

## İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ.....	i
TABLolar LİSTESİ.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET .....	v
ABSTRACT.....	vi
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 1. TALAŞ KALDIRMA TEKNOLOJİSİ.....	2
1.1 Talaş Kaldırma Mekaniği .....	2
1.2 Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler .....	3
1.2.1 Takım Geometrisi.....	4
1.2.2 Kesme Hızı.....	5
1.2.3 Kesme Kuvveti.....	7
1.2.4 Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarı.....	8
1.2.5 Takım Uç Yarıçapının Etkisi.....	9
1.2.6 Titreşimin Etkisi.....	10
BÖLÜM 2. KESİCİ TAKIMLAR.....	12
2.1 Kesici Takımlarda Aranılan Özellikler.....	12
2.2 Kesici Takım Malzemeleri.....	14
2.2.1 Yüksek Hız Çelikleri (YHÇ).....	15
2.2.2 Karbonlu ve Düşük Alaşımli Çelikler.....	18
2.2.3.1 Sinter Karbürlerin Üretilmesi.....	20
2.2.3.2 Semente Karbürlerin Uygulama Alanları.....	22
2.2.4 Dökme Karbürler.....	22
2.2.5 Sermetler.....	23
2.2.6 Seramikler.....	25
2.2.6.1 Silisyum Nitrür (Si3N4) Esaslı Seramikler.....	25
2.2.6.2 Alüminyum Oksit (Al2O3) Esaslı Seramikler.....	26
2.2.6.3 Kübik Bor Nitrür (CBN).....	27
2.2.6.4 Siyalonlar.....	27
2.3 Kesici Takımlarda Aşınma.....	29
2.3.1 Takım Aşınmasına Etki Eden Faktörler.....	29

2.3.2 Takım Aşınma Mekanizmaları.....	31
2.3.2.1 Abrasyon Aşınma Mekanizması .....	31
2.3.2.2 Difüzyon Aşınma Mekanizması .....	32
2.3.2.3 Oksidasyon Aşınma Mekanizması .....	32
2.3.2.4 Yorulma Aşınma Mekanizması.....	32
2.3.2.5 Adhezyon Aşınma Mekanizması.....	33
2.3.3 Takım Aşınma Çeşitleri.....	33
2.3.3.1 Kesici Takımlarda Yan Kenar Aşınması (Flank Wear).....	34
2.3.3.2 Kesici Takımlarda Krater Aşınması (Crater Wear).....	35
2.3.3.3 Kesici Takımlarda Plastik Deformasyon (Plastic Deformation).....	35
2.3.3.4 Çentik Aşınması (Notch Wear).....	36
2.3.3.5 Termal Çatlaklar ((Thermal Cracking).....	37
2.3.3.6 Mekanik Yorulma Çatlakları (Mechanical Fatigue Cracking).....	38
2.3.3.7 Çıtlama- Çentikleme (Chipping).....	38
2.3.3.8 Kırılma (Fracture).....	38
2.3.3.9 Kesici Kenarda Yığılma (BUE).....	39
<b>BÖLÜM 3. YÜZEY MODİFİKASYON İŞLEMLERİ.....</b>	<b>40</b>
3.1. Plazma Ortamında İyon İmplantasyonu.....	40
3.1.1. Plazma Tekniklerinin Genel Özellikleri.....	40
3.1.1.1 Önemli Noktalar Ve Sınırlamalar.....	41
3.1.2 İkincil Elektron Yayılımı.....	42
3.2. Plazma Teknikleri İle Birlikte Kullanılan Bazı Yüzey İşlemleri.....	44
3.2.1 Nitrojen İyonlarının, Plazma Yöntemiyle Aşılması.....	44
3.2.2. PI3 ve Plazma Nitrürlemenin Mukayese Edilmesi.....	44
3.3 PI3 Uygulamaları.....	45
3.3.1. Aşınma Dirençli Metaller.....	45
3.3.2. Yalıtkan Malzemelerin Aşılması.....	46
3.4. PI3'e Etki Eden Faktörler.....	47
3.4.1. Numune Yüzeyindeki Azot Konsantrasyonu.....	47
3.4.2. Sıcaklık.....	47
3.4.3. Zaman.....	48
3.4.4. Alaşım Elementi.....	48
3.4.5. Şok Gerilimi.....	48
<b>BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>49</b>
4.1 Deneysel Çalışmaların Tanıtımı.....	49

4.2 Literatür Taraması.....	49
4.3 Materyal ve Metod.....	54
4.3.1 Deneyleerde Kullanılan Malzemeler.....	54
4.3.2 Kullanılan Kesici Takımlar.....	54
4.3.3 Kuvvet Ölçüm Sistemi.....	56
4.3.4 Takım Aşınması Ölçümleri.....	59
4.4 Deneysel Sonuçlar.....	61
BÖLÜM 5. SONUÇLARIN İRDELENMESİ, YORUMLAR ve ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	75



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Takım modeli ve ortogonal kesme [1].....	3
Şekil 1.2 Standart kesme açılarının gösterilmesi[3].....	6
Şekil 1.3 Talaş kaldırma kuvvetleri[1].....	8
Şekil 1.4 Tornalama işleminde kesme kuvvetleri[4].....	9
Şekil 1.5 Takım uç yarıçapı[1].....	10
Şekil 2.1 Tam tavlanmış YHÇ[3].....	17
Şekil 2.2 TM metodu ile üretilen YHÇ[3].....	17
Şekil 2.3 Martenzitik Yapı[3] .....	19
Şekil 2.4 Temperlenmiş Martenzitik Yapı[3].....	19
Şekil 2.5 %94WC-%6Co alaşımli kaba taneli yapı ve %85WC-%15Co alaşımli kaba taneli yapı[3].....	20
Şekil 2.6 Sinterlenmiş karbürli kesici uçların üretim aşamaları[3].....	21
Şekil 2.7 Sermet takımların seramik ve karbürli takımlarla karşılaştırılması[3].....	25
Şekil 2.8 AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiC seramik kesici[3] .....	27
Şekil 2.9 SiC Whisker takviyeli seramik[3].....	27
Şekil 2.10 Siyalonların mikro yapısı[3].....	28
Şekil 2.11 Talaş kaldırma parametrelerinin takım sıcaklığı ve aşınma üzerine etkisi[8].....	30
Şekil 2.12 Kesici takımda yan kenar aşınması[9].....	34
Şekil 2.13 Yan kenar ve çentik aşınmasının şematik gösterimi[4].....	34
Şekil 2.14 Kesici takımda krater aşınması[9].....	35
Şekil 2.15 Kesme kuvvetlerinin etkisiyle plastik deformasyon uğramış takım[9].....	36
Şekil 2.16 Plastik deformasyon [9].....	36
Şekil 2.17 Çentik aşınması [9].....	37
Şekil 2.18 Kenara dik konumda meydana gelen çatlaklar[9].....	37
Şekil 2.19 Çıtlamaların verdiği deformasyon hasarları[9].....	38
Şekil 2.20 Takım ömrünün son haddi kırılma[9].....	39
Şekil 2.21 Adhezyon mekanizmasıyla oluşan Built Up Edge[9] .....	39

Şekil 3.1. İkincil elektronların muhafaza edilmesi[10].....	43
Şekil 3.2. Kaplamalı yüzeyle kaplamasız yüzeyin sertlik değişimi.[13].....	46
Şekil 3.3 Yalıtkan malzemelerin aşılmasında kullanılan metal ızgara yapılandırılması [11] .....	47
Şekil 4.1 SCMT 09T308-19 kesici takımın ölçüleri.....	54
Şekil 4.2 Deneylerde kullanılan kuvvet ölçüm aparatı.....	56
Şekil 4.3 Deneylerde kullanılan yük hücresi Tedeia Huntleigh 355 C3 BB-200kg.....	57
Şekil 4.4 İzoleli uzama ölçer modülü Advantech ADAM 3016.....	58
Şekil 4.5 Advantech GeniDaq ekran görüntüsü.....	58
Şekil 4.6 Kuvvet ölçüm sisteminin şematik görünüşü.....	59
Şekil 4.7 Elde edilen kalibrasyon grafiği.....	59
Şekil 4.8 Aşınma testlerinde parça ve aparatın konumu.....	61
Şekil 4.9 Kullanılan takımların Aşınma Zaman Grafikleri.....	63
Şekil 4.11 Deneylerde kullanılan takımların dakika cinsinden ömürleri.....	64
Şekil 4.12 Takımların kaldırdığı toplam talaş hacimleri.....	64
Şekil 4.13 Yüzey Pürüzlülüğünün zamana göre değişim grafiği.....	65
Şekil 4.14 Kesme hızının kesme kuvvetine etkisi.....	66
Şekil 4.15 Kesme hızının ilerleme kuvvetine etkisi.....	66
Şekil 4.16 180 m/dak kesme hızı için elde edilen kuvvetler.....	67
Şekil 4.17 240 m/dak kesme hızı için elde edilen kuvvetler.....	67
Şekil 4.18 300 m/dak kesme hızı için elde edilen kesme kuvvetleri.....	68
Şekil 4.19 Değişik kesme hızlarındaki yüzey pürüzlülüğü değişimi.....	68
Şekil 4.20 180 m/dak kesme hızında 45mm tornalama boyunda elde edilen kesme kuvvetlerinin zamanla değişim miktarları.....	69
Şekil 4.21 240 m/dak kesme hızında 45mm tornalama boyunda elde edilen kesme kuvvetlerinin zamanla değişim miktarları.....	69
Şekil 4.22 300 m/dak kesme hızında 45mm tornalama boyunda elde edilen kesme kuvvetlerinin zamanla değişim miktarları.....	70
Şekil 5.1 Aşınma test sonuçlarının gruplanmış hali.....	73

**TABLULAR LİSTESİ**

Tablo 2.1 Bazı Kesici Takım Malzemelerinin Mekanik Özellikleri[6].....	14
Tablo 4.1 AISI 4140 malzemesinin kimyasal bileşimi (% ağırlık olarak).....	54
Tablo 4.2 Numunelere uygulanan aşılama şartları.....	55
Tablo 4.3 Kullanılan tezgahın özellikleri.....	55
Tablo 4.4 Advantech ADAM 3016 teknik özellikleri.....	57
Tablo 4.5 Deney sonucunda elde edilen kuvvet ve yüzey pürüzlülük değerleri.....	62
Tablo 4.6 Takım aşınması arttıkça yüzey profilinde meydana gelen değişiklik.....	71
Tablo 4.7 Paso sayısı ile birlikte yatak aşınmasının ilerlemesi.....	72
Tablo 5.1 Kesici takımlarda elde edilen yüzdelik ömür artışları.....	73

## TEŞEKKÜR

Bütün çalıŐmalarım boyunca bilgi, tecrübe , yardım ve desteğini esirgemeyen tez danıŐmanım Yrd. Doç. Dr. NurŐen SAKLAKOğLU'na katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Deneysel çalıŐmalarım sırasında bilgi ve tecrübesinden faydalandığım, her zaman fikirlerine baŐvurduęum Yrd. Doç. Dr. İbrahim E. SAKLAKOğLU'na teşekkür ederim.

Deney aparatının, iş parçalarının ve kuvvet ölçüm sisteminin hazırlanmasında atölye imkanlarını sunarak yardımcı olan Venüs Kalıp LTD. ŐTİ'ye, Taybor LTD. ŐTİ.'ye, ermak LTD. ŐTİ.'ye, Ekosoft LTD. ŐTİ'ye, teŐekkürü bir borç bilirim.

Bütün alıŐmalar boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.



## ÖZET

Günümüzde talaşlı imalat teknolojisinin ulaştığı noktada, takım aşınması en önemli problemlerden biridir. Kesici takımlarda oluşan aşınma, zaman ve iş gücü kaybına sebep olur, bununla birlikte iş parçasının ölçü ve yüzey hassasiyeti de aşınmadan büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu yüzden takım aşınmasını gerçekleşmeden önce tahmin etmek ve takım ömrünü uzatmak için pek çok çalışma yapılmıştır.

Yapılan bu çalışmada, yüzeyleri Plazma Ortamında İyon İmplantasyonu (PI<sup>3</sup>) yöntemiyle iyileştirilmiş kesici takımlarda aşınma süreci ve kesme kuvvetleri incelenmiştir. Bu amaçla kesici takımlara Avustralya Nükleer Bilim ve Teknoloji kurumunda PI<sup>3</sup> yöntemiyle N<sub>2</sub> ve C aşılanmıştır. Aşınma testleri ISO 3685 standardına göre 0,3 mm/dev ilerleme, 2mm talaş derinliği, 180-240-300 m/dak kesme hızlarında gerçekleştirilmiştir. İş parçası olarak Ø120 x 300 ebatlarında AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. Kuvvet ölçümlerinde ise Esas kesme kuvvetini (Fc) ve ilerleme kuvvetini (Fa) ölçecek şekilde "strain-gauge" esaslı bir dinamometre tasarlanıp imal edilmiştir.

Yapılan çalışmaların sonucunda PI<sup>3</sup> yöntemiyle yüzeyi iyileştirilmiş takımların ömürlerinin arttığı ve kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

**ABSTRACT**

In the present, at the point that machining technology has reached, tool wear is one of the main problems. The wear which occurs in cutting tools causes loss of labor and time, however dimension and surface sensitivity of work piece is affected significantly cause of wear. So lots of investigations was made to estimate tool wear before occur and to lengthen tool life.

In this study, wear process and cutting forces of cutting tools whose surfaces had been modified by using Plasma Immersion Ion Implantation (PI<sup>3</sup>) were investigated. In this purpose, N<sub>2</sub> and C ions had been implanted to cutting tools by PI<sup>3</sup> at Australian Nuclear Science and Technology Organization. The cutting tests were performed in accordance to ISO 3685 and in the conditions of 0,3 mm/rev feedrate, 2mm cutting depth, 180-240-300 m/min cutting speed. As work piece, AISI 4140 steel was used in dimensions of Ø120 x 300mm. In the force measurements, a strain-gauge based dynamometer was designed and produced to measure main cutting force (F<sub>c</sub>) and feed force (F<sub>a</sub>).

In the result of investigations, it was observed that tool life of cutting tools whose surfaces had been modified by PI<sup>3</sup> increased and cutting forces decreased when cutting speed increased.

## GİRİŞ

Makine parçalarının şekillendirilmesinde pek çok yöntem kullanılmakla birlikte, ölçü ve yüzey hassasiyeti bakımından talaşlı imalatın tartışılmaz bir yeri vardır. Talaşlı imalat tekniklerinde esas olan 3 bileşen takım tezgâhı, kesici takım ve iş parçası'dır. Talaşlı imalat tekniklerini daha iyi anlamak için bu bileşenler arasındaki ilişkiyi, özellikle kesici takım ve iş parçasının davranışlarını iyi analiz etmek gerekmektedir.

Talaş kaldırma esnasında kesici takım mekanik, kimyasal ve ısıl olarak pek çok yüke maruz kalmaktadır. İş parçası üzerinden kaldırılmak istenilen malzemenin talaş haline gelmesi için kesici takımın etkisiyle belli bir düzlem üzerinde plastik deformasyona uğraması gerekmektedir. Bu da talaş kesiti ve iş parçası malzemesinin mekanik özelliklerine bağlı olarak kesici takım üzerine kesme kuvvetlerinin etki etmesine sebep olur. Hem plastik deformasyondan dolayı hemde talaşın, takım-talaş yüzeyine sürtünerek uzaklaşmasından dolayı kesme bölgesinde lokal sıcaklık artışları meydana gelir. Ortaya çıkan ısıl yükler başlı başına bir aşınma mekanizması olmakla birlikte başka mekanizmaların gelişmesine de yardımcı olmaktadır. İş parçası malzemesi ile kesici takım malzemesi arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucunda da aşınma mekanizmaları ortaya çıkmaktadır.

Talaşlı imalat işlemi de diğer bütün yöntemler gibi beraberinde belli bir maliyet getirmektedir. Kesici takım, iş gücü, zaman, malzeme v.s gibi faktörler talaşlı imalat teknolojisinin maliyetini oluşturur. Gelişen teknoloji ile birlikte maliyeti düşürmek için yapılan çalışmalar da hız kazanmış ve talaş kaldırma işlemine etki eden parametreler üzerinde yoğunlaşmıştır. İşlem zamanının kısaltılması için geliştirilen yüksek hızlı tezgâhlar beraberinde, kendi hızlarına ayak uydurabilecek kesici takım ihtiyacını da getirmiştir. HSS, Sinter Karbür, Seramik, Sermet, PCD ve CBN gibi kesici takım malzemeleri geliştirilmiş ancak artan ihtiyaçları karşılamak üzere takım kaplamaları kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde belli avantaj ve sınırlamaları olmakla birlikte CVD (Chemical Vapor Deposition) ve PVD (Physical Vapor Deposition) gibi yöntemlerle kesici takım üzerine TiC, TiN, TiAlN v.s gibi çok sert kaplamalar yapılmaktadır.

## BÖLÜM 1. TALAŞ KALDIRMA TEKNOLOJİSİ

### 1.1 Talaş Kaldırma Mekanizması

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.[1]

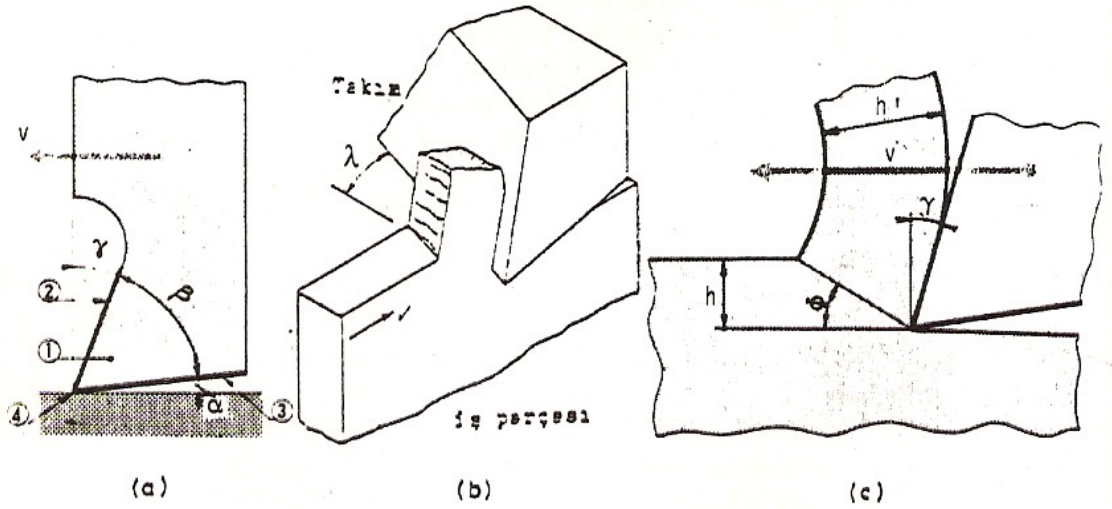
Bir parçanın üzerinden belirli bir malzeme tabakası kaldırılması için takımın o malzemeye nüfuz etmesi gerekir. Bu da, ancak takıma uygulanan kuvvetlerin yeterli ve takım malzemesinin parça malzemesinden daha sert olması halinde gerçekleşir. Ayrıca takım ucunun kama şeklinde yapılması, olayı kolaylaştıran 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 akmalara 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.[2]

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 değiştirmeler meydana gelmez. Bu malzemelere gevrek malzeme denilmektedir.

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

ayrılmakta ve talaş akışında bir kopma meydana gelmektedir. Bununla beraber konuyu teorik açıdan basitleştirmek için talaşın ayrılmasının bir bölge içinde değil Şekil 1.1 c. gösterildiği gibi kesme düzlemi denilen bir düzlemde meydana geldiği varsayılır. Burada takımın kesme ağzının önünde aşırı plastik şekil-değiştirme bölgesi oluşmakta ve malzeme talaş şeklinde hem iş parçasından ayrılmakta hem de talaş akışından kopmakta yani kesintili bir talaş tipi oluşmaktadır.



Şekil 1.1 Takım modeli ve ortogonal kesme [1]

Bu esas oluşum mekanizmalarına göre pratikte sürekli, yapışık ve kesintili olmak üzere üç talaş tipi vardır. Bant veya sarılmış şeklinde olabilen sürekli talaş tipi yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme ile işlenen sünek malzemelerde yapışık talaş tipi orta kesme hızı ve yüksek ilerleme ile işlenen sünek malzemelerde ve kesintili talaş tipi de gevrek malzemelerde meydana gelir. Sünek malzemelerde sürekli talaş tipinin oluşması kesme koşullarının iyi, işlenen yüzeyin kalitesinin de çok iyi olduğunu gösterir. Ancak bilhassa bant şeklinde sürekli talaş, tezgahın çeşitli tertibatlarına ve işe sarılarak işlenen yüzeyi bozabilir, gerek tezgah, gerekse işçi için bir tehlike unsuru oluşturabilir. Bu nedenle bu gibi hallerde talaşın kırılması için çeşitli yöntemler uygulanabilir. Yapışık talaş tipi yüzey bakımından çok kötü olmakla beraber takımın ağzına yapışarak, ağız birikintisi ve takım ağzının kısa zamanda bozulmasına yol açar. Kesintili talaş tipi sert malzemelerde çok iyi bir yüzey meydana getirir.[1]

## 1.2 Talaş Kaldırmayı Etkileyen Faktörler

Yüksek verimle üretim yapabilmek için üretim esnasında optimum işleme şartlarının sağlanması gerekir. Talaş kaldırma işleminde üç değişken olan; kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş 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 işlemini en iyi şekilde temsil etmesinden dolayı, tek-noktalı kesme işlemi ele alınmaktadır. Aynı şekilde diğer takım tezgâhlarında da benzer olaylar daha basit olarak ortaya çıkmaktadır.

