



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PVD YÖNTEMİ İLE İNCE KAPLANMIŞ KESİCİ TAKIMLARIN MİKRO
ÖLÇEKLİ AŞINMA TESTİ İLE AŞINMA DAYANIMININ BELİRLENMESİ**

HAZIRLAYAN

DİLARA BOYNUEYRİ

DANIŞMAN

PROF. DR. MUSTAFA SABRİ GÖK

BARTIN-2019



T.C.
BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PVD YÖNTEMİ İLE İNCE KAPLANMIŞ KESİCİ TAKIMLARIN MİKRO
ÖLÇEKLİ AŞINMA TESTİ İLE AŞINMA DAYANIMININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN
Dilara BOYNUEYRİ

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman	:	Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK	- Bartın Üniversitesi
Üye	:	Doç. Dr. Mükremin YILMAZ	- Bartın Üniversitesi
Üye	:	Doç. Dr. Okan ÜNAL	- Karabük Üniversitesi

BARTIN-2019

KABUL VE ONAY

Dilara BOYNUEYRİ tarafından hazırlanan “PVD YÖNTEMİ İLE İNCE KAPLANMIŞ KESİCİ TAKIMLARIN MİKRO ÖLÇEKLİ AŞINMA TESTİ İLE AŞINMA DAYANIMININ BELİRLENMESİ” başlıklı bu çalışma, 28.08.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Mükremin YILMAZ

Üye : Doç. Dr. Okan ÜNAL

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK danışmanlığında hazırlamış olduğum “PVD YÖNTEMİ İLE İNCE KAPLANMIŞ KESİCİ TAKIMLARIN MİKRO ÖLÇEKLİ AŞINMA TESTİ İLE AŞINMA DAYANIMININ BELİRLENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

28.08.2019

Dilara BOYNUEYRİ

ÖNSÖZ

Lisans dönemimde olduğu gibi, yüksek lisans dönemimde de desteğini benden hiç esirgemeyen, danışmanlığımı üstlenen, tez konumun seçiminden tezimin sonuçlandırılmasına kadar olan sürede yardımlarını ve emeklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen, yoğun çalışma hayatına rağmen bana hep vakit ayırabilen çok kıymetli hocam Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK' e saygıyla ve içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım ve deneysel çalışmalarımda yardımlarını hiç esirgemeyen bana hep destek olan değerli hocam Arş. Gör. Dr. Azmi ERDOĞAN' a teşekkür ederim.

Her zaman, her konuda yanımda olan ve tüm yaşamım boyunca da olumlu, olumsuz her konuda hep yanımda olacağına inandığım, tez çalışmalarım süresince bana verdiği destek ve moral ile yanımda olmaya devam eden Aynur KALINCILAR' a, sevgili aileme ve dostlarıma sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Dilara BOYNUEYRİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PVD YÖNTEMİ İLE İNCE KAPLANMIŞ KESİCİ TAKIMLARIN MİKRO ÖLÇEKLİ AŞINMA TESTİ İLE AŞINMA DAYANIMININ BELİRLENMESİ

Dilara BOYNUEYRİ

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK

Bartın-2019, Sayfa:116

Bu çalışmada, günlük hayatımızda ve endüstride yaygın olarak kullanılan kesici takımların aşınma dayanımlarının ve kullanım ömürlerinin artırılması amaçlanmaktadır. Yüzeyi TiN, AlCrN, AlTiN tozları ile kaplı, bir kesici takım malzemesi olan toz metal, sement karpürün (WC - %6 Co) mikro ölçekli aşınma testi ile aşınma davranışları incelenmiştir. Numunelerin kaplamaları PVD kaplama metodu ile gerçekleştirilmiştir. Tüm kaplamalar, delaminasyon veya çatlak oluşumu olmadan yoğun ve homojen bir mikro yapıya sahiptir. Aşınma testi olarak mikro abrasyon aşınma testi uygulanmıştır.

