, sinterlenmiş tungsten karbürler, silika cam ile doyurulmuş kauçuk, cam-fiber/plastik ve karbon/plastik kompozitler ve yüksek alüminalı seramiklerin işlenmesinde kullanılmaktadır.

Doğal elmasın tahmin edilemeyen erken hasara uğramasına karşılık, üretilmiş tek kristaller daha güvenilir performansı sergilemektedir. Son zamanlarda, çok kristalli takım uçlar kendiliğinden sinterlenen yuvalar içinde veya bir karbür altlık üzerine sinterlenmiş 0.5 mm kalınlıkta tabakalar olarak kullanılmaya başlamıştır. Elmas, abrasif iş parçalarının işlenmesinde diğer takım malzemelere oranla yüksek performans göstermektedir.[5]

2.3 Kesici Takımlarda Aşınma

Talaşlı imalat; kesici takımın (ya da kısaca takım) iş parçasına göre nispi hareketleri sonucunda, iş parçasının belirli bir bölümünde plastik deformasyon oluşturarak gerçekleştirilen bir talaş kaldırma işlemidir. Oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan talaş kaldırma mekanizmasının anlaşılabilmesi için üç boyutlu takım geometrisi, iki boyutlu ortogonal kesme geometrisi şeklinde basitleştirilir. Bu geometrinin ve talaş kaldırma mekanizmasının incelenmesi sonucunda; talaş kaldırma sırasında takımın çok yüksek gerilme ve sıcaklıklara maruz kaldığı, bunun sonucunda takımın elastik ve plastik şekil değişimleri ile şiddetli bir aşınmanın meydana geldiği anlaşılmıştır. Talaş kaldırma sırasında takımın meydana gelen bu şekil değişimleri ve aşınma talaş kaldırma işlemini şüphesiz olumsuz yönde etkilemektedir. Çünkü kesici takımın

meydana gelen bu deformasyonlar; iş parçasının yüzey kalitesini ve toleranslarını olumsuz yönde etkilemekte, takım tezgahı konstrüksiyonundaki (miller, yataklar vb.) titreşimlerin artmasına neden olmakta, talaş kaldırma için gerekli olan enerji miktarını dolayısıyla enerji sarfiyatını arttırmaktadır.

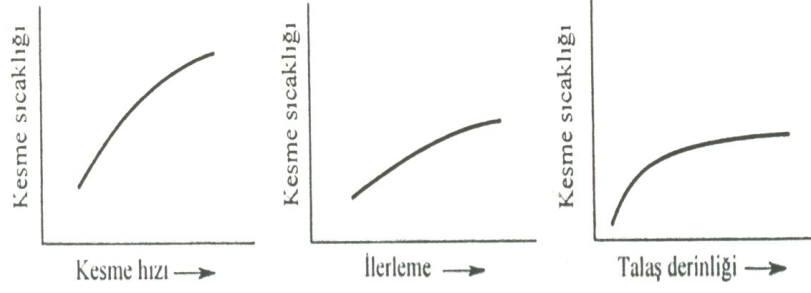
Bununla birlikte takımda meydana gelen deformasyonların oluşturduğu en büyük olumsuzluk takım ömrünün azalmasıdır. Takım ömrünün azalması, takım maliyetini ve sonuç olarak da üretim maliyetini etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedendir ki: takım ömrünü etkileyen faktörlerin bilinmesi, bu faktörleri kontrol altına alınabilecek tedbirlerin geliştirilmesi, etkili takım ömrünün belirlenebilmesi ve optimum takım değiştirme zamanının belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır.[6]

2.3.1 Takım Aşınmasına Etki Eden Faktörler

Takım aşınması, kesiciden koparılan küçük parçacıkların kaybı olduğundan, işlenen yüzey üzerine de doğrudan kolu etkiye sahip bulunmaktadır. Çünkü parçanın kopmasıyla takım körleşmiş ve kesici takımın serbest açısı 0 (sıfır)'a yaklaşacağından, daha çok uç alanı 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. Bu nedenle kritik değerlerin ne olduğunun bilinmesi ve nelere bağımlı olduğunun anlaşılması gerekir. Bunlar,

- a) Takım malzemesi,
- b) İş parçası malzemesi,
- c) Kesme hızı,
- d) İlerleme miktarı,
- e) Talaş derinliği.
- f)- Talaş geometrisi,
- g) Takım geometrisi,
- h) Soğutma sıvısı vb. olarak özetlenebilir.

Şekil 2.11 de talaş kaldırma parametrelerinin takım sıcaklığı üzerine dolayısı ile takım aşınması üzerine etkisi gösterilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi takım aşınması üzerine en büyük etkiyi sırasıyla kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliğinin gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 2.11 Talaş kaldırma parametrelerinin takım sıcaklığı ve aşınma üzerine etkisi[7]

Takım ömrü de, aşınma sonucu gerçekleşen bir olay olduğundan, bunlar takım ömrüne de etki eden faktörler olarak ele alınacaktır. Pratik işlemlerde, aşınma kesici kenarın etkili boyunca yan yüzey ve talaş yüzeyindeki aşınma uniform olarak oluşmamaktadır. Bu nedenle, takım tekrar bilemeden önce müsaade edilen aşınma miktarına karar verildiği zaman, aşınma miktarı ve aşınma yerini belirlemek gereklidir.[7]

2.3.2 Takım Aşınma Mekanizmaları

Bütün kesici takımlar talaş kaldırma işlemleri sırasında aşınır ve bu aşınma kesici takım, ömrünü tamamlayıncaya kadar devam eder. Kesici kenarın ömrü dakika olarak ifade edilir ve günümüzde takım ömrü eskiden olduğundan daha azdır.

İş parçalarının kabul edilebilir sınırlar dahilinde işlenmesi sırasında gerçekleşecek üretim zamanına kesici ucun takım ömrü denir.

İlk zamanlarda takım ömrü parametresi, takımın artık talaş kaldıramaması şeklinde basitçe ifade edilirdi. Günümüzde yüzey dokusu (yüzeyin yapısı, görünümü), hassasiyet, takım aşınma biçimi, talaş oluşumu ve önceden kestirilebilir güvenli takım ömrü gibi yaygın parametreler söz konusudur.

Talaş kaldırma işlemi sırasında kesici kenar üzerinde etkili olan yük faktörlerinin sonucu olarak bazı temel aşınma mekanizmaları metalden talaş kaldırma işlemine etki eder. Bunlar:

- 1-)Abrasyon (Aşındırıcılarla) Aşınma (Abresiv aşınma)
- 2-)Difüzyon Aşınma
- 3-)Oksidosyon Aşınma
- 4-)Yorulma İle Aşınma (Statik veya Dinamik)
- 5-)Yapışma İle (Adhezyon) Aşınma (Adhesiv aşınma).

Takım malzemesinin yüklere karşı dayanımı, takımın metal işlemedeki aşınma mekanizmaları tarafından nasıl etkileneceğini belirler.[8]

2.3.2.1 Abrasyon Aşınma Mekanizması

Abrasyon aşınma (aşındırıcılarla aşınma- abrasiz aşınma) çok yaygındır ve çoğunlukla iş parçası malzemesinin içerisindeki sert parçacıklarla meydana gelir. Sert parçacıklar iş parçası ile takım yüzeyi arasına geldiklerinde taşlama işlemine benzer bir durum oluşur. Kesici kenarın yan yüzeyinde aşınma, uç üzerindeki mekanik yüklerin bir sonucudur.

Kesici kenarın abrasiv aşınmaya karşı dayanımı büyük ölçüde sertliğine bağlıdır. Sert parçacıkların yoğun bir şekilde sıkıştırılması ile oluşan takım malzemesi abrasiv aşınmaya karşı dayanıklıdır. Fakat işleme sırasında meydana gelen diğer yük faktörleriyle başa çıkacak şekilde tasarlanmış olmayabilir. Abrasiv aşınma takım talaş ara yüzeyinde ise yüzeyde bir krater oluşmasına sebep olur.

2.3.2.2 Difüzyon Aşınma Mekanizması

Bu aşınma modelinde, talaş kaldırma esnasında oluşan kimyasal yükler daha etkilidir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve takım malzemesinin iş parçası malzemesine olan birleşme eğilimi difüzyon aşınma mekanizmasını belirleyecektir. Bu mekanizmada takım malzemesinin sertliği pek etkili değildir. Malzemelerin arasındaki metalürjik ilişki aşınmanın büyüklüğünü tayin eder. Bazı takım malzemeleri bazı iş parçası malzemelerine karşı çok yüksek çekiciliğe sahipken bazıları iş parçası malzemelerine karşı asaldır.

Tungsten karbür ve çelik, bu mekanizmanın oluşması için gerekli kimyasal çekiciliğe sahiptirler. Bunun sonucu olarak takım yüzeyi üzerinde krater oluşması söz konusudur. Difüzyon aşınma mekanizması daha çok sıcaklığa bağlıdır. Dolayısıyla kesme hızı arttırıldığı zaman mekanizmanın oluşma olasılığı artmaktadır. Tungsten karbür kesici takımlar ile çelik malzeme işlenirken difüzyon aşınma mekanizması meydana gelirse talaştan takıma doğru ferrit, takımdan talaşa doğru kobalt atomları difüze etmeye başlar.[8]

2.3.2.3 Oksidasyon Aşınma Mekanizması

Pek çok malzeme için oksitlenme farklı olmakla birlikte metal malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon demektir. Tungsten ve kobaltta oksidasyon, talaş tarafından daha kolay kazanıp aşındırılabilen gözenekli oksit filmi şeklinde oluşur. Bununla birlikte alüminyum oksit gibi bazı oksitler daha güçlü ve daha serttir. Bazı kesici takım malzemeleri oksidasyon sebebiyle aşınmaya diğerlerinden daha fazla meyillidir. Özellikle

kenarla parçanın ara yüzeyinde talaş derinliğinin bittiği yerde ortama hava karışmaktadır. Havadaki nem v.b. korozif faktörler sayesinde talaşın bittiği yerde çentik şeklinde bir aşınmaya sebep olur. Ancak bu tip bir aşınma günümüz teknolojisinde pek ender rastlanan bir durumdur.[8]

2.3.2.4 Yorulma Aşınma Mekanizması

Yorulma aşınma mekanizması daha çok bir termo-mekanik bir olaydır. Sıcaklık dalgalanmaları ve kesme kuvvetindeki kararsızlık kesici kenarda çatlaklara ve kırılmalara sebep olur. Bazı takım malzemeleri yorulmaya diğerlerinden daha duyarlıdır. Ayrıca kesme kuvvetleri kesici kenarın mekanik dayanımından çok yüksek olduğunda sadece mekanik yorulma ortaya çıkabilir. Bu durum işlenebilirliği kötü olan malzemelerin yüksek ilerleme değerleriyle işlenmesinden veya takım malzemesinin yeterince sert olmamasından kaynaklanabilir. Bununla beraber bazı durumlarda plastik deformasyon görülebilir.[8]

2.3.2.5 Adhezyon Aşınma Mekanizması

Bu aşınma aynı zamanda yıpranma aşınması olarak da bilinir. Takım talaş ara yüzeyinde daha çok düşük işleme sıcaklıklarında oluşur. Uzun talaş veya kısa talaş veren malzemelerin hepsinde görülebilir. Bu mekanizma genellikle kesici kenarla talaş arasında, kenarda yığılmış talaş oluşmasına sebep olur. Bu mekanizma sürecinde talaştan kopan ve birbirini takip eden katmanlar kesici kenara kaynaklanarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası halini alır. Oluşan yeni katmana BUE "Built Up Edge" denir.

BUE tabakası yerinden kopup uzaklaşsa da yeniden oluşabilir ve kırılması esnasında takım malzemesinden küçük parçacıklar kopartıp beraberinde götürebilir. Bazı kesici takım malzemeleri ve bazı iş parçası malzemeleri örneğin sünek çelikler gibi, basınçla birlikte kaynamaya daha fazla eğilim gösterirler. Daha fazla yüksek işleme sıcaklıklarında bu durumun oluşması için gerekli şartlar büyük ölçüde ortadan kalkar.

Belli bir sıcaklık aralığı, takım ve iş parçası malzemesi arasındaki yakınlık ve kesme kuvvetleri ile oluşan yüklerin kombinasyonu adhezyon aşınma mekanizmasını yaratır.

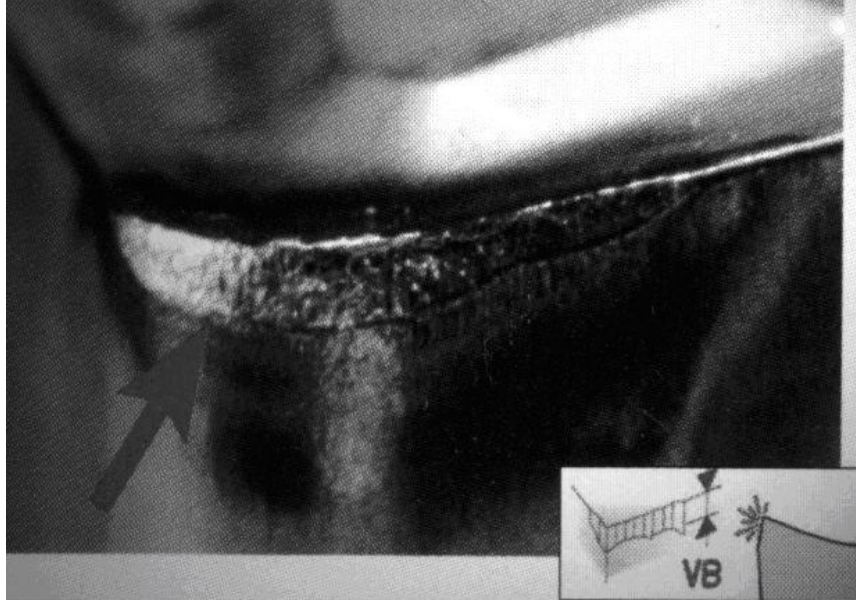
Deformasyonla sertleştirilmiş malzemeler (örneğin; östenitik paslanmaz çelikler) işlenirken talaş derinliğinin maksimum sınırında bu aşınma mekanizması, bölgesel aşınmanın hızlanmasına sebep olur. Bu durum en yaygın çentik aşınma tipidir ve aynı zamanda takım malzemesi ile iş parçası malzemesinin yakınlığına bağlıdır.[8]

2.3.3 Takım Aşınma Çeşitleri

Takım aşınma çeşitlerinin sınıflandırılması, işleme tipi ve malzeme için doğru işleme şartlarını ve takım sınıfını elde ederek verimliliği optimize etmek ve işleme operasyonunu değerlendirmek için en önemli unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Temel işleme kriterleri, talaş kaldırma miktarı, ekonomik hassasiyet, yüzey dokusu ve talaş kontrolü takım aşınmasının oluşup gelişmesine bağlıdır. Kesici kenarın büyütülerek incelenmesi ve aşınma biçiminin verdiği ipuçları doğrultusunda hareket etmek suretiyle kesici kenar için uygun bir takım ömrü kontrol edilebilir, artırılabilir emniyetli hale getirilebilir.[8]

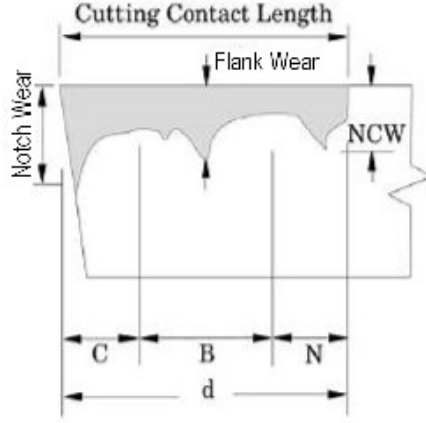
2.3.3.1 Yan Kenar Aşınması (Flank Wear)

İsminden de anlaşılacağı gibi kesici kenarın yan yüzeylerinde genellikle abrasif aşınma mekanizmalarından kaynaklanan bir aşınma tipidir. Talaş kaldırma esnasında söz konusu kenar, uç radüsü ve arka boşluk açısını oluşturan serbest kenarın bir kısmı talaş ve iş parçası ile temas eder. [8]



Şekil 2.12 Kesici takımında yan kenar aşınması [8]

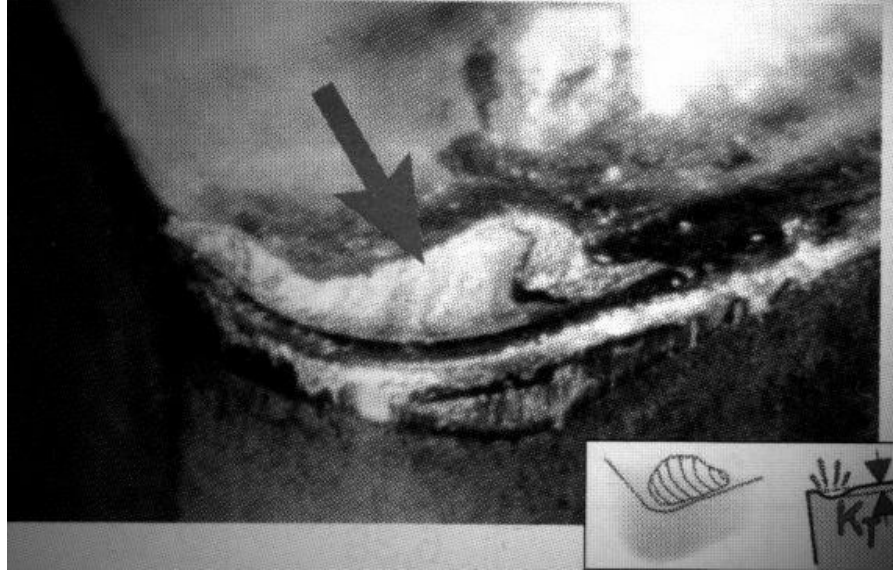
Bu tip aşınma, karşılaşılan en normal aşınma tipidir. Genellikle emniyetli ve sürekli artan bir yanak aşınması sağlamak en ideal durum olarak kabul edilir. Aşırı yanak aşınması sonucu daha kötü yüzey dokusu, ölçü toleranslarından sapma söz konusu olur ve kesici kenar şekil değiştirdiğinden dolayı sürtünme artar.



Şekil 2.13 Yan kenar ve çentik aşınmasının şematik gösterimi[3]

2.3.3.2 Krater Aşınması (Crater Wear)

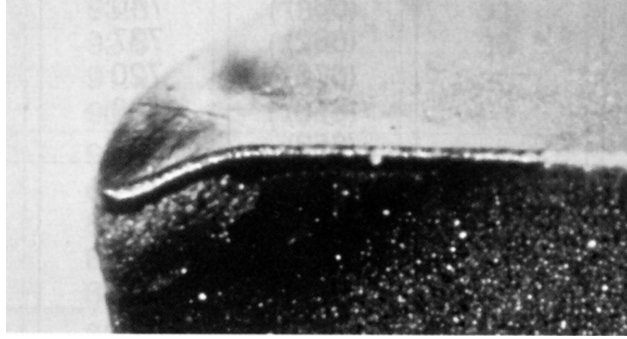
Krater aşınması veya çukur aşınması diye bilinen aşınma tipi talaş yüzeyinde abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmalarının sonucu olarak oluşur. Krater, ya sert parçacıkların taşlama etkisiyle ya da takım ve talaş malzemesi arasındaki difüzyon etkisiyle oluşur. Sertlik, sıcak sertlik ve malzemeler arasındaki minimum kimyasal çekicilikte krater aşınma miktarını minimize eder. Aşırı krater aşınması kesici kenar geometrisini değiştirir ve talaş oluşumunu, biçimlenmesini bozabilir. Kesme kuvvetlerinin doğrultularını değiştirir ve aynı zamanda kesici kenarın mukavemetini azaltır.[8]



Şekil 2.15 Kesici takımında krater aşınması[8]

2.3.3.3 Plastik Deformasyon (Plastic Deformation)

Plastik deformasyon kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık kombinasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkar. Yüksek hızlar ve yüksek ilerlemeler, sert iş parçası malzemesi, sıcaklık ve basınç anlamı taşır. Takım malzemesinin bunlara karşı koyabilmesi ve plastik olarak şekil değiştirmemesi için "yüksek sıcaklık sertliği" kritik bir parametredir. Kesici kenarda bir deformasyonun oluşması daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına, geometrinin bozulmasına, talaş akışının değişmesine sebep olacaktır. Kenar yuvarlatma ve takım geometrisi bu aşınmanın önlenmesinde büyük rol oynar.[8]



Şekil 2.16 Kesme kuvvetlerinin etkisiyle plastik deformasyona uğramış bir takım kenarı[8]

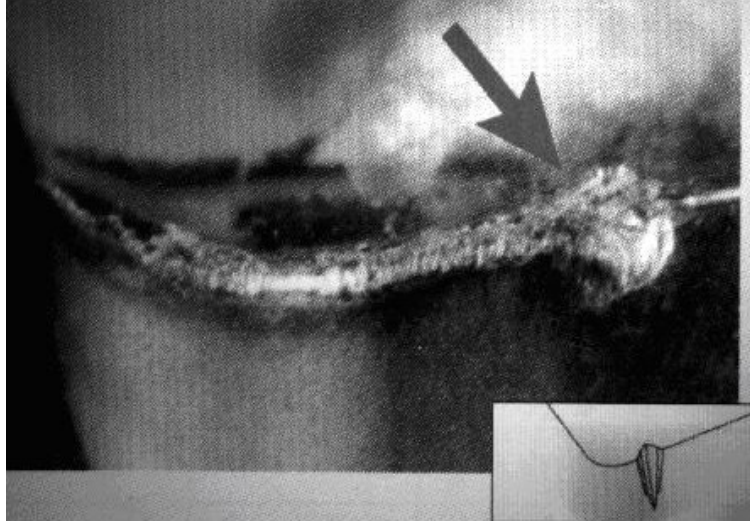


Şekil 2.17 Kesici takımda plastik deformasyon[8]

2.3.3.4 Çentik Aşınması (Notch Wear)

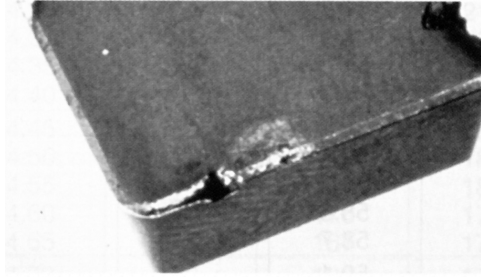
Arka taraftaki yardımcı kesici kenarda çentik aşınması tipik bir adhezyon aşınma mekanizması olmakla birlikte oksidasyon aşınma mekanizması ile birlikte büyüyebilir. Çentik, kesici kenarla parça malzemesinin birleştiği yerde oluşur. Aşınma, havanın kesme bölgesine dahil olduğu (talaş derinliğinin son noktasında oldukça bölgesel) uç noktada meydana gelir.