### 1.2.1 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( $\gamma$ ), kesici kısmın kama açısı( $\beta$ ) ve serbest yüzey ile parçanın işlenmiş yüzeyi arasında serbest açı( $\alpha$ ) vardır. Ayrıca eğik kesmede takım ağzının kesme hızı doğrultusu ile yaptığı ve eğim açısı( $\lambda$ ) denilen bir açı daha vardır. Bu açı dik kesmede  $0^\circ$  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 bunun 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 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 takımla kesme yapıldığında, talaş açısının değeri negatif olabilmektedir. Bu dik kesme işleminde boşluk açısı, kama açısı ve talaş açıları toplamı her zaman  $90^\circ$  olmalıdır.

### 1.2.2 Kesme Hızı

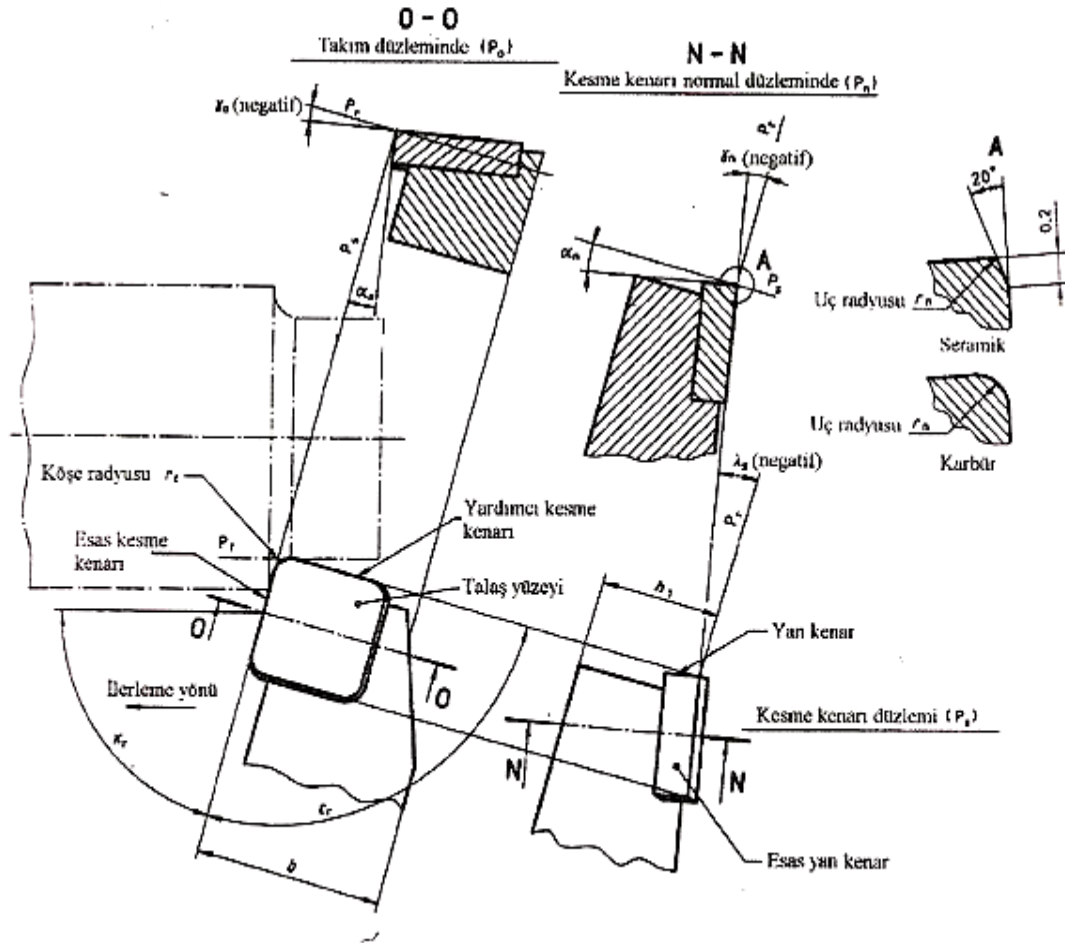
Kesme hızı, talaş kaldırma esnasında, kesici takımın dönen iş parçası üzerinden dakikadaki metre cinsinden aldığı yol olup, tornalama ile talaş kaldırma işleminde  $V = \pi.D.n/1000$  (m/dak) olarak ifade edilir. Burada; V: Kesme hızı (m/dak), D: İşlenecek iş parçası çapı (mm), n: İş parçasını işlemek 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 dolayı kesme hızı merkezde 0 (sıfır) olurken dış çap işlerken ise 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 kontrollü alet kullanılması gibi gerekli 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 oldukça düşük seçilirse az parça üretilir ve çok düşük kesme hızlarında takım ucunda, talaş sıvanması meydana gelebilir. Bu durum takım değişikliğini gerekli kılabılır. Ancak, kesme hızı çok 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.[3]

ISO' ya göre standart kesici takım kesme açıları Şekil 1.2 de gösterilmektedir. Burada; serbest açı ( $\alpha$ ), kama açısı ( $\beta$ ), talaş açısı ( $\gamma$ ), eğim açısı ( $\lambda$ ), uç açısı ( $\epsilon$ ), ve yerleştirme açısı veya kesme kenar açısı ( $\chi$ ) göstermektedir. Bu kesici kalem açıları, kesicinin istenilen şekilde olmasını ve bilenmesini sağlayan açılardır.  $\alpha$  ve  $\gamma$  açıları kesici takım parçasının tam ekseninde bulunduğu durumda geçerlidir. Kesici takım iş parçası eksenin altında veya üstünde bulunursa kayma açısı değişir. Bu açıya bağlı olarak da  $\alpha$  ve  $\gamma$  açısının değerleri değişir. Kesici takım eksenin altında olduğunda  $\gamma$  artarken  $\alpha$  azalır. Kesici takım eksenin üzerinde olduğu zaman ise  $\alpha$  artar ve  $\gamma$  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.

Kesici takım Cinsi	Talaş açısı, ° ( $\gamma$ )	Boşluk açısı, ° ( $\alpha$ )	Kesici kenar meyil açısı, ° ( $\lambda_s$ )	Kesme açısı, ° ( $\kappa_\beta$ )	Toplam kenar açısı, ° ( $\epsilon_\beta$ )
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[3]



### 1.2.3 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 düzleminde makaslama kuvveti ( $F_a$ ) 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  $\rho$  açısı sürtünme açısıdır.

Sürtünme katsayısı  $\mu$  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  $\tau_k$  malzemenin kesme mukavemeti olmak üzere

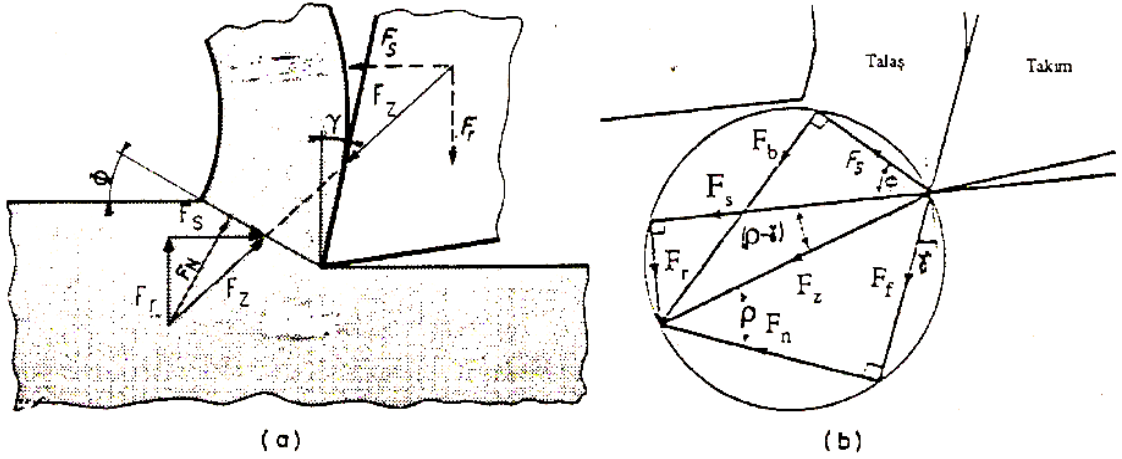
$$F_c = A_k \tau_k ; \quad A_k = h b / \sin \phi$$

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

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

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

olarak bulunur.



Şekil 1.3 Talaş kaldırma kuvvetleri[1]

Bu denklemlerde görüldüğü gibi, talaş kaldırma için harcanan güç için önemli olan  $F_s$  kesme kuvveti; malzemenin kesme kopma mukavemetine ( $\tau_k$ ), talaşın boyutlarına ( $b, h$ ) talaş açısı ( $\gamma$ ), kesme açısı ( $\phi$ ) 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]

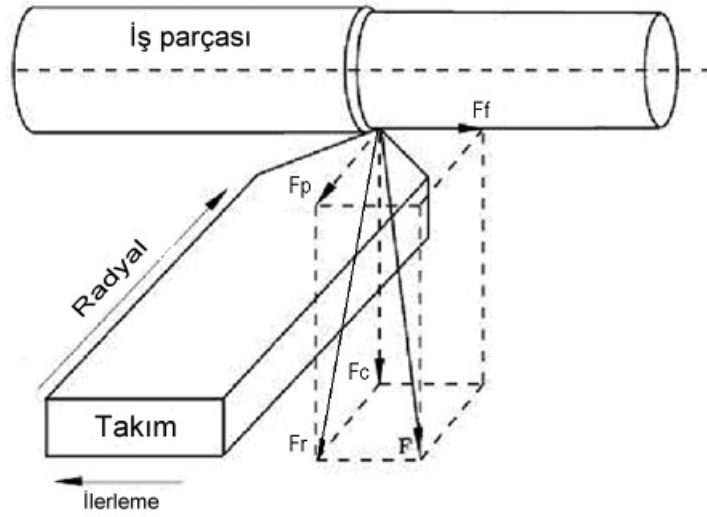
#### 1.2.4 Talaş Derinliği ve İlerleme Miktarı

Talaş kaldırma miktarı, bitirilmemiş iş parçasından kaldırılan malzeme miktarı olup dakikada  $\text{mm}^3/\text{dak}$  veya  $\text{cm}^3/\text{dak}$  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. [3]

En uygun ilerleme miktarı ve talaş derinliği düşünöldüğü 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.[3]



Şekil 1.4 Tornalama işleminde kesme kuvvetleri[4]

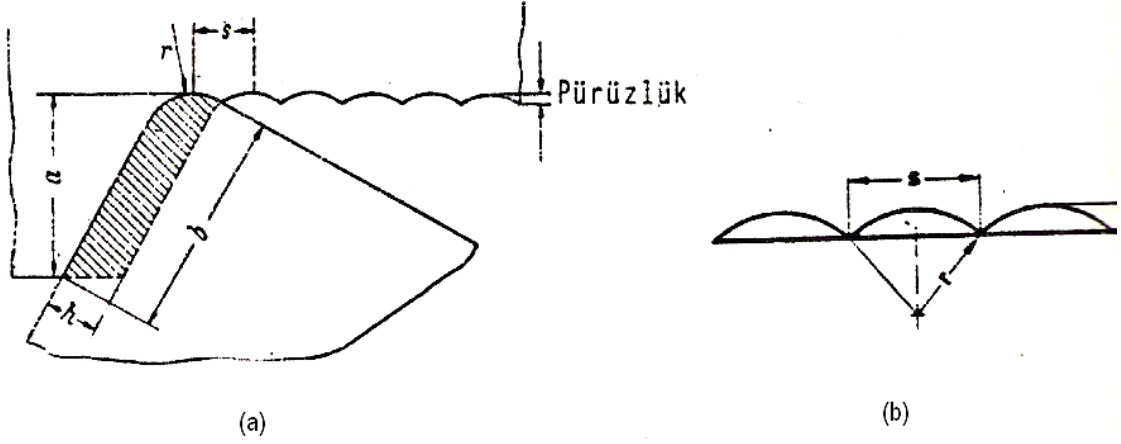
### 1.2.5 Takım Uç Yarıçapının Etkisi

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.

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



Şekil 1.5 Takım uç yarıçapı[1]

Teorik bir bağıntı olan bu ifade ilerleme ( $s$ ), takım ucunun yarıçapı ( $r$ ) ile yüzey pürüzlülüğü ( $R_t$ ) 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  $R_t = s^2 / 8r$  bağıntısından elde edilen değerlerden daha küçüktür ve pürüzler birbirine eşit değildir. Bunun nedeni, takım ve parça arasında oluşan titreşimlerdir. Buna rağmen  $R_t = s^2 / 8r$  bağıntısı,  $r$  ve  $R_t$ 'ye göre  $s$ 'nin bilimsel olarak 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 kaldıracığına 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]

### 1.2.6 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 ileri gelirken 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. Her hangi 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. Bunlar kısaca şöyle özetlenebilir:

- 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, İlerleme 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 ulaşmış olan aşınmış bir takımla talaş kaldırma işlemi devam ettirilmemeli,
- İşletme hızları takım tezgahı kontrol sisteminin doğal frekansına yaklaşılmamasına müsaade edilmemelidir.[3]

## **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 uygulamalardaki performansları; takım ömrüne, talaş kaldırma miktarına, yüzey hassasiyetine ve takım maliyetine bağlı olarak değişmektedir.[3]

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.[5]

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.

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 karşılayabilmesi için, kırılmaya karşı dayanımın yanı sıra (tokluk), istenilen yüzey sertliğinin elde edilmesi gerekir. Hem iyi bir tokluğa sahip, hem de aşınmaya dayanıklı bir takım malzemesi yoktur. Ancak, yüzey sertleştirme metotlarındaki gelişmeler, matriks malzemeye sahip olmadığı özellikleri daha ekonomik olarak sağlamakta 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 oluşturmasına 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 ısı darbe direncine sahip olması gereklidir. Frezeleme işlemi veya eksantrik tornalama işlemi tipik örneklerdir. Bu ısı 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 takımda bulunması gereken özellikler şöyle özetlenebilir:

- Yüksek basma ve eğilme mukavemeti olmalı,
- Yüksek sertlik ve abrasyon direnci olmalı,
- Yüksek sıcaklıkta aşınmaya karşı dayanıklılık ve iyi kimyasal kararlılığa sahip olmalı,
- Isı birikiminin önlenmesi için yüksek ısı iletim yeteneğine sahip olmalı,
- Ucuz olması yanında darbe etkisine karşı yeterli derecede tok olmalıdır.

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 şekilde en uygun takım malzemesinin seçimidir.[3]

## 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, kullanılabilecek 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 malzemeler. 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. [3]

Tablo 2.1 Bazı Kesici Takım Malzemelerinin Mekanik Özellikleri[6]

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 <sup>3</sup> )	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 iletkenlik (W/m <sup>2</sup> °C)	-	-	42–125	17	17–29	13	70
Isıl Genleşme Katsayısı (x10 <sup>-6</sup> /°C)	12	-	4–6,5	7.5–9	3.2–8,5	4.8	1.2



### 2.2.1 Yüksek Hız Çelikleri (YHÇ)

20. yüzyılın başından beri bilinen ve sürekli geliştirilen bu 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 ısıl işlem esnasında daha az distorse olurlar.

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 (M2C 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 ısıl işlemleri daha zor ve maliyetleri de daha yüksektir.[6]

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.

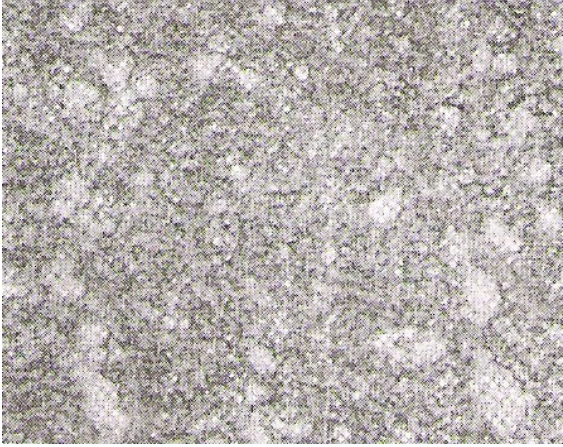
Vanadyum; çok sert ve kararlı karbür oluşturur, bunlar ikinci sertleştirmeyi kuvvetlendirir ve mümkün olabilecek tane büyümesini kontrol eder. Mikroskobik ölçekte  $V_4C_3$  küçük hacimli sert parçacıkla alaşımın en sert bileşenidir. Bunlar; aşınma direncini, sıcak sertliği oldukça fazla miktarda artırır. V'nin artışı, karbonla uyumlu olduğu zaman, tokluk üzerine az etkisi vardır. Bu nedenle, çok hızlı kesme işlemlerinde veya kaba tornalama 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 retlik 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. %1'e kadar Silisyumun etkisi azdır. Si içeriği %0.15'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 metalürji tekniği (sinterleme) 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 (Şekil2.1) ve toz metalürji yöntemi ile üretilen YHÇ'nin yapısı (Şekil2.2) aşağıda gösterilmiştir.[3]



Şekil 2.1 Tam tavllanmış YHÇ[3]



Şekil 2.2 TM metodu ile üretilen YHÇ[3]

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 işlemlerde 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.

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.

### 2.2.2 Karbonlu ve Düşük Alaşımlı Çelikler

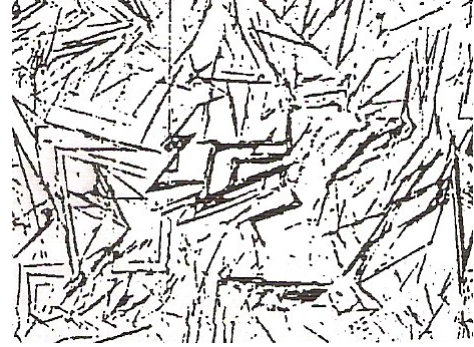
Karbon çelikleri, kesici takım malzemesi olarak kullanılan en eski tip çeliklerdir. Karbon içerikleri %0.6-1.4 arasında değişmektedir. Düşük alaşımlı çeliklerde, kesme özelliklerini iyileştirmek amacıyla az miktarda krom (Cr), vanadyum (V), tungsten (W), molibden (Mo), mangan (Mn) gibi alaşım elementleri 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 ( $10m^2/dk$ ) kullanılırlar. Karbon çeliklerinin en önemli avantajı, kolay işlenmesi ve ucuz olmasıdır. Ayrıca çalışma sıcaklıklarında (max. 200-250°C) sertliklerini ve keskinliklerini korurlar.[6]

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 alaşımlı 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 2.3'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Martenzitik Yapı[3]



Şekil 2.4 Temperlenmiş Martenzitik Yapı[3]

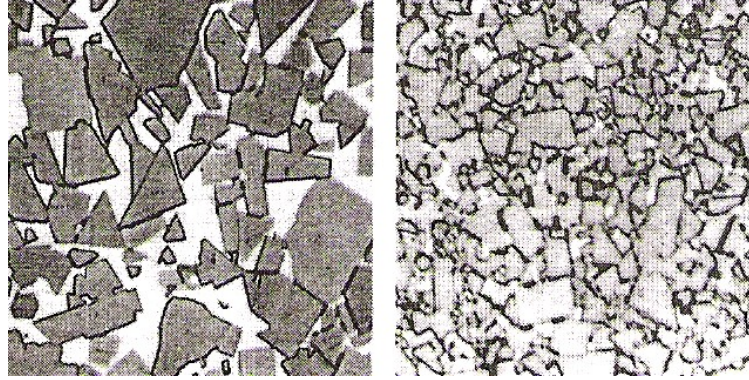
Alaşımli takım çeliklerinde, karbonlu çeliklerin kesme özelliklerini iyileştirmek amacıyla alaşım elementleri ilave edilerek mukavemet özellikleri ve kritik soğuma hızları değiştirilebilir. Alaşım elementleri olarak az miktarda tungsten(W), krom(Cr), vanadyum(V), kobalt(Co), nikel(Ni), molibden(Mo) ve 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.[3]

### 2.2.3 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. Sement karbürler toz metalürjisi teknikleri ile üretilmektedir. Proses esasen tungsten, titanyum veya tantalum 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 kobaltda yalnızca %1 oranında çözünürken, nikelde %25 ve demirde %5 oranında çözünmektedir. Nikel ve demirde, tungsten karbürün yüksek katı çözünürlüğü, gevrekliği artırıcı 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), tantalum 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 tantalum karbür de ihtiva eden kaliteler ise ferritik çeliklerin işlenmesinde kullanılırlar. [6]



Şekil 2.5 %94WC-%6Co alaşımlı kaba taneli yapı ve %85WC-%15Co alaşımlı kaba taneli yapı[3]

### 2.2.3.1 Sinter Karbürlerin Üretilmesi

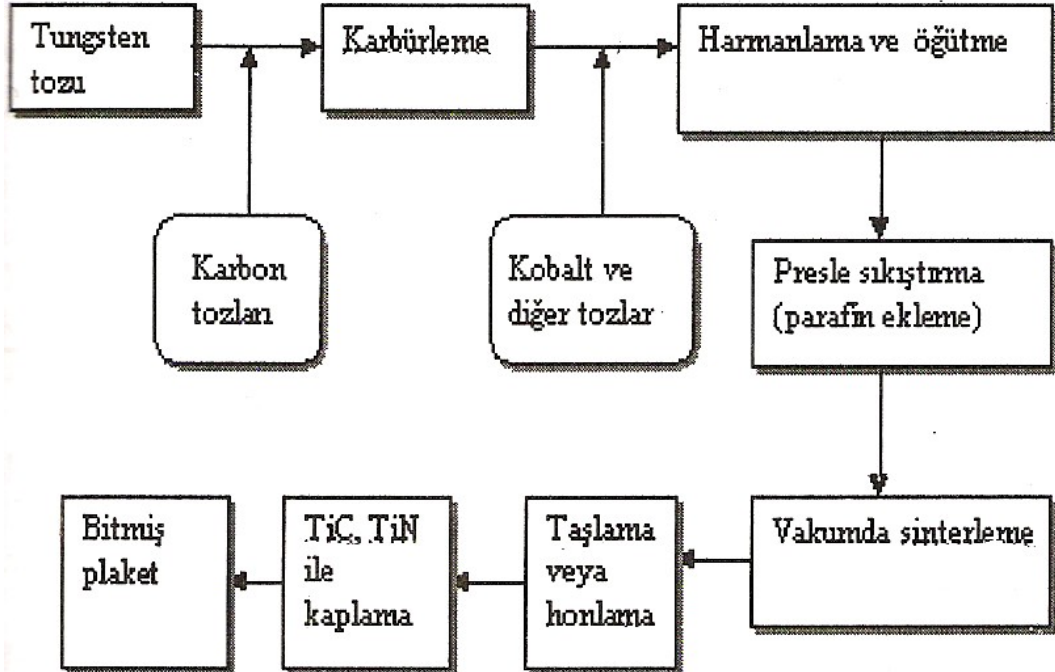
Bu kesiciler, toz metalürji metodu ile tungsten ve karbon tozları ile, genellikle kobaltın, ergime noktası altında sinterlenmesiyle üretilir. Değişik tip kesici takım yapmak için metal olarak, titanyum, tantalum ve niobyum kullanılır. Bu tür kesicilerin üretimi; karıştırma, sıkıştırma, ön-sinterleme ve sinterleme aşamalarından oluşur.