Sabit bilyalı mikro aşınma test yöntemi ile aşınma testleri yapılmıştır. Bilya olarak, 1" (25,4 milimetre) çapında AISI 52100 (100Cr6) rulman çeliği kullanılmıştır. Bu sabit bilya mikro-abrasyon test yönteminde, belli yükler altında, numune üzerinde hareket etmektedir. Aşınma testinde aşındırıcı olarak 800 mesh, 1000 mesh, 1200 mesh boyutlarında Al₂O₃ aşındırıcı solüsyon kullanılmıştır. Aşındırıcı solüsyon, % 40 Al₂O₃ ve % 60 saf su olarak hazırlanmıştır. Aşındırıcı olarak kullanılan solüsyon, her 20 saniyede bir bilyanın üzerine damlatılmıştır ve numunenin aşındırılması sağlanmıştır. Aşınma yükü olarak 1, 2 ve 3N yükler kullanılmış olup, 420 çevrim ve 700 çevrim mesafede bu aşınma testleri uygulanmıştır. Sabit hareketli bilyanın numuneler üzerinde oluşturduğu dairesel kesitli iz taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik mikroskop ile ölçülerek, elde edilen

değerler ile belirli denklemler kullanılarak hacim kayıpları hesaplanmış ve numunenin aşınma dayanımları bu şekilde belirlenmiştir. Deneyler sonucunda numuneler ilk önce optik mikroskop altında incelenmiştir ve oluşan aşınma kraterlerinin çapları ölçülmüştür. Sonra numuneler uygun boyutlara indirilerek SEM analizlerine tabi tutulmuştur. Optik mikroskopta boyutları mikrometre cinsinden ölçülen kraterlerin hacim hesapları yapılmıştır. Hacim kaybı hesapları doğrultusunda en çok aşınan numune kaplamasız olan semente karbür (WC) altlığı olup, aşınmaya karşı en fazla direnç gösteren numune, sertliği en fazla olan AlCrN olmuştur. Aşınma deneyleri sonucunda, aşındırıcı parçacık boyutuna, aşınma yüküne, artan çevrim sayısına ve sertlik artışına paralel olarak aşınma direncinin arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: AlCrN; aşınma; mikro-abrasyon; PVD; TiAlN; TiN; WC

Bilim Kodu: 604.02.01

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DETERMINATION OF WEAR RESISTANCE OF THIN COATED CUTTING TOOLS BY PVD METHOD USING MICRO-SCALE ABRASION TEST

Dilara BOYNUEYRİ

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor: Prof. Mustafa Sabri GÖK

Bartın - 2019,pp: 116

In this study, it is aimed to increase wear resistance and service life of cutting tools which are frequently used in daily life and industry. The abrasion behavior of powder metal cemented carbide (WC - % 6 Co) a cutting tool material coated with TiN, AlCrN, AlTiN powders, was investigated by micro scale wear test. Coatings of the samples were made by PVD coating method. All coatings have a dense and homogeneous microstructure without delamination or crack formation. Micro abrasion test was applied as abrasion test.

Abrasion tests were carried out by micro ball abrasion test method. AISI 52100 (100Cr6) bearing steel with a diameter of 1" (25.4 milimeter) was used as the ball. In this micro ball abrasion test method, fixed ball moves on the sample under certain loads. In the abrasion test, Al₂O₃ abrasive solution of 800 mesh, 1000 mesh, 1200 mesh was used as abrasive. The abrasive solution was prepared as % 40 Al₂O₃ and % 60 pure water. The abrasion load was used as 1, 2 and 3 N loads and these abrasion tests were applied at 420 rpm and 700 rpm. By measuring the circular cross-section formed by the balls on the sample under SEM and optical microscope, the volume losses were calculated using the obtained values and certain equations and the abrasion resistance of the sample was determined. As a result of the experiments, the samples were first examined under optical microscope and the diameters of the formed craters were measured. The samples were then reduced to

appropriate sizes and subjected to SEM analysis. Volume calculations of craters whose dimensions were measured in micro meters were made under optical microscope. According to the volume loss calculations, the most worn specimen was cemented carbide (WC) substrate without coating and the most resistant specimen was AlCrN with the highest hardness. As a result of abrasion tests, abrasion resistance increased in parallel with abrasive particle size, abrasion load, increasing number of cycles and hardness increase.