Esas kesici kenarda çentik oluşması mekanik yüklerin bir sonucudur ve genellikle daha sert malzemelerin işlenmesi sırasında oluşur.



Şekil 2.18 Kesici takımında çentik aşınması[8]

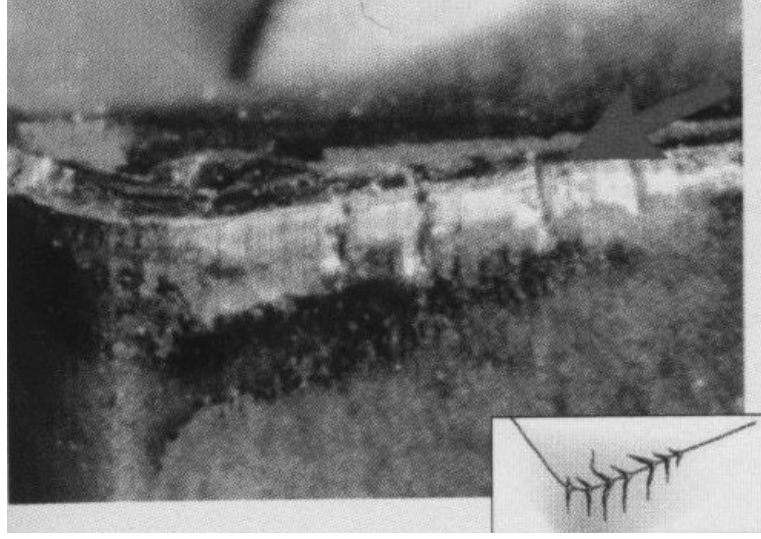
Aşırı çentik aşınması bitirme talaşında kötü bir yüzey elde edilmesini sağlar ve kesici kenarın mukavemetini düşürür.[8]



Şekil 2.19 Oksidasyon sebebiyle talaş derinliğinin bittiği yerde oluşan çentik hasarı[8]

2.3.3.5 Termal Çatlaklar ((Thermal Cracking)

Termal çatlaklar genellikle ısı değişkenliklerden kaynaklanan bir yorulma mekanizması aşınmasıdır. Özellikle frezelemede oluşan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmanın oluşmasına sebep olur. Termal çatlaklar kesici kenara dik olarak ortaya çıkar ve bu çatlaklar arasındaki takım malzemesi kenardan kopabilir.



Şekil 2.20 Kenara dik konumda meydana gelen çatlaklar[8]

Takım malzemesi parçacıklarının kenardan kendiliğinden ayrılması takımın kırılma sürecini hızlandırır ve kesici kenar bozulmasına sebep olur. Aynı zamanda değişen talaş kalınlığı da talaş kaldırma sırasında sıcaklıkları etkiler. Bu tip problemlerde soğutma suyu uygulaması talaş kaldırırken zararlı olabilir. Çünkü soğutma suyu uygulanması halinde takımın talaş kaldırırken ve parçadan dışarıya çıktıktan sonra sıcaklıkları arasındaki fark artar ve bu durum takım malzemesinde yorulmaya sebep olur.[8]

2.3.3.6 Mekanik Yorulma Çatlakları (Mechanical Fatigue Cracking)

Mekanik yorulma çatlakları kesme kuvveti darbeleri aşırı olduğunda ortaya çıkar. Kuvvet kendi kendine kırılmaya sebep olmayacak büyüklükte olmakla birlikte yükteki sürekli değişim sonucu oluşan kırılmalardır. Kesmenin başlangıcında ve kesme kuvvetindeki değişmelerde bu çatlaklar büyüyebilir ve kesici ucun dayanımı ve tokluğu için çok büyük değerlere ulaşabilir.

Bu tip termal çatlaklar termal çatlaklardan farklı olarak kesici kenara paraleldir.[8]

2.3.3.7 Çıtlama- Çentikleme (Chipping)

Kesici kenarda meydana gelen çentikler, aşınmadan ziyade kesici kenar hattında meydana gelen küçük kırılmalardır. Yükleme ve yükün kaldırılmasından kaynaklanan bu yorulma kesici takım malzemesinden küçük parçacıkların ayrılmasına sebep olur. Çoğunlukla darbeli çalışma şartlarında meydana gelir.

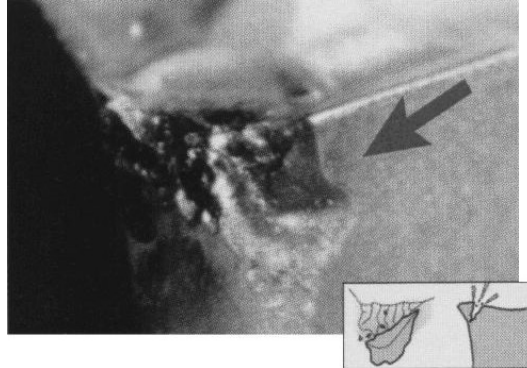


Şekil 2.21 Çıtlamaların verdiği deformasyon hasarları[8]

Kenardaki aşınmanın çentiklenmeye mi yoksa yanak aşınmasına mı işaret ettiği çok dikkatli incelenmelidir. Çentiklenme veya parçacık kopmaları bu tip kenar kırılmalarının çeşitlerindedir.

2.3.3.8 Kırılma (Fracture)

Kırılma kesici kenarın görevinin tamamen sona ermesidir. Önceden oluşan şişkinliğin kırılması en tehlikelisi olup mümkün olduğunca bundan kaçınılmalıdır. Kenar kırılması genellikle diğer aşınma tiplerinin en son noktasıdır. Geometrilerin değişmesi, kesici kenar dayanımının azalması, sıcaklık ve kuvvet yükselmeleri, ağır kesme şartları takım kırılmasına sebep olabilir.

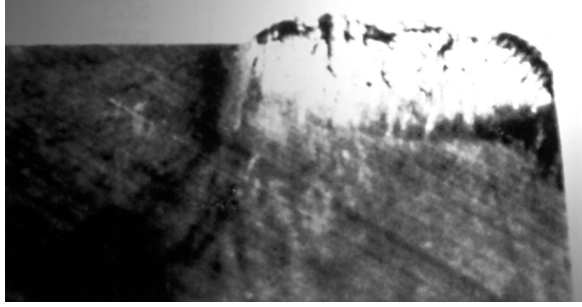


Şekil 2.22 Kesici takımda kırılma[8]

Ayrıca takım malzemesinden kaynaklanan ve gevrek kırılma diye adlandırılan ani takım kırılması meydana gelebilir. Eğer takım malzemesinin metalürjik ve mekanik özellikleri istenilen işi yapmaya yeterli değilse bu tip sonuçlar ortaya çıkabilir.[8]

2.3.3.9 Kesici Kenarda Yığılma (BUE)

Kesici kenarda BUE oluşması genellikle sıcaklık ve onunla ilişkili bir durum olan kesme hızıyla alakalıdır. BUE kesici kenar geometrisinde olumsuz bir değişikliğe sebep olur ve aynı zamanda takım malzemesi BUE biçimindeki kaynaklanmış malzeme ile birlikte kopup uzaklaşabilir. Kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki yapı benzerliği de BUE oluşumunda önemli rol oynar. Düşük sıcaklıklar ve yüksek basınçlar iş parçası malzemesinin talaştan takım yüzeyine basınç kaynağı yapmasına sebep olur.



Şekil 2.23 Adhezyon mekanizmasıyla oluşan Built Up Edge[8]

Yüzey pürüzlülüğü, BUE oluşumundan genellikle ilk zarar gören unsurdur. Ancak bu tip aşınmanın devam etmesine izin verilirse çok çabuk kesici kenar kırılması hatta takım kırılması meydana gelebilir.[8]

BÖLÜM 3. YÜZEY İŞLEMLERİ

3.1 Kesici Takımlara Uygulanan Yüzey İşlemleri

Her kesici takım malzemesi için uygulanan her kaplama tipinde aynı kalite elde edilemeyeceği gibi yine her kesici takım malzemesinde her kaplama malzemesi aynı performansı vermeyebilir. Kaplama işlemlerinin uygulanmasında farklı malzemeler için farklı koşullarda gerekebilir.

Son 20 – 25 yıldır sert kaplamalar alanında çok büyük gelişmeler kat edilmiştir. 1960 ve 70'li yıllarda kimyasal buharla yapılan kaplamanın olgunlaşması ile buharlaşıcı ve karışık kaynaklı fiziksel kaplamalar kullanılmaya başlanmıştır.

Bu teknolojik gelişmeyi yürütmekteki amaç kesme ve imalat takımlarının ömrünü daha da uzatma için CVD metodu kullanarak 5 - 10 µm'luk kalınlıktaki TiC ve TiN kaplamalarda sinter karbür malzemeler üzerinde olumlu ömür uzamalarına neden olmuştur. Fakat bu gelişmeler her zaman olumlu sonuç vermemiştir. Buna rağmen CVD ve PVD çalışmaları hızlandırılarak geliştirilmiş ve bu günkü seviyeye gelinmiştir.

Bu arada CVD 'nin en önemli dezavantajı yüksek sıcaklıktaki (1000°C) de sertleştirmelerde bozulma görüldüğü için çelik takımların birçoğu bu metodun dışında bırakılmıştır. PVD işlemi 350 -550 °C arasında aynı özellik ve kalınlıktaki kaplamalarda başarılı olduğundan CVD ve PVD kaplamaların genel amaçlı ve yapı çelikleri ile demir dışı metallerde uygulanmasındaki başarı bu kaplamaların, kaplandığı malzemelerin maruz kalacağı yükün kapasitesi ile sınırlıdır.

Değişik amaçlı kullanıcılar sert kaplamalı malzemelerin kendinde var olan özelliklerini ortaya çıkarıp iş ve genel mühendislik amaçlı malzemelerde de uygulamalar sağlayarak CVD ve PVD kaplamalarının uygulama alanlarını genişletmişlerdir. Ancak bu kaplamalar günümüzde daha çok kesici takımların kaplanmasında kullanılmaktadırlar.[9]

3.2 İyon Aşılama

İyon aşılama, katıların yakın-yüzey bölgelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyonize olmuş partiküllerin ışını şeklinde, yüzey tabakasına seçilmiş atomların girmesi ile değiştirilmesi işlemidir. Periyodik tablodaki hemen her atomun iyon ışınlarının oluşturulabilir olması sonsuz çeşitlikte yakın-yüzey alaşımları elde etmeyi mümkün kılar.

İyon aşılama bir veya birden fazla elementin (iyon halinde) atomları hızlandırılıp, malzeme yüzeyine büyük enerjilerle bombardıman edilerek, yüzeyden içeri doğru nüfuz ettirilmesi ile

oluşturulur. Yüzeyi iyileştirilmiş tabakanın kalınlığı, hızlandırma voltajı, aşılana ve alt tabaka elementlerinin atom numarasına bağlı olarak 0.05–2 µm'a kadar çıkarılabilir.[10]

İyon aşılama yüksek vakum içerisindeki (10^{-3} - 10^{-4} Pa veya 10^{-5} - 10^{-6} Torr) enerjili iyonların bir ışın yoluyla katı içine doğru gömülmesi ile gerçekleştirilir.

İyonlar malzemede yavaşladıkça, iyon enerjisine, iyonun gelme açısına ve alttabaka bileşimine bağlı olarak, birkaç nanometre'den birkaç mikrometre'ye kadar değişen aralıktaki derinliklerde dağılırlar. İyonun tipine, kütesine, enerjisine, dozuna ve alttabakanın bileşimine, kimyasal, elektriksel, termal, mikroyapısal ve kristalografik özelliklerine bağlı olarak yakın-yüzey bölgelerinin özellikleri değiştirilebilir. Malzemenin elektriksel, optik, mekanik özellikleri, yarı-iletkenlik davranışı, korozyon ve aşınma direnci bu yöntemle modifiye edilebilmektedir.

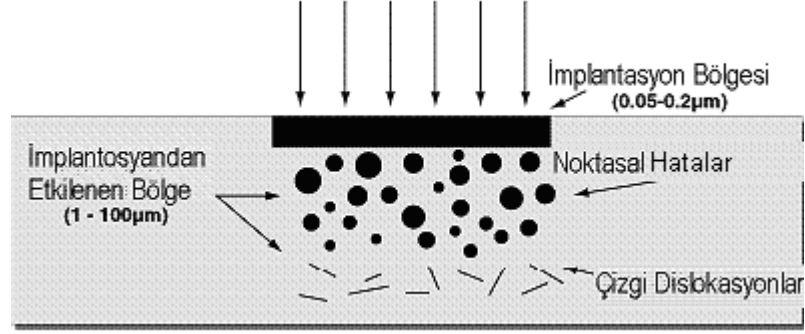
İyon aşılama, bir ya da daha çok elemente ait yüksek enerjili iyon ışınlarının, katının yüzeyine girişine izin veren bir prosestir. Diğer yüzey işlemlerindeki gibi, iyon aşılama ara yüzey oluşturmaz. Başka bir deyişle, bir kaplama değildir.

Termal olarak aktive edilmiş difüzyon prosesleri sırasında atomların enerjileri çok düşüktür, nadiren 1 eV'den fazladır. Kalın oksit filmleri ya da kirliliğin bulunması difüzyonu engeller. Difüzyonun kontrolü güçtür. Tersine, iyon aşılama atomların enerjileri termal difüzyondan milyon kez büyüktür. Penetrasyon bu partiküllerin kinetik enerjilerinden kaynaklanır ve dislokasyonlar, yüzey filmleri ya da tane sınır etkilerinden bağımsızdır.

Modifiye edilen tabakanın kalınlığı son derece incedir (0.01-0.5 µm). İyon aşılama düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir (200 °C'nin altında). Böylece iyon aşılama hassas bir şekilde ve bitmiş yüzeyler distorsiyona uğramadan uygulanabilir.

Dengesiz bir proses olduğundan, çökelti oluşturarak veya oluşturmadan çözünürlük sınırları aşılabilir. Bunun anlamı difüzyon koşullarına gerek kalmadan her iyonun malzeme içine girişinin mümkün olmasıdır.

N, C, B gibi hareketli aşılama elementleri dislokasyonlar etrafındaki arayere hareket ederler. Aşınma ilerledikçe, dislokasyonlar daha derine iner ve beraberinde aşılana elementleri taşırlar. Böylece, yeni sert yüzeyler oluşur(Şekil 3.1). İyon aşılama, yakın-yüzey bölgesini sertleştirirken, bunun altında kalan alt tabakanın da tokluğunu arttırdığından mekanik özelliklerde büyük bir artış sağlamaktadır.[11]



Şekil 3.1 İyon aşılamanın metalürjik yapıya etkisi[12]

Penetrasyon derinliğinin, termomekanik işlemlerle elde edilen penetrasyon derinliğine (20-3000 μm) göre çok az olması ve ışık hattı prosesi olması nedeniyle kompleks parçalara uygulanamaması ve yüksek maliyeti, iyon aşılamanın yüksek güvenilirlik gerektiren parçalara uygulanabilirliği ile sınırlı kalmasına neden olmaktadır.[11]

3.2.1 İyon Aşılamanın Uygulandığı Alanlar

- Biyo-medikal alanda; kalça protezleri, diz protezleri ve insan vücuduna yerleştirilen çivi, fiksator gibi malzemelerin biyo uyumluluğu ve vücuttaki ömürleri en az 3 kat artar. Dolayısı ile, genellikle insan vücudundaki ömürleri 10–15 yıl olan protezlerin, iyon aşılama ile işlendikten sonra ömürleri 30–40 yıla çıkar. Bu nedenle yaşlı hastaları tehlikeye sokabilecek ikinci bir operasyona gerek kalmaz, ayrıca vücutta komplikasyonlar yaratmaz, dokuların enfeksiyon kapma riskleri azalır. Amerika ve diğer ülkelerde her yıl iyon aşılama işlemi görmüş kalça protezleri takılan hastaların sayısı 400 binin üzerindedir.
- Hastaların can güvenliği ve ülkeye sağladığı tasarruf açısından, iyon aşılama işleminin önemi büyüktür. İyon aşılama işlemi ABD’de FDA onaylıdır.
- Yüzeysel iyon aşılama işlemi gören kateterlerin kayganlığı artar ve kanın pıhtılaşması önlenir (şu anda ticari olarak uygulanmaktadır), dokuların enfeksiyon kapma riskleri azalır.
- Suni kalp kapakçıklarının da iyon aşılama işlemi gördükten sonra ömürleri artmakta ve kan pıhtılaşması önlenmekte ve bu sayede hastalarda komplikasyonlar önlenmektedir.
- İyon aşılama ile akü ve pillerin ömrü çok uzun olmaktadır (şu anda gelişmiş ülkelerde uzun ömürlü pillerde ve araba akülerinde uygulanmaktadır).

- İyon aşılama ile paslanabilir kalıplar ve diğer malzemeler paslanmaz hale gelerek, ömürleri büyük ölçüde artar. Ucuz çelik levhalar iyon aşılama yöntemi ile işlem görerek paslanmaz hale getirilmektedir(Japonya, Çin, Rusya ...)
- İyon aşılama işlemi görmüş, sulu ortamlarda çalışan rulman ve rulman yataklarının paslanmaya karşı dirençleri artar, ömürleri 3–8 kat artar.
- İyon aşılama ile malzemelerin ıslanma özellikleri istenilen yönde değiştirilebilmektedir. Kalça protezleri söz konusu olduğunda, protezlerin ıslanma özellikleri artırılarak hareket esnasında kayganlık sağlanır. Aynı durum hareketli pistonlar ile çalışan motorlar için de(piston yatakları) geçerlidir.
- İyon aşılama ile malzemelerin(her tür metal) yüzey sertlikleri ve aşınmaya karşı dirençleri büyük ölçüde artmaktadır.
- İyon aşılama işlemi ile plastik ve polimerlerin yüzey sertlikleri ve aşınmaya karşı dirençleri büyük ölçüde artmaktadır. İyon implantasyonu görmüş bir plastik yüzeyi bazen çelik kadar sert olmaktadır.
- Plastik ve polimerlerin, iyon aşılama yapıldıktan sonra yüzeyleri elektrik iletkenliği kazanmaktadır.
- Plastik, polimer veya değişik malzemelerin yüzeylerine, iyon aşılama sonrası mıknatıslanma özelliği kazandırılabilir.
- İyon aşılama işlemi gören camların ve bazı süs taşlarının yansıtma özellikleri ve kırılma indisleri değişmektedir. Güneş gözlükleri camları üzerine uygulandığında kaplamaya göre bazı avantajları olmaktadır. Bilhassa İngiltere ve İtalya'da bu konu üzerinde araştırmalar devam etmektedir.
- Plastik enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplarının, vida ve kovanların korozyon aşınmaya maruz kalan kısımlarında kullanılarak ömürleri 3-10 kat artar (kullanılan malzeme ve üretim şartlarına bağlı olarak).
- Pet şişe kalıplarının ömrü iyon aşılama işleminden sonra 3–10 kat artar (kullanılan malzeme ve üretim şartlarına bağlı olarak).
- Tekstil, kağıt, plastik, gıda sanayilerinde kullanılan her türlü endüstriyel kesme bıçaklarının ve kalıplarının ömrü, iyon aşılama işleminden sonra 3–6 kat artmaktadır.