Karıştırma: Karbür yapımında tungsten karbür (WC), titanyum karbür (TiC), tantalum karbür (TaC) ve niobyum 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 işlemden önce; 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 büzölmeler 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.



Şekil 2.6 Sinterlenmiş karbürü kesici uçların üretim aşamaları[3]

### 2.2.3.2 Semente 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 alaşımlı takımlara 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.[3]

### 2.2.4 Dökme Karbürler

Karbür miktarı yüksek oranlara ulaştığı zaman, takım malzemesi daha fazla sıcak dövülemez; bu nedenle, dökümlerle 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 çakılarında kullanılmaktadır.

### 2.2.5 Sermetler

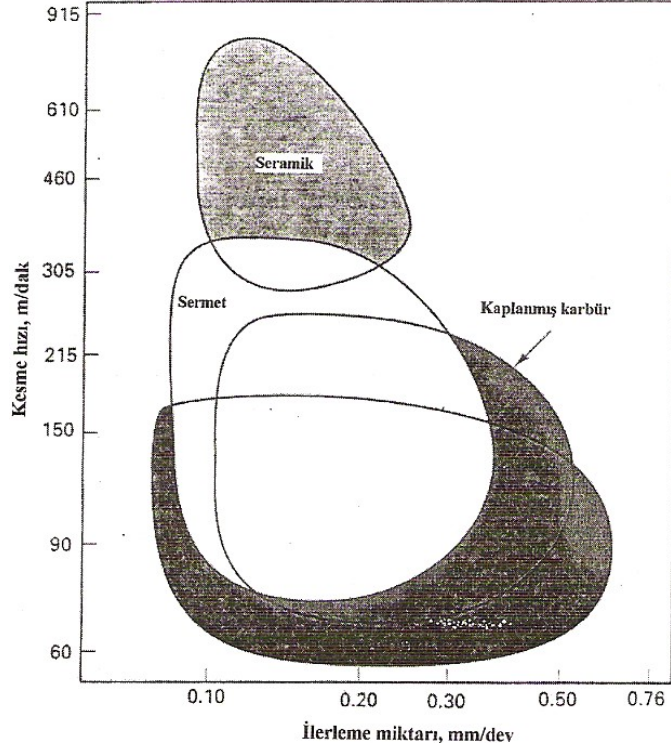
Sermetler, metalik bir fazla bağlanmış seramikler olup esasen semente karbürler sermetlerin bir alt sınıfıdır. Çelik kesimi için, nikel ve molibdenle bağlanmış TiC tercih edilmektedir. Tipik bileşimi %8-25 Ni, %15-8 Mo<sub>2</sub>C ve %60-80 TiC şeklindedir. Ayrıca küçük miktarlarda WC, Co, TiN içerebilir. Sermetlerin mikro yapısı geleneksel semente karbürlerden farklıdır. Çünkü sinterleme sıcaklığında karbürün, bağlayıcı nikel içindeki çözünürlüğü kobaltınkinden daha fazladır. Bu nedenle sermetler, semente 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.[6]

Tablo 2.2 Sinterlenmiş karbür Sermet kesici takımların fiziksel özellikleri [3]

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)		

Sermetlerin; seramikler, kaplamalı ve düz karbürlerle ilerleme miktarı ve kesme hızı bakımından karşılaştırılması Şekil 2.7 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.

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 pürüzlü 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.[3]



Şekil 2.7 Sermet takımların seramik ve karbürlü takımlarla karşılaştırılması[3]

## 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.

### 2.2.6.1 Silisyum Nitrür ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) Esaslı Seramikler

Silisyum nitrür esaslı seramik kesici uçlar, sadece sıcak presleme ve kimyasal bağ oluşturma teknikleriyle üretilmektedir. Yitrium Oksit ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) ile silisyum nitrür ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) ve alümina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) tozları karıştırılarak önce düşük basınç altında preslenir. Daha sonra yaklaşık 10-30 MPa basınçla grafit kalıp içinde  $1800^\circ\text{C}$  sıcaklıkta bir vakum altında 45 dakika tutularak sinterlenir. Elde edilen kare şeklindeki plakalar 10-8 $\mu\text{m}$  olan elmas disklerle istenen ölçülere getirilir. Son olarak da 16  $\mu\text{m}$  tane boyutundaki elmas disklerle de parlatılır. Karışımın ağırlıkça %88  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,

%6 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %6'nı ise Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> esaslı takımların yüksek termal şok direncinden dolayı, özellikle, yüksek kesme hızları, talaş derinliği veya ilerleme miktarlarında fasıllı kesme için bunları uygun yaparken kaba talaş kaldırma işlemlerinde en iyi işlenebilirlik elde edilmektedir. Nitrür esaslı kesici takımların takım ömrü, sadece işletme şartlarına bağlı değil işlenecek malzemeye de bağlıdır. Makine çeliğinin işlenmesinde, talaş-takım ara yüzeyinde kimyasal reaksiyonun meydana gelmesinden dolayı kullanılması önerilmez.[3]

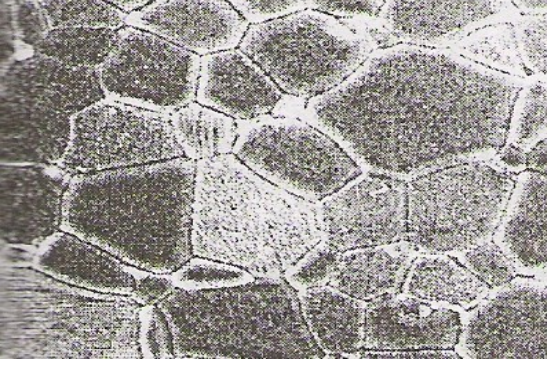
### 2.2.6.2 Alüminyum Oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Esaslı Seramikler

Seramik takımlar, tane boyutu ortalaması birkaç mikron mertebesinde polikristalin, yoğun ve korundum kristal yapılı alümina (α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 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 alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 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<sub>2</sub> ilavesi ile kırılma tokluğunu önemli ölçüde (~%25) iyileştirmekte, dökme demir ve nikel esaslı alaşımların işleme kapasitesini artırmaktadır. Titanyum karbür (TiC) ilavesi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün ısıl iletkenliğini, dolayısıyla ısıl şok direncini artırmakta fakat ancak sıcak presleme ile üretilebildiği için şekil sınırlandırmasını da beraberinde getirmektedir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takımların SiC wiskerlerle takviye edilmesi kırılma tokluğu, mukavemet ve ısıl 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.[6]



Şekil 2.8 AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiC seramik kesici[3]



Şekil 2.9 SiC Whisker takviyeli seramik[3]

### 2.2.6.3 Kübik Bor Nitrür (CBN)

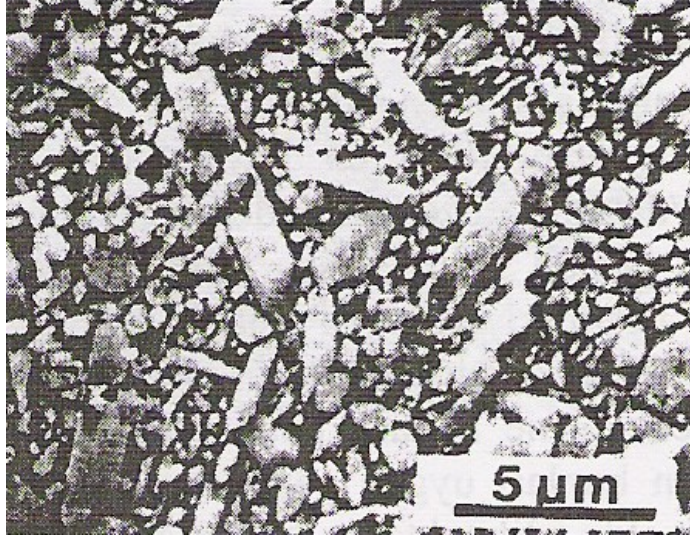
Sentetik elmas yapımı için kullanılanlara benzer yüksek sıcaklık (1500°C), yüksek basınç (8GPa) teknikleri ile hekzagonal-kübik kafes dönüşümü ile elde edilen kübik bor nitrür (CBN), elmastan sonra ikinci en yüksek sertlik değerine sahiptir. Küçük miktarlardaki seramik veya metal bağlayıcı ile %100 yoğunluktaki 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.

### 2.2.6.4 Sialonlar

Sialon (Si-Al-O-N) bir silisyum-alüminyum oksinitrür tipi seramik malzeme olup, sinterlenebilen silisyum nitrürün (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) 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.[6]



Şekil 2.10 Siyalonların mikro yapısı[3]

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.[6]

### 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  $650^\circ C$ 'de hızla okside olmaya başlar ve atmosferik basınçta  $1500^\circ C$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda tekrar grafitte dönüşür. Yüksek sıcaklıkta demir için karbonun kolaylıkla çözünmesi veya demire difüze olan grafitte dönüşmesi sebebiyle ferro malzemelerin işlenmesinde elmas yeterli performansı sağlamamaktadır. Bununla birlikte, elmas takımlar

yüksek silisyumlu dökme alüminyum alaşımları, bakır ve alaşımları, sinterlenmiş sementite 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.[6]

### **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 takımın 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, efektif takım ömrünün belirlenebilmesi ve optimum takım değiştirme zamanının belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır.[7]

#### **2.3.1 Takım Aşınmasına Etki Eden Faktörler**

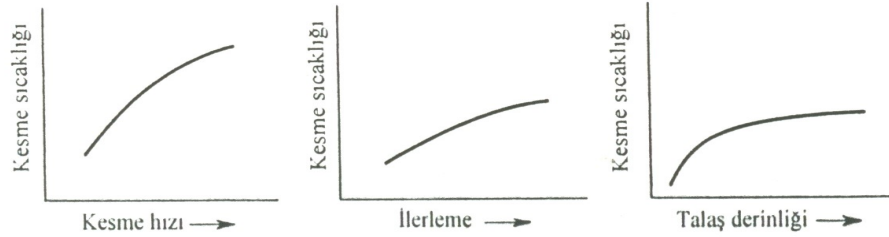
Takım aşınması, kesiciden koparılan küçük parçacıkların kaybı olduğundan, işlenen yüzey üzerine de doğrudan kolu etkiye sahip bulunmaktadır. Çünkü parçanın kopmasıyla takım körlenmiş ve kesici takımın serbest açısı 0 (sıfır) yaklaşacağından, daha çok uç alan bölgesi sürtünme işlemi yapacak ve kesme istemi esnasında bu daha da büyüyecektir. Bu durumda

kesici takım kesme işleminden ziyade iş parçasın zorlamakta, sıvama veya iş parçası yüzeyinin sertleşmesine yol açmakta, dolayısıyla takım körlenmektedir. Bunun belirli kriterlere bağlı olarak etkili kesme zamanını tayin etmek için belirlenmesi gerekir.

Bu nedenle kritik değerlerin ne olduğunun bilinmesi ve nelere bağımlı olduğunun anlaşılması gerekir. Bunlar,

- 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 gösterilmiş olup, buradan da görülebileceği gibi takım aşınması üzerine en büyük etkiyi kesme hızı bunu takım ilerleme miktarı gösterirken en az etkiye ise talaş derinliğinin sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 2.11 Talaş kaldırma parametrelerinin takım sıcaklığı ve aşınma üzerine etkisi[8]

Takım ömrü de, aşınma sonucu gerçekleşen bir olay olduğundan, bunlar takım ömrüne de etki eden faktörler olarak ele alınacaktır..[8]



### 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-)Oksidasyon 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- abrasif 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. [8]

### **2.3.2.2 Difüzyon Aşınma Mekanizması**

Bu aşınma modelinde, talaş kaldırma esnasında oluşan kimyasal yükler daha etkilidir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve iş parçası malzemesine olan birleşme eğilimi difüzyon aşınma mekanizmasını belirleyecektir. Bu mekanizmada takım malzemesinin sertliği pek etkili değildir. Malzemeler 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 haline 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.

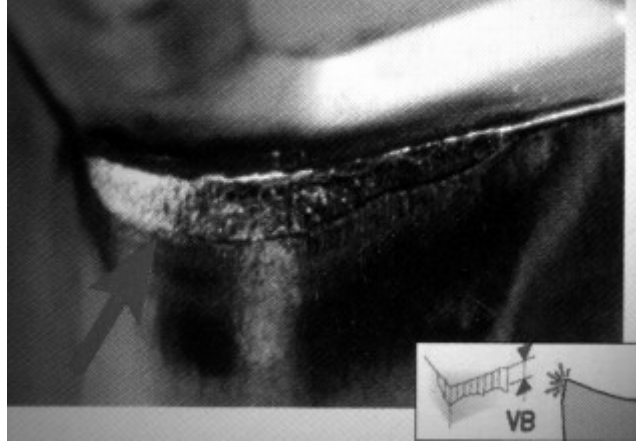
Deformasyonla sertleştirilmiş malzemeler (örneğin; östenitik paslanmaz çelikler) işlenirken talaş derinliğinin maksimum sınırında bu aşınma mekanizması, bölgesel aşınmanın hızlanmasına sebep olur. Bu durum en yaygın çentik aşınma tipidir ve aynı zamanda takım malzemesi ile iş parçası malzemesinin yakınlığına 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.[9]

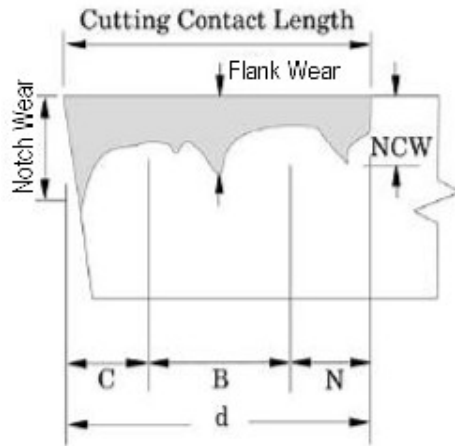
### 2.3.3.1 Kesici Takımlarda Yan Kenar Aşınması (Flank Wear)

İsminden de anlaşılacağı gibi kesici kenarın yan yüzeylerinde genellikle abrasiz aşınma mekanizmalarından kaynaklanan bir aşınma tipidir. Talaş kaldırma esnasında söz konusu kenar, uç radyüsü ve arka boşluk açısını oluşturan serbest kenarın bir kısmı talaş ve iş parçası ile temas eder. [9]



Şekil 2.12 Kesici takımında yan kenar aşınması[9]

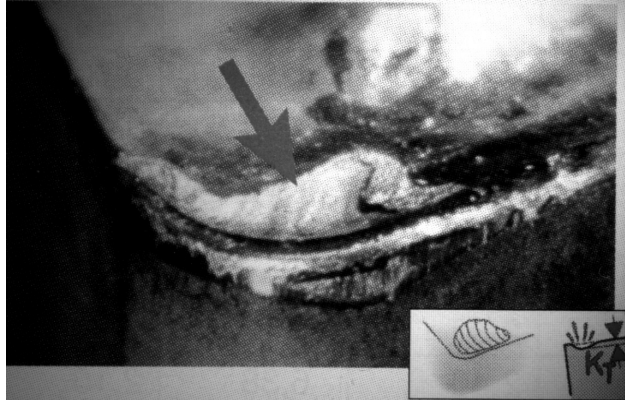
Bu tip aşınma, karşılaşılan en normal aşınma tipidir. Genellikle emniyetli ve sürekli artan bir yanak aşınması sağlamak en ideal durum olarak kabul edilir. Aşırı yanak aşınması sonucu daha kötü yüzey dokusu, ölçü toleranslarından sapma söz konusu olur ve kesici kenar şekil değiştirdiğinden dolayı sürtünme artar.[9]



Şekil 2.13 Yan kenar ve çentik aşınmasının şematik gösterimi[4]

### 2.3.3.2 Kesici Takımlarda Krater Aşınması (Crater Wear)

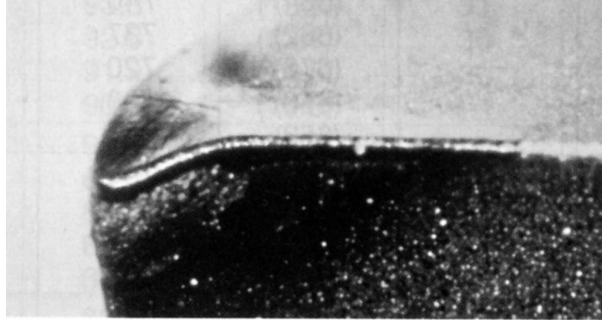
Krater aşınması veya çukur aşınması diye bilinen aşınma tipi talaş yüzeyinde abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmalarının sonucu olarak oluşur. Krater, ya sert parçacıkların taşlama etkisiyle ya da takım ve talaş malzemesi arasındaki difüzyon etkisiyle oluşur. Sertlik, sıcak sertlik ve malzemeler arasındaki 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.[9]



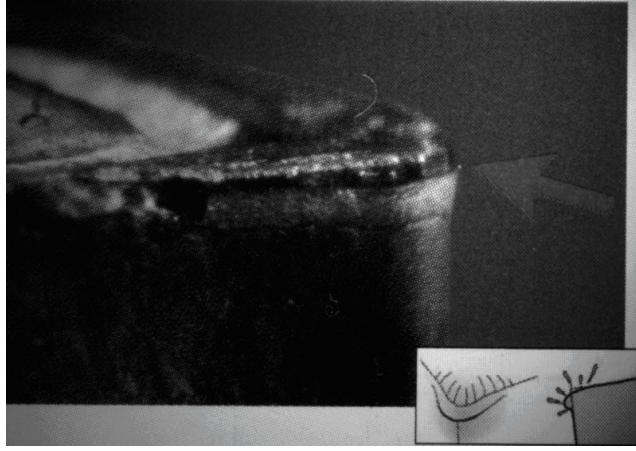
Şekil 2.14 Kesici takımında krater aşınması[9]

### 2.3.3.3 Kesici Takımlarda 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.[9]



Şekil 2.15 Kesme kuvvetlerinin etkisiyle plastik deformasyon uğramış takım[9]

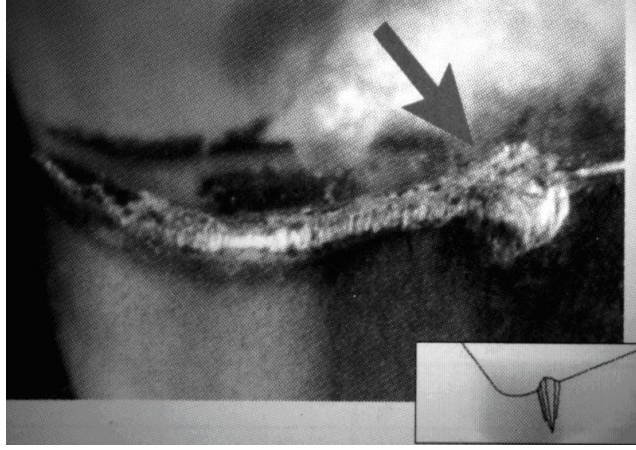


Şekil 2.16 Plastik deformasyon [9]

#### 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.

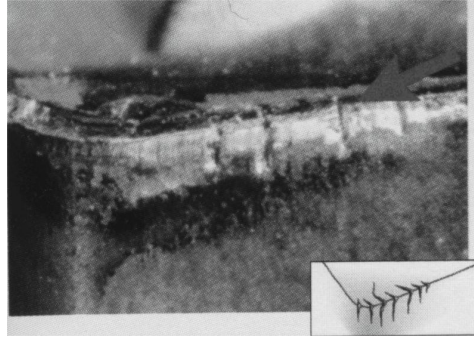


Şekil 2.17 Çentik aşınması [9]

Aşırı çentik aşınması bitirme talaşında kötü bir yüzey elde edilmesini sağlar ve kesici kenarın mukavemetini düşürür.[9]

#### 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 2.18 Kenara dik konumda meydana gelen çatlaklar[9]

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

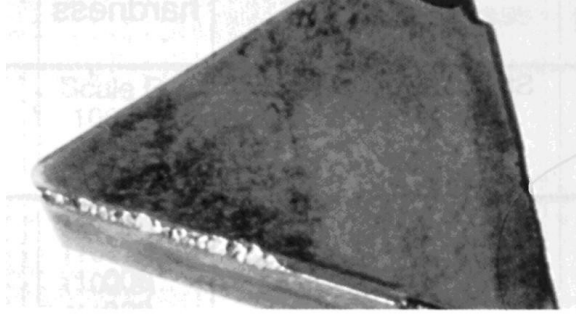
parçadan dışarıya çıktıktan sonra sıcaklıkları arasındaki fark artar ve bu durum takım malzemesinde yorulmaya sebep olur.[9]

### 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 çatlaklar termal çatlaklardan farklı olarak kesici kenara paraleldir.