Keywords: AlCrN; wear; the micro-abrasion; TiAlN; TiN; PVD; WC

Science Code: 604.02.01



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 TRİBOMETRİK SİSTEM	3
2.1 Aşınma	6
2.1.1 Aşınmanın Tanımları	6
2.1.2 Aşınmanın Oluşması İçin Gerekli Şartlar	8
2.1.3 Aşınmaya Etki Eden Faktörler	10
2.1.3.1 Malzeme Seçimi	10
2.1.3.2 Pürüzlülük	10
2.1.3.3 Sertlik	10
2.1.3.4 Yüzey İşlemleri	10
2.1.3.5 Yağlama.....	10
2.1.3.6 Temas Geometrisi.....	11
2.1.3.7 Çevre	11
2.1.3.8 Zaman.....	11
2.1.4 Aşınma Çeşitleri.....	11
2.1.4.1 Abrasiv Aşınma	13
2.1.4.2 Adhesiv Aşınma	21
2.1.4.3 Yorulma Aşınması.....	24
2.1.4.4 Korozyon Aşınması.....	27
2.1.5 Aşınma Mukavemetini Artırma İşlemleri	28

2.1.5.1 Pürüzlülük	29
2.1.5.2 Sertlik	29
2.1.5.3 Tane Boyutu	29
2.1.5.4 Malzeme Boyutu	29
2.1.5.5 Yüzey İşlemleri	30
2.1.5.6 Ortamın Etkisi	30
2.1.5.7 Sıcaklık.....	30
2.1.5.8 Atmosfer.....	30
2.1.5.9 Nem	30
2.1.5.10 Malzeme Seçimi	31
2.1.5.11 Yağlama.....	31
2.1.5.12 İşletme Koşulları	31
2.1.6 Aşınma Deneyleri Ve Ölçüm Yöntemleri.....	32
2.1.6.1 Ağırlık Farkı Metodu.....	32
2.1.6.2 Kalınlık Farkı Metodu	33
2.1.6.3 İz Değişimi Metodu.....	34
2.1.6.4 Radyoizotop Metodu	34
2.1.6.5 Akustik Emisyon Tekniği İle Aşınmanın Ölçülmesi	35
2.1.6.6 Online İzleme Yöntemi	35
 BÖLÜM 3 KESİCİ TAKIMLAR.....	 36
3.1 Kesici Takımların Tarihsel Gelişimi.....	36
3.2 Kesici Takım Malzemeleri.....	40
3.2.1 Takım Çelikleri	41
3.3 Kesici Takım Malzemelerinin Sınıflandırılması.....	42
3.4 Kesici Takım Seçim Kriterleri	44
3.5 Kesici Takımlardan Beklentiler	45
 BÖLÜM 4 KAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	 46
4.1 PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme) Yöntemi.....	49
4.1.1 Buharlaştırma İle PVD Kaplama Yöntemleri.....	55
4.1.1.1 Rezistansla Buharlaştırma	58

4.1.1.2 Endüktif Buharlaştırma	59
4.1.1.3 Elektron Demeti İle Ergitme Yöntemiyle Buharlaştırma.....	60
4.1.1.4 Lazer Yöntemiyle Buharlaştırma	61
4.1.1.5 Ark Yöntemi İle Buharlaştırma	62
4.1.2 Sıçratma İle PVD Kaplama Yöntemleri.....	67
4.1.2.1 Diyot Sıçratma.....	71
4.1.2.2 Triyot Sıçratma.....	73
4.1.2.3 Manyetik Sıçratma	74
4.2 PVD Tekniğinde Kullanılan Başlıca Kaplama Malzemeleri.....	75
4.2.1 TiN (Titanyum Nitrür) Kaplama	77
4.2.2 TiCN (Titanyum Karbo Nitrür) Kaplama	77
4.2.3 TiAlN (Titanyum Alüminyum Nitrür) Kaplama.....	78
4.2.4 CrN (Krom Nitrür) Kaplama.....	79
4.2.5 ZrN (Zirkonyum Nitrür) Kaplama	79
BÖLÜM 5 LİTERATÜR ÖZETİ.....	81
BÖLÜM 6 MATERYAL VE METOT	84
6.1 Amaç.....	84
6.2 Numunelerin PVD Yöntemi İle Kaplanması	84
6.3 Mikro-Abrasyon Aşınma Testinin Uygulanması.....	85
6.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Optik Mikroskop Analizleri	86
BÖLÜM 7BULGULAR VE TARTIŞMA	88
7.1 Numunelerin Sertlik Değerleri.....	88
7.2 Mikro Yapı Karakterizasyonu	90
7.3 Mikro Aşınma Davranışı	94
BÖLÜM 8 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	106
8.1 Genel Sonuçlar.....	106
8.2 Öneriler	106