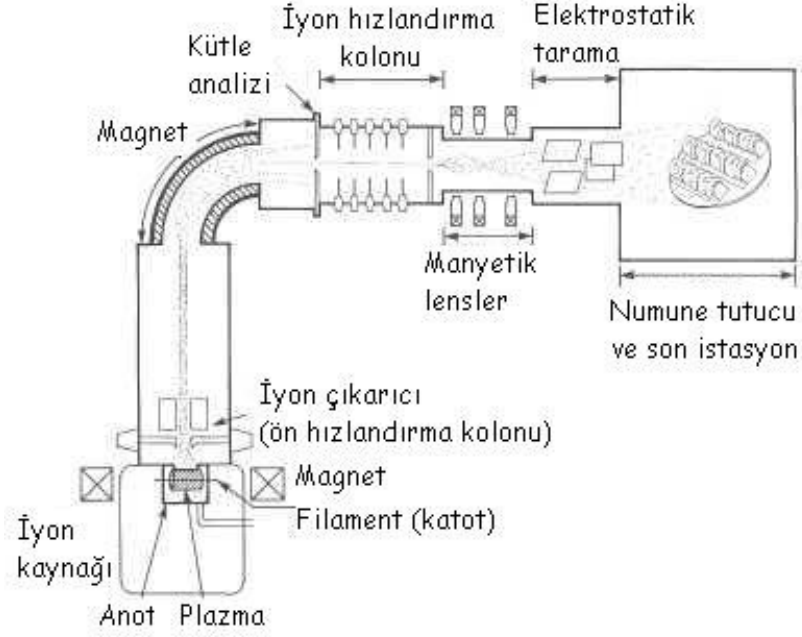
- Mutfaklarda kullanılan bıçakların iyon aşılama işleminden sonra sertlikleri, aşınma ve korozyona karşı dirençleri fevkalade artmakta, ömürleri büyük ölçüde uzamaktadır.
- 1mm kalınlığa kadar olan metal levhaların (özellikle paslanmaz çelik levhaların) şekillendirilmesinde ve kesilmesinde kullanılan kalıpların, zımbaların, iyon aşılama işleminden sonra ömürleri 2-5 kat artmaktadır.
- Hassas pistonların ve millerin iyon aşılama ile ömürleri 3-5 kat artmaktadır. Kromaj kaplı piston ve millerin ömürleri ise iyon aşılama işleminden sonra çok daha fazla artmaktadır.
- Savunma sanayinde (ABD başta olmak üzere) birçok alanda (uçak, helikopter, uydularda ve silahlarda, kimyasal ve biyolojik savunma sistemlerinde...) iyon aşılama işleminden yararlanılmaktadır.
- Pamuk, tütün ve pirinç gibi bitkilerin, tohumları iyon aşılama yapılarak, hastalıklara karşı dirençlerinin ve verimliliklerinin büyük ölçüde arttığı bildirilmektedir (ABD ve Çin'de ticari olarak kullanılmaktadır).
- İyon aşılamanın hemen her sanayi dalında daha keşfedilmemiş birçok potansiyel kullanım alanı bulunmaktadır.[13]

3.3 İyon Işını Ekipmanları

Bir iyon aşılama ekipmanının ana parçaları şunlardır:

- Katıları, sıvıları ya da gazları iyonize eden iyon kaynakları,
- İyonları yüksek kinetik enerjili hale getiren hızlandırıcı sistem,
- İyonları kütlelerine göre ayıran analiz sistemi (kütle ayırıcı),
- İşlenecek yüzeye iyonları homojen şekilde dağıtan tarama sistemi

Şekil 3.2'de tipik bir iyon implanteri görülmektedir. Bu cihaz herhangi bir elementin düşük yoğunluklu iyon ışınlarını üreten bir iyon kaynağı, kaynaktan iyonları çıkaran ve hızlandırma sütunu boyunca hızlandıran yüksek potansiyel elektrodları, çeşitli iyonları ayıran iyon analiz magnetleri ve numune odasına doğru iyon ışınlarını odaklayan elektrostatik tarama plakaları içermektedir.



Şekil 3.2 Tipik bir iyon aşılayıcısının şematik görünümü[14]

3.3.1 İyon Aşılama Kullarılan İyon Kaynakları

İyon kaynakları, aşılacak elementin iyonizasyonunu gerçekleştirerek iyonların oluşumunu sağlayan bir üretilir. Bir iyon kaynağı için en önemli parametreler; servis ömrü, güvenilirliği ve yüksek akım üretebilme kabiliyetidir. Konstrüksiyonun detayları çok değişken olmakla birlikte; güvenli, yüksek akım üretimine izin veren değişkenleri genelde aynıdır. İyon aşılama da kullanılan iyon kaynaklarının çoğu pozitif iyon kaynaklarıdır ve ark deşarjıyla ya da diğer yollarla üretilen plazmadan çıkarılır. İyon aşılama da kullanılan iyon kaynakları şunlardır;

1. Pig İyon Kaynakları
2. Freeman Kaynağı
3. Bernas Kaynağı
4. Mikrodalga İyon Kaynağı
5. Metal Buhar Vakum Ark Kaynağı (MEVVA)

3.3.2 İyon Hızlandırma Sistemi

İyon kaynaklarında iyonlar düşük enerjide üretilirler ve iyon çıkarıcı sistemin ızgaralarına yakın hareketsiz plazmada toplanırlar. Buna göre, iyonlar üretilir ve elektrodlar yardımı ile gerekli enerjiye hızlandırılırlar. Ekstraksiyon voltajı 50-60 kV'a kadar çıkarılabilir. Tipik bir triod

çıkarıcısında iyonlar ilk elektrotlardaki delikler boyunca toplanır. İkinci elektrod, iyonları çekmek üzere negatif olarak yönlendirilir. Üçüncü elektrod, plazmaya geri dönüşten dolayı oluşabilecek nötralizasyonu önlemek için ikinciye göre pozitif yüklenir.

3.3.3 Kütle Analiz Sistemleri

Üretilen iyon ışını katot malzemesinin farklı yüklü atomlarının bir karışımıdır. Ayrıca, iyon ışını, az miktarda, kaynak duvarlarından saçılarak oluşan iyonları ve kalıcı gazların iyonizasyonu ile oluşan iyonları da içerir. Pek çok uygulamada, gereksiz olan iyonları ayırmak ve yalnızca istenen iyonları hedefe odaklamak, özellikle istenmektedir.

Aynı enerjili ancak farklı kütleli yüklü partiküller bir manyetik alan kullanılarak ayrılabilir. Yüklü bir partikül manyetik bir alandan geçtiğinde, R yarıçaplı dairesel bir yörünge sapar;

$$(M V / n) (1) \sqrt{R} = (144/B) x$$

M: İyon kütlesi

V: Hızlandırma voltajı

B: Manyetik alan (Gauss)

n: İyonun yük durumu

Aynı enerji ve yük durumunda ancak farklı kütlede olan partiküller farklı çapa sahip yörünge izler ve böylece birbirlerinden ayrılabilir.

3.3.4 İyon Işını Taraması

Çoğu uygulamada, homojen bir aşılama yapabilmek için ışın taraması gereklidir. Elektrostatik tarama, ~ 5 mA kadar olan düşük ve orta akım iyon ışınları için ve maksimum enerjisi 100–500 keV olan implantler için kullanılmaktadır. Elektrostatik iyon tarama sistemi iki veya üç çift saptırma plakası içerir. Yüksek ışın akımlarında (~ 10 mA) ışının elektrostatik taraması, istenmeyen hedef ısınması nedeniyle güçtür. Bu yüzden, yüksek akımlı iyon ışınları (15mA ve 200keV'e kadar olan enerji aralığı) için numunenin hareketli olduğu mekanik tarama sistemleri tercih edilir.[14]

3.4 Metal Buhar Vakum Ark İyon Kaynağının (MEVVA) Genel Prensipleri

Metal buhar vakum arkı, vakum içersinde iki metalik elektrot arasındaki plazma deşarjıdır. Bu tür deşarj uygun bir vakum ortamında birbirinden ayrılmış iki elektroda yüksek akım düşük voltaj güç sağlayıcınının bağlanmasıyla oluşur.

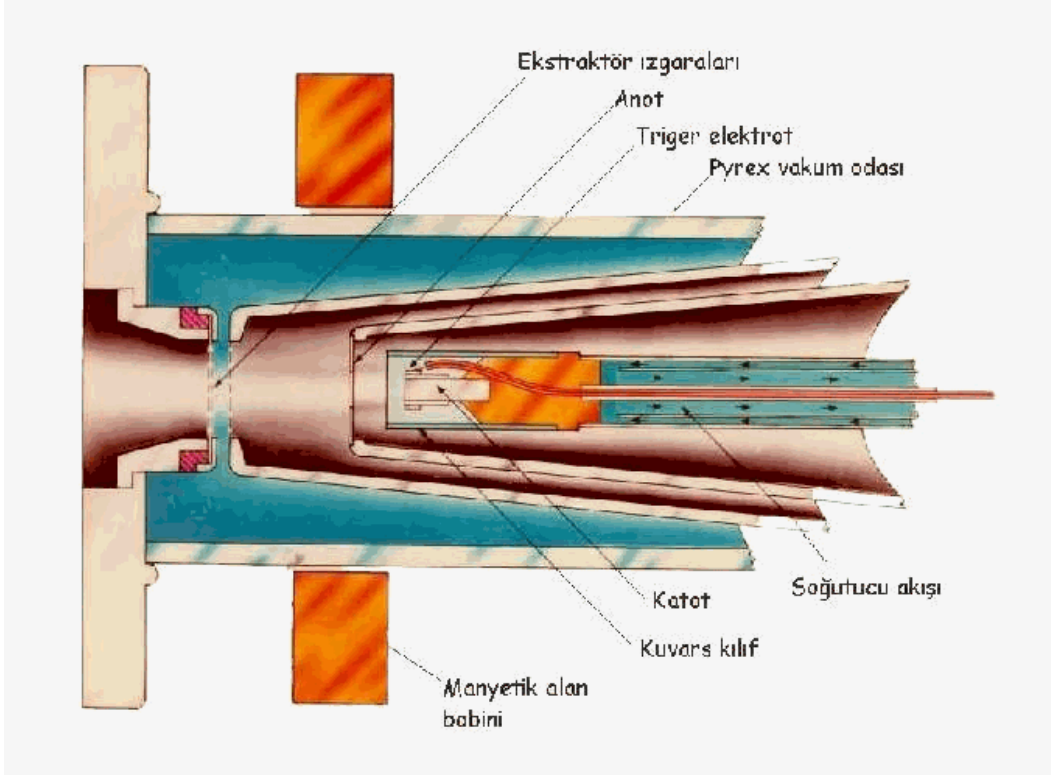
Ortamdaki gazın deşarj olayını etkilememesi için basıncın yeterince düşük olması gerekmektedir. 10^{-4} Torr 'luk bir basınç kabaca üst limit olarak kabul edilir. 10^{-4} - 10^{-6} Torr uygun çalışma aralığıdır.

Bu çeşit deşarjın temel karakteristiği katot spotlarının oluşumudur. Bunlar yüksek akım yoğunluklu mikron boyutlu bölgelerdir. Katot malzemesi metal buharı, iyonlar, elektronlar ve küçük partiküller oluşturmak üzere bu noktalardan aşınır. Spotlardaki plazma oluşum fiziği tam anlaşılmasına rağmen pek çok özelliği iyi bilinmektedir. Örneğin bir spotu canlı tutabilmek için 10-20 Amp'lik ark akımı gereklidir. Eğer ark akımı bu minimum değer altına düşerse ark söner.

Plazma basıncı yakın yüzey bölgesinde oldukça yüksektir. Güçlü bir basınç gradyenti spot içinde üretilen plazmanın yüzeyden çıkmasına sağlar. Bir katot spotuyla taşınan akım metale bağlı olarak birkaç amper civarında değişir. Uygulanan ark akımı arttıkça daha çok katot spotu oluşur. Böylece birçok katot spotunun katılımıyla tipik 200–300 A'lik ark akımlı metal buhar ark deşarjı oluşur. Plazma boyutu ve yoğunluğu manyetik olarak kontrol edilebilir. Plazma katottan anoda doğru akar. Anottaki bir delik boyunca hızlandırma ızgaralarına doğru gider. Yani iyon bileşeni plazmadan çıkartılır ve ışın üretimi gerçekleştirilir.[14]

3.5 İyon Kaynağının(MEVVA) Yapısı

Lawrence Berkeley Laboratuvarı'nda MEVVA'nın çeşitli versiyonları geliştirilmiştir. Gövde, simetrik bir silindirden ibarettir(Şekil 3.3). Burada, katotta oluşan plazma yaklaşık 1 cm çapında anottaki merkezi bir delik boyunca akar, birkaç cm yol aldıktan sonra hızlandırma ızgaralarına ulaşır. Anot ve katottaki ısının uzaklaştırılması için soğutma uygulanır. Katot, iyonları üretecek malzemenin basit silindirik şeklindedir. Tetikleme elektrodu katot ucunu çevreler. Katot yaklaşık 1 mm çaplı ince bir alümina izolatörle kaplıdır. Vakum arkıyla katodun yalnızca ön yüzeyi aşınır. Plazma, katot malzemesinden (katot spotlarının oluştuğu malzemedan) oluştuğundan, deşarj bölgesindeki diğer komponentlerden plazmaya katılım olmaz. Dolayısıyla tetikleme elektrodu, tetikleme-katot izolatörü ve anot kritik parçalar değildir.



Şekil 3.3 MEVVA İyon kaynağının şematik şekli[11]

Manyetik alan bobini ark bölgesinin dışına yerleştirilmiştir. Manyetik alan iyon üretimi aşamasında gerekli değildir. Ancak, iyon üretimi etkinliğini arttırdığından, kullanılması önerilmektedir.

Plazmadan ışın çıkarma bir hızlandırma-yavaşlatma sistemiyle gerçekleştirilir. Bu hızlandırma-yavaşlatma sistemi 76.2 cm kalınlığında paslanmaz çelik yada alüminyumdan, her birinde çapları 1-5 mm arasında 7-200 boşluğu bulunan 3 ızgaradan ibarettir.

İyon kaynağı tarafından üretilebilen maksimum ışın akımını plazma değil, hızlandırma olayı belirler.

Tetikleme vuruşu 5–10 kV genliğinde ve birkaç mikro saniye süresince olur. Tetiklemenin başlaması için gerekli minimum voltaj büyük oranda dizayna ve tetikleme elektrodu-katot yerleşimine bağlılık gösterecektir.

Li, C, Mg, Al, Si, Ti, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Y, Zr, Nb, Mo, Rh, Pd, Ag, In, Sn, La, Gd, Ho, Hf, Ta, W, Pt, Au, Pb, Th, U, LaB₆, CdSe, FeS, PbS, SiC, TiC ve WC dahil olmak üzere

periyodik tabloda bulunan çoğu malzeme iyon kaynağında katot olarak kullanılabilir. Bu malzemelerin hepsi tipik işlem koşullarında yoğun ışın (100mA'in üzerinde) üretirler.[14]

3.6 MEVVA İyon Kaynağının Gelişim Aşamaları

Mikro Mevva: 6 cm uzunluğunda, 1.5 cm çapında minyatür bir gövdeye sahiptir. 15 kV'da 15 mA'lik akım üretir.

Mevva II: Temel mevva sistemidir. Mevva sisteminin tek katot versiyonudur. Katot alumina izolatörle ve tetikleme elektrodu ile çevrelenmiş silindirik bir çubuktur.

Mevva III: Gövde tamamen vakum içindedir, yaklaşık 5 cm uzunluğunda ve 5 cm çapındadır. Soğutma yeterli olmadığından, termal yükler sistemin etkinliğini düşürür.

Mevva IV: 16 katot versiyonudur. Kaynağa aynı anda 16 farklı katot yerleştirilebilir. Böylece, kaynaktaki vakumu boşaltmadan, istenen herhangi bir katot tetikleme pozisyonuna getirilebilir. İyon çıkarma voltajı 100 kV'a kadardır.

Mevva V: Mevva IV sistemine benzer, 18 katot versiyonudur.

Mevva VI: İyon ışını çapı 50 cm olan çok geniş ışın versiyonudur. Tek katot içerir.

Mevva VII: Makro parçacıklı, filtrelenmiş vakum ark plazma sistemidir.[15]

3.7 MEVVA İyon İmplantasyonun Özellikleri ve Getirdiği Avantajlar

- Bu sistem ile hemen hemen bütün gaz ve metaller ile metal bileşikleri ve alaşımları herhangi bir malzemenin(metal, cam, seramik, v.s.) yüzeyinden içeri ışınlanarak, ana malzemenin yapısını ve özelliklerini değiştirmeden, malzeme yüzeyi üzerinde olağanüstü özelliklere sahip yüzeyler elde edilebilir.
- İyon aşılama işlemi kesinlikle bir kaplama değildir. Kaplamada çok sık görülen yapışma ve dökülme sorunu iyon aşılama da yaşanmaz.
- İyon aşılama yöntemi kaplama olmadığı için malzeme boyutlarında hiçbir değişiklik olmaz.
- İyon aşılama ile malzemenin yüzeyinde meydana gelen yapısal değişiklik ana malzemenin bir parçası durumunu alır.

- İyon aşılama işlemi oda sıcaklığında yapıldığı için malzemede kesinlikle çarpılma ve şekil değişikliği görülmez.
- İyon aşılama işlemi düşük sıcaklıkta yapıldığı için (40 °C – 150 °C), temperleme sıcaklığı düşük olan malzemelere hiçbir sorun yaşanmadan uygulanır.
- İyon aşılama işleminden sonra malzemenin yüzeyindeki pürüzlülük artmaz. Cilalanmış parlak yüzeylerin parlaklığı bozulmaz, işlemden sonra tekrar parlatmak gerekmez. İyon aşılama en son yapılan işlemdir.
- Vakumda uygulandığı için malzemenin oksitlenme tehlikesi yoktur.
- İyon aşılama malzeme yüzeylerini, paslanma ve korozyona karşı en iyi koruyan yöntemdir. Kromaj ve kaplamalarda görülen paslanma ve korozyon, iyon aşılama işlemi görmüş malzemelerde yaşanmaz.
- İyon aşılama işlemi görmüş malzemelerin sürtünme katsayısı azalır, aşınma ve korozyona karşı direnci artar.
- İyon aşılama yöntemi ile malzeme yüzeylerinde terkihi kontrol edilebilen, ilginç ve çeşitli özelliklere sahip sayısız yüzey alaşımları oluşturulabilir.
- Yüzeyi İyon aşılama ile işlenmiş bir malzemenin, gerilme, yorulma, aşınma ve korozyona karşı direnci artar.
- İyon aşılama, iyon nitrürleme denilen plazma nitrürasyon işleminden çok daha farklı bir yöntemdir. Bazen bu iki farklı yöntem birbiriyle karıştırılmaktadır.[13]

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Deneilerin Amacı

Takım aşınması talaşlı imalatın temel problemlerinden biridir. Çünkü aşınan takım, işgücü, malzeme ve zaman kaybına sebep olurken, işlem verimliliği ve maliyetini olumsuz etkiler. Bu yüzden takım aşınmasının kontrollü ve önceden tahmin edilebilir olması istenir. Aşınmanın kontrolü; aşınma zamanını önceden kestirerek gerekli tedbirin alınması ve aşınma tiplerinin oluşma şartlarını göz önüne alarak takımın özelliklerinin iyileştirilmesini gerektirir. Takım özelliklerinin iyileştirilmesi içinde endüstride PVD(Physical Vapour Deposition), CVD(Cheical Vapour Deposition) kaplamalar başta olmak üzere birçok yöntem kullanılmakta ve geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu tür yöntemlerle kesici takımların performanslarında elde edilebilecek iyileştirmeler, işlem zamanını ve maliyetleri düşüreceği için büyük önem taşımaktadır.

Son yıllarda farklı sektörlerde uygulama alanı bulan metal iyon aşılama da (MEVVA) yüzey iyileştirme teknikleri arasındadır. Bu çalışmanın amacı metal iyon aşılamanın kesici takımlara uygulanabilirliğini ve etkilerini tespit etmektir. Bu amaçla Avustralya Nükleer Bilim ve Teknoloji kurumunda kesici takımlara metal iyon aşılama yöntemi ile çeşitli dozlarda Mo, Cr, Ti ve Zr metalleri aşılama yapılmıştır. Bu takımların aşınma zamanlarını tespit etmek ve aşılama işleminin etkilerini saptamak için Celal Bayar Üniversitesi takım tezgâhları laboratuvarındaki universal torna tezgâhi ile AISI 4140 çeliği üzerinde talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Yine bu takımlar için kesme kuvvetlerini ölçen bir sistem geliştirilerek iyon aşılama işleminin kesme kuvvetlerine etkisi araştırılmıştır.

4.1.1 Aşınma Deneyi Koşulları

Aşınma deneylerinde Mo-500K, Mo-1000K, Cr-500K, Cr-1000K, Ti-500K, Ti-1000K, Zr-500K, Zr-1000K ve Untreated (iyon aşılama uygulanmamış takım) olmak üzere dokuz farklı kesici uç kullanılmıştır. Bu kesici uçlar ile iş parçası üzerinden 250mm boyunca talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Her talaş kaldırma işleminden sonra kesici ucun yan kenar aşınma miktarı Inverted Tipi Metalografik mikroskop(1000x) altında incelenmiştir. Mikroskop ile takım yan kenarının fotoğrafları çekilerek aşınmanın artışı düzenli bir şekilde izlenmiştir. Her kesici uç için, yan kenar aşınması 0.3 mm'ye ulaşıncaya dek bu işlemler uygulanmıştır. ISO 3685 takım ömür testi standardına göre yan kenar aşınmasının 0.3 mm'ye ulaşması takımın aşınmış olduğu anlamına gelmektedir. Bu işlemler her kesici uç için ikişer defa tekrarlanmıştır. Ayrıca her pasodan sonra talaş yüzeyinin yüzey pürüzlülüğü profilometre ile ölçülerek yüzey karakteristiğini gösteren grafikler elde edilmiştir.

Tablo 4.1 Deneyleerde kullanılan takımınların aşılama koşulları

TAKIM ADI	AŞILANAN İYON	AŞILAMA DOZU
Untreated	-	-
Mo-500K	Molibden	0.5×10^{17} iyon/cm ²
Mo-1000K	Molibden	1×10^{17} iyon/cm ²
Cr-500K	Krom	0.5×10^{17} iyon/cm ²
Cr-1000K	Krom	1×10^{17} iyon/cm ²
Ti-500K	Titanyum	0.5×10^{17} iyon/cm ²
Ti-1000K	Titanyum	1×10^{17} iyon/cm ²
Zr-500K	Zirkonyum	0.5×10^{17} iyon/cm ²
Zr-1000K	Zirkonyum	1×10^{17} iyon/cm ²

Aşınma deneyleri boyunca tezgâhın kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği parametreleri sabit tutulmuştur. Talaş kaldırma işlemleri 180m/dak kesme hızı, 0.3 mm/dev ilerleme, 2 mm talaş derinliği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yine bu parametreler kesici ucun geometrisine bağlı olarak ISO 3685 takım ömür testi standardına göre belirlenmiştir.