### 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.



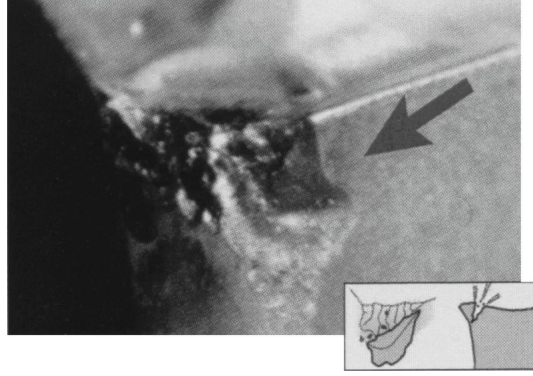
Şekil 2.19 Çıtlamaların verdiği deformasyon hasarları[9]

Kenardaki aşınmanın çentiklenmeye mi yoksa yanak aşınmasına mı işaret ettiği çok dikkatli incelenmelidir. Çentiklenme veya parçacık kopmaları bu tip kenar kırılmalarının çeşitlerindedir.[9]

### 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.



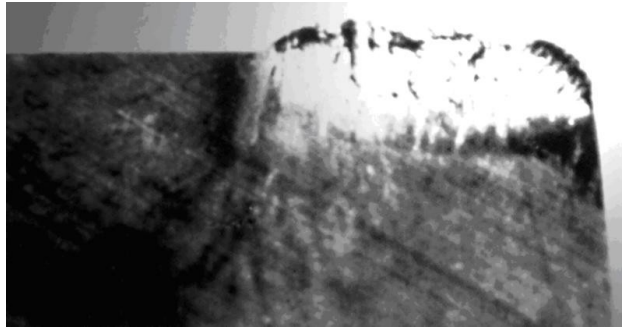


Şekil 2.20 Takım ömrünün son haddi kırılma[9]

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.[9]

#### 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 2.21 Adhezyon mekanizmasıyla oluşan Built Up Edge[9]

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.[9]

## BÖLÜM 3. YÜZEY MODİFİKASYON İŞLEMLERİ

### 3.1. Plazma Ortamında İyon İmplantasyonu

Plazma içerisine daldırılarak yapılan yüzey modifikasyon işlemleri pek çok farklı isimle bilinir. Bunların arasında; “Plazma Kaynak İyon İmplantasyonu (PSII)” , “Plazma Daldırma İyon İmplantasyonu (PI<sup>3</sup>)” , (Plazma İyon İmplantasyonu (PI<sup>2</sup>)” , “Plazma İyon Kaplama (PIP)” , “Plazma Daldırma İyon İmplantasyon ve Biriktirme (PIIID)” , “Metal Plazma Daldırma İyon İmplantasyonu ve Biriktirme (MePI<sup>3</sup>D)” v.b. gibi isimler mevcuttur.

İyon aşılama ürünlerin değişik özelliklerini geliştirmede ve yüksek dayanımlı, hafif, korozyon dirençli parçaların üretiminde kullanılır. Yüksek miktarda uygulamalar ve geniş alanlar için iyon aşılamanın daha geniş kullanımında karşımıza çıkan temel kısıtlamalar öncelikle zaman, pahalılık ve bilinen konvensiyonel sistemlerle hızlandırıcı tabanlı sistemlerin birleşmesinden ortaya çıkan sistemin karakteridir. PI<sup>3</sup> yöntemi düşük maliyetli, verimli, hızlı ve basit bir yöntemle yüksek dozda iyon üreterek geleneksel metodların pek çok sınırlamalarının üstesinden gelecek potansiyele sahiptir.

Bu yöntemde, tipik olarak 10–300 kV arasında ve 1-40 µs periyotlarda bir negatif elektrik şoku, plazma içerisine daldırılmış elektrik iletkenliğine sahip iş parçası üzerine uygulanır. Plazma, içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötral atom veya molekül içeren bir karışımdır. Pratikte plazma, ısı enerjisi verilerek, ışınla veya elektriksel boşalma ile elde edilir. Plazma elde etme yöntemlerinin en önemlisi ve en yaygın olarak kullanılanı elektriki boşalmadır. Elektriki boşalma mekanizması; bir elektrik gerilim kaynağı gaz içerisinde bulunan iki iletken plaka arasına bağlanırsa belirli şartlar gerçekleştiği takdirde tatbik edilen gerilim plakalar arasındaki gazın delinme geriliminin üzerindeyse bu iki plaka arasında bir elektrik boşalması olur ve iletken plakalar arasında elektrik akımı başlar. Bu elektrik akımı ile atomlar yükseltgenerek iyonize edilmiş olur ve plazma oluşturulur. Plazma iyonları elektrik yükü farklılığından faydalanılarak hızlandırılır ve iş parçası yüzeyine implante edilir. [11]

#### 3.1.1. Plazma Tekniklerinin Genel Özellikleri

En genel anlamda bütün plazma daldırma tekniklerinde elektriki boşalma ile elde edilen plazma içerisine daldırılan iş parçasına nispeten yüksek polarizasyon gerilimi uygulanır. Bu gerilim iş parçasına genellikle aşağıdaki sebeplerden dolayı şok etkili olarak uygulanır:

1. İş parçası üzerinde ark oluşumunu engellemek için,
2. Yüksek voltajlarda ve düşük plazma basınçlarında çalışırken iş parçası etrafında oluşan iyon kılıfının büyüklüğünü sınırlandırmak için,
3. Şok genliği ve uygulama prosesinin tasarlanmasında iş çevrimi gibi ilave serbestlik dereceleri için sisteme gerilim, elektrik şoku halinde uygulanır.

İş parçasına negatif bir elektrik akımı uygulandığında parça çevresinde bulunan elektronlar geriye doğru püskürtülür. Aynı zamanda iyonlar daha büyük ataletle sahip oldukları orijinal yerlerinde bulunmaktadır ve iyon matris kılıfını oluşturmaktadır. Pozitif yüklü iyonlar kılıf içerisindeki başlangıç pozisyonlarına bağlı olan bir enerjiyle negatif yüklü iş parçasının yüzeyine çarparlar. [11]

### 3.1.1.1 Önemli Noktalar Ve Sınırlamalar

1. Bu yöntemin yüksek enerjiler için en kötü sınırlaması ikincil elektron oluşumudur. Bütün pratik yöntemler için, plazma ortamında aşılama ve biriktirme işlemi 100 kV'tan daha az polarizasyon gerilimlerinde yapılır. 10 kV gücündeki bir alanda bile polarizasyon gerilimi şok üreticinin gücünün çoğu ikincil elektronlara gider çünkü ikincil elektron katsayısı birinciden daha fazla olabilir. Eğer uygulanan voltaj yaklaşık olarak 30 kV'tu aşarsa ikincil elektronlar zararlı olan ve işlem maliyetini arttıran bir koruma gerektiren X ışını meydana getirirler. İkincil elektronların oluşumunu veya plazma kılıfı içerisinde hızlanmalarını engellemek amacıyla pek çok çalışma yapılmış ama neticesinde bu yöntemin ancak düşük voltajlarda verimli olduğu saptanmıştır.
2. Katodik vakum ark plazması 104 m/sn'lik yüksek akış hızıyla karakterize edilir. Vakum ark plazmaları tamamen iyonize edildiklerine ve bu yüzden plazma içerisine daldırma teknikleriyle birlikte kombinasyonu çok mümkün olmalarına rağmen 3 boyutlu parçaların işlemleri hem parçanın hareketini hem de çok sayıda Katodik ark plazma kaynağını gerektirmektedir.
3. PI<sup>3</sup>&D işlemi kütle seçimi gerektirmez ve yüksek tür saflığı garanti edildiği yerlerde iyon ışın demeti aşılama yöntemiyle yarışamaz. Bu da PI<sup>3</sup>&D işleminin bazı yarıiletkenler için uygulanabilirliğini sınırlandırır ama sistemin bu özelliğine, hidrojenle iyon kesme işlemi gibi bazı yarı-iletken uygulamalarında müsaade edilir.

PI<sup>3</sup> sistemi diğer geleneksel yöntemlere göre birkaç gelişme arz eder. Parçacık hızlandırıcılar yerine PI<sup>3</sup> yöntemi büyük parçaların aşılmasını mümkün kılar. İyonlar iş parçasının açıkta bırakılmış yüzeylerine doğru her yönden eş zamanlı olarak hızlandırılır. Sonuç olarak malzemenin her tarafı aynı zamanda işlem görür dolayısıyla zaman kaybı ortadan kalkar. İş parçasının iyonları kendine çekmesi, iyonların yüzeye 90°'lik bir açıda nüfuz etmesini sağlar. Bu da sistemin verimliliğini artırır. Yüksek akım ve bu proseste kullanılabilen şok etkili güç kaynakları geleneksel hızlandırıcılara göre daha yüksek ortalama akım sağladıklarından PI<sup>3</sup> sistemi normal aşılama tekniğine göre daha kısa işlem zamanı sağlar. Geniş alanlar aynı zamanda implante edildiği için, iş parçasına doğru iyon akım yoğunlukları normal aşılama yönteminde bazen karşımıza çıkan yüksek ısınma problemlerinden korunmak için düşük tutulabilir. İyonların dışarıdan hızlandırıldığı aşılama sistemlerinde modifiye edilmiş yüzey nispeten sıg ve kalınlığı 100 nm'den daha azdır. Daha derin katmanlar, PI<sup>3</sup> işleminin termal difüzyon veya biriktirme gibi metotlarla birleştirildiği hibrid yöntemiyle elde edilir. PI<sup>3</sup> sisteminde cihaz ve operasyon maliyet tahminleri cm<sup>2</sup> başına 0,01 dolar uygulama masrafı veya daha büyük hacimli işler için daha düşük bir maliyet olduğunu gösterir.

Plazma içerisinde iyon aşılama işleminin denetimi ve kontrolünde bilgisayar simülasyonlarından faydalanılmaktadır. Bu simülasyon belli bir enerjiyle iş parçasının içerisine bir zımba şeklinde giren elektron ve iyon hareketlerini takip etmektedir. İş parçasına uygulanan elektrik şokunun ilk 0,27 µs'sinde ortaya çıkan plazma kılıf şekli küre şeklindedir ve bu şekil ilerleyen zamanda küre olarak genişlemeye devam eder. Bu aşamada elektronlar dışarıya doğru itilir ve iyonlar parçaya doğru hızlanmaya başlar. Daha sonra plazma kılıfını geçer ve iş parçasına belli bir açıyla çarpar. Bu açıdaki artış iyonların geometrik yayılımıyla, ve azalan iyon menziliyle sonuçlanır. Sonuç olarak sistem verimliliği %67 'lere çıkabilir. Bu yüzden düzenli bir aşılama isteniyorsa plazma kılıf kalınlığı yeterli seviyede tutulmalıdır. Eğer bu sağlanamıyorsa ek parçalar veya iş parçası üzerinde yapılacak bazı konfigürasyonlar ile aşılama kalitesine etki eden unsurlar ortadan kaldırılmalıdır.[12]

Plazma iyon yoğunlukları genellikle 10<sup>14</sup> – 10<sup>17</sup> iyon/m<sup>3</sup> arasındadır. Şoklar arasında iş parçası etrafında bulunan ve parça içerisine implante edilmiş iyonların yerine yenilerinin gelmesi gerekir.

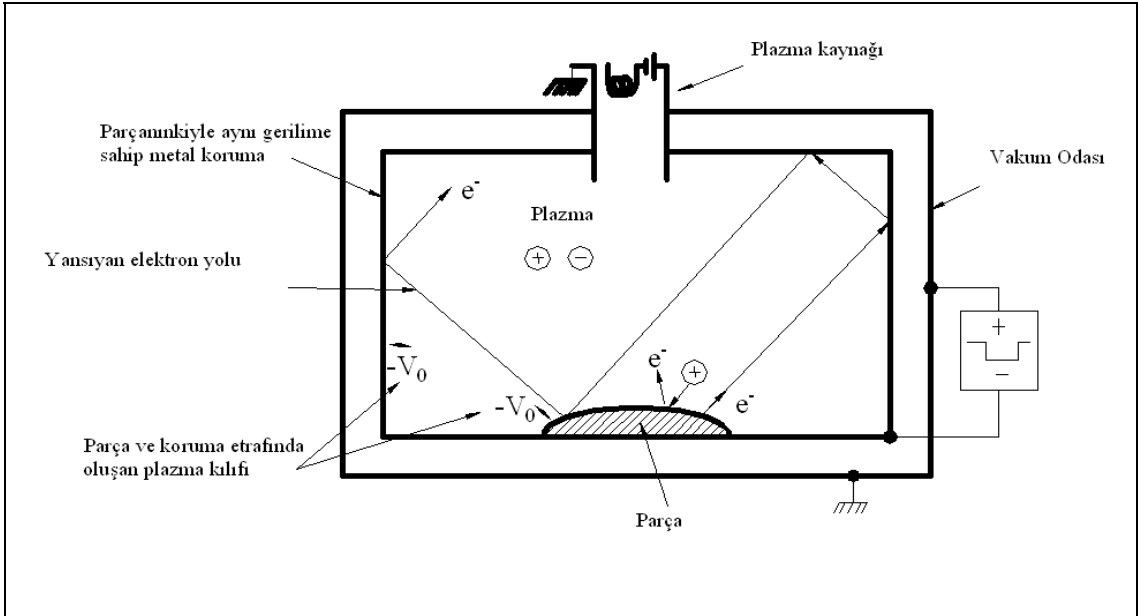
### 3.1.2 İkincil Elektron Yayılımı

İkincil elektron yayılımı PI<sup>3</sup> sisteminin önemli özelliklerinden biridir. Her bir iyon implante olurken elektronlar iş parçasından serbest kalır ve kılıf gerilimi içerisinden geçerek hızlanırlar. Belli enerjiyle hareket eden bu elektronlar vakum odası duvarları gibi sistemi çevreleyen bir nesneye

çarpıp duruncaya kadar ve gerçekte çarpışma olmayan bir yörüngede akıp giderler. Pek çok görüntülenmiş metalürjik uygulama için elektron yayılım katsayısı 5-20 arasında değişmektedir. Bu yüzden kontrol edilemeyen ikincil elektron yayılımı  $PI^3$  sistem verimliliğini yaklaşık olarak %5 oranında düşürür. Bunlardan başka elektron bombardımanına maruz kalan oda duvarları X ışını üretir. Buda ayrıca potansiyel bir güvenlik tehlikesidir.

Ortaya çıkan ikincil elektronların muhafaza edilmesi için bir teknik geliştirilmiştir. Elektronlar, vakum odasının duvarlarına monte edilmiş olan ve iş parçasınıniki ile aynı polarizasyon gerilimi uygulanan bir metal duvar ile kapana kısırlılır. İş parçasına voltaj uygulandığı zaman metal koruma duvarına da uygulanır. Dolayısıyla iş parçasıyla plazma arasında oluşan iyon kılıfı, koruma duvarıyla plazma arasında da oluşur ve elektronları dışarıya doğru itirmeye başlar. Bu yüzden iyonlar hem iş parçasına hem de duvara implante olur. İş parçasından ve koruma duvarından gönderilen elektronlar birbiri ardına duvarın iç yüzeyinde yansıtılır ve vakum odasına çarpması önlenir.

İkincil elektronları zapt etmek için henüz ispatlanmamış olmakla birlikte bazı teknikler ileri sürülmektedir. Metotlardan birinde negatif iyon ve pozitif hızlandırma gerilimi kullanılmaktadır. Başka bir metotta ise defalarca şarj edilmiş iyonlar kullanılmaktadır. Bu iyonlar hızlandırma gerilimi ve koruma ihtiyaçlarını, ayrıca X ışını oluşumunu azaltacaktır. Üçüncü olarak kullanılan metotta ise sisteme dışarıdan manyetik bir alan uygulanmaktadır.[10]



Şekil 3.1. İkincil elektronların muhafaza edilmesi[10]

### 3.2. Plazma Teknikleri İle Birlikte Kullanılan Bazı Yüzey İşlemleri

#### 3.2.1 Nitrojen İyonlarının, Plazma Yöntemiyle Aşılması

Reinhard Günzel ve çalışma arkadaşları paslanmaz çeliklerin üzerinde  $PI^3$  ve elektriki boşalma plazma nitrüleme'nin (GDPN) verimliliğini mukayese etmişlerdir. Çalışmalarında GDPN'nin saf azot kullanıldığında verimsiz olduğunu doğrulamışlardır. Çünkü 500 Pa'lık nispi yüksek işlem basıncında iyon enerjisi sadece 50 eV olarak bulunmuştur. Buda oksijen yüzey katmanına nüfuz etmek için çok düşük bir değerdir. Tam tersi olarak PSII tekniğinde 700 V'luk bir polarizasyon enerjisi nitrojen iyonlarına yüzey katmanını geçmek için yeterli enerjiyi vermektedir. GDPN ve PSII teknikleri için eğer azot-hidrojen karışımı kullanılırsa azot birleşimi artırılmış olur. Hidrojen yüzey oksidini kimyasal olarak ortadan kaldırır ve buda plazma içerisindeki azot iyonlarının işlem üzerindeki etkinliklerini artırır.[8]

Blawert ve arkadaşları azot ve metan'la uygulanmış  $PI^3$  işlemi ile elde edilmiş genişlemiş östenit incelemesinde bulunmuşlardır. Geliştirilmiş aşınma ve korozyon direnci saptanmıştır. Korozyon direnci önemli olan uygulamalar için karbon implante edilmiş malzemeler tercih edilmesi gerekirken, nitrojen- $PI^3$  numuneleri aşınma direnci konusunda daha iyi performans sergilemişlerdir. [13]

#### 3.2.2. $PI^3$ ve Plazma Nitrülemenin Mukayese Edilmesi

$PI^3$  ve plazma nitrüleme de işlem görmüş malzemelerin mikro yapılarının kontrolü yüzeye nüfuz eden azot yoğunluğunu ve sıcaklığı kontrol etmeyle yapılabilir. Buda azot atomlarının difüzyonunun mikro yapı değişiminde anahtar olduğu manasına gelmektedir.

Çok iyi bilinir ki plazma nitrüleme diğer nitrüleme metotları gibi azot difüzyonu için konsantrasyon meyli sağlamak üzere nitrür oluşumu gerektirmektedir. Bu şartlar altında nitrojen gradyanı kimyasal reaksiyon ile sınırlandırılacaktır.

Aşılama şartlarının ayarlanmasıyla çok yüksek bir azot gradyanı elde edilebilir. Azotun östenit fazına zayıf olarak difüze etmesine sebep olan düşük sıcaklıklarda, nitrüleme ile kazanılamayan çok yüksek azot konsantrasyonu, amorf ve nanokristal  $CrN+\alpha$  gibi yüksek azot konsantrasyon yapılarıyla sonuçlanan modifiye edilmiş katmanlarda biriktirilebilir. Yüksek sıcaklıkta yüksek nitrojen gradyanı sayesinde meydana gelen daha hızlı nitrojen difüzyonu ile daha kalın katmanlar daha kısa zamanda elde edilebilir.

PI<sup>3</sup>'ün iyon aşılmasına göre başlıca avantajı iş parçasının tüm yüzeylerinde düzenli bir iyon dozu elde edilebilmesidir. Üstelik 250°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda azot iyonlarının implante edilmiş katmandan daha ileriye difüzyon ettiği görülmüştür. 250°'nin üzerinde orta karbon çeliklerinin aşınma dirençlerindeki gelişmenin ve yüzey sertliklerinin diğer iyon aşılması ile elde edilen değerlerden fazla olduğu rapor edilmektedir.[10]

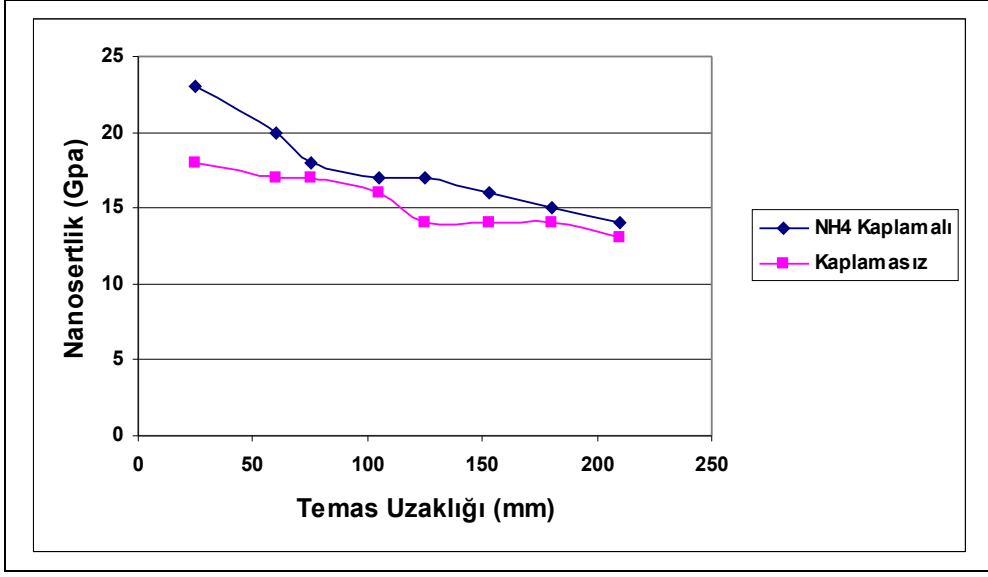
### 3.3 PI<sup>3</sup> Uygulamaları

PI<sup>3</sup> sistemi pek çok metalurjik, polimer ve yarıiletken yüzey mühendisliği uygulamalarında kullanılmaktadır ve geleneksel plazma ışın demeti araştırmalarından gelen geniş bir bilgi birikiminin üzerine bina edilmiştir.