KAYNAKLAR.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	115



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
No	No
2.1: Tribolojik sistemin gösterimi.	3
2.2: Tribolojik sistemin şematik gösterimi.	4
2.3: Tribolojide önemli olan yüzey hasar tipleri.....	6
2.4: Kayma zamanına bağlı olarak meydana gelen aşınma devreleri.....	9
2.5: Dört aşınma tipinin şematik gösterimi.	12
2.6: Aşınmanın anahtar kelimeleri ve temas tiplerinin tanımlanmaları.....	13
2.7: Abrasiv aşınma	14
2.8: Mikro sürülme aşınma mekanizması.....	16
2.9: Mikro kesilme aşınma mekanizması.	16
2.10: Mikro çatlama aşınma mekanizması	16
2.11: İki cisimli ve üç cisimli abrasiv aşınma.	17
2.12: Saf metallerin abrasiv aşınma özelliklerine sertliğin etkisi.....	18
2.13: Dört tip abrasiv aşınma mekanizmasının şematik gösterilmesi.	20
2.14: Adhesiv aşınma	22
2.15: Adezyon (yapışma) sırasındaki metal transferi.	23
2.16: Malzeme yüzeyindeki adezyon çizikleri	24
2.17: Kayan ve yuvarlanan hareket altında meydana gelen yorulmaya bağlı çatlak.....	25
2.18: Yorulma aşınmasına maruz kalan bir çeliğin farklı çevrim sayılarında yüzeylerinde meydana gelen hasarlar	26
2.19: Çelik/Çelik sınır yağlamasında yorulma aşınması çevrim sayısına bağlı plastik akış miktarındaki değişim.....	26
2.20: Şematik korozyif aşınma gösterimi.	28
2.21: Aşınmayı ölçmek için profilometre yöntemi.....	33
3.1: Kesici takımlar	36
3.2: Sinter karbürlerin imalat aşamaları.	38
3.3: Kesici takımların kaplaması.	39
3.4: 2005 yılında dünyadaki kesici takımların tahmini kullanım oranları.....	41
3.5: Kesici takım malzemelerinin kesme sıcaklıklarında meydana gelen sertlik değişimleri	44
4.1:Kaplanacak malzemenin bulunduğu fiziksel duruma göre kaplamaların sınıflandırılması	47