4.1.2 Kuvvet Ölçüm Deneyi Koşulları

Kuvvet ölçüm deneyleri boyunca Cr-500K, Cr-1000K, Ti-500K, Ti-1000K, Zr-500K, Zr-1000K ve Untreated (iyon aşılama uygulanmamış takım) olmak üzere yedi farklı kesici uç kullanılmıştır. Bu kesici uçlar ile iş parçası üzerinden 45mm boyunca talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Materyal ve metot bölümünde ayrıntılı şekilde anlatılan kuvvet ölçüm sistemi ile talaş kaldırma süresince meydana gelen asıl kesme kuvveti(Fc) ve ilerleme kuvveti(Fa) ölçülmüştür. Kuvvet ölçümleri sırasında da her pasodan sonra iş parçasının yüzey pürüzlülüğü ölçülerek yüzey karakteristiğini gösteren grafikler elde edilmiştir.

Kuvvet ölçüm deneyleri ilerlemenin 0.3mm/dev, talaş derinliğinin 2mm olduğu durumda gerçekleştirilmiştir. Sadece bu iki değer sabit tutulup iki farklı kesme hızı kullanılmıştır. 180 ve 300 m/dak kesme hızları kullanılarak, kesme hızının kesme kuvvetine etkisini araştırmak amaçlanmıştır. Bu kesme parametreleri kesici takımın geometrisine bağlı olarak ISO 3685 takım ömür testi standardından seçilmiştir.

4.2 Literatür Taraması

S.E. Oraby ve D.R. Hayhurst takım ömrünün aşınmaya ve kuvvet oranlarına bağlı olarak belirlenmesi amacıyla yaptığı çalışmada üç kesme kuvvetini ölçebilen bir uzama ölçer dinamometresi kullanmış. Üzerinde üç kaplama bulunan ($1\mu\text{m TiN}$, $3\mu\text{m Al}_2\text{O}_3$, $5\mu\text{m TiC}$) Sandvik GC345 kesici takımlarıyla, soğutma sıvısı kullanmadan 709M40 alaşımlı çeliğini işlemişlerdir. İşlem parametreleri kesme hızı: 50-200m/dak, ilerleme: 0.06-06mm/dev, talaş derinliği: 1,3–3 mm arasında belirlenmiştir. Sonuçta kuvvet oranlarının arttıkça aşınmanın düzenli olmasa da bir artış gösterdiğini bulmuştur. Ayrıca $V:145\text{m/dak}$, $f:0.3\text{mm/dev}$, $d:0.2\text{mm}$ olduğu şartlarda kesme kuvvetleri arasındaki farkın azaldığı görülmüş. Bunun da üç aşınma bölgesinde üniform bir aşınma dağılımına sebep olduğunu gözlemlemişlerdir.[3]

J. Treglio, A. Perry, A. Tian Al_2O_3 kaplı kesici takımlara MEVVA ile Ti ve Ni iyonlarını aşılıyıp, ilerleme 0.07mm/dev, kesme hızı: 70m/dak, talaş derinliği 0.1mm deney şartlarında AISI 4140 iş parçası malzemesini soğutma sıvısı kullanmadan işlemişlerdir. Yapılan testler sonucu Ti ve Ni iyonları aşılanmış takımların %70 daha fazla iş parçası işlediğini görmüşlerdir.[12]

Mitsuo A. ,Uchida S. ,Yamamoto S. , Aizawa T. Yaptıkları çalışmalarda Sinterlenmiş karbür kesici takım üzerine klor iyonu aşılıyarak takımın kesme performansındaki değişiklikleri incelemişlerdir. Tornalama testlerinde P10 ve P30 kalitesinde 3 tip kesici takım kullanmışlardır. Birinci grupta kaplamasız, ikinci grupta TiN – TiCN kaplı kesici takımlar ve son olarak Cl aşılanmış olan kesici takımlar kullanmışlardır. Talaş kaldırma esnasında kesme kuvvetleri ölçülmüş ve işlemler 1 mm talaş derinliği ve 0,1 mm/dev ilerleme şartlarında 10-500 m/dak kesme hızı aralıklarında yapılmıştır. Deney sonucunda Cl aşılanmış kesici takımların sürtünme katsayısında ve yanak aşınmasında kayda değer iyileşmeler görülmüştür. Bu iyileşmelere ek olarak Cl aşılanmış takımlarda adhesiv aşınma mekanizması ortadan kaldırılmış, dolayısıyla 500 m/dak kesme hızına kadar talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilebilmiştir.[16]

Yongjin Kwon, Gary W. Fischer Iowa üniversitesinde yaptıkları çalışmada TNMG432 kaplanmamış tungsten karbür Kennametal kesici uç kulanarak AISI 4340 malzemesini işlemişlerdir. Southbend CNC torna tezgahında yapılan deneylerin kesme parametreleri; ilerleme:0.12mm/dev, kesme hızı:185m/dak, talaş derinliği 2.5mm olarak belirlenmiş. Kesme işlemi 50mm boyundaki iş parçasıyla parçayla soğutma sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiş. CCD kamera ile yapılan ölçümler sonucu yan kenar aşınmasının her kesme işleminden sonra arttığı gözlenmiş. Ayrıca daha önceki çalışmalarda bulunan geleneksel aşınma eğrisi elde edilmiştir.[17]

Jukka Paro, Hannu Hanninen, Veijo Kauppinen Iso takım ömrü testi baz alınarak CVD kaplamalı SNMG 120408 kesici uç ile aşınma deneyleri yapmışlardır. Kesme parametreleri; 60, 65, 70 ve 100 m/dak kesme hızı, 0.24mm/dev ilerleme, 1.6mm talaş derinliği olarak belirlenmiş. İş parçası olarak %0.57 ve %0.91 N içeren X5 CrMnN 18 18 paslanmaz çeliği seçilmiş. Yapılan deneyler sonucu %0.91 N içeren numunenin işlenmesi sonucu takım ömrü 30dak, diğer numunenin takım ömrü ise 10dak olarak bulunmuş. %0.57 N içeren numunenin işlenmesinde kesme hızı 60'tan 70'e arttırıldığında takım ömrünün 10 dak'dan 5 dak'ya düştüğü görülmüş. %0.91 N içeren numune işlenirken oluşan kesme kuvvetleri 240 kg bulunurken, %0.57 N içeren numunede kesme kuvveti 180 kg olarak hesaplanmış.[18]

M. Nouari, A. Molinari tarafından yapılmış aşınma deneylerinde DIN 42CrMo4 çeliği kullanılmış. Talaş derinliği 5mm, kesme hızı 60–1200 m/dak arasında seçilmiş. Talaş açısı 0° ve 7° olan iki farklı kaplamasız tungsten karbür uçlar deneylerde kullanılmış. Deneyler sonucu kesme hızları arttıkça krater aşınması derinliğinin arttığı gözlenmiş. Yine kesme hızları arttıkça talaş yüzeyindeki sıcaklığında arttığı ve difüzyon aşınma mekanizmasına neden olduğu söylenmiş. İlerlemenin talaş yüzeyindeki sıcaklığa etkisine bakıldığında, ilerlemenin artmasıyla talaş yüzeyinde meydana gelen sıcaklığında arttığı gözlenmiş.[19]

S.K. Choudhury, K.K. Kishore takım aşınmasını önceden tahmin edebilmek için yaptıkları çalışmada 600mm uzunluğunda C45 karbon çeliği iş parçası HSS kesici takımla tormalanmış. Tormalama şartları; ilerleme 0.1-0.2 mm/dev, talaş derinliği 0.5-0.15mm ve devir 90-160dev/dak olarak tespit edilmiş. Tormalama sırasında oluşan kesme kuvvetleri strengence dinamometresi ile ölçülmüş. Sonuç olarak, kesme kuvvetleri oranı F_f/F_c 0.3-0.5 arasında bulunmuş. F_f/F_c oranının yan kenar aşınmasıyla ilişkili olduğu ve yan kenar aşınması arttıkça bu oranın da arttığı açıklanmış. Ayrıca yan kenar aşınmasının ilerleme ve talaş derinliği ile birlikte lineer bir şekilde arttığı sonucu bulunmuş. [20]

Seker U. , Kurt A. , Çiftçi İ. lineer hareketle talaş kaldırma işleminde oluşan kesme kuvvetini ölçmek için dinamometre tasarlayıp imal etmişlerdir. Tasarladıkları dinamometre içerisinde, kesme kuvvetinin ilk olarak uygulandığı kesici takımın ucundaki sehim miktarından kesme kuvvetini tespit edecek olan 3 adet bending-beam loadcell kullanmışlardır. Bu dinamometre ile teğetsel, ilerleme ve radyal kesme kuvvetleri ölçülebilmektedir. Talaş kaldırma işlemlerinde dinamometre performansını görebilmek için haddelenmiş st 44 çeliği kullanmışlardır. Elde ettikleri kuvvet verilerini teorik hesaplamalarla destekleyip dinamometrenin çalışma doğruluğunu göstermişlerdir.[21]

Günay M. , Aslan E. , Korkut İ. , Şeker U. yaptıkları çalışmalarda talaş açısındaki değişimin kesme kuvvetleri üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Kuvvetlerin ölçülmesi için bir

dinamometre tasarlamışlar ve 8 ayrı talaş açısında kesme kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Deneylede talaş derinliği ve ilerleme sabit tutulmuştur. İş parçası olarak AISI 1040 çeliği kullanmışlar ve ISO 5608 ile ISO 1832 standartlarına uygun olarak kesici takım kullanmışlardır. Tasarlanılan dinamometre esas ve ilerleme kesme kuvvetlerini ölçmek için 2 adet bending-beam tipi loadcell'den oluşmaktadır. Bütün parametreleri sabit tutarak kesme hızını değiştirmek suretiyle de deney sonuçları mukayese edilmiştir. Sonuç olarak talaş açısının negatif değerde artmasıyla kesme kuvvetinin arttığını ve pozitif değerde artmasıyla kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Yapılan tüm deneylerde elde edilen kesme kuvveti, negatif talaş açısında en yüksek değerlere ulaşmıştır. Diğer tüm şartları sabit tutarak kesme hızı artırıldığında kesme kuvvetinin azaldığı görülmüştür.[22]

Rafael R. Manory, Simon Mollica, Liam Ward, Kavuri P. Purushotham, Peter Evans, Johannes Noorman, Anthony J. Perry, 5mm kalınlığında 20mm çapında AISI A5 çeliğinden numuneler hazırlamış ve PVD yöntemi ile 2µm kalınlığında TiN film tabakası ile kaplamışlar. Daha sonra bu numunelere 2×10^{-6} Torr basınçta, 40 keV hızlandırma voltajı ile numunelere 1×10^{17} , 3×10^{17} , 5×10^{17} iyon/cm² dozda C; 1×10^{17} , 3×10^{17} iyon/cm² dozda Tungsten iyonları aşılammış. Bu numunelerin tribolojik özelliklerine bakıldığında 1×10^{17} iyon/cm² dozda C aşılammış numunenin sertliğinde artış, 5×10^{17} iyon/cm² dozda C aşılammış numunenin sertliğinde azalış görülmüş. Sertlikteki bu azalma yüksek dozda daha kalın karbonlu yüzey katmanının var oluşuna bağlanmıştır.[23]

Wang J. karbür takımların üzerine uygulanan çok katmanlı kaplamaların talaş kaldırma esnasında kesme kuvvetlerine olan etkisini araştırmıştır. 2 farklı geometride 4 adet kesici takım kullanılmış. İki tanesi kaplamasız diğer iki tanesi, içeriden dışarıya doğru sırasıyla TiC – Al₂O₃ – TiN kaplama yapılmış takımlar tercih edilmiş. Deneylelerin sonucu olarak sert kaplamalı takımlarda kayda değer kuvvet düşüşleri gözlemlenmiş. Ağır olmayan kesme şartlarında kesme kuvvetlerindeki düşüşün marjinal seviyelerde olduğu görülmüştür.[24]

Sikdar S. K. , Chen M. tornalama işleminde yanak aşınması miktarıyla, kesme kuvvetlerinin arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Deneylelerinde AISI 4340 çeliği kullanmışlar ve kesici takım olarak CNMG 120412N-UJ seçmişler. Talaş kaldırma işlemleri 125–175 m/dak kesme hızı, 0,25–0,4 mm/dev ilerleme ve sabit 2 mm talaş derinliğinde yapılmıştır. Sonuç olarak yanak aşınma yüzey alanı belli bir değere ulaşana kadar kuvvetlerde çok fazla bir değişme görülememiş fakat alan 1,6 – 1,7 mm²'yi geçince kuvvetlerde çok yüksek bir artma tesbit edilmiştir.[25]

M. Rahman, M.A. Mansur, S.H. Lau yaptıkları çalışmada negatif talaş açılı TNMA 160404 geometrili kaplamasız kesici uç ve PTG NR 2525M3 takım tutucu ile AISI 1045 malzemesini işlemişlerdir. Kesme testlerinde kızıağı dökme demirden ve demir karbürden yapılmış iki farklı torna tezgahı kullanılmış. Deney şartları; talaş derinliği:1mm, ilerleme:0.1-0.24mm/dev, kesme hızı: 75-150m/dak olarak belirlenmiş. Deneyler sonucunda takım ömür testlerinde tezgahın sönümlenme etkisinin önemli rol oynadığı görülmüş. Kızakları demir karbürden yapılmış tornalarda yapılan testler sonucu yan kenar aşınmasının diğer tezgaha göre daha düşük çıktığı bulunmuş. Bunun sebebi olarak ise yüksek sönümlenme kapasitesinin kesme kararlılığını arttırdığı ve takım titreşimini azalttığı gösterilmiştir.[26]

4.3 Materyal ve Metod

Bu bölümde deneylerde kullanılan ekipmanlara ait tüm bilgi ve resimler sunulmuştur. Ayrıca bu ekipmanların çalışma prensipleri de açıklanmıştır. Yine deney şartları, deneylerde yapılan işlemler, ölçümler ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir.

4.3.1 Deneylerde Kullanılan İş Parçası

Yapılan deneylerde aşındırıcı malzeme olarak kimyasal analizi Tablo 4.3'te görülen AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. İş parçası Ø120 mm x 350 mm ebatlarından hazırlanmış ve deney öncesi haddelemeden dolayı yüzeyde oluşan pekleşmiş tabakayı temizlemek ve dönüş salgısını ortadan kaldırmak amacıyla yüzeyden 1mm talaş alınmıştır. İş parçasının torna tezgahına güvenli bağlanabilmesi için de alın yüzeyleri temizlenip, punta delikleri açılmıştır.

Tablo 4.2 Kalite muadil tablosu

4140 ÇELİĞİ İÇİN KALİTE MUADİL TABLOSU								
MALZEME NO	DIN	SAE/AISI	AFNOR	UNI	BS	JIS	EN	GOST
1.7223	42CrMo4	4140	42 CD 4 TS	42CrMo 4	708 M 40	SCM 440	41CrMo4	40ChF A


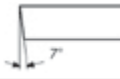

Tablo 4.3 İş malzemesinin kimyasal analizi

C	Si	Mn	Cr	Mo	S max	P max
0.38–0.43	0.15–0.35	0.75–1.00	0.80–1.10	0.15–0.25	0.04	0.035

4.3.2 Deneylerde Kullanılan Kesici Uç

Talaş kaldırma deneylerinde ISO 3685 Takım Ömür Testi standardına uygun olarak IC 50M SCMT 09T308-19 geometrisine sahip WC kesici takımları kullanılmıştır. Kaplamasız yüzeye sahip olan bu takımlara, deneylerin esas amacını teşkil eden metal iyon aşılama yöntemi ile yüzeylerine Mo, Cr, Ti ve Zr aşılama yapılmıştır.

Tablo 4.4 Kesici ucun ISO standartlarına göre isimlendirilmesi

S Uç şekli	C Serbest açı	M Toleranslar	T Uç tipi	09 Kesici kenar boyu	T3 Kalınlık	08 Köşe konfigürasyonu
		s = ±0.13 d = ±0.05		L = 9.520mm	S = 3.97mm	R = 0,8mm±0,1

Kesici ucun;

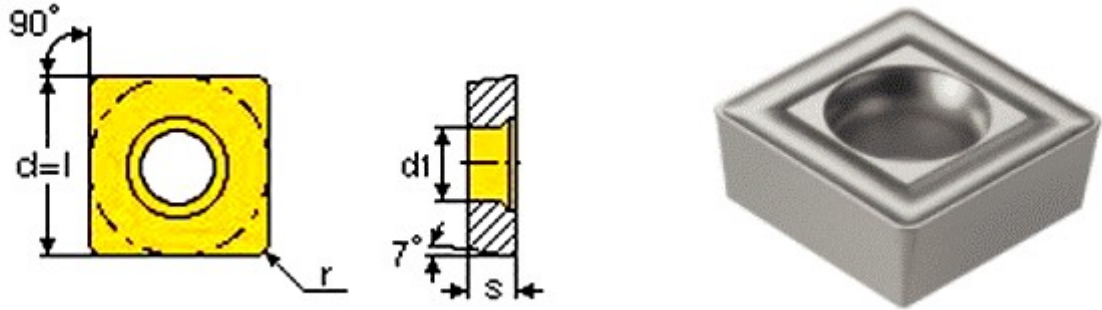
ISO Normu :SCMT 09T308

Kesici ucun şekli :Kare

Kesici uç boşluk açısı :7°

Kesici uç tipi :Tek tarafı talaş kırıcılı ve tek tarafı konik delikli

Kesme kenar durumu :Keskin kesme kenarlı



Şekil 4.1 Kesici ucun standart ölçüleri[27]

d = 9.520mm

l = 9.520mm

s = 3.97mm

r = 0.80mm

d1 = 4.40mm

4.3.3 Deneylerde Kullanılan Takım Tutucu(kater)

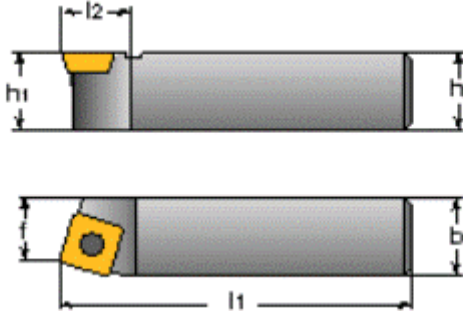
Aşınma ve kesme kuvvetleri testleri boyunca kullanılan takım tutucu Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

Takım tutucunun (kater);

ISO Normu :SSBCR 1616H-09

Yaklaşma açısı :75°

Kesme yönü :Sol kesme yönlü



Şekil 4.2 Takım tutucu(kater)[27]

Takım tutucunun ölçüleri;

$h = 16\text{mm}$

$h_1 = 16\text{mm}$

$b = 16\text{mm}$

$l_1 = 100\text{mm}$

$l_2 = 15\text{mm}$

$f = 13\text{mm}$

4.3.4 Deneylerde Kullanılan Torna Tezgahı

Tezgah :Üniversal Torna Tezgahı

Tezgah Tipi :C11MS

İmalatçı Firma :Mashstroy CO. – Troyan

Motor Gücü :7.5 KW

Mevcut Devir Sayısı :15

Mevcut İlerleme Sayısı :76

Ayna Çapı :460mm.

Maksimum Tornalama Çapı :400mm.

Maksimum Tornalama Boyu :1550mm.

Tezgah Boyu :2650mm.

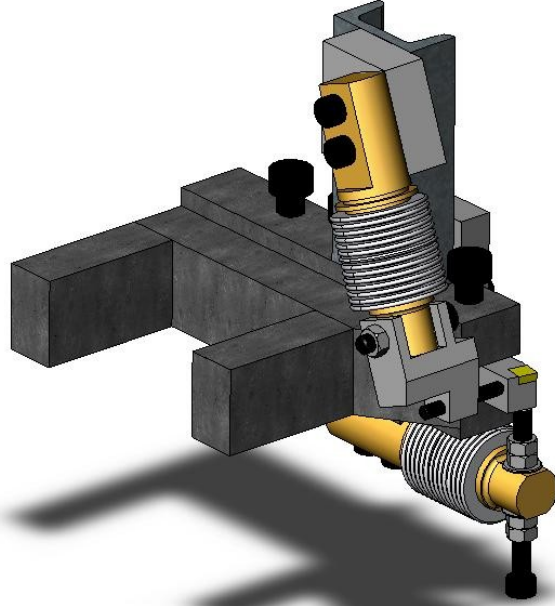
Tezgah Genişliği :1425mm.
Tezgah Yüksekliği :1240mm.



Şekil 4.3 C11MS niversal torna tezgahı

4.3.5 Kesme Kuvvetlerini lm Sistemi ve Ekipmanları

Bu sistemle talaş kaldırma esnasında kesici takım üzerine gelen kuvvetler ölçmüŐtür. Asıl kesme kuvveti ve ilerleme kuvveti olarak adlandırılan bu kuvvetleri ölçecek olan yk hücrelerini (load cell) bağlamak için bir deney aparatı tasarlanıp imal edilmiştir(Şekil 4.4). Ayrıca bu aparat kesici takımını da torna tezgahına bağlamada kullanılmaktadır.

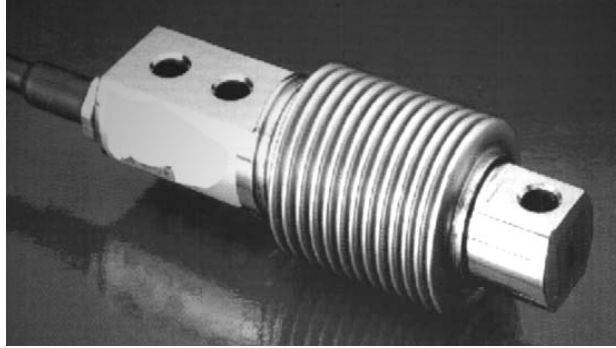


Şekil 4.4 Yük hücrelerinin ve kesici takımının torna tezgahına bağlanmasını sağlayan deney aparatı

Bu aparat torna tezgahının kalemlliğine bağlanmıştır.

Deneyle boyunca kesici takımın konumuna göre teğetsel olan esas kesme kuvveti (F_c) ve tezgâhın ilerlemesine karşı malzemenin gösterdiği dirençten meydana gelen ilerleme kuvveti ölçülmüştür.