#### 3.3.1. Aşınma Dirençli Metaller

PI<sup>3</sup> tekniği çeliklerde, krom, titanyum, alüminyum, inkonel alaşımlarında ve tungsten karbürlerde uygulanmıştır. İmplantasyon derinliğinin az olmasına rağmen aşınma konusunda kayda değer gelişmeler elde edilmiştir. Metalürjik kaplamalardaki verimliliklerinden dolayı azot ve karbon en çok tercih edilen kapama türleri olmaktadır. Ayrıca karmaşık şekilli parçaların etrafında bile düzenli bir plazma oluşturmaları tercih sebepleri arasındadır. İmplantasyondan sonra artan sertlik, azalan sürtünme ve gelişmiş tokluk direnci hem malzemedeki kimyasal değişimlere ( nitrür ve karbür oluşumu gibi) hemde fiziksel değişimlere ( dislokasyon sıkışması ve şekil bozukluğu) bağlıdır. İmplantate dozu tipik olarak yüksektir, genellikle 1–10 x 10<sup>17</sup> iyon/cm<sup>2</sup> 'dir.

Esasen imalat takımlarında sert krom kaplamaların geniş çapta kullanılmasından dolayı kromun PI<sup>3</sup> ile kaplanması kapsamlı olarak çalışılmıştır. Şekil 3.2 yukarıda bahsedilen özelliklerin gelişim süreçlerini göstermektedir. Bu tablonun elde edildiği deneylerde kullanılan plazma ortamı 0,3 mTorr basınçla 200 W ve 13,56 MHz'lik kapasitif kuplajlı elektriki boşalma ortamından geçirilmiş NH<sub>3</sub> gazıyla elde edilmiştir. İmplantate işlemi 400 Hz frekans, 20 µsn uygulanan, max. 25 A akım ve 60 kV şok gerilimi ile oda sıcaklığında yapılmıştır. 1,2 x 10<sup>18</sup> iyon/cm<sup>2</sup> 'lik iyon dozundan iş parçasına 2,1 x 10<sup>17</sup> azot atomu/cm<sup>2</sup> 'lik bir doz nüfuz etmiştir. Geri kalanlar ise püskürtmeye uğrayarak kaybedilmiştir. Bu işlemle yüzey sertliğinde %24'lük bir artış sağlanmıştır.[13]



Şekil 3.2. Kaplamalı yüzeyle kaplamasız yüzeyin sertlik değişimi.[13]

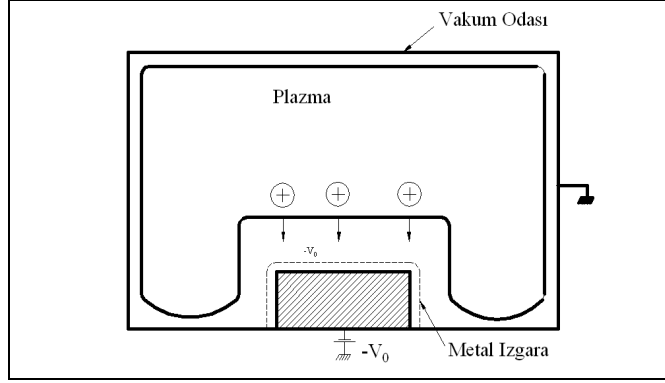
### 3.3.2. Yalıtkan Malzemelerin Aşılması

PI<sup>3</sup> sistemi, plazmada bulunan iyonların iş parçasına nüfuz edebilmesi için parçanın negatif yüklenip iyonların ona doğru hızlandırılmasını gerektirir. Elektrik iletkenliği olan malzemeler kendileri elektrot gibi davranıp negatif olarak yüklenebilmektedir. Ancak seramik, cam ve polimer gibi yalıtkan malzemelere aynı işlemi uygulayabilmek için ayrı bir metal elektrot kullanılmalı ve onun negatif olarak yüklenmesi gerekmektedir. Bu yöntemde sistem verimliliğini düşüren bazı faktörlerden etkilenir. Bunlardan biri, arada bulunan yalıtkan malzeme oluşan plazma kılıfının potansiyelini düşürmektedir.

Plazma kılıf potansiyelinin korunması için sisteme alternatif bir elektrot konulmaktadır. Konulan bu elektrot numunenin yerleştirildiği tablaya monte edilmekte ve tabla ile birlikte gerilim uygulanmaktadır. Izgara şeklinde olan bu elektrot yüksek geçirgenliğe sahiptir ve iş parçasının birkaç mm üzerine monte edilir. Bu yüzden malzeme üzerinde izgara tellerinin gölgesinden dolayı iyonların nüfuz edemeyeceği bölgeler ortadan kaldırılmış olur. Bu yöntem polimer kompozitlerin aşılmasında çok iyi neticeler vermiştir.[11]

Şekil 3.3'te bir metal izgara yapılandırılması gösterilmiştir.





Şekil 3.3 Yalıtkan malzemelerin aşılmasında kullanılan metal ızgara yapılandırılması [11]

### 3.4. $PI^3$ 'e Etki Eden Faktörler

#### 3.4.1. Numune Yüzeyindeki Azot Konsantrasyonu

Yüksek nitrojen konsantrasyonunun sebep olduğu yüksek nitrojen gradyanı ve kafes bozulması, nitrojen ve metal atomlarının difüzyonunun artmasına yardımcı olur.

$PI^3$  işlemi için işlem görmüş numunenin yüzey konsantrasyonu numune yüzeyine kaç tane iyon gönderildiğine bağlıdır. Aslında işlem kalitesine etki eden en önemli faktör budur.

Bununla birlikte malzemeye nüfuz eden azot atomları sayılabilirse sabit iyon dozunda farklı işlem zamanları aynı işlem sıcaklığında farklı azot konsantrasyonlarını beraberinde getirecektir.[14]

#### 3.4.2. Sıcaklık

İşlem sıcaklığı hem arayer hem de yerelan atomlarının difüze edilebilmesinde ve oluşan katmanın kalınlık ve mikroyapısında önemli bir role sahiptir. Düşük sıcaklıklarda çok düşük doz oranı, azotun zayıf difüze olabilirdiğinden dolayı malzeme yüzeyinde çok yüksek azot konsantrasyonunu netice verebilir. Yüksek sıcaklıklarda ise yüksek doz oranı yüzeydeki azot konsantrasyonunun belli bir seviyede tutulmasını gerektirebilir, zira difüzyon çok hızlıdır.[14]

### 3.4.3. Zaman

Sabit doz oranı ve işlem sıcaklığında işlem süresinin artırılması daha kalın katman kalınlığı sağlar. Aynı zamanda uzun işlem süresi metastabl fazın bozulmasını da geliştirir. Bu sayede oluşturulan katmanın son mikroyapısına etki eder.[14]

### 3.4.4. Alaşım Elementi

Malzeme içerisinde bulunan alaşım elementleri çok önemli rollere sahiptir. Ve hatta malzeme bünyesine krom katılmasıyla diğer elementlerin önemi daha da artar. Örneğin östenitik paslanmaz çeliklerde nikel krom ile birlikte genişlemiş östenitin sağlamlık derecesini belirleyen en önemli elementtir. Genişleyen östenit, CrN çökmesiyle birlikte olmasının bir sonucu olarak ferrite dönüşür. Ek olarak, ferritik dönüşüm işlem sıcaklığına ve azot doymuşluğunun derecesine bağlıdır. Malzeme içerisine nikel takviyesi artırıldığı takdirde ferritik dönüşüm sıcaklığı artar ve doymuşluk derecesi ilk gözlemlendiğinden daha yüksek değerlere ulaşabilir.[14]

### 3.4.5. Şok Gerilimi

PI<sup>3</sup> sisteminde yüksek sıcaklıklarda difüzyon olayı meydana gelmesinden dolayı iş parçasına uygulanan gerilim şiddeti, sistemin enerji kaynağı olmasına rağmen, çok fazla önemli değildir. Azotun ilk aşılama derinliği uygulanan voltajla değişmektedir fakat bütün modifikasyon derinliğiyle mukayese edilirse olaya katılımı önemsenmeyecek kadar küçüktür. Bazı durumlarda gerilimdeki değişiklik geleneksel PI<sup>3</sup> işlemi boyunca kesin bir öneme sahiptir. Çünkü işlem zamanını veya sıcaklığı değiştirmeden, azalan enerjiyi frekansla telafi etmek şartıyla, dozu artırma imkânı vardır. [12]

## BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1 Deneysel Çalışmaların Tanıtımı

Günümüz talaşlı imalat teknolojisinin geldiği noktada, kesici takımların performansları her geçen gün daha fazla önem arz etmektedir. Kesici takımların endüstriyel uygulamalarında performanslarını artırmak için çeşitli yüzey kaplama işlemleri kullanılmaktadır. Uzun bir geçmişe sahip olan CVD ve PVD yöntemlerinin yanında, henüz yakın geçmişte keşfedilmiş ve endüstriyel alanlara sirayet etmiş olan plazma ortamında iyon aşılama işlemi, bazı avantajları sebebiyle diğer yöntemlere alternatif olarak görülebilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda, kesici takım üzerine uygulanan aşılama işleminin takım ömrüne, elde edilen kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi incelenmiştir.

Yukarıda bahsedilen neticelere ulaşabilmek için, Universal torna tezgâhında kullanılacak olan ve kuvvet ölçüm ekipmanlarını üzerinde taşıyan bir deney aparatı tasarlanmıştır.  $PI^3$  yöntemiyle yüzeyleri iyileştirilen takımların aşınma testleri için aşındırıcı malzeme olarak silindirik bloklar halinde AISI 4140 kullanılmıştır. Her pasodan sonra kesici takımdaki aşınma ve malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Takımların performanslarını mukayese edebilmek için bir adet yüzeyi işlem görmemiş kaplamasız takım, referans olarak kullanılmıştır.

### 4.2 Literatür Taraması

Huber P. , Manova D. , Mandl S. , Rauschenbach B. Yaptıkları çalışmalarda MePIIID yöntemiyle TiC, TiN ve TiCN bileşiklerinin oluşumunu incelemişlerdir. Titanyum iyon akımı elde etmek için kullandıkları titanyum katodunun yanında ortama  $N_2$  ve metan gazı vermişlerdir. Deneylerinin sonucunda; şok gerilimini arttırdıklarında TiC serisi bileşikler için azalan bir büyüme ve karbon oranı tespit etmişlerdir. TiN bileşikleri için herhangi bir etki söz konusu olmamıştır. [15]

Mitsuo A. ,Uchida S. ,Yamamoto S. , Aizawa T. Yaptıkları çalışmalarda Sinterlenmiş karbür kesici takım üzerine klor iyonu implante ederek 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 implante edilmiş 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 implante edilmiş kesici takımların sürtünme katsayısında ve yanak aşınmasında kayda değer iyileşmeler görülmüştür. Bu

iyileşmelere ek olarak Cl implante edilmiş takımlarda adhesiv aşınma mekanizması ortadan kaldırılmış, dolayısıyla 500 m/dak kesme hızına kadar talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilebilmiştir.[16]

Ueda M, Silva M. M. , Otani C. , Reuther H. yaptıkları çalışmalarda Ti6Al4V alaşımının  $PI^3$  işlemi sonrası tribolojik özelliklerinin gelişimini incelemişlerdir. Deney şartları olarak  $1 \times 10^{10}$  iyon/cm<sup>3</sup> doz, 1 mTorr N<sub>2</sub> basıncı, 50 µsn periyot ve 300 Hz frekansta 12 kV şok voltajı uygulanmıştır. 60 dakika işlem süresinden sonra 50 nm kalınlığında aşılama katmanı elde edilmiştir. Muhtemelen saçılma etkisinden dolayı daha uzun süreli işlemlerde katman kalınlığında daha fazla iyileşme görülmemiştir. Bununla birlikte daha sık yapılan aşılama işlemlerinde bile yüzeydeki sürtünme katsayısında azalma, sertlikte ve aşınma direncinde artışlar gözlenmiştir.[17]

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. Deneyleerde 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. [18]

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. [19]

Mandl S. , Richter E. , Gunzel R. , Möller W. M3 kalitesinde HSS takım malzemesinin üzerine  $PI^3$  işlemi uygulayıp, yüzeyde iyileşen tabakayı inceleyerek işlemin etkinliğini araştırmışlardır.

$N_2$  aşılama işlemi  $400\text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $6 \times 10^{18}$  iyon/ $\text{cm}^2$  dozunda, 40 kV şok gerilimi ve 30-210 dak sürelerde gerçekleştirilmiştir. Numunelerden bir tanesi aşılama işleminden sonra 1 saat boyunca  $400\text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta tavlama bırakılmıştır. Yapılan ölçümler neticesinde iyileşen yüzeylerde  $1,75 \times 10^{-9}$   $\text{cm}^2/\text{sn}$  'lik bir difüzyon sabiti elde edilmiştir. Ancak tavlama numunede herhangi bir doz değişimi veya difüzyon boyu değişimi gözlemlenmemiştir. Bu duruma mantıklı bir açıklama olarak tavlama sonrası difüzyon bölgesinde şekillenen mikro çökeltilerin, dislokasyon ve tane sınırlarının  $N_2$  geçişini engellediği ileri sürülmüştür. [20]

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 –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – TiN kaplama yapılmış takımlar tercih edilmiştir. Deneylerin sonucu olarak sert kaplamalı takımlarda kayda değer kuvvet düşüşleri gözlemlenmiştir. Ağır olmayan kesme şartlarında kesme kuvvetlerindeki düşüşün marjinal seviyelerde olduğu görülmüştür. [21]

Sikdar S. K. , Chen M. tornalama işleminde yanak aşınması miktarıyla, kesme kuvvetlerinin arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Deneylerinde 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 değişim görülmemiş fakat alan 1,6 – 1,7  $\text{mm}^2$ 'yi geçince kuvvetlerde çok yüksek bir artma tesbit edilmiştir. [22]

Thorwarth G. , Mandl S. , Rauschenbach B. soğuk iş çelikleri üzerine  $\text{PI}^3$  yöntemiyle  $N_2$  implante etmişler ve aşınma direncindeki artışı gözlemlenmişler. Deneylerinde soğuk iş çeliği olarak X155CrVMo12.1 malzemesi kullanmışlar.  $\text{PI}^3$  işlemlerinde;  $2 \times 10^{-6}$  mbar taban basıncı ve  $3 \times 10^{-3}$  mbar çalışma basıncı, 30 kV şok gerilimi, 0,5  $\mu\text{sn}$ 'li periyotlar ve 500 Hz frekans kullanmışlardır. Sonuç olarak aşınma dayanımının en çok iyileşme gösterdiği işlem olarak  $6 \times 10^{17}$   $N_2$  iyonu/ $\text{cm}^2$  ve  $1,8 \times 10^{18}$  C iyonu/ $\text{cm}^2$  iyon dozları ile  $350\text{ }^\circ\text{C}$  işlem sıcaklığı olduğu tespit edilmiştir.[23]

Oraby S.E. ve Hayhurst D.R. 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,  $3\mu\text{m}$   $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $5\mu\text{m}$  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 gözlemlemiştir.[4]

Kwon Y. , Gary W. Fischer Iowa üniversitesinde yaptıkları çalışmada TNMG432 kaplanmamış tungsten karbür Kennametal kesici uç kullanarak AISI 4340 malzemesini işlemişlerdir. Southbend CNC torna tezgâhında yapılan deneylerin kesme parametreleri; ilerleme: $0.12\text{mm/dev}$ , kesme hızı: $185\text{m/dak}$ , talaş derinliği  $2.5\text{mm}$  olarak belirlenmiş. Kesme işlemi  $50\text{mm}$  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.[24]

Paro J. , Hanninen H. , Kauppinen W. 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,  $0.24\text{mm/dev}$  ilerleme,  $1.6\text{mm}$  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  $30\text{dak}$ , diğer numunenin takım ömrü ise  $10\text{dak}$  olarak bulunmuş.  $\%0.57$  N içeren numunenin işlenmesinde kesme hızı  $60$ 'tan  $70$ 'e artırıldığında 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  $180\text{kg}$  olarak hesaplanmış.[25]

Nouari M., Molinari A. tarafından yapılmış aşınma deneylerinde DIN 42CrMo4 çeliği kullanılmış. Talaş derinliği  $5\text{mm}$ , kesme hızı  $60-1200$  m/dak arasında seçilmiş. Talaş açısı  $0^\circ$  ve  $7^\circ$  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.[26]

Choudhury S.K. , Kishore K.K. takım aşınmasını önceden tahmin edebilmek için yaptıkları çalışmada  $600\text{mm}$  uzunluğunda C45 karbon çeliği iş parçası HSS kesici takımla tormalanmış. Tormalama şartları; ilerleme  $0.1-0.2$  mm/dev, talaş derinliği  $0.5-0.15\text{mm}$  ve devir  $90-160\text{dev/dak}$  olarak tespit edilmiş. Tormalama sırasında oluşan kesme kuvvetleri strain-gauge 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. [27]

Rahman M. , Mansur M.A., Lau S.H. 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 gösterilmiş.[28]

### 4.3 Materyal ve Metod

#### 4.3.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

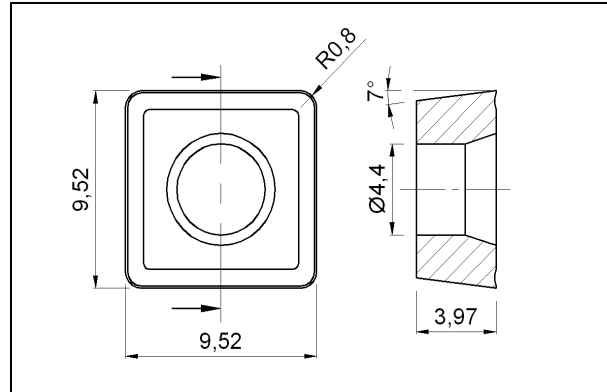
Yapılan deneylerde aşındırıcı malzeme olarak AISI 4140 kullanılmıştır. Kullanılan AISI 4140 malzemesinin kimyasal bileşimi Tablo 4.1’de verilmiştir. Malzemeler Ø120 mm x 350 mm ebatlarından hazırlanmış ve deney öncesi haddedeleden dolayı yüzeyde oluşan pekleşmiş tabakayı temizlemek ve dönüş salgısını ortadan kaldırmak amacıyla yüzeyden 1mm talaş alınmıştır.

Tablo 4.1 AISI 4140 malzemesinin kimyasal bileşimi (% ağırlık olarak)

C	S	Cr	Mn	P	Mo	Si	Fe
0,425	0,029	1,18	0,749	0,016	0,154	0,266	Kalan kısım

#### 4.3.2 Kullanılan Kesici Takımlar

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  $PI^3$  işlemi uygulanmıştır. SCMT 09T308-19 kesici takımının teknik resmi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 SCMT 09T308-19 kesici takımın ölçüleri

Kesici takımın bağlanmasında kater olarak SSBCR 1616H-09 torna kateri seçilmiştir. Katerin geometrik özelliklerinin sonucu talaş açısı  $0^\circ$ , yanaşma açısı  $75^\circ$  olarak belirlenmiştir.

Yapılan deneylerde referans olarak yüzeyine herhangi bir iyileştirme işlemi yapılmamış olan bir takım kullanılmıştır. İleriki sayfalarda referans takımı “untreated” olarak anılacaktır. Bunun dışında diğer takımlara uygulanan  $PI^3$  işlemleri aşağıda listelenmiştir.



Tablo 4.2 Numunelere uygulanan aşılama şartları

Numune adı	İşlem Sıcaklığı (°C)	İşlem Süresi (saat)	İmlante edilen element	Doz (iyon/cm <sup>2</sup> )
320°C-5hr	320	5	N <sub>2</sub>	~2x10 <sup>18</sup>
450°C-5hr	450	5	N <sub>2</sub>	~2x10 <sup>18</sup>
450°C-9hr	450	9	N <sub>2</sub>	~3,6x10 <sup>18</sup>
520°C-5hr	520	5	N <sub>2</sub>	~2x10 <sup>18</sup>
380°C-5hr-%10C	380	5	%90 N <sub>2</sub> - %10 C	~2x10 <sup>18</sup>
450°C-5hr-%10C	450	5	%90 N <sub>2</sub> - %10 C	~2x10 <sup>18</sup>
Untreated	-	-	-	-

PI<sup>3</sup> işlemi 5 aşamada gerçekleştirilmiştir.