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
4.2: Farklı yüzey kaplama yöntemlerinin uygulama kalınlıkları.....	48
4.3: Fiziksel buhar biriktirme (PVD) tekniklerinin sınıflandırılması.....	55
4.4: Buharlaştırma yönteminin şematik gösterilişi.....	56
4.5: Rezistanslı ısıtıcı sistemli PVD sistemi.....	59
4.6: Endüktif ile buharlaştırma yöntemi.....	60
4.7: Elektron demeti ile buharlaştırma yöntemi.....	61
4.8: Katodik ark PVD sistemi.....	63
4.9: Ark oluşum mekanizması.....	64
4.10: Sıçratma mekanizması.....	68
4.11: Sıçratma mekanizması.....	70
4.12: Sıçratma yönteminin şematik gösterimi.....	70
4.13: Diyot sıçratma sistemi.....	72
4.14: Triyot sıçratma sistemi.....	73
4.15: Manyetik sıçratma işlemi.....	75
6.1: Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	86
7.1: Aşınma testlerinde kullanılan numunelerin sertlik ölçüm sonuçları.....	89
7.2: PVD yöntemi ile yüzeyi TiN tozları ile kaplı numunenin SEM yüzey görüntüsü.....	90
7.3: PVD yöntemi ile yüzeyi TiN tozları ile kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi....	91
7.4: PVD yöntemi ile yüzeyi AlCrN tozları ile kaplı numunenin SEM yüzey görüntüsü. .	92
7.5: PVD yöntemi ile yüzeyi AlCrN kaplı numunenin çizgisel EDS analizi.....	93
7.6: PVD yöntemi ile yüzeyi AlTiN tozları ile kaplı numunenin SEM yüzey görüntüsü...	94
7.7: Kaplanmış örnekler için 420 çevrimde ve 700 çevrimde, 1, 2, 3 N yük altında mikro abrasyon testine tabi tutulduktan sonra kaplanmış numunelerin hacim kaybı: a. 800 mesh Al ₂ O ₃ , b. 1000 mesh Al ₂ O ₃ , c. 1200 mesh Al ₂ O ₃	96
7.8: TiN numunesinin aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri: a. 800 mesh Al ₂ O ₃ , 700 çevrim, 1N yük (500 x), b. 800 mesh Al ₂ O ₃ , 700 çevrim, 1N yük (200 x), c. 1200 mesh Al ₂ O ₃ , 700 çevrim, 1N yük (1.00 kx), d. 1200 mesh Al ₂ O ₃ , 700 çevrim, 1N yük (250x).....	97
7.9: TiN numunesinin aşınmış yüzeylerinin optik mikroskop altındaki görüntüleri: a. 800 Mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 1N yük, b. 1000 Mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 1N yük, c. 1200 Mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 1N yük.	99

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
7.10: AlTiN numunesinin aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri, a. 800 mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 2N yük (1.00 kx), b.800 mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 2N yük (250 x), c. 800 mesh Al ₂ O ₃ , 700 çevrim, 2N yük (1.00 kx), d. 800 mesh Al ₂ O ₃ , 700 çevrim, 2N yük (250 x).....	100
7.11: AlTiN numunesinin aşınmış yüzeylerinin optik mikroskop altındaki görüntüleri a. 800 Mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 3N yük, b. 800 Mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 2N yük, c. 800 Mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 1N yük.....	101
7.12: AlCrN numunesinin aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri, a. 800 mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 3N yük (1.00 kx), b. 800 mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 3N yük (200 x), c. 800 mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 2N yük (1.00 kx), d. 800 mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 2N yük (250 x).....	102
7.13: AlCrN numunesinin aşınmış yüzeylerinin optik mikroskop altındaki görüntüleri, a. 800 Mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 3N yük, b. 1000 Mesh Al ₂ O ₃ , 700 çevrim, 3N yük, c. 1200 Mesh Al ₂ O ₃ , 700 çevrim, 3N yük.....	103
7.14: WC numunesinin aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri, a. 1200 mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 3N yük, b. 1200 mesh Al ₂ O ₃ , 700 çevrim, 3N yük.....	104
7.15: WC numunesinin aşınmış yüzeylerinin optik mikroskop altındaki görüntüleri a. 800 Mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 3N yük, b. 1000 Mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 3N yük,c. 1200 Mesh Al ₂ O ₃ , 420 çevrim, 3N yük.....	105