Kesme kuvvetlerin ölçülmesinde kullanılan esas eleman, Şekil 4.5'te görülen, takım tutucunun altına ve arkasına yerleştirilmiş olan yük hücreleridir. Yapılan çalışmalarda kullanılan yük hücreleri (Loadcell) Tedeia Huntleigh 355 C3 BB-200kg olarak seçilmiştir.



Şekil 4.5 Tedeia Huntleigh 355 C3 BB-200kg yük hücresi(load cell)

Yük hücreleri, piezo-elektrik mantığıyla çalışarak, içerisinde barındırdığı bir takım "strain-gauge" parçaları sayesinde, üzerine gelen yükü milivolt cinsinden elektriksel değerlere çevirebilmektedir. Strain-gauge parçaları üzerinden geçen gerilim, strain-gauge üzerine herhangi bir yük uygulanmasıyla değişmeye başlar. Ancak gerilimde meydana gelen bu değişim milivolt seviyesindedir. Dolayısıyla kesici takım talaş kaldırmaya başladığında takım üzerine gelen yük, loadcell içerisinde milivolt seviyesinde analog sinyallere dönüştürülür.

Yük hücrelerinden gelen analog sinyallerin okunabilmesi için voltaj değerlerinin yükseltilmesi gerekmektedir. Bunun için her bir yük hücresi için bir adet "izoleli uzama ölçer modülü" kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılmak üzere Advantech ADAM 3016 modülü tercih edilmiştir. Bu ekipmanın teknik özellikleri Tablo 4.5'te belirtilmiştir.

Tablo 4.5 Advantech ADAM 3016 modülü teknik özellikleri

Voltaj değerleri	<i>Giriş</i>	<i>Besleme</i>	
	$\pm 10\text{mV}, \pm 20\text{mV}, \pm 30\text{mV}, \pm 100\text{mV}$	1-10 V _{DC} (60mA max)	
Çıkış voltajı	<i>Bipolar</i>	<i>Unipolar</i>	<i>Impedance</i>
	$\pm 5\text{V}, \pm 10\text{V}$	0-10 V	<50 Ω
Çıkış akımı	0-20 mA		
Band genişliği	2,4 KHz		
Kararlılık	150 ppm		
Çalışma sıcaklığı	-10° ~70°C		
Güç kaynağı	24 V _{DC}		

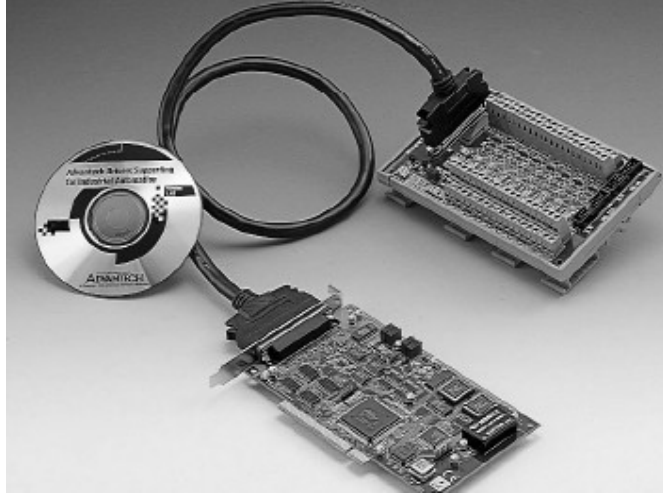
Kullanılan uzama ölçer modülü gelen milivolt sinyalleri yükseltmenin yanında, uygulanan yük ile üzerindeki gerilimi değiştirecek olan strain-gauge parçalarını istenilen voltaj değerinde beslemektedir. Dolayısıyla kuvvet ölçüm sisteminin çalışması için gerekli elektrik enerjisi ilk olarak uzama ölçer modülüne gelmektedir.



Şekil 4.6 Advantech ADAM 3016 izoleli uzama ölçer modülü

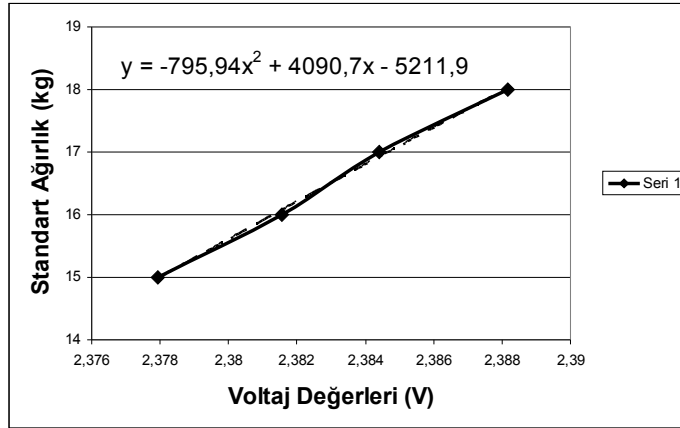
Kuvvet ölçüm sisteminin bundan sonraki kısmı, gelen verilerin değerlendirilmesinden ibarettir. Çalışmalarda değerlendirme işini yapmak üzere "Advantech GeniDaq" isimli bir yazılım kullanılmıştır. Bu yazılım sayesinde talaş kaldırma işlemi sırasında ortaya çıkan kuvvetler, kuvvetlerin değişme seyri grafik olarak izlenilebilmiş ve bütün voltaj değerleri kaydedilmiştir.

Yük hücrelerinin gönderdiği analog sinyalleri kullanılan bilgisayar yazılımının değerlendirebilmesi için analog sinyallerin dijital sinyallere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için yazılımın yüklendiği bilgisayarda analog-dijital çevrimi sağlayacak bir I/O kartı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere I/O kartı olarak Advantech PCI-1711 markası tercih edilmiştir.



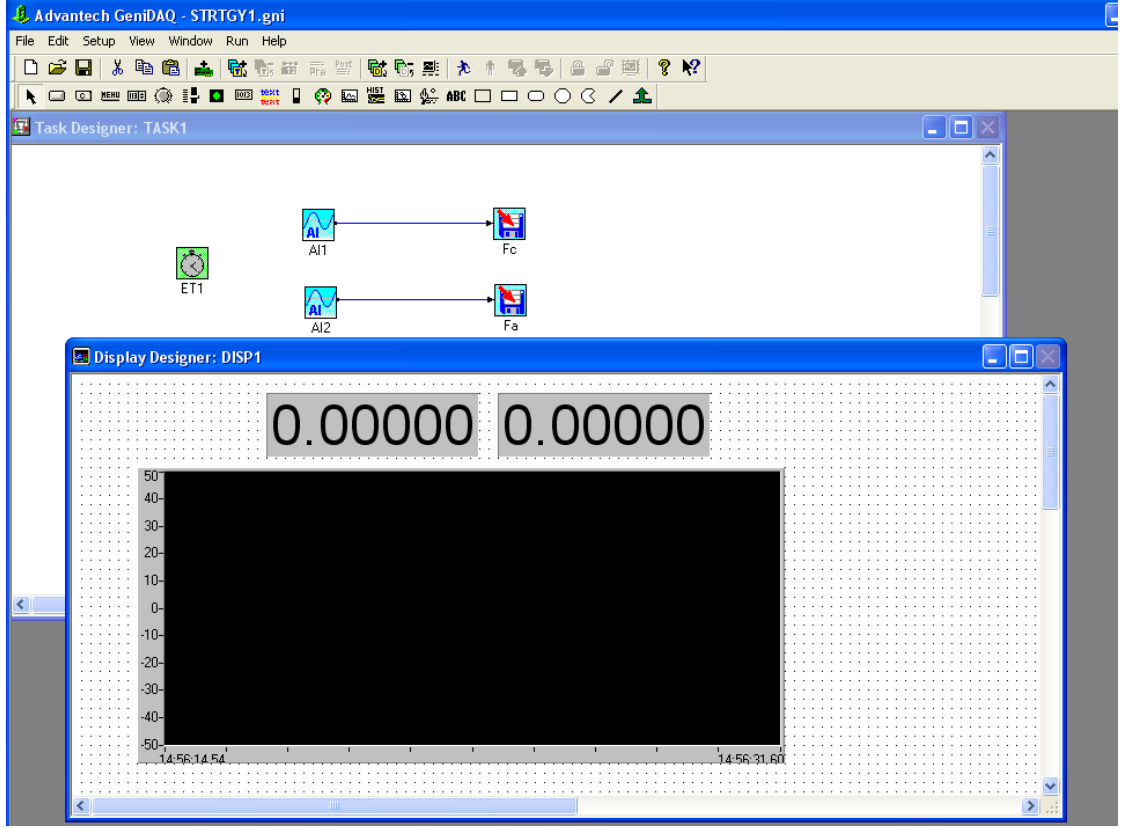
Şekil 4.7 Advantech PCI-1711 I/O kartı

Kuvvet ölçüm sisteminin sağladığı voltaj değerlerinin kaç kg kuvvete karşılık geldiğinin bilinmesi için sistemin kalibre edilmesi gerekmektedir. Kalibrasyon işlemi ne kadar deney şartlarına uygun yapılırsa o kadar doğru netice verecektir. Bu yüzden deneylere başlamadan önce kater üzerine ağırlığı belli kütleler asılıp hangi kütlelerin ne kadar voltaj değeri oluşturduğu kaydedilmiştir. Bu çalışmada standart ağırlık olarak 15–16–17–18 kg'lık ağırlıklar kullanılmıştır. Her bir ağırlık kater üzerine asıldıktan sonra 3dk bekletilmiş ve verdiği voltaj değeri kaydedilmiştir. Daha sonra kuvvet ölçüm deneylerinde elde edilen voltaj değerleri bu kalibrasyon bilgilerine göre değerlendirilmiştir.



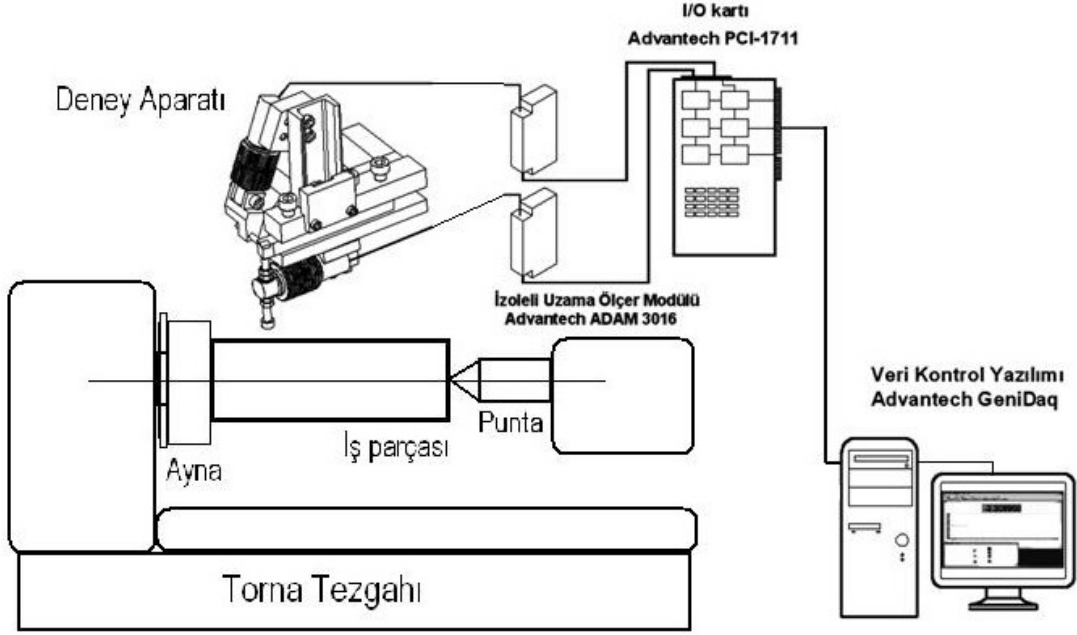
Şekil 4.8 Kalibrasyon Grafiği

Şekil 4.8 deki kalibrasyon grafiğinde görülen denklem voltaj değerlerine ve ağırlığa bağlı bir denklemdir. Denklem de x voltaj değerlerini y ise ağırlık değerlerini ifade eder. Advantech GeniDaq yazılımı ile elde edilen voltaj değerleri bu grafikteki denklem ile kuvvet değerlerine dönüştürülmektedir.



Şekil 4.9 Advantech GeniDaq yazılımı

Tüm bu veriler elde edildikten sonra yine bilgisayar ortamında saklanmakta ve değerlendirilmektedir. Kuvvet ölçüm sisteminin komple resmi Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10 Kuvvet ölçüm sisteminin şematik şekli

4.3.6 Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM) Analizi

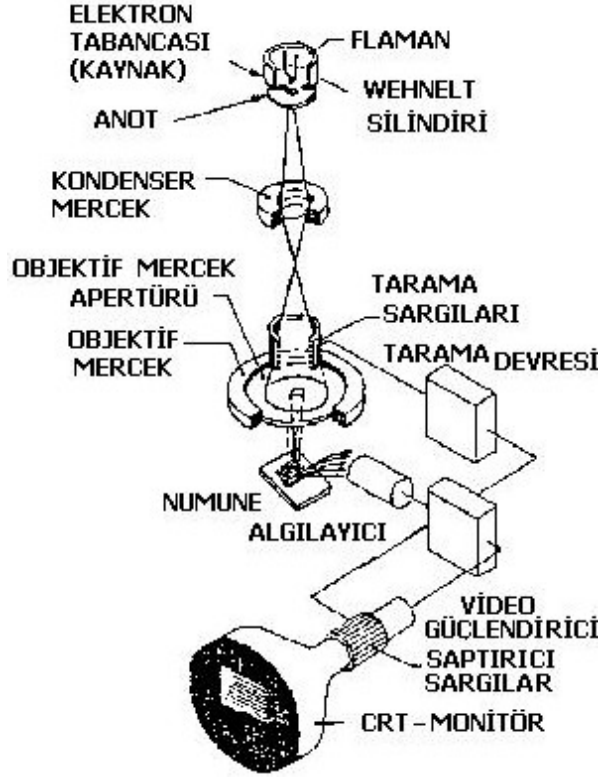
Bu çalışmada taramalı elektron mikroskobu analizi Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde yapılmıştır.

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir.

Taramalı Elektron Mikroskobu Optik Kolon, Numune Hücresi ve Görüntüleme Sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır.

Optik kolon kısmında; elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası, ince elektron demeti elde etmek için, kondenser mercekleri, demeti numune üzerinde odaklamak için, objektif merceği, bu merceğe bağlı çeşitli çapta apatürler ve elektron demetinin numune yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer almaktadır. Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile

elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklamaktadır. Tüm optik kolon ve numune 10^{-4} Pa gibi bir vakumda tutulmaktadır.[28]



Şekil 4.11 SEM'in şematik görünümü[28]

Görüntü sisteminde, elektron demeti ile numune girişimi sonucunda oluşan çeşitli elektron ve ışınları toplayan dedektörler, bunların sinyal çoğaltıcıları ve numune yüzeyinde elektron demetini görüntü ekranıyla senkronize tarayan manyetik bobinler bulunmaktadır.

4.3.7 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

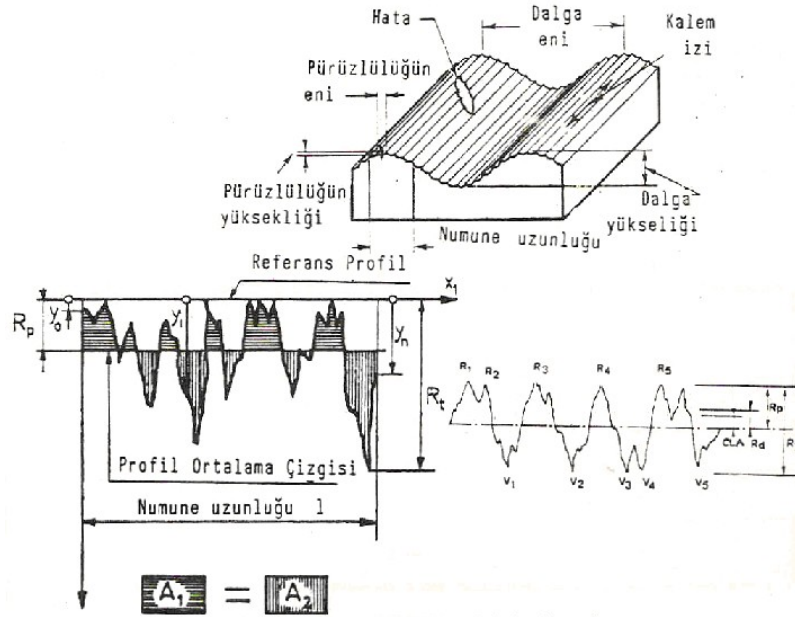
Yüzey pürüzlülüğündeki değişimleri görmek amacıyla profilometre ile her pasodan sonra iş parçası üzerinden pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Bu işlem için Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarındaki MİTUTOYO SURF TEST SJ-301 Profilometre kullanılmıştır. Ölçümler sonucu iş parçası yüzeyinin Ra ve Rz değerlerinin yanında yüzey karakteristiğini gösteren grafiklerde elde edilmiştir.



Şekil 4.12 MİTUTOYO SURF TEST SJ-301 Profilometre

Standartlara göre yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi belirli kriterlerle yapılır. Bu kriterlere göre pürüzler, yüzeye dik olan bir kesitte, belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri, bu çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olacak şekilde belirlenir.

Ra' da, ortalama çizgiye göre pürüz yüksekliklerinin veya derinliklerinin mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.[1]



Şekil 4.13 Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi[1]

Ölçme tekniğinin gelişmesi ile bu değerlerin biri veya hepsi ölçülebilir hale gelmiştir. Ancak pratikte yüzey kalitesi genellikle Ra ile ifade edilir. (Ra)'nın değerleri standartlaştırılmış ve ISO sistemine göre N ile simgelenmiştir. Tablo 4.6'da Ra'nın ISO sistemine göre karşılık gelen N değerleri verilmiştir.

Tablo 4.6 Ra ile yüzey kalite simgesi arasındaki bağıntı[1]

Pürüzlülük Derecesi	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Ra (μm)	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50

4.3.8 Metal İyon Aşılama(MEVVA)

IC 50M SCMT 09T308-19 geometrisine sahip WC kesici takımların performanslarını iyileştirmek üzere, Avustralya Nükleer Bilim ve Teknoloji kurumunda(ANSTO) metal iyon aşılama yöntemi ile kesici takımlara farklı iki dozda Mo, Cr, Ti ve Zr metalleri çalışılmıştır. Her bir element, 1×10^{17} iyon/cm² ve 0.5×10^{17} iyon/cm² dozlarında kesici takımlara aşılansmıştır. Böylece Mo-500K, Mo-1000K, Cr-500K, Cr-1000K, Ti-500K, Ti-1000K, Zr-500K, Zr-1000K olmak üzere sekiz numune elde edilmiştir. Tüm deneyler bu kesici takımlar ile gerçekleştirilmiştir.

Avustralya Nükleer Bilim ve Teknoloji kurumundaki Mevva iyon kaynağı, hedef malzeme üzerinde birkaç yüz mili amperlik iyon ışını üretebilen yüksek akım cihazıdır. 0-50 kV üretim potansiyeline sahiptir. Mevva iyon kaynağı ile çoğu metal elementler ve metal olmayan bazı elementlerin iyon ışınları meydana getirilebilmektedir. Mevcut olan sistemde 75 mm çapa kadar olan hedef malzemeler aşılansabilmektedir. Daha büyük parçaların aşılansmasında ise(150mm çapa kadar) sistemde küçük değişikliklere gidilmektedir.[29]

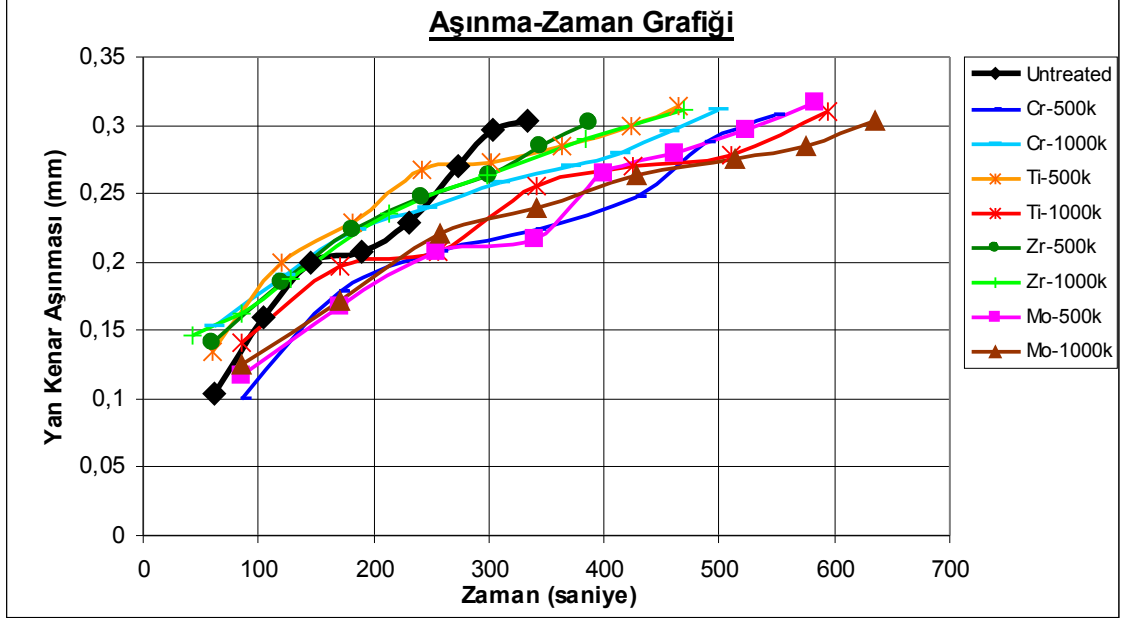
4.4 Deneysel Sonuçlar

Bu bölümde yapılan ölçümlerin ve analizlerin sonuçlarına yer verilmiştir. Sonuçlar, grafikler ve tablolar şeklinde gösterilmiştir.