- Ortama Ar/H<sub>2</sub> gazı verilerek, -10 mbar vakum ve 15 kV şok gerilimi verilerek 60 dakika boyunca her işlemin anma sıcaklığında temizlik yapılmıştır.
- 1 dakika süre ile kirli gaz sistemden dışarı atılmıştır.
- 30kV şok gerilimi, -10 mbar vakum basıncı ve 5 dak. süresince her işlemin anma sıcaklığında sisteme N<sub>2</sub> pompalanmıştır.
- -10 mbar vakum basıncında her işlemin anma süresince aşılama işlemi yapılmıştır.
- Sistem kapatılıp soğumaya bırakılmıştır.

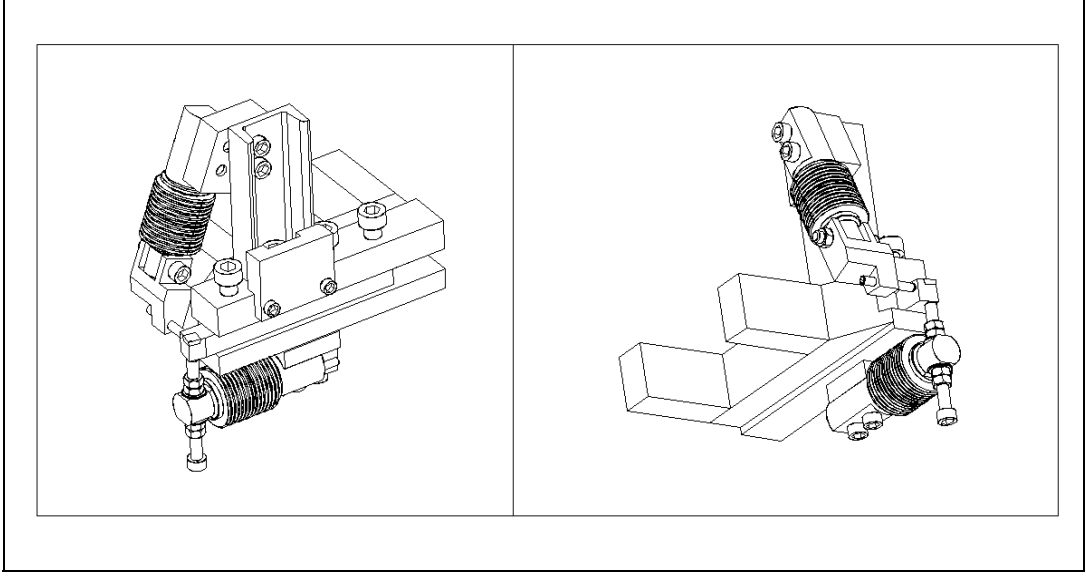
Talaş kaldırma işlemlerinde, CBÜ Makine Mühendisliği Fakültesi laboratuvarındaki Ünersal torna tezgâhı kullanılmıştır. Tezgahın özellikleri tablo 4.3'te belirtilmiştir.

Tablo 4.3 Kullanılan tezgahın özellikleri

Tezgah modeli	:	C11MS
İmalatçı firma	:	Mashstroy CO: - Troyan
Motor gücü	:	7,5 kW
Mevcut devir sayısı	:	15
Mevcut ilerleme sayısı	:	76
Ayna çapı	:	460 mm
Max. Tornalama çapı	:	400 mm
Max. Tornalama boyu	:	1550 mm
Tezgah boyu	:	2650 mm
Tezgah genişliği	:	1425 mm
Tezgah yüksekliği	:	1240 mm

### 4.3.3 Kuvvet Ölçüm Sistemi

Talaş kaldırma esnasında kesici takım üzerine gelen kuvvet ölçülmüştür. Bu ölçümü gerçekleştirebilmek için üniversal torna tezgâhının kalemlığıne bağlanabilecek bir deney aparatı tasarlanıp imâl edilmiştir. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2 Deneylerde kullanılan kuvvet ölçüm aparatı

Deney aparatı, üzerinde hem kesici takımı hemde kuvvetleri ölçecek olan yük hücrelerini barındırmaktadır. Kuvvet ölçüm sisteminin çalışma mantığı ve sistemi oluşturan elemanlar aşağıda anlatılmıştır.

Deneyler süresince kesici takım üzerine iki farklı doğrultuda gelen kuvvetler ölçülmüştür. Bunlar, kesici takımın konumuna göre teğetsel olan esas kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve tezgâhın ilerlemesine karşı malzemenin gösterdiği dirençten meydana gelen ilerleme kuvvetidir ( $F_a$ ).

Bu kuvvetlerin ölçülmesinde kullanılan esas eleman, şekil 4.3'te görülen, takım katerinin altına ve arkasına yerleştirilmiş olan yük hücreleridir. Yapılan çalışmalarda kullanılan yük hücreleri (Loadcell) Tedeia Huntleigh 355 C3 BB-200kg olarak seçilmiştir.

Yük hücreleri, piezo-elektrik mantığıyla çalışarak, içerisinde barındırdığı bir takım "strain-gauge" parçaları sayesinde, üzerine gelen basıncı elektrik enerjisine 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.



Şekil 4.3 Deneylerde kullanılan yük hücresi Tedeá Huntleigh 355 C3 BB-200kg

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 4.4’de belirtilmiştir.

Tablo 4.4 Advantech ADAM 3016 teknik özellikleri

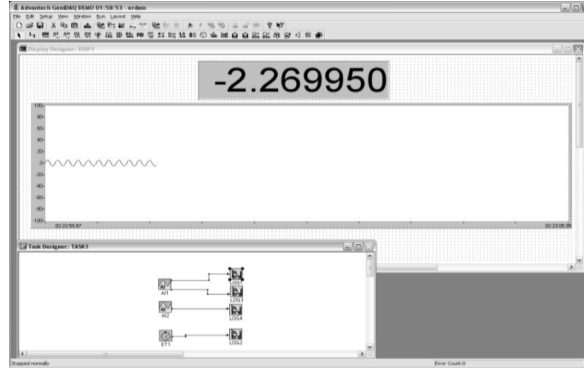
Voltaj değerleri	<i>Giriş</i>	<i>Besleme</i>	
		$\pm 10\text{mV}, \pm 20\text{mV}, \pm 30\text{mV}, \pm 100\text{mV}$	$1-10 V_{DC} (60\text{mA max})$
Çıkış voltajı	<i>Bipolar</i>	<i>Unipolar</i>	<i>Impedance</i>
	$\pm 5\text{V}, \pm 10\text{V}$	$0-10 \text{ V}$	$<50 \Omega$
Çıkış akımı	$0-20 \text{ mA}$		
Band genişliği	$2,4 \text{ KHz}$		
Kararlılık	$150 \text{ ppm}$		
Çalışma sıcaklığı	$-10^\circ \sim 70^\circ \text{C}$		
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 4.4’te Advantech ADAM 3016 izoleli uzama ölçer modülü görülmektedir.



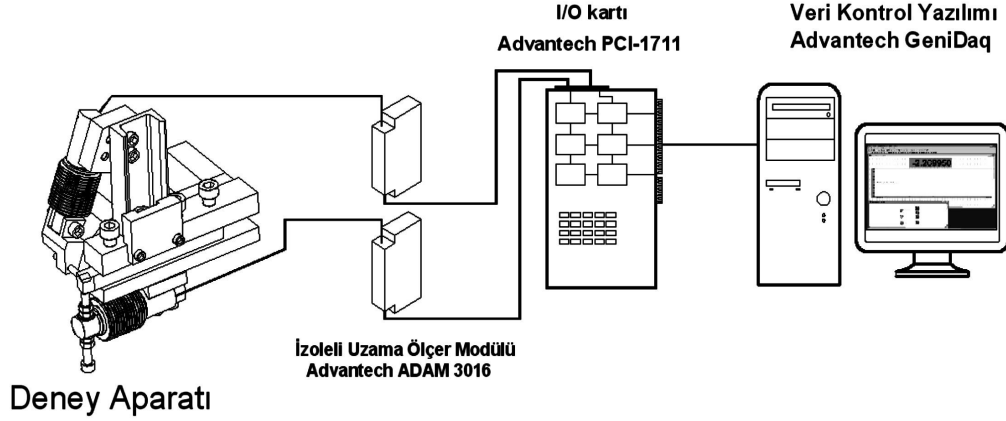
Şekil 4.4 İzoleli uzama ölçer modülü Advantech ADAM 3016

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. Şekil 4.5'te Advantech Genidaq programına ait ekran görüntüsü gösterilmiştir.



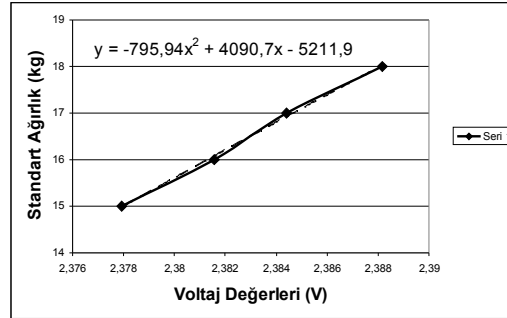
Şekil 4.5 Advantech GeniDaq ekran görüntüsü

Önceden bahsedildiği gibi, yük hücreleri analog sinyaller göndermektedir. Kullanılan bilgisayar yazılımının sinyalleri 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 4.6'da kuvvet ölçümünde kullanılan sistemin şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.6 Kuvvet ölçüm sisteminin şematik görünüşü

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 4.7 Elde edilen kalibrasyon grafiği

#### 4.3.4 Takım Aşınması Ölçümleri

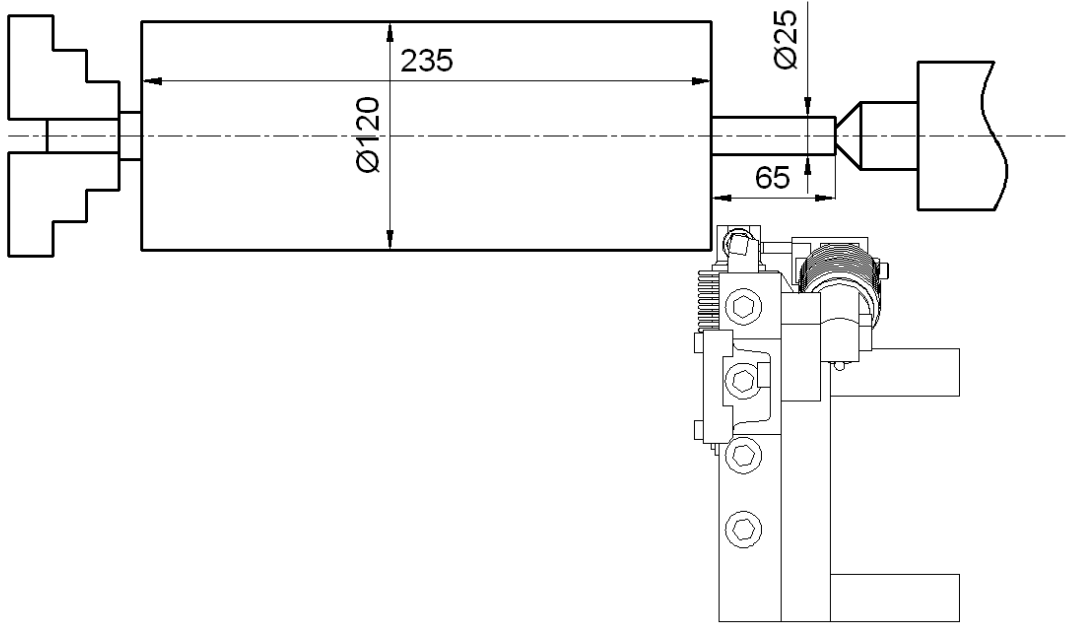
Aşınma deneylerinde her bir paso talaş kaldırma işleminden sonra kesici takım sökölüp mikroskop altında aşınma miktarı ölçülmüştür. Kullanılan mikroskop CBÜ Makine Mühendisliği laboratuvarındaki Inverted Tipi Metalografik Mikroskoptur(1000x). Mikroskop üzerindeki kamera

aracılığıyla aşınma görüntüleri bilgisayara kaydedilmiştir. Takımın aşınma miktarının seyri bu yöntemle takip edilmiş ve yan kenar aşınması 0,3mm'yi geçen takımlar artık ömrünü tamamlamış kabul edilmiştir.

Ayrıca takım aşındıkça yüzey pürüzlülüğündeki değişimleri görmek amacıyla her pasodan sonra profilometre ile iş parçası üzerinden pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Bu işlem için yine CBÜ Makine Mühendisliği laboratuvarındaki MİTUTOYO SURF TEST SJ-301 Profilometre kullanılmıştır. Yapılan ölçümler, sonuç olarak iş parçası yüzeyinin Ra değerinin yanında yüzey karakteristiğini de grafik olarak vermektedir.

#### 4.4 Deneysel Sonuçlar

Yapılan çalışmaların sonuçlarında her bir takım için aşınma değerleri, her paso sonunda yüzey pürüzlülük değerleri ve kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Aşınma testleri için yapılan tornalama işlemlerinde 235mm tornalama boyu kullanılmıştır. AISI 4140 malzemesinin tam boyu 350mm olarak hazırlanmış ve 235mm'den geriye kalan malzemenin 50mm'i parçaların tezgah aynasına bağlanmasında kullanılmıştır. 65mm'i ise kullanılan deney aparatının üzerindeki ilerleme kuvvetini ölçen loadcell'in parçaya yanaşabilmesi için 25 çapına tornalanarak kltlmştir.



şekil 4.8 Aşınma testlerinde parça ve aparatın konumu

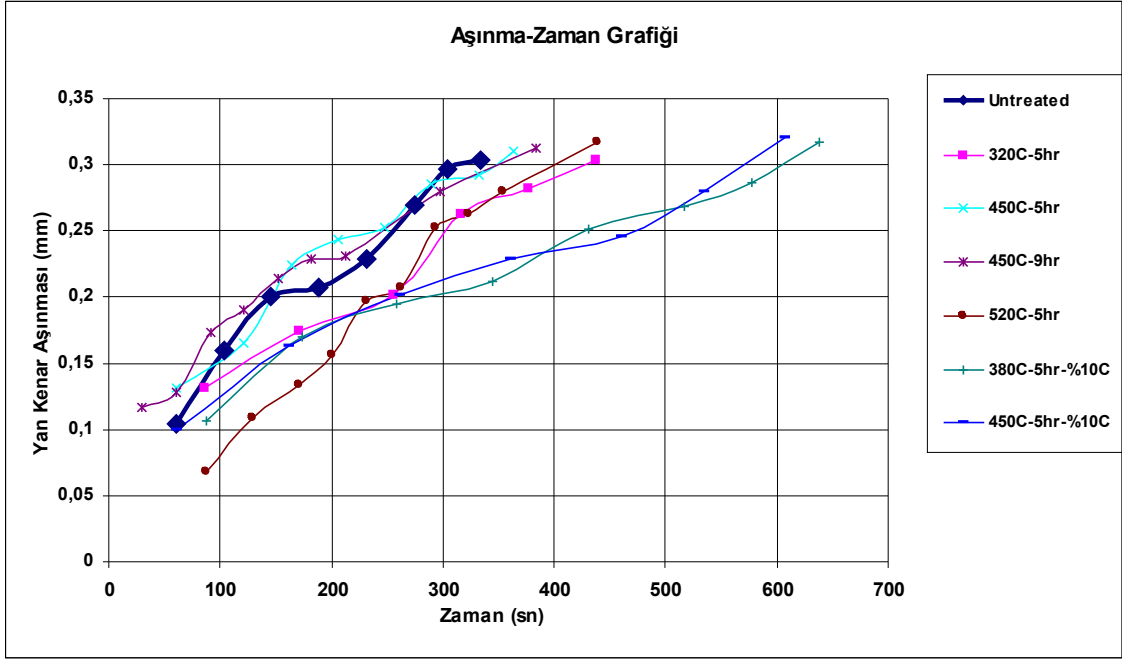
Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde her bir kesici takım için parça üzerinde 45mm tornalama boyunca 3 farklı kesme hızında (180 – 240 – 300 m/dak) birer defa ölçüm yapılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri tablo 4.5 'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Deneysel sonucunda elde edilen kuvvet ve yüzey pürüzlülük değerleri

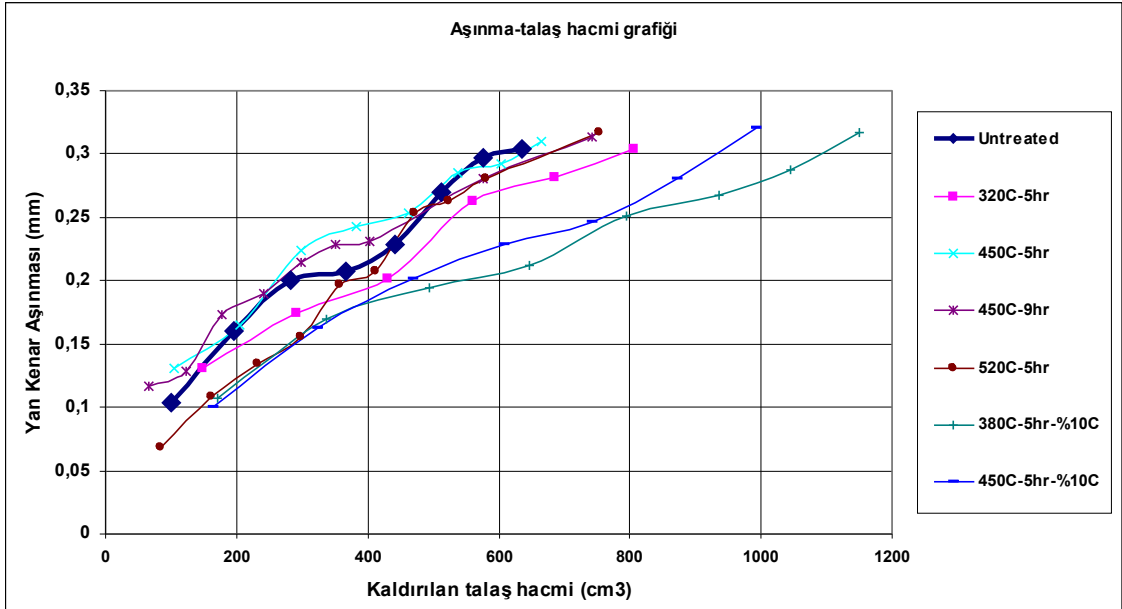
Numune	Esas Kesme Kuvveti (Fc) - kg			İlerleme Kesme Kuvveti (Fa) - kg			Pürüzlülük (Ra)		
	180	240	300	180	240	300	180	240	300
<b>untreated</b>	107,37	104,05	97,09	24,7	23,93	22,33	4,41	3,91	3,99
<b>320C - 5hr</b>	119,15	117,87	109,03	28,05	27,63	25,55	3,91	3,67	3,9
<b>450C - 5hr</b>	108,19	104,08	99,71	24,88	23,35	22,93	3,88	3,94	3,58
<b>450C - 9hr</b>	116,49	106,44	104,33	26,79	24,83	23,15	3,75	3,81	3,66
<b>520C - 5hr</b>	121,36	115,3	112,33	28,87	26,45	25,83	3,91	3,58	3,93
<b>380C - 5hr - %10C</b>	121,24	110,62	105,65	27,88	25,06	24,04	3,9	3,62	4,05
<b>450C - 5hr - %10C</b>	126,34	118,81	112,08	29,98	27,32	25,77	3,76	3,64	3,66

Aşınma testleri sonucu ortaya çıkan aşınma miktarı hem zamana hemde talaş hacmine göre karşılaştırılmıştır. (Şekil 4.9 , Şekil 4.10)



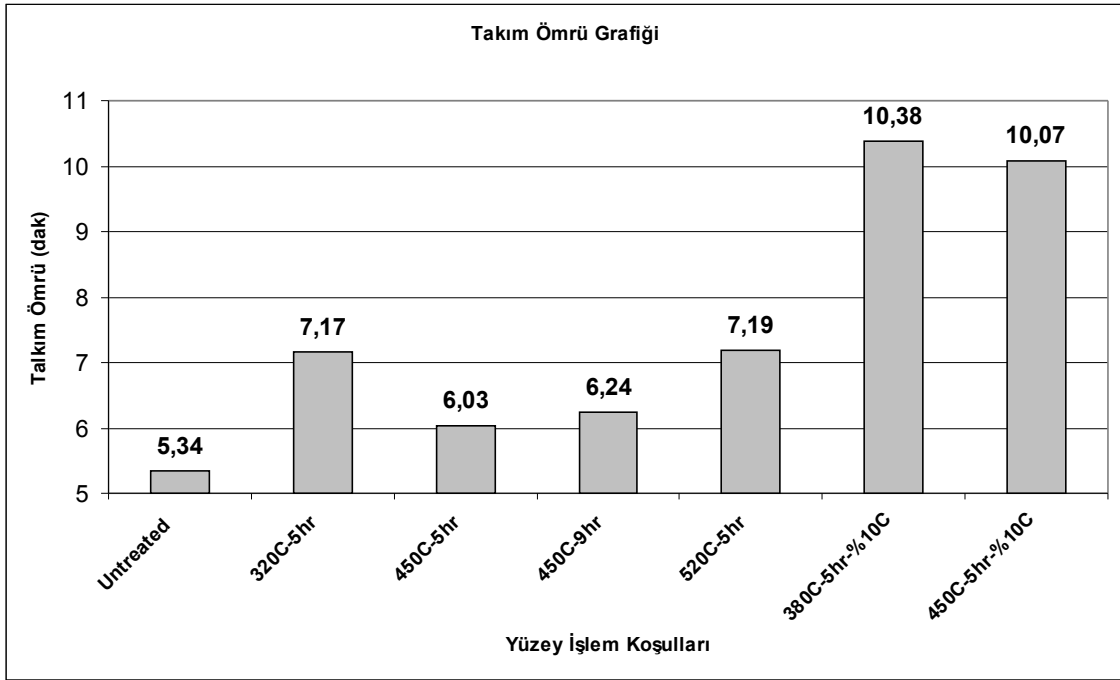


Şekil 4.9 Kullanılan takımların Aşınma Zaman Grafikleri

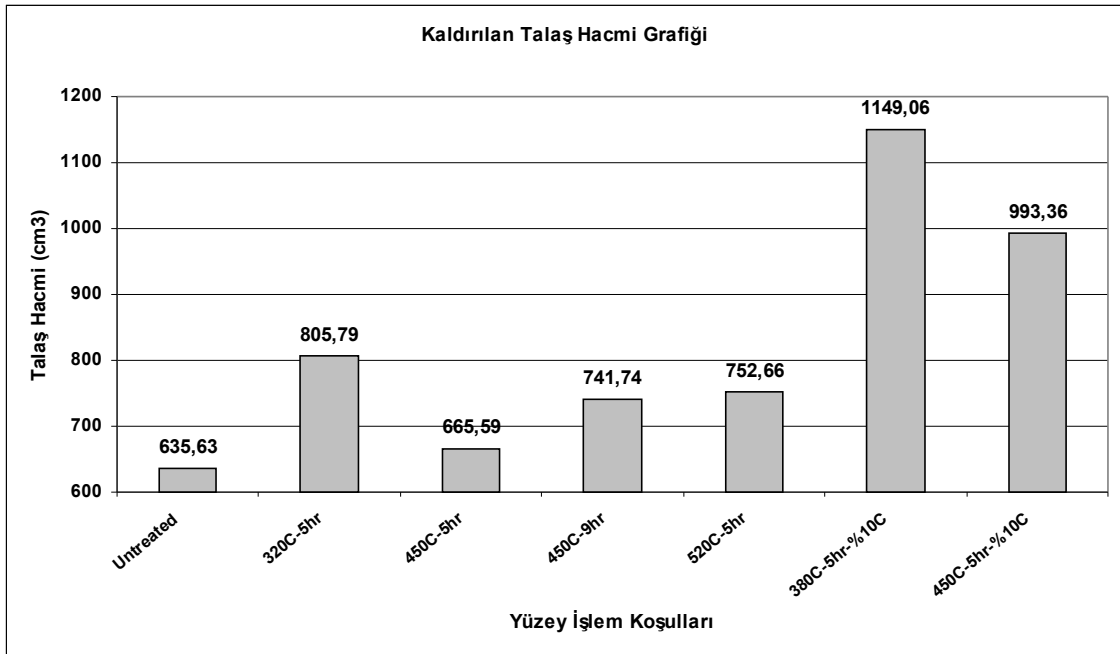


Şekil 4.10 Aşınma – kaldırılan talaş hacmi grafiği

Şekil 4.11'de elde edilen takım ömürleri ve Şekil 4.12'de kaldırılan toplam talaş hacimleri karşılaştırılmıştır.

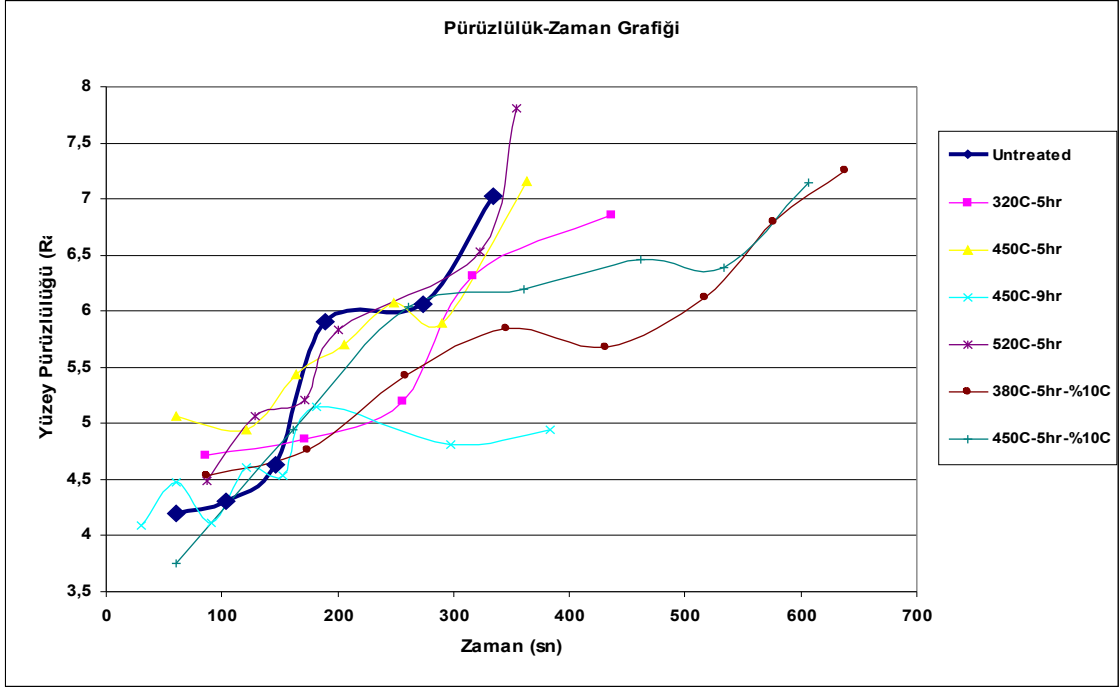


Şekil 4.11 Deneylerde kullanılan takımların dakika cinsinden ömürleri

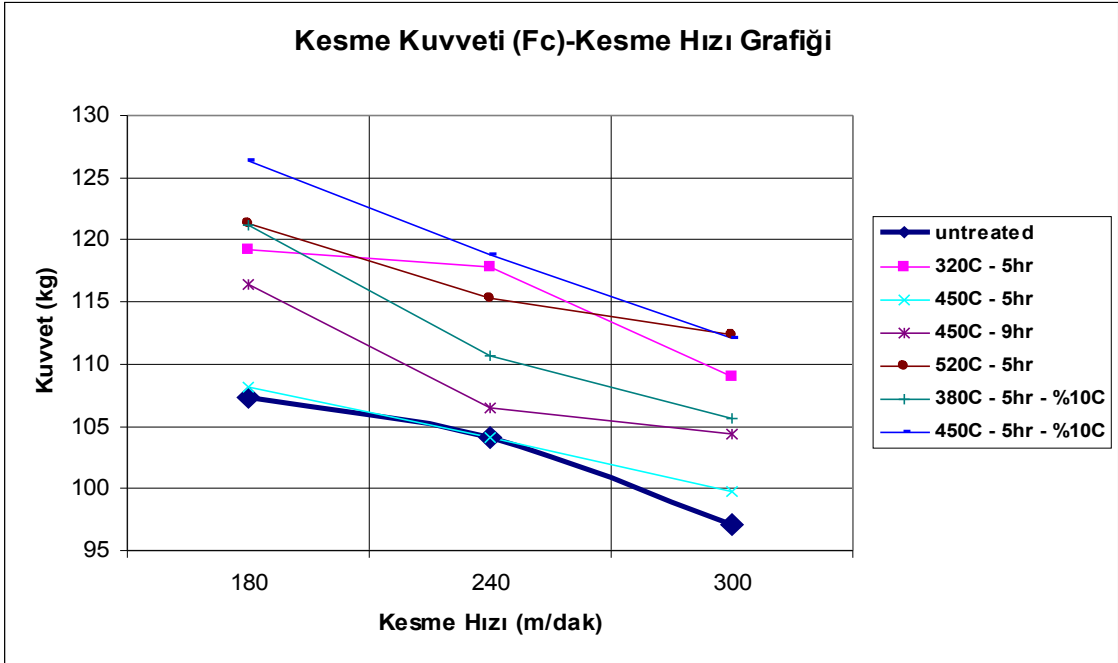


Şekil 4.12 Takımların kaldırdığı toplam talaş hacimleri

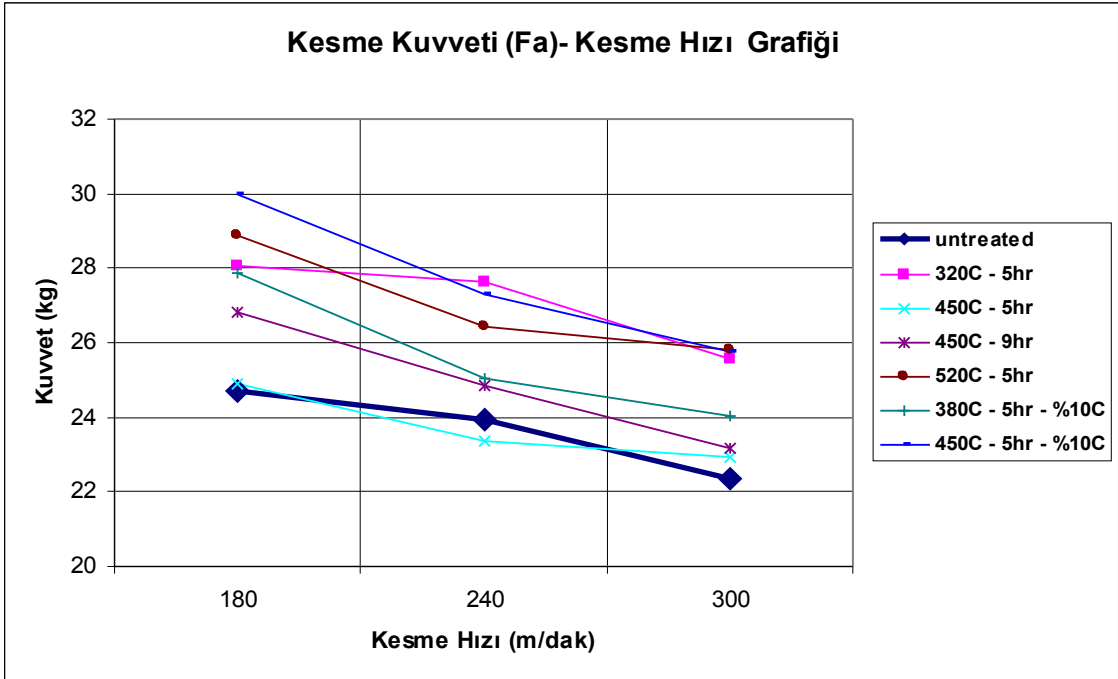
Tornalama testleri, her 235mm boyda bir kere aşınma miktarı ve yüzey pürüzlülüğü ölçülecek şekilde yapılmıştır. Dolayısıyla elde edilen verilerden, yüzey pürüzlülüğünün zamanla değişimini gösteren bir grafik elde edilmiştir. Şekil 4.13 'de yüzey pürüzlülüğünün zamana göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Yüzey Pürüzlülüğünün zamana göre değişim grafiği

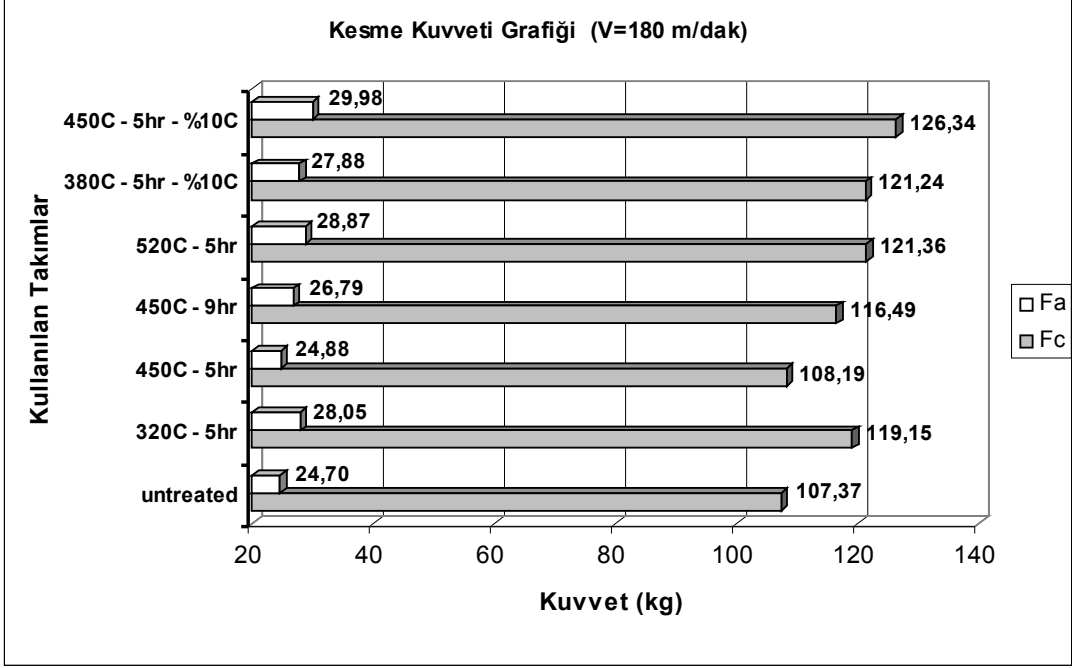


Şekil 4.14 Kesme hızının kesme kuvvetine etkisi



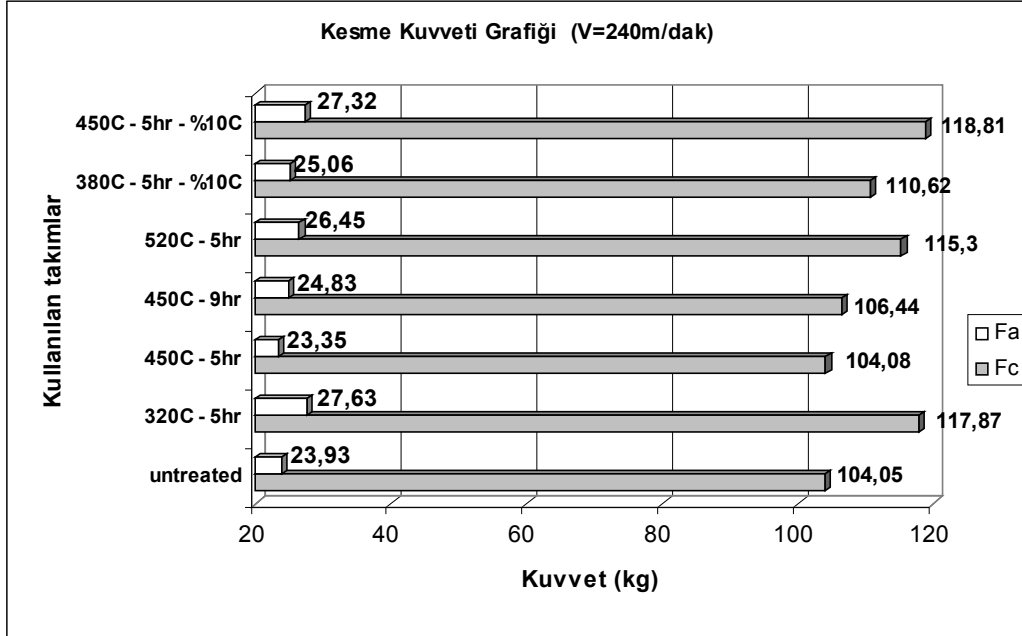
Şekil 4.15 Kesme hızının ilerleme kuvvetine etkisi

Şekil 4.16 'de  $V=180$  m/dak için elde edilen kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır.



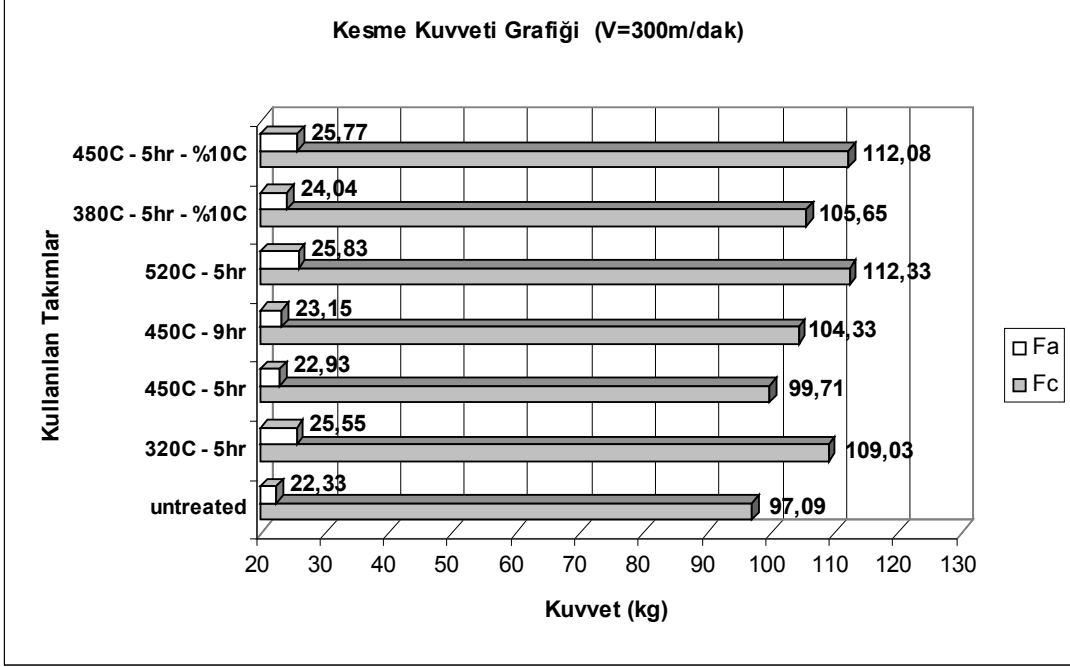
Şekil 4.16 180 m/dak kesme hızı için elde edilen kuvvetler

Şekil 4.17'de  $V=240$  m/dak için elde edilen kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır.



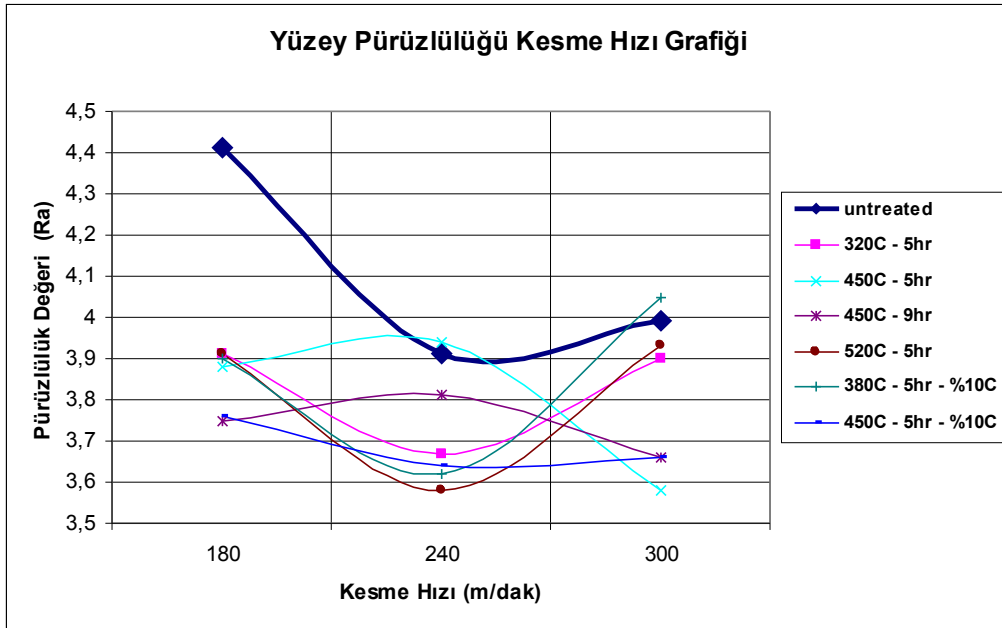
Şekil 4.17 240 m/dak kesme hızı için elde edilen kuvvetler

Şekil 4.18'de  $v=300$  m/dak için elde edilen kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır.