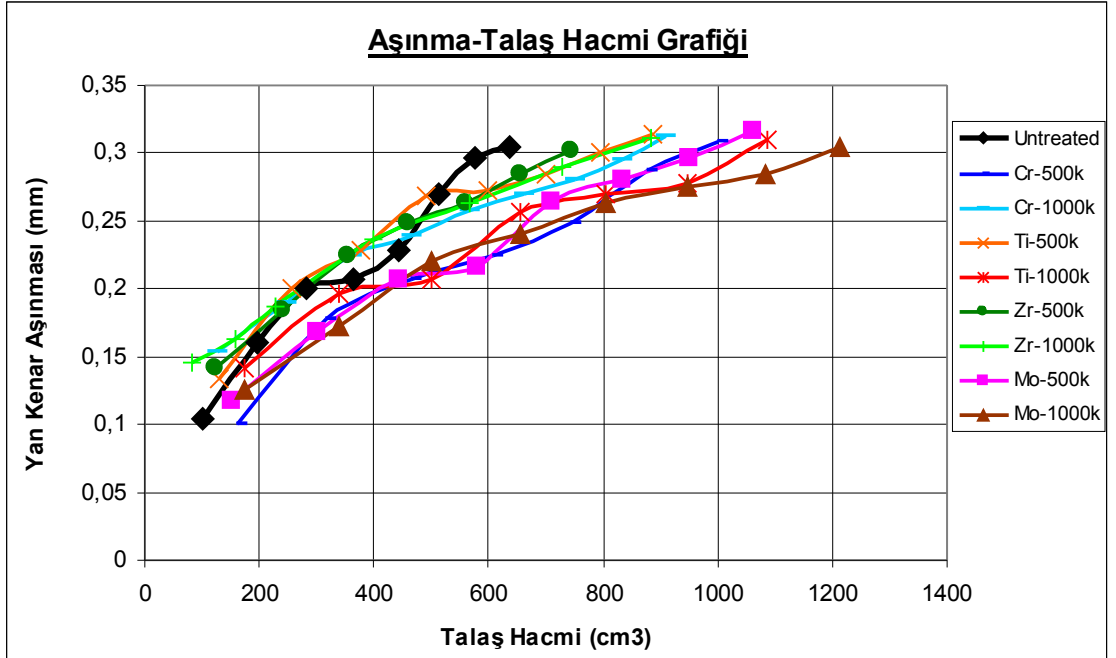
4.4.1 Aşınma Sonuçları

Aşınma testlerinde kesme hızı 180 m/dak, ilerleme 0.3mm/dev ve talaş derinliği 2mm olarak belirlenmiştir. Bu kesme şartları sabit tutularak farklı kesici takımların aşınmaları incelenmiştir. İyon aşılama işlemi uygulanmamış kesici takımın ilk aşınma değerinin diğer takımlarla yaklaşık olarak aynı olduğu Şekil 4.14'te görülmektedir. Ancak bu takımın kesme işlemi devam ettikçe diğer takımlardan daha hızlı bir aşınma seyri içerisine girdiği de tespit edilmiştir. Genel olarak

testler sonucu iyon aşılama işlemi görmüş takımların işlem görmemiş takıma göre daha geç aşındığı saptanmıştır. Şekil 4.15'teki Aşınma-talaş hacmi grafiğine bakıldığında da aynı sonuçları görmek mümkündür. Bu grafiğe göre aşılama işlemi görmüş takımlarla daha fazla miktarda talaş kaldırmak mümkündür. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'in verdiği sonuçlar aynı paralellikte çıkmıştır.

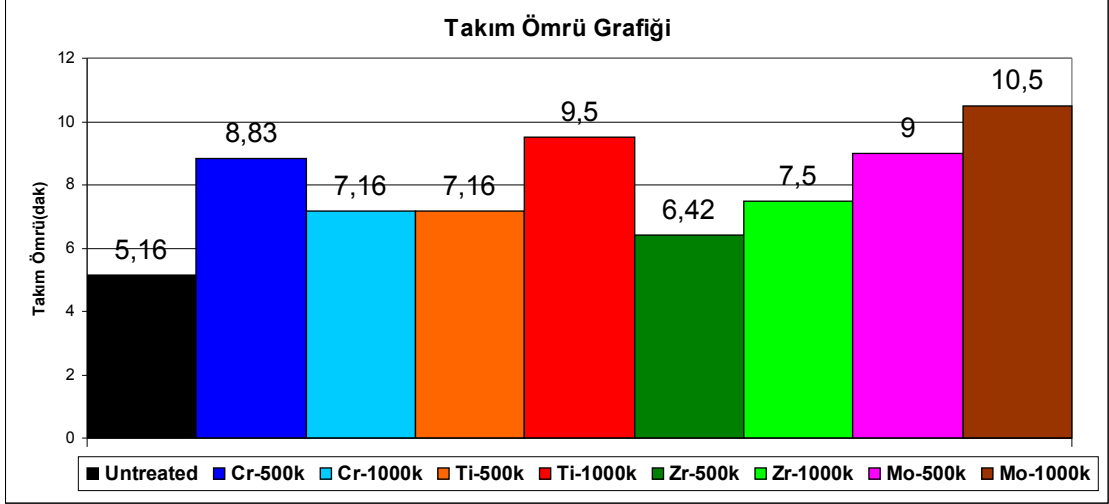


Şekil 4.14 Aşınma-Zaman Grafiği (V:180m/dak, f:0.3mm/dev, a:2mm)



Şekil 4.15 Aşınma-Talaş Hacmi Grafiği (V:180m/dak, f:0.3mm/dev, a:2mm)

Şekil 4.16'daki takım ömrü grafiğine bakıldığında aşılama işlemi görmüş tüm takımlarda ömür artışı gözlenmiştir. Özellikle Mo aşılama takımlarında iki kata varan ömür artışı sağlanmıştır.



Şekil 4.16 Takım Ömrü Grafiği (V:180m/dak, f:0.3mm/dev, a:2mm)

4.4.2 Kuvvet Ölçüm Sonuçları

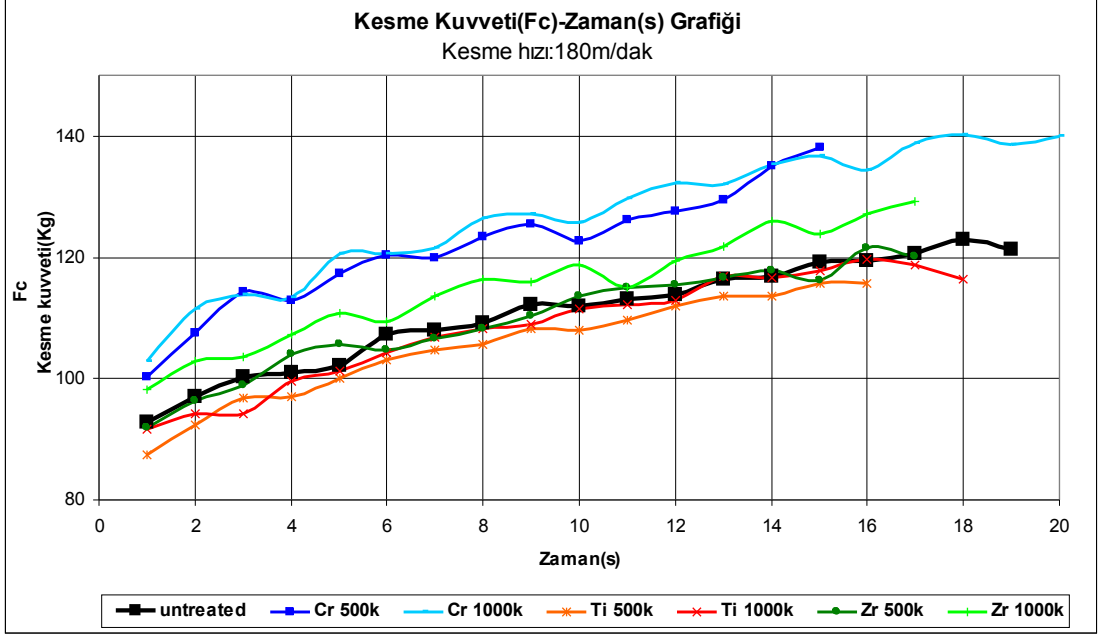
Kuvvet ölçüm testleri 180m/dak, 300m/dak olmak üzere iki kesme hızında ve ilerleme 0.3 mm/dev seçilerek yapılmıştır. Şekil 4.17'de asıl kesme kuvvetinin zamana bağlı değişimi verilmiştir. Bu grafikte zamanla tüm takımlarda kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir.

Titanyum aşılması yapılan takımlarda işlemsiz takımlara göre kesme kuvveti %5'lik azalma sağlarken, zirkonyum aşılması işlemsiz takıma göre eşit ya da biraz daha fazla miktarda kesme kuvvetine yol açmıştır. Krom aşılması ise kesme kuvvetinin yaklaşık %10 oranında artışına yol açmıştır(Şekil 4.17). İlerleme kuvveti de asıl kesme kuvvetine benzer sonuçlar vermiştir(Şekil 4.18).

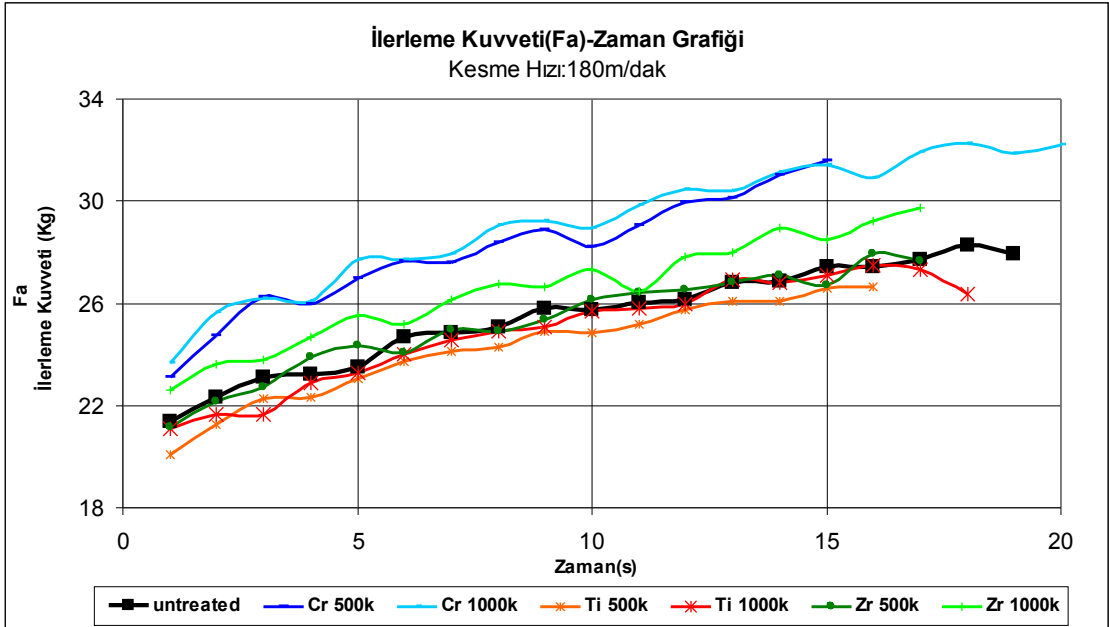
Şekil 4.21 ve 4.22'e bakıldığı zaman kesme hızındaki artışın kesme kuvvetlerinde düşüşe yol açtığı görülmüştür. Başka bir deyişle kesme hızının kesme kuvvetleriyle ters orantılı olduğu söylenebilir.

Kesme hızının 300 m/dak seçildiği koşullarda tüm takımlar işlemsiz takımdan daha fazla kesme ve ilerleme kuvvetine maruz kalmıştır. Bu artış, testlerde de titanyum aşılması, zirkonyum aşılması ve krom aşılması sırasıyla gerçekleşmiştir.

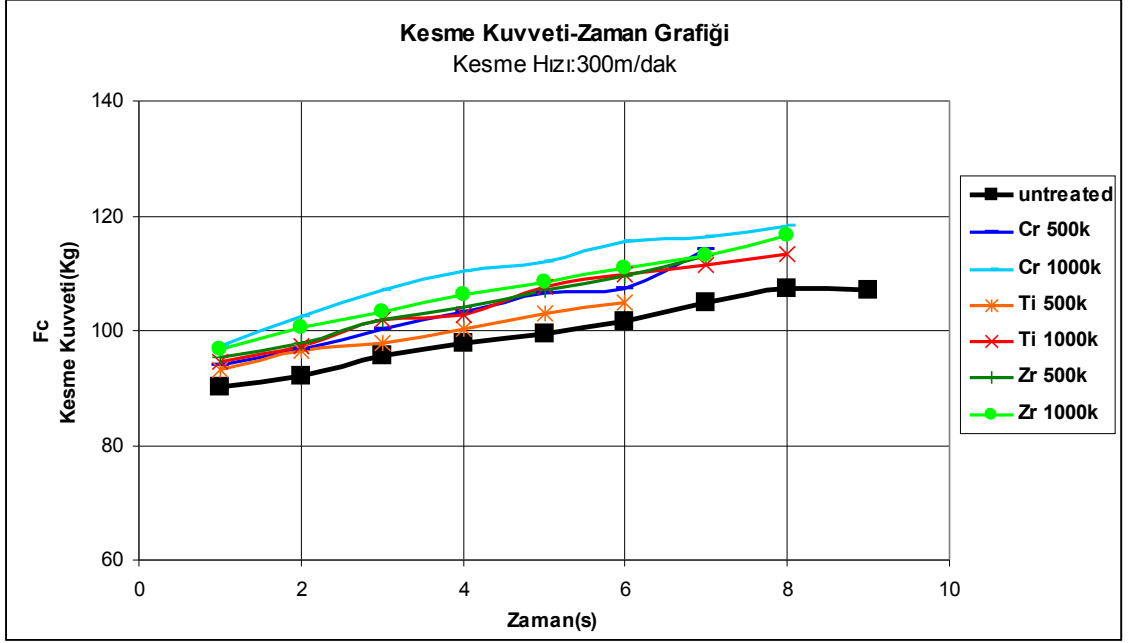
Tüm bu sonuçlar ışığında genel olarak, kesme kuvveti, uygulanan yüzey modifikasyon tekniğinden ziyade kesme hızından belirgin bir şekilde etkilenmiştir.



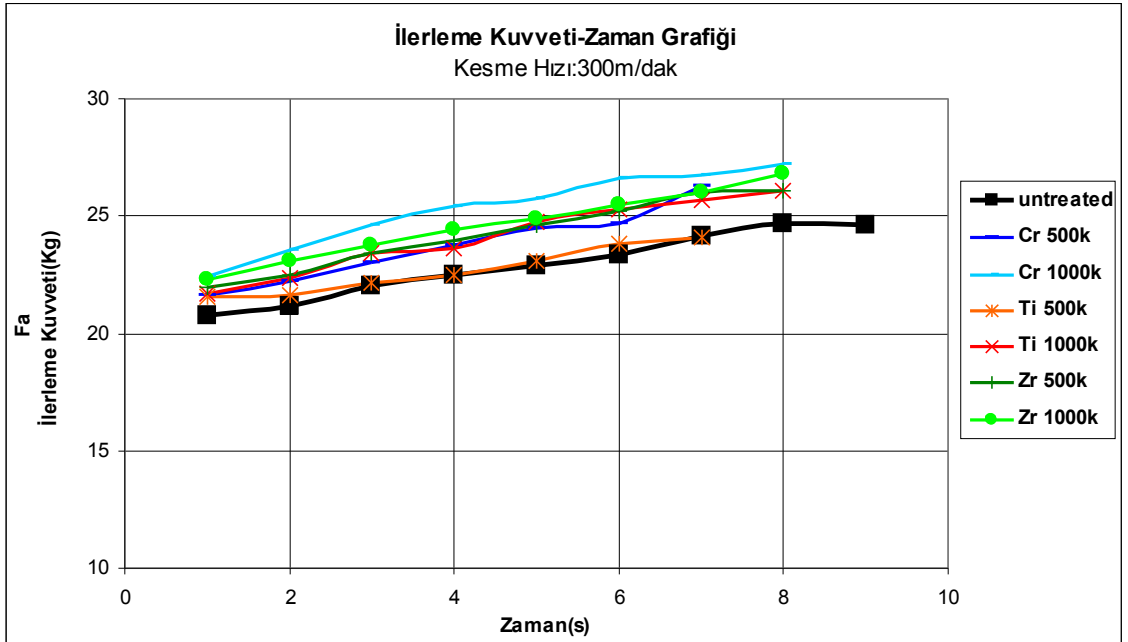
Şekil 4.17 Kesme Kuvveti(Fc)-Zaman Grafiği (V:180m/dak, f:0.3mm/dev, a:2mm)



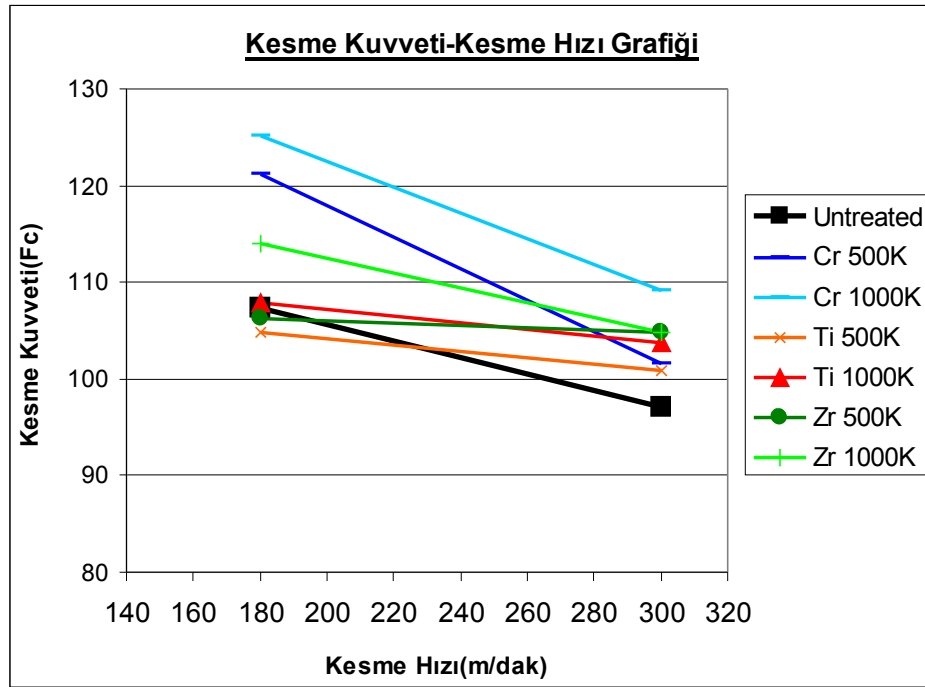
Şekil 4.18 İlerleme Kuvveti(Fa)-Zaman Grafiği (V:180m/dak, f:0.3mm/dev, a:2mm)



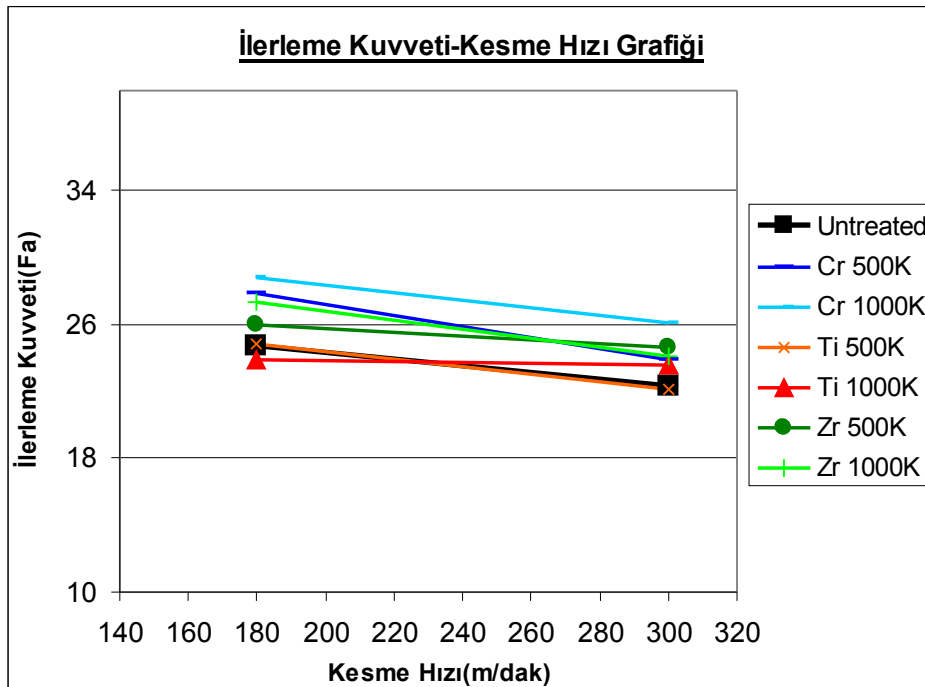
Şekil 4.19 Kesme Kuvveti(F_c)-Zaman Grafiği (V:300m/dak, f:0.3mm/dev, a:2mm)



Şekil 4.20 İlerleme Kuvveti(F_a)-Zaman Grafiği (V:300m/dak, f:0.3mm/dev, a:2mm)



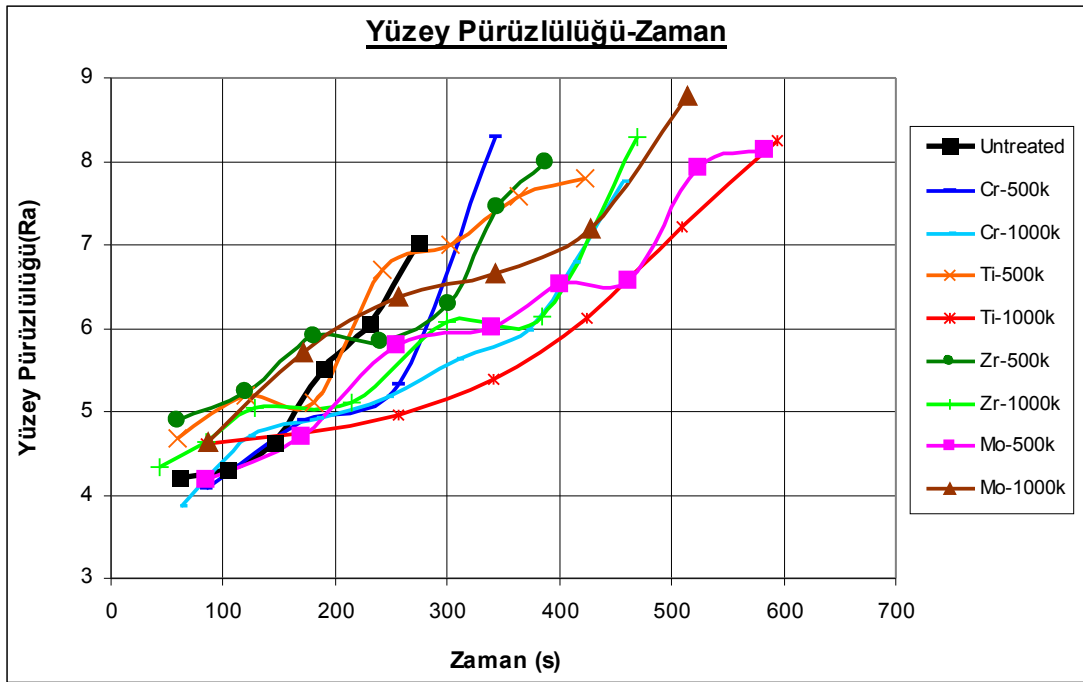
Şekil 4.21 Kesme Kuvveti(Fc)-Kesme Hızı Grafiği



Şekil 4.22 İlerleme Kuvveti(Fa)-Kesme Hızı Grafiği

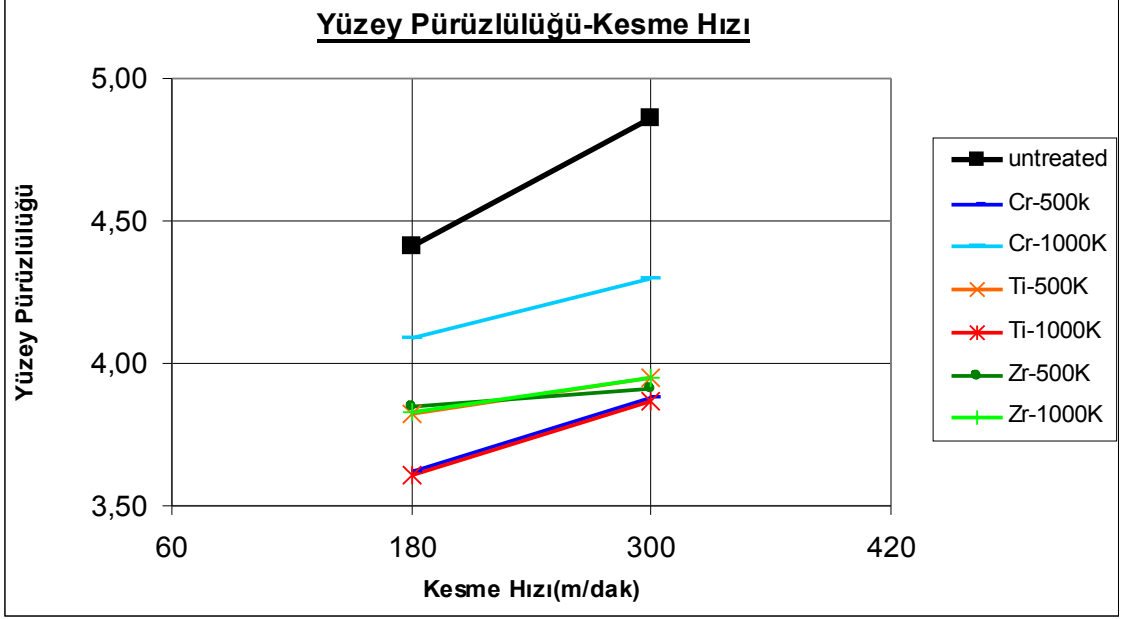
4.4.3 Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri

Yapılan ölçümler sonucu işlemsiz takımın ilk yüzey pürüzlülük değerinin diğer takımlardan daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak zamanla işlemsiz takımın yüzey pürüzlülük değerindeki artışın diğer takımlara oranla daha hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. İşlemsiz takımın aşındığı noktaya baktığımızda yüzey pürüzlülük değerinin tüm işlem görmüş takımlardan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yine grafiğe bakıldığında tüm takımların Ra değeri yaklaşık 7-8.5 aralığında ömürlerini tamamladığı fark edilmektedir.



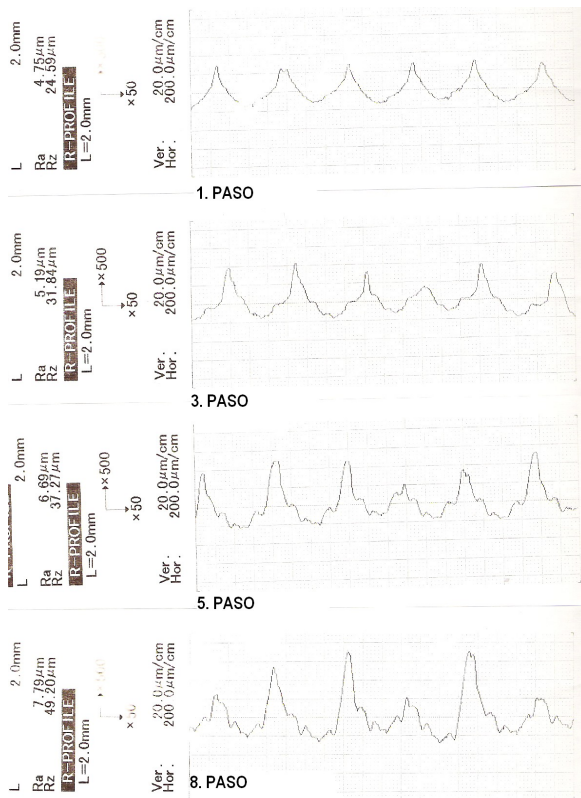
Şekil 4.23 Yüzey Pürüzlülüğü-Zaman Grafiği

Yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile ilişkisi Şekil 4.24'te gösterilmiştir. Kesme hızının 180 m/dak'dan 300 m/dak'ya çıkarılmasıyla tüm takımların yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır. Ancak en belirgin artış işlem görmemiş takımında yaşanmıştır. İyon aşılama işlemi görmüş takımlarda, yüzey pürüzlülük değerinde %3-%5 arasında değişen bir artış görülürken, işlem görmemiş takımında %10 luk bir artış görülmektedir. Bu verilerle iyon aşılama işleminin yüzey pürüzlülük değerinde az da olsa bir iyileşmeye yol açtığı gözlenmektedir.

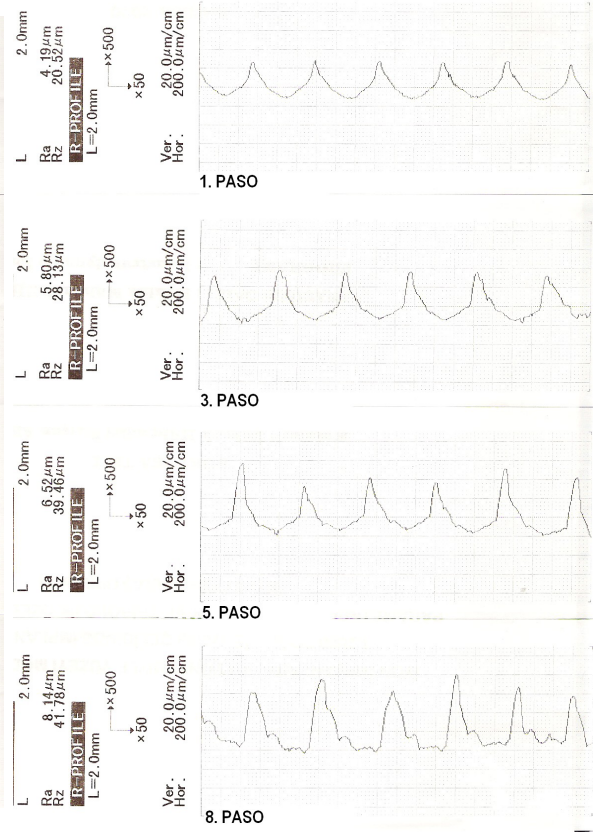


Şekil 4.24 Yüzey pürüzlülüğü-Kesme hızı grafiği

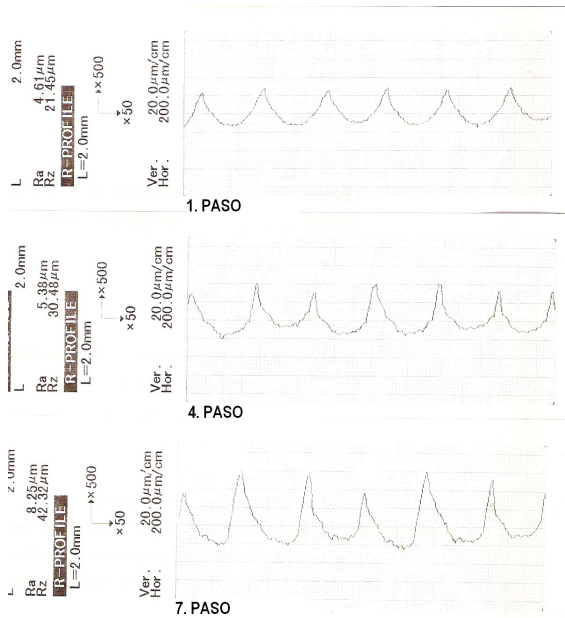
Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de sırasıyla Ti-500K, Mo-500K, Ti-1000K ve Cr-1000K takımların yüzey pürüzlülük karakteristikleri verilmiştir. Şekillerde yüzey profilinin paso sayısı arttıkça değişimi açıkça görülmektedir. Özellikle birinci pasolarla son pasolara ait yüzey profilleri karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğündeki artış ve yüzey profilindeki değişim kolaylıkla fark edilmektedir. İlk pasolarda yüzey profili düzenli bir şekilde giderken, son pasolarda yüzey profili düzensiz bir hal almıştır.



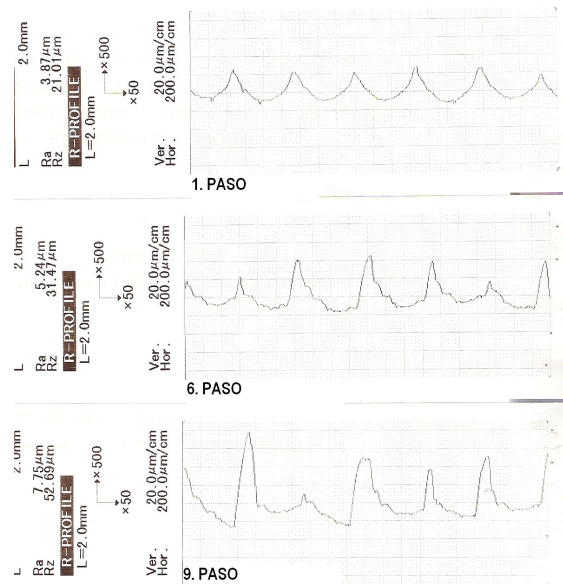
Şekil 4.25 Ti-500K yüzey profili



Şekil 4.26 Mo-500K yüzey profili



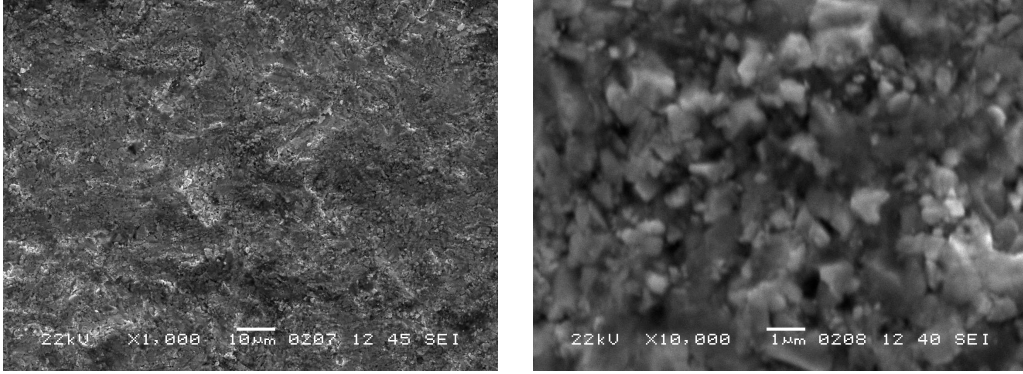
Şekil 4.27 Ti-1000K yüzey profili



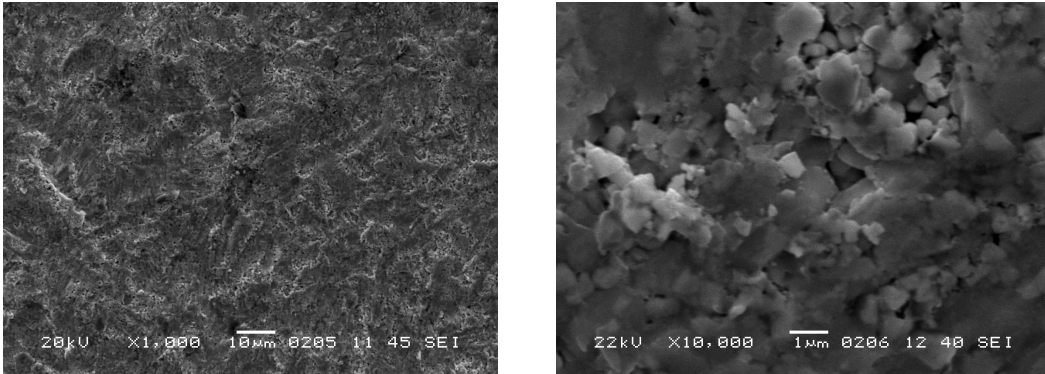
Şekil 4.28 Cr-1000K yüzey profili

4.4.4 Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM) Analizleri

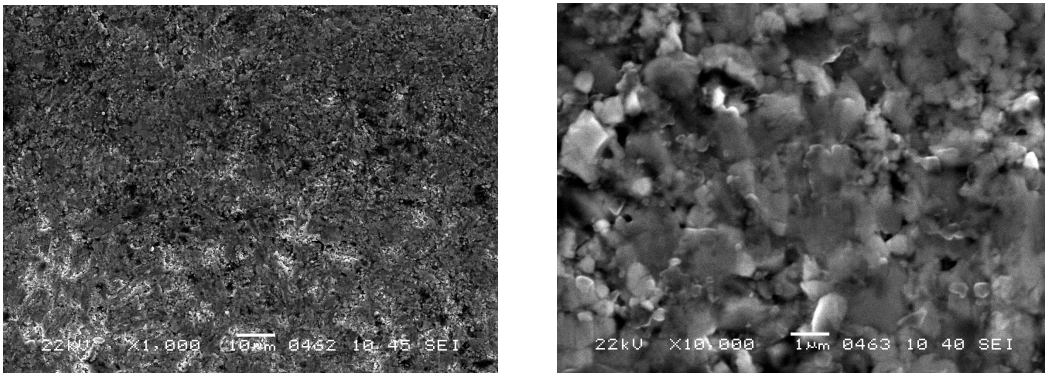
Dokuz Eylül Üniversitesi'ndeki SEM cihazında yapılan analizlerde aşılana elementler tespit edilememiştir. Kesici takımın ana malzemesi olan WC gibi ağır metaller arasında, genellikle çok sığ bir bölgede etkili olan iyon aşılama işlemi sonucu, aşılana elementlerin mikro yapılarını görmek mümkün olamamıştır. Aşağıda taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen kesici takımlara ait fotoğraflar verilmektedir.



Şekil 4.29 İşlemsiz kesici takımın SEM görünümü(1000x ve 10000x)



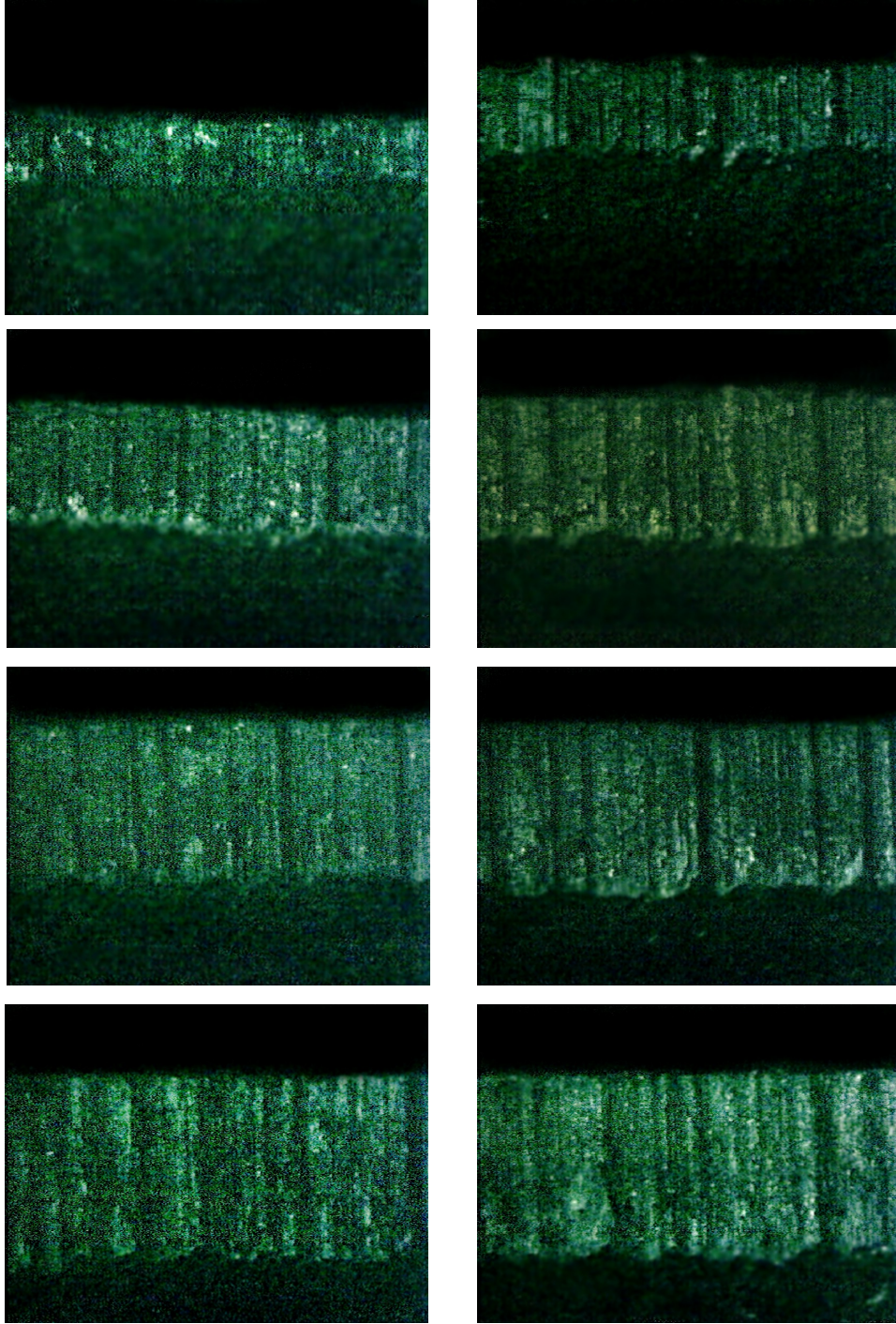
Şekil 4.30 Mo-1000K kesici takımın SEM görünümü(1000x ve 10000x)