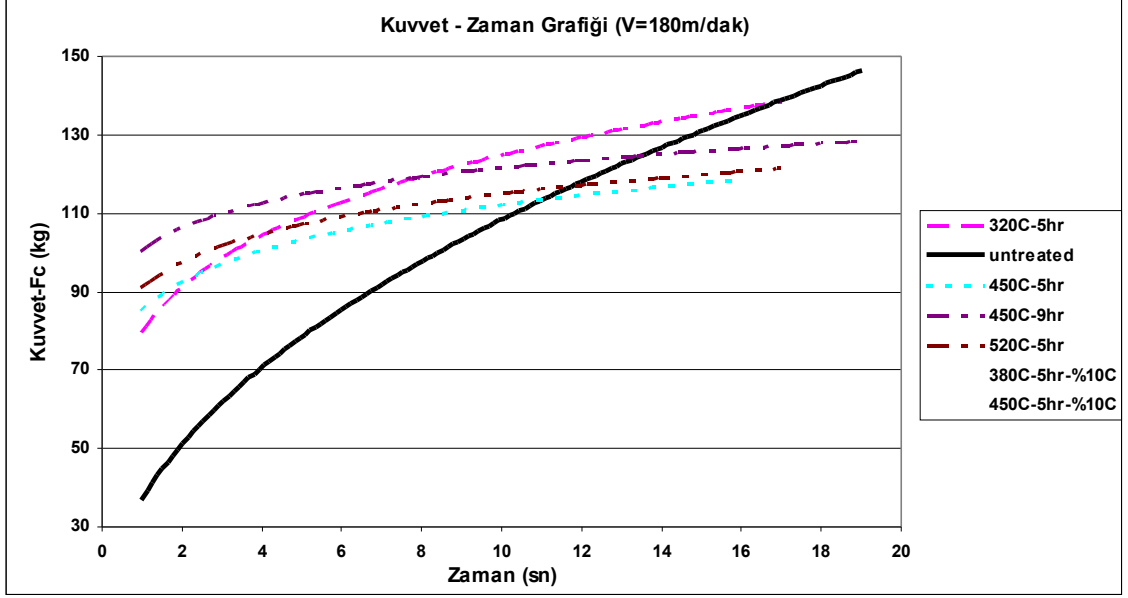
Şekil 4.18 300 m/dak kesme hızı için elde edilen kesme kuvvetleri

Elde edilen verilerden, yüzey pürüzlülüğünün kesme hızına göre değişiminin görülmesi mümkün olmaktadır. Şekil 4.19'de değişik kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün değişimi gösterilmiştir.

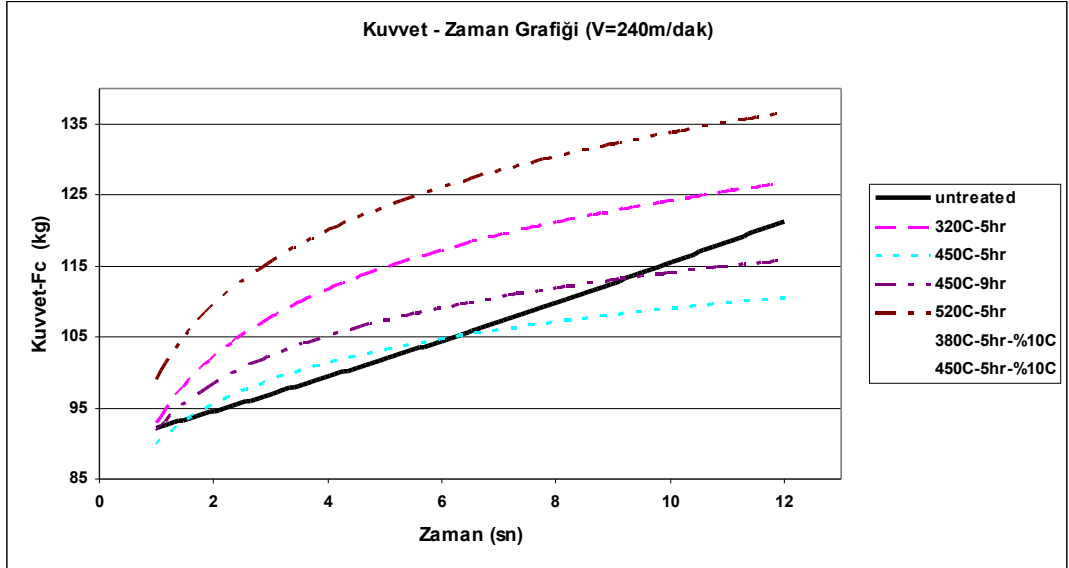


Şekil 4.19 Değişik kesme hızlarındaki yüzey pürüzlülüğü değişimi

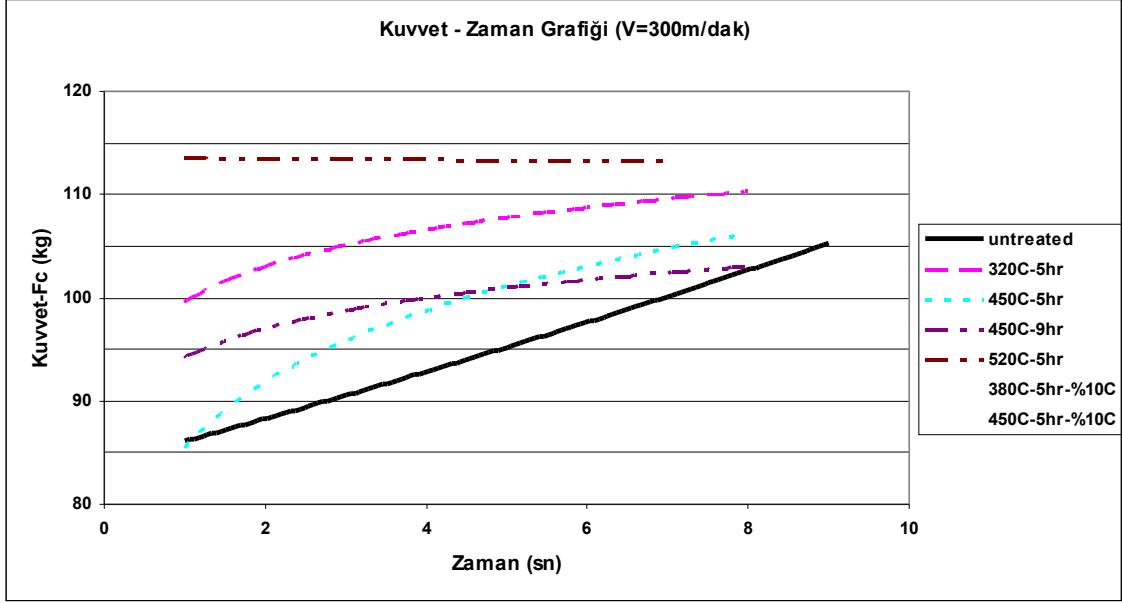
Kesme kuvvetleri ölçülürken, ölçüm mesafesi boyunca takıma gelen kuvvetler kaydedilmiş ve her kesme hızı için her bir takımın maruz kaldığı kesme kuvvetinin zaman içerisinde nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.20'de , Şekil 4.21 'de ve Şekil 4.22 'de sırasıyla 180 , 240 ve 300 m/dak kesme hızlarında, elde edilen kuvvetlerin zamanla değişimi görülmektedir.



Şekil 4.20 180 m/dak kesme hızında 45mm tornalama boyunda elde edilen kesme kuvvetlerinin zamanla değişim miktarları



Şekil 4.21 240 m/dak kesme hızında 45mm tornalama boyunda elde edilen kesme kuvvetlerinin zamanla değişim miktarları




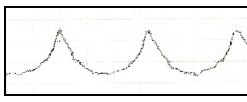
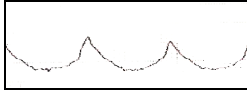
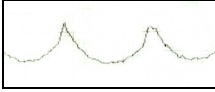
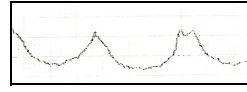
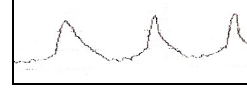

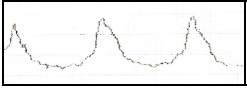
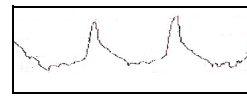

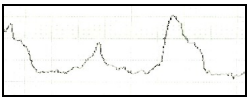
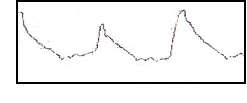

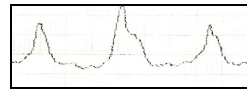
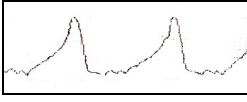
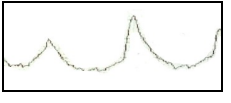
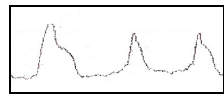
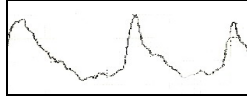
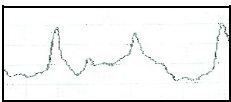
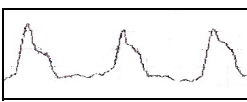

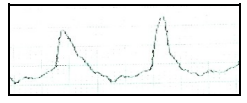
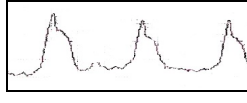
Şekil 4.22 300 m/dak kesme hızında 45mm tornalama boyunda elde edilen kesme kuvvetlerinin zamanla değişim miktarları

Profilometre çıktılarında, yüzeyin Ra ve Rz değerlerinin yanında belli bir ölçek ile büyütülmüş yüzey profili bulunmaktadır. Kullanılan kesici takımlar arasında örnekleme ile tespit edilmiş 3 tanesinin talaş kaldırma süresince yüzey profillerine meydana gelen değişme Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Deneylerde kesme hızının değiştirilmesi durumunda ortaya çıkan yüzey profilleri de incelenmiştir. Yine örnekleme ile tespit edilmiş 3 tane numunenin yüzey profillerindeki değişiklik Tablo 4.7 'de görülmektedir.

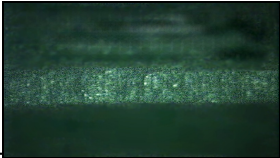
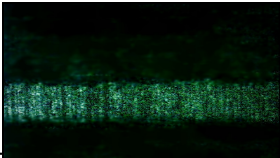
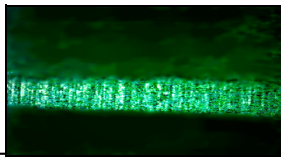
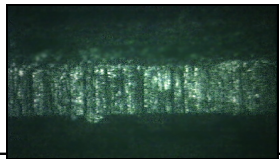
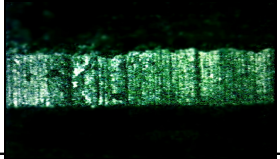
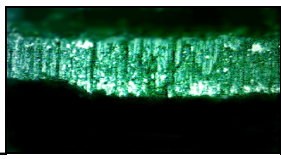

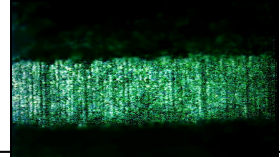
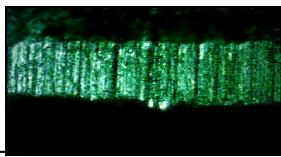
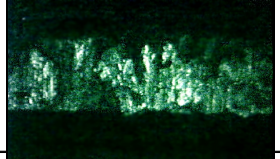
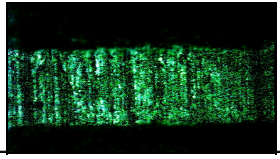
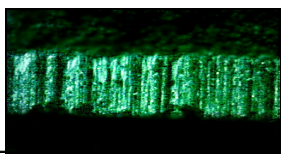
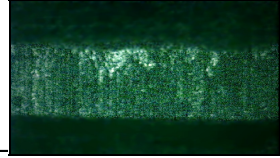
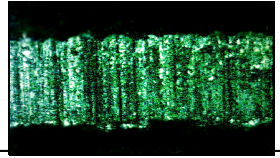
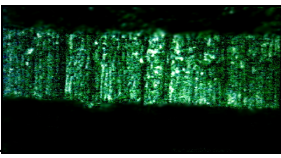
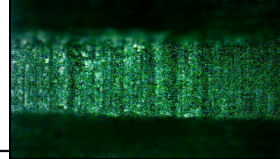
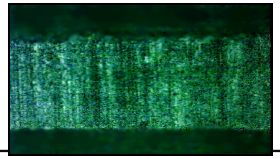
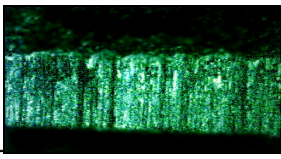
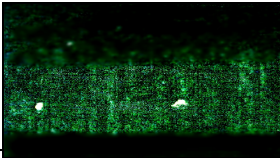


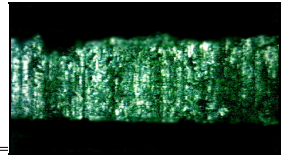

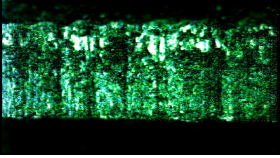


Tablo 4.6 Takım aşınması arttıkça yüzey profilinde meydana gelen değişiklik

Paso sayısı	Untreated	450°C - 5hr	450°C - 5hr - %10C
1. paso			
2. paso			
3. paso			
4. paso			
5. paso			
6. paso			
7. paso			
8. paso			

Tablo 4.6 incelendiğinde, takımın aşınmaya başladığı durumda iş parçası yüzeyinde düzenli ve sürekli bir profil oluştuğu görülmektedir. Ancak ilerleyen pasolarda yüzey profilinin düzensizleştiği ve profil çizgilerinin derinleştiği görülmektedir.

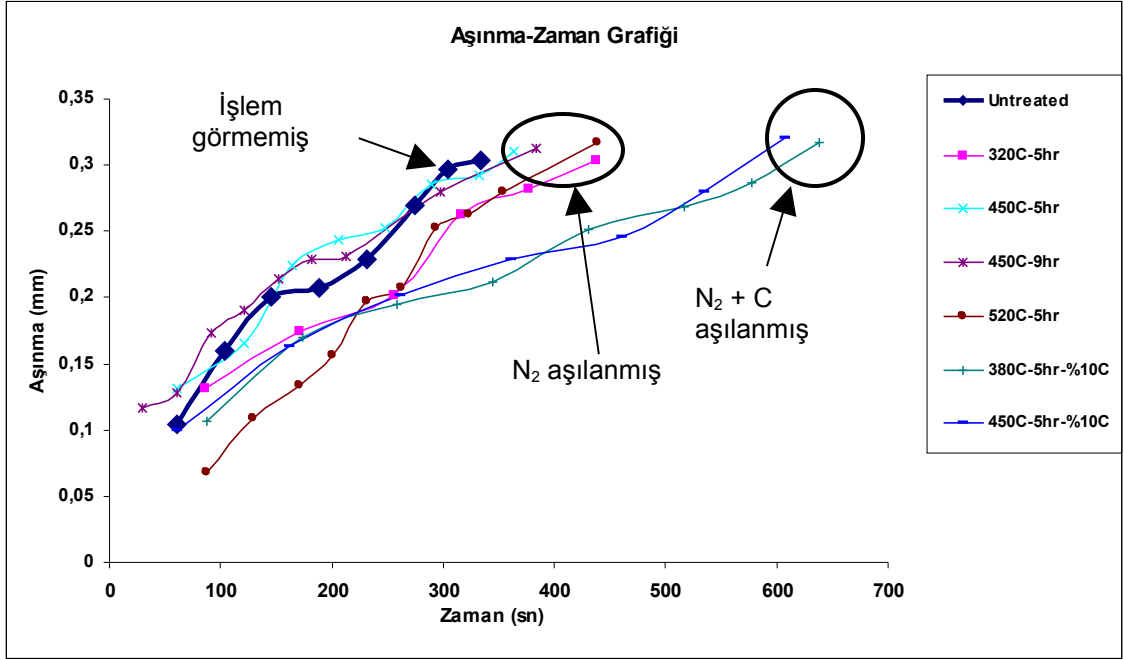
Tablo 4.7 Paso sayısı ile birlikte yanak aşınmasının ilerlemesi

Paso	Untreated	320°C-5hr	380°C-5hr-%10C
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

## BÖLÜM 5. SONUÇLARIN İRDELENMESİ, YORUMLAR ve ÖNERİLER

Yapılan çalışmaların neticesinde elde edilen veriler değerlendirildiğinde şu sonuçlara ulaşılabılır.

1. Elde edilen test sonuçlarına göre kullanılan takımlar işlem görmemiş, N<sub>2</sub> aşınmış ve N<sub>2</sub> + C aşınmış olarak üç grupta toplanabilir.



Şekil 5.1 Aşınma test sonuçlarının gruplanmış hali

2. Tablo 5.1 'de, kullanılan takımların aşınma ömrünü ne kadar arttırdığı listelenmiştir. Yüzeyi işlem görmüş takımların tamamında aşınma ömrü artmıştır. Bu durum, aşılana atomların yüzeyin kristal yapısında arayer katı çözültisi oluşturarak gerekli dislokasyon enerji bariyerini arttırmasıyla açıklanabilir. En iyi sonuçlara 380°C-5hr-%10C koşulunda aşılama yapılmış takım ile ulaşılmıştır.

Tablo 5.1 Kesici takımlarda elde edilen yüzdelik ömür artışları

	untreated	320C-5hr	450C-5hr	450C-9hr	520C-5hr	380C-5hr-%10C	450C-5hr-%10C
Takım Ömrü (dak)	5,34	7,17	6,03	6,24	7,19	10,38	10,07
% artış		34,27	12,92	16,85	34,64	94,38	88,58

3. Şekil 4.10 ve 4.11 'de belirtilen grafiklerde görüldüğü gibi takım ömrü ile kaldırılan talaş hacmi arasında doğru orantı olduğu tespit edilmiştir.
4. Aşınma testlerinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde, bütün takımlarda  $V_b=0,3\text{mm}$  kriterine ulaşıldığında pürüzlülük değerinin  $\sim 7-8 \mu\text{m}$  olduğu görülmüştür.
5. Tablo 4.6 'da gösterilen yüzey profilinin değişimi incelendiğinde, takım aşınması arttıkça elde edilen pürüzlülük değerinin de arttığı görülmektedir.
6. İşlem görmüş takımların hepsi referans takımdan daha fazla kesme kuvvetine maruz kalmıştır
7. Kesme hızı artırıldığında ölçülen kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. (Şekil 4.15).
8. Kesme hızı artırıldıkça, birinci kademedeki yüzey pürüzlülüğü iyileşme eğilimi göstermiş, hız  $300\text{m/dak}$ 'ya çıkartıldığında pürüzlülük değeri artmaya başlamıştır.
9. Bu çalışmanın esas amacı  $PI^3$  yönteminin endüstriyel olarak kullanılan takım kaplama yöntemlerine bir alternatif olabildiğini incelemektir. Elde edilen takım ömrü verilerine göre, yüzeyi işlem gören takımların tamamı referans takıma göre daha fazla ömre sahip olmuştur. Literatür incelendiğinde, endüstriyel olarak çok geniş bir kullanıma sahip olan PVD ve CVD yöntemleri ile 20 kata kadar ömür artışı elde edilebilmektedir. [29]

Yöntemlerin sağladığı performanslar karşılaştırıldığında  $PI^3$  işleminin tek başına uygulandığında, PVD ve CVD gibi yöntemlere alternatif olamayacağı görülmektedir. Ancak bu tez çalışmasında kullanılan takımlara yapılan aşılama işlemi, direkt olarak takım yüzeyine yapılmıştır. Böyle bir aşılama işlemi önceden PVD veya CVD yöntemiyle kaplanmış takımların yüzeyine yapıp, elde edilen yeni kaplamanın performansı test edilebilir.

**KAYNAKLAR**

1. Akkurt, M., Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, İstanbul, 1999
2. Wang, J., Huang, C.Z., Song, W.G., The Effect of Tool Flank Wear on The Orthogonal Cutting Process and Its Practical Implications, Queensland University of Technology, Australia, March, 2001
3. Şahin, Y., Talaş Kaldırma Prensipleri, Cilt 1, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 1999
4. Oraby, S.E., Hayhurst, D.R., Tool Life Determination Based on The Measurement of Wear and Tool Force Ratio Variation, April, 2004
5. 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
6. Özdemir, Ö., İpek, M., Zeytin, S., Kesici Takım Malzemeleri, Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Sakarya, 1999
7. 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)
8. Şahin, Y., Talaş Kaldırma Prensipleri, Cilt 2, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 2001
9. Tool Wear and Tool Life, ASM Handbook, Volume 16 Machining
10. Karadeniz S. , "*Plazma Tekniği*", TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayın No: 137, ANKARA–1990
11. Anders A. , "Handbook of Plasma immersion ion implantation and Deposition", Lawrence Berkeley National Laboratory
12. Anders A. , "Metal Plasma immersion Ion implantation and Deposition a Review", Berkeley, University of California, CA 94720 USA

13. Blawert C. , "Low Temperature Nitriding of Steels by Plasma immersion ion implantation", The Thesis of Doctor of Philosophy, Faculty of Mining, Metallurgy and Mechanical Engineering of the Technical University of Clausthal, Germany, ISBN 3-89720-394-4
14. Current M. I. , "Commercial Plasma immersion Ion implantation Tools for Material Modification", U.S.A. ,Implant and Plasma Doping Users Groups Meeting, Semicon-Southwest99, Austin TX, October 21,1999
15. Huber P. , Manova D. , Mändl S. , Rauschenbach B. , "Formation of TiN, TiC and TiCN by metal plasma immersion ion implantation and deposition" , Surface and Coatings Technology 174 –175 (2003) 1243–1247
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. Ueda M. , Silva M.M. , Otani C. , Reuther H. , "Improvement of tribological properties of Ti6Al4V by nitrogen plasma immersion ion implantation" , Surface and Coatings Technology 169 –170 (2003) 408–410
18. 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
19. 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
20. Mändl S. , Richter E. , Günzel R. , Möller W. , "Nitrogen plasma immersion ion implantation into high speed steel" , Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 148 (1999) 846-850
21. 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

22. 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
23. Thorwarth G. , Mändl S. , Rauschenbach B. , “Plasma immersion ion implantation of cold-work steel” , Surface and Coatings Technology 125 (2000) 94–99
24. 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
25. 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
26. 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
27. Choudhury S.K., Kishore K.K., Tool wear measurement in turning using force ratio, Indian Institute of Technology, September, 1999
28. 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
29. Tuffy K. , Byrne G. , Dowling D. “Determination of the optimum TiN coating thickness on WC inserts for machining carbon steels”, Journal of Materials Processing Technology 155–156 (2004) 1861–1866