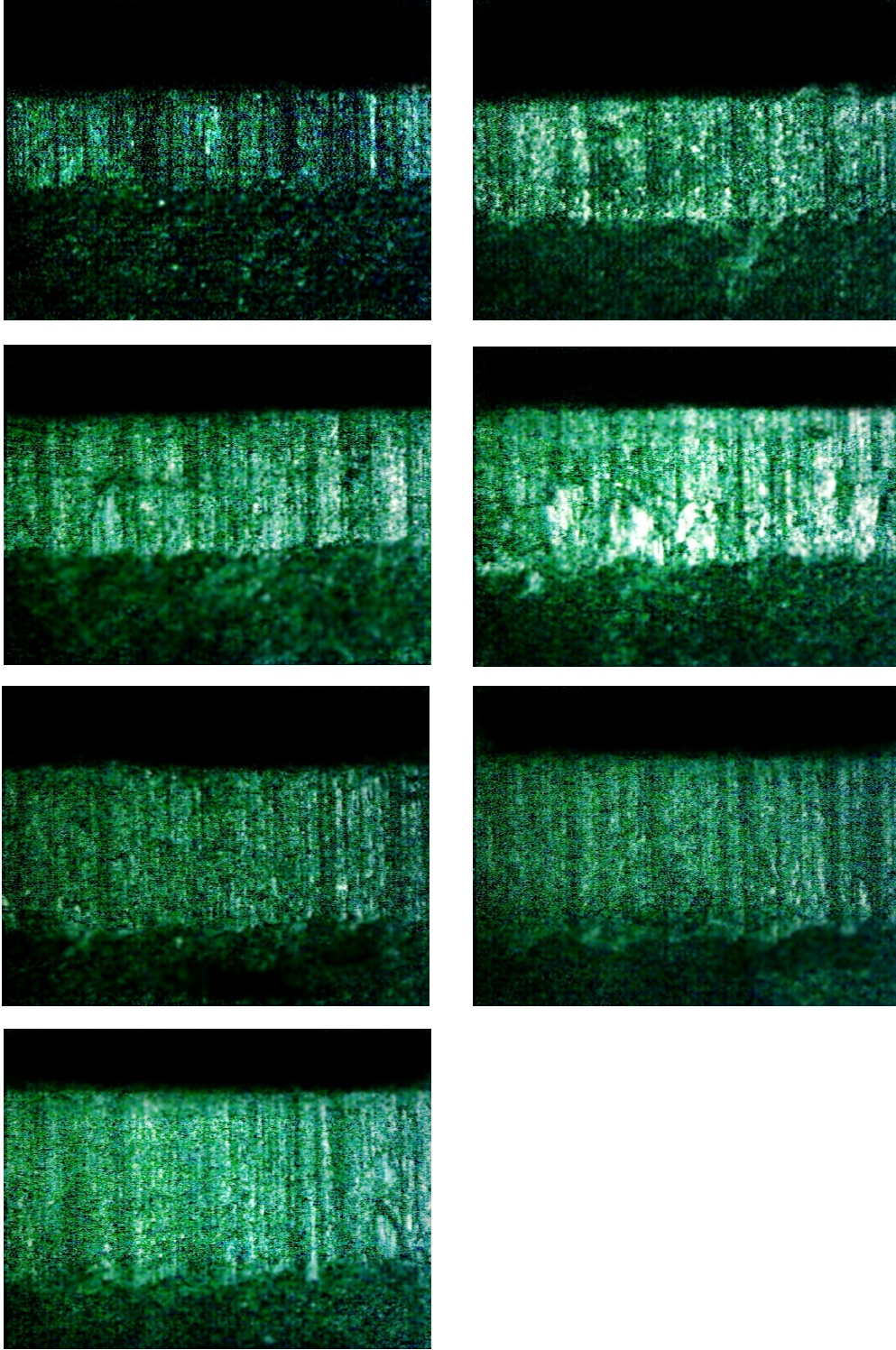
Şekil 4.31 Ti-1000K kesici takımın SEM görünümü(1000x ve 10000x)

4.4.5 Mikroskopi Sonuçları

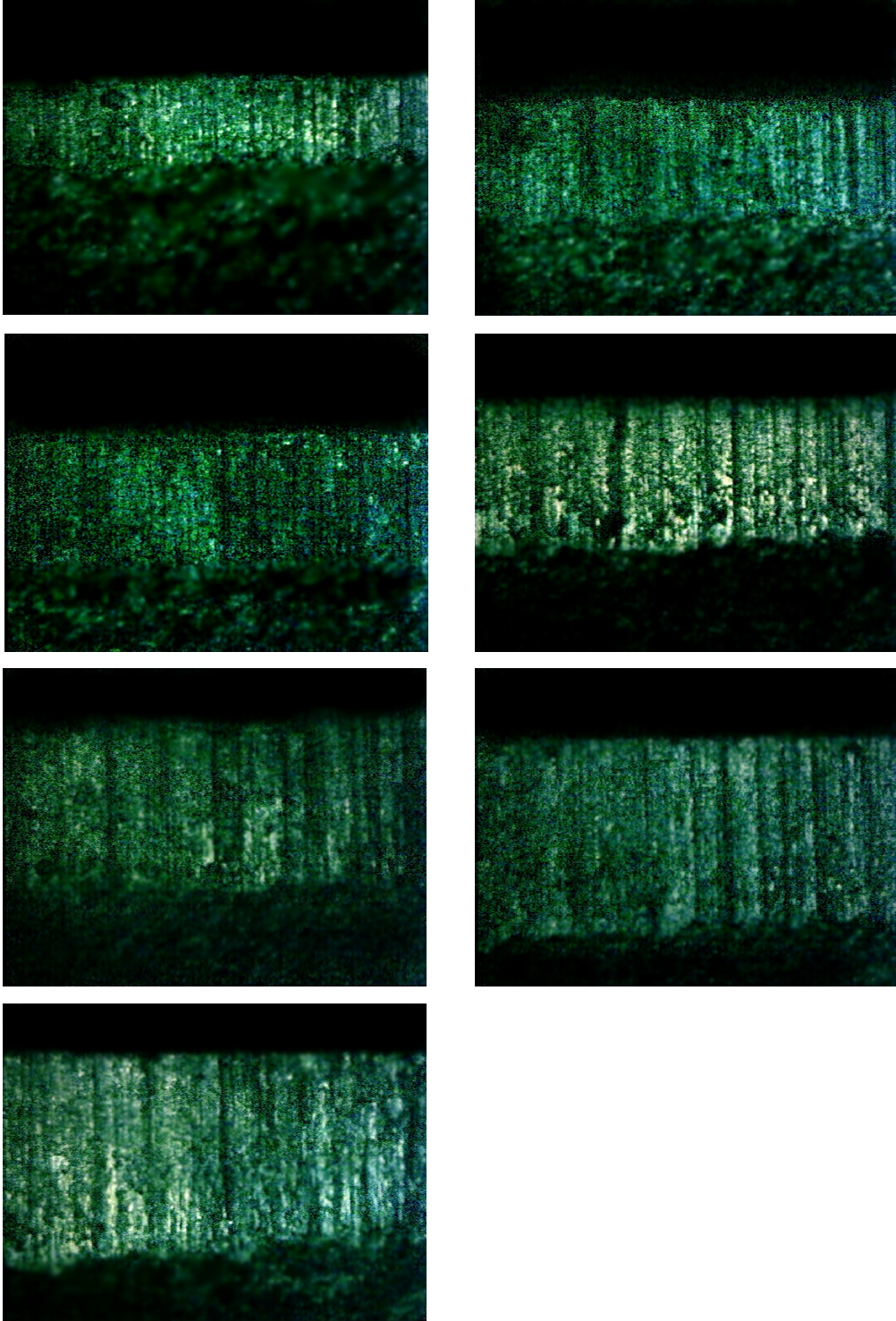
Aşınma testleri boyunca çekilen yan kenar aşınmalarının fotoğrafları aşağıda verilmiştir. Bu fotoğraflarda yeşil bölge kesici takım, bu yeşil bölge üzerindeki parlak kısımlarda yan kenar aşınması bölgelerini göstermektedir.



Şekil 4.32 İşlemsiz(untreated) kesici takımın aşınma seyri



Şekil 4.33 Zr-500K kesici takımın aşınma seyri



Şekil 4.33 Cr-1000K kesici takımın aşınma seyri

BÖLÜM 5. SONUÇLARIN İRDELENMESİ VE YORUMLAR

Bu çalışmada yapılan testlerdeki tüm değerler ISO 3685 tornalama takımlarında ömür testi baz alınarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Kesici takımların aşınmaları incelendiğinde, metal iyon aşılama işlemine uğramış tüm kesici takımların işlem görmemiş kesici takıma göre daha iyi sonuç verdiği ortaya çıkmıştır. Şekil 4.13'teki aşınma-zaman grafiğinde, işlem görmemiş kesici takımın ilk aşınma değerinin diğer takımlarla yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir. Ancak bu takımın kesme işlemi devam ettikçe diğer takımlardan daha hızlı bir aşınma seyri içerisine girdiği de tespit edilmiştir. İyon aşılama işlemine tabi takımlar ise daha yavaş bir aşınma seyri içerisindedirler. Krom aşılama işlemine tabi takımlar hariç diğer takımlar kendi aralarında aşılama dozuna göre kıyaslandığında, iyon dozu yüksek takımların daha uzun sürede aşındığı ortaya çıkmıştır. Burada aşınmaya iyon miktarının da fark edilir şekilde etki ettiği anlaşılmaktadır. Ayrıca iyon aşılamanın ara yer katı çözelti mukavemetlendirme mekanizmasıyla malzemenin mukavemetleşmesini sağladığı bilinmektedir. Aşınma testlerinde en iyi sonucu iki katlık artışla Mo-1000k vermiştir.

2. Bu kesici takımların takım ömürleri incelenip hesaplandığında oluşan durum Tablo 5.1'deki gibidir.

Tablo 5.1 Deneyler sonucu oluşan takım ömürleri

Kesici Takım	Untreated	Cr-500K	Cr-1000K	Ti-500K	Ti-1000K	Zr-500K	Zr-1000K	Mo-500K	Mo-1000K
Ömründeki artış %	–	%71	%38	%38	%84	%24	%45	%74	%103
Ömrü(dak)	5,16	8,83	7,16	7,16	9,5	6,42	7,5	9	10,5

Yukarıda belirtilen deney şartları ile işlem görmemiş takım 5.16 dakika sonunda ömrünü tamamlamıştır. İşlem görmüş takımlara bakıldığında en uzun ömrü 10.5 dakika ile Mo-1000K vermiştir. Bu da metal iyon aşılamanın takım ömründe yaklaşık iki kat kadar iyileşme sağladığını göstermektedir. Ayrıca Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'teki grafiklerin yaklaşık olarak aynı çıkması takım ömründeki bu yüzdelik artışların, kaldırılan talaş hacminde de gerçekleştiğini göstermektedir. Mo-1000K'daki 2 katlık ömür artışı ayrıca Mo-1000K ile 2 kat daha fazla talaş kaldırılabilmesi anlamına gelmektedir. Bu değerlerdeki olumlu artış takım tezgahı ve işçilik maliyetlerini de düşüreceğinden önem kazanmaktadır.

3- Yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde takımların aşındığı andaki yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 5.2'de gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülük değeri bakımından en iyi sonucu işlemsiz takımın verdiği gözükse de bu tür bir kıyaslama objektif olmamaktadır. Şekil 4.23'deki grafiğe bakıldığında işlemsiz takımın pürüzlülük-zaman eğrisinin eğimi diğer takımların eğrisinin eğiminden daha yüksektir. Başka bir deyişle işlemsiz takımın zamanla yüzey pürüzlülüğündeki artışı daha hızlı olmaktadır. Aşılama işlemi gören takımlarda ise bu eğrilerin eğimi daha düşük olduğu için pürüzlülük değerindeki artışı daha az olmuştur.

Tablo 5.2 Takımların aşındığı andaki yüzey pürüzlülük değerleri

Kesici Takım	<i>Untreated</i>	Cr- 500 K	Cr- 1000 K	Ti- 500 K	Ti- 1000 K	Zr- 500 K	Zr- 1000 K	Mo- 500 K	Mo- 1000 K
Ra(μm)	7,02	8,30	7,75	7,79	8,25	8,00	8,28	8,14	8,78

Tablo 5.2'de görüldüğü gibi takımların aşındıkları andaki yüzey pürüzlülük değerleri 7–8.8 μm arasında değişmektedir.

4- İlerleme ve talaş derinliği parametrelerinin sabit tutulduğu ve iki farklı kesme hızının denendiği kuvvet ölçüm sisteminde elde edilen sonuçlara bakıldığında, talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetlerinde bir iyileşme kaydedilememiştir. Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'ye bakıldığında kesme kuvvetlerinin birbirine yakın değerlerde çıktığı görülmektedir. Grafiklere bakıldığında kesme kuvvetlerinde oluşan küçük farkların, aşılama dozundan daha çok aşılamanın malzemedeki oluştuğu görülmektedir.

Yine bu grafiklere bakıldığında tüm takımlar için kesme kuvvetlerinin artışı yaklaşık aynı seyri takip etmektedir. Yani oluşan eğrilerin eğimlerinde değişiklik olmadığı görülmektedir. Kesme hızlarının kesme kuvvetlerine etkisi bakıldığında, kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin düştüğü görülmektedir. Bu düşüş hem asıl kesme kuvvetinde hem de ilerleme kuvvetinde belirgin bir şekilde görülmektedir. Şekil 4.24'e bakıldığında ise kesme hızlarındaki değişimin yüzey pürüzlülüğünü de etkilediğini görmekteyiz. Kesme hızlarındaki artışın yüzey pürüzlülüğünü de arttırdığını söylemek mümkündür.

5- Kesici takımlara aşınma ve kuvvet testleri uygulanmadan önce, aşılama işlemi Cr, Ti, Zr, Mo iyonlarının varlığını ve ne şekilde dağılım gösterdiğini görmek için taramalı elektron mikroskobu ile bakılıp çeşitli veriler elde edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarında Cr, Ti, Zr, Mo metalleri görülebilmiştir. Kesici takımın ana malzemesi olan WC gibi ağır metaller arasında, genellikle çok sığ bir bölgede etkili olan iyon aşılama işlemi sonucu, aşılama işlemi görmüş malzemeleri görmek mümkün olamamıştır.

6- Aşınma testleri boyunca kesici takımların her pasoda yan kenar aşınmasını oluşturan üç bölge içinde fotoğrafları çekilmiştir. Bu fotoğraflarda kesicilerde çentik aşınmasının meydana geldiği görülmüştür. Çentik aşınmasının yüksek kesme hızlarında olduğu bilinmektedir. Testlerde kullanılan kesiciler için önerilen kesme hızları 50 ile 150 m/dak arasında değişmektedir. Ancak bu testlerde kesici takımlar 180 m/dak kesme hızında çalışmışlardır. Bu da yüksek kesme hızında çentik aşınmasına yol açmıştır.

7- Takım ömrü fazla olan numunelerin kesme kuvvetlerinin de işlem görmemiş numuneye göre düşük çıkması beklenir. Ancak bu beklenti kesme kuvvetlerine; ilerleme, kesme hızı, titreşim, malzeme-kesici takım çifti gibi birçok faktörün etki etmesinden dolayı her zaman gerçekleşmez. Deneyleerde de takım ömrü fazla çıkan takımların kesme kuvvetlerinde aynı oranda düşüş tespit edilememiştir. Buna benzer bir sonuç da Jukka Paro, Hannu Hanninen, Veijo Kauppinen'in çalışmasında görülmektedir. %0.57 N içeren X5 CrMnN 18 18 paslanmaz çeliği ve %0.91 N içeren X5 CrMnN 18 18 paslanmaz çeliği aynı kesici uçla işlenmiştir. Sertliği daha fazla olan %0.57 N içeren X5 CrMnN 18 18 paslanmaz çeliğinin işlenmesiyle oluşan takım ömrü 10 dakika iken, %0.91 N içeren X5 CrMnN 18 18 paslanmaz çeliğinin işlenmesiyle oluşan kesici takım ömrü 30 dakikadır. Ancak %0.57 N içeren X5 CrMnN 18 18 paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvveti 180 kg iken, %0.91 N içeren X5 CrMnN 18 18 paslanmaz çeliğinin işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvveti 240 kg olarak bulunmuştur.

Şekil 3.1'de iyon aşılama işleminin metalurjik yapıya etkisi görülmektedir. Şekilde görülen aşılama bölgesinin kesici takımlarda talaş kaldırma esnasında zamanla aşındığı düşünülmektedir. Metal iyon aşılama işlemi görmüş takımlardaki ömür artışının ise, aşılama etkilenen bölgedeki noktasal hatalardan ve çizgi dislokasyonlardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Öneriler

Bu çalışmada kullanılan kesici takımlar üretici firma tarafından tavsiye edilen kesme hızı değerlerinin üstünde talaş kaldırma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda kesme hızının arttıkça aşınmanın arttığı, başka bir deyişle takım ömrünün azaldığı bilinmektedir[19,21]. Bu da bu takımlarla önerilen kesme hızlarının üstünde yapılan işlemlerin iyi sonuç vermeyeceği anlamına gelmektedir.

Kesme hızının artmasıyla değişen diğer bir parametre de yüzey pürüzlülüğüdür. Yapılan testlerde kesme hızı 180 m/dak'dan 300 m/dak'ya çıkarıldığında yüzey pürüzlülüğü değerlerinin belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. Testlerde kullanılan kesici takımlar kaba talaş takımı olarak adlandırılırlar. Dolayısıyla bu tür kesici takımlar ile iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde etmek mümkün değildir. Ancak bu tür kesici takımlarla yapılan kaba talaş işleminden sonra, ince (finish) talaş takımlarıyla yapılacak talaş kaldırma işleminin yüzey pürüzlülük değerleri açısından iyi sonuç vermesi beklenir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü kesici uç burun yarıçapı ile direkt olarak ilişkilidir. Testler de kullanılan kesici uçların burun yarıçapı 0.8 mm'dir. Bunun yanı sıra düşük ilerleme seçimi ile yüzey pürüzlülüğünün iyileşmesi beklenir.

Taramalı elektron mikroskobu ile yapılan analizlerde takıma aşılana iyonlar görülemediği. Kesici takımın ana malzemesi olan WC gibi ağır metaller arasında, genellikle çok sığ bir bölgede etkili olan aşılama işlemi sonucu, aşılana iyonları görmek mümkün olamamıştır. Ancak aşılana iyonların varlığını tespit etmek için RBS tekniği kullanılabilir. Ana uygulama alanı çok tabakalı yapıların konsantrasyon profillerinin çıkartılması olan bu yöntem ile kesici takımların alan konsantrasyon ölçümleri(atom/cm²) yapılarak aşılana iyonların dağılımı ve miktarları tespit edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Akkurt, M., Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, İstanbul, 1999
2. Şahin, Y., Talaş Kaldırma Prensipleri, Cilt 1, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 1999
3. Oraby, S.E., Hayhurst, D.R., Tool Life Determination Based on The Measurement of Wear and Tool Force Ratio Variation, April, 2004
4. Meng, Q., Arsecularatne, J.A., Mathew, P., Calculation of Optimum Cutting Conditions for Turning Operations Using a Machining Theory, The University of South Wales, Sydney 2052, Australia, March, 2000
5. Özdemir, Ö., İpek, M., Zeytin, S., Kesici Takım Malzemeleri, Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Sakarya, 1999
6. Özdemir, U., Erten, M., Talaş Kaldırma Sırasında Kesici Takımda Meydana Gelen Hasar Mekanizmaları ve Takım Hasarını Azaltma Yöntemleri, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi Ocak, 2003, cilt 1, sayı 1, (37-50)
7. Şahin, Y., Talaş Kaldırma Prensipleri, Cilt 2, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 2001
8. Tool Wear and Tool Life, ASM Handbook, Volume 16 Machining
9. Sert, H., Karamış, B., 5. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Cilt2, sayfa 572-583, Denizli
10. Ceyhun, V., Saklakoğlu, İ.E., Akbaş, N., Modern Bir Yüzey Modifikasyon Tekniği 'İyon İmplantasyonu', Metal Dünyası Dergisi, Aralık1998, Sayı 67, Sayfa32
11. Akbaş, N., İyon İmplantasyonu Yöntemiyle Modifiye edilmiş 1.2080 Soğuk İş Takım Çeliğinde İmplantasyon Parametrelerinin Mekanik ve Tribolojik Özellikler Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, 2000
12. Treglio, J., Perry, A., Tian, A., Eye on Ions, Tooling University Article Archive, February 1995, Volume 47, Number 1

13. Öztarhan, A., İyon İmplantasyonu, Ege Üniversitesi, Makine Tek, Sayı 89, Mart 2005
14. Akbaş, N., Saklakoğlu, İ.E., İmplantasyon Prosesinde Kullanılan İyon ışını Ekipmanları, Mühendis ve Makine Dergisi, 2001
15. Vacuum Arc Ion Sources Web Page, <http://www-ibt.lbl.gov/PAG/VacuumArclon.htm>
16. Mitsuo A. , Uchida S. ,Yamamoto S., Aizawa T. , “Improvement of cutting performance for carbide tools via chlorine ion implantation” , Surface & Coatings Technology 188–189 (2004) 630–635
17. Kwon, Y., Fischer, G.W., A novel approach to quantifying tool wear and tool life measurements for optimal tool management, The University of Iowa, November, 2002
18. Paro, J., Hanninen, H., Kauppinen, V., Tool wear and machinability of X5 CrMnN 18 18 stainless steel, Materials Processing Technology, Helsinki University of Technology, Finland
19. Nouari, M., Molinari, A., Experimental verification of a diffusion tool wear model using a 42CrMo4 steel with an uncoated cemented tungsten carbide at various cutting speeds, France, February, 2005
20. Choudhury, S.K., Kishore, K.K., Tool wear measurement in turning using force ratio, Indian Institute of Technology, September, 1999
21. Şeker U. , Kurt A. , Çiftçi İ. , “Design and construction of a dynamometer for measurement of cutting forces during machining with linear motion” , Materials and Design 23 (2002) 355–360
22. Günay M. , Aslan E. , Korkut İ, Şeker U. , “Investigation of the effect of rake angle on main cutting force” , International Journal of Machine Tools & Manufacture 44 (2004) 953–959
23. Manory, R.R., Mollica, S., Ward, L., Purushotham, K.P., Evans, P., Noorman, J., Perry, A.J., The effects of MEVVA ion implantation on the tribological properties of PVD-TiN films deposited on steel substrates, March, 2002
24. (11) Wang J. , “The effect of the multi-layer surface coating of carbide inserts on the cutting forces in turning operations” , Journal of Materials Processing Technology 97 (2000) 114–119
25. Sikdar S.K. , Chen M. , “Relationship between tool flank wear area and component forces in single point turning” , Journal of Materials Processing Technology 128 (2002) 210–215

26. Rahman, M., Mansur, M.A., Lau, S.H., Tool wear study in a lathe made of cementitious, Materials Processing Technology, National University of Singapore, Singapore

27. ISCAR Web Page, <http://www.iscar.com>

28. İstanbul Üniversitesi Web Sayfası, <http://www.istanbul.edu.tr/eng/metalurji/sem.htm>

29. Australian Nuclear Science and Technology Organisation Web Page, <http://www.ansto.gov.au/ansto/environment1/iba/facilities/mevva.htm>