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
2.1: Abrasiv aşınma davranışını etkileyen faktörler.....	15
3.1: Sert metal uçlu takımlar için ISO kalite sınıflandırması	43
4.1: PVD yöntemi ile yapılan kaplamalara ait fiziksel özellikler.....	51
4.2: Bazı ince sert film kaplamaları ve özellikleri.....	76
4.3: Titanyum nitrür kaplamanın özellikleri.....	77
4.4: Titanyum karbo nitrür kaplamanın özellikleri.....	78
4.5: Titanyum alüminyum nitrür kaplamanın özellikleri.....	78
4.6: Krom nitrür kaplamanın özellikleri	79
4.7: Zirkonyum nitrür kaplamanın özellikleri	80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Amp	: Amper
Ar	: Argon
B	: Bor
C	: Karbon
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Dk	: Dakika
Fe	: Demir
mbar	: Milibar
mm	: Milimetre
Mn	: Manganez
MnO	: Mangan Oksit
Mo	: Molibden
N	: Newton
N	: Azot
Ni	: Nikel
O	: Oksijen
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı
Si	: Silisyum
Sr	: Stronsiyum
Ti	: Titanyum
TiC	: Titanyum Karbür
TiN	: Titanyum Nitrür
TiB ₂	: Titanyum Diborür
V	: Vanadyum
W	: Wolfram
WC	: Tungsten Karbür
°	: Derece
µm	: Mikrometre

KISALTMALAR

Ar-Ge	: Araştırma-Geliştirme (Research And Development)
ASTM	: American Society For Testing And Materials
BSI	: Geri Saçılan Elektron Görüntüsü
CBN	: Kübik Bor Nitrür
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
EDS	: Enerji Dağılımı Spektromesi
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
HV	: Vickers Sertliği
ISO	: Uluslar Arası Standartlar Teşkilatı
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
PCD	: Çok Kristalli Elmas
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
SEI	: İkincil Elektron Görüntüsü
YHC	:Yüksek Hız Çeliği

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İmalatta en önemli konulardan biri de belli bir zaman içinde gereken üretim miktarının istenen zamanda gerçekleştirilmesidir. Bunun gerçekleşmesi için de imalatta kullanılan makine ve tesislerin, herhangi bir aksama yaşamadan ve arıza göstermeden sorunsuz çalışabilme durumlarına bağlıdır. Teknoloji ve sanayinin de gelişimiyle makine mühendisliğinin ilerlemesi, uygulamalı yöntemlerin gerekliliklerine, uygulamalı yöntemlerin gelişmesine ve yeni araştırma alanlarına fırsat oluşturmuştur. Makine tasarımı başlangıçta birbirine göre hareket halinde olan makine parçalarının kinematik analizi üzerine kurulmuştur. Üretimde yüksek güce sahip makinelere ihtiyaç duyulmaya başlandığında mukavemet hesaplarına da ihtiyaç duyulmuştur. Üretimde günümüzde makine hasarlarını azaltmak ve ekonomik yönden de daha yüksek verime sahip olabilmek için makine tasarımının bir üçüncü konusu ortaya çıkmıştır. Üçüncü olarak ortaya çıkan bu yeni konu ise; triboloji olarak adlandırılmaktadır.

“Triboloji, yüzey ve yüzeye bağlı olarak meydana gelen hareket arasındaki etkileşimi inceleyen bilimdir” (Kobrick, 2010). “Triboloji, fizik, kimya, makine mühendisliği ve malzeme bilimi gibi çeşitli alanları içerir” (Bhushan, 2000). Yüzey mühendisliği olarak da bilinen makine parçalarının yüzey araştırması olan triboloji bir bilim temelinden oluşmuştur. Triboloji kavramı, 21. Yüzyılda ortaya çıkmıştır. “Triboloji genelde bir ya da daha fazla parçanın yüzeylerinin temas halinde, bir süre içinde ve bir düzen konumundayken, elementlerin fiziksel, kimyasal, malzeme ve mekanik özelliklerinden etkilenmesidir” (Bhushan, 2000). Bütün mekanik parçalarda temas halinde olan iki ya da daha fazla cismin birbirine göre relatif hareketli elemanlarının temas yüzeyleri arasında sınırlı olarak sürtünme kuvvetinin tesiriile sıcaklık artar ve bu da enerji kaybına sebep olur. Bu olumsuzlukları azaltmak için önce yağlama yapmak gerekir. “Triboloji; aşınma, sürtünme, yağlama konularını ve bunlara bağlı olan olayları inceleyen bilim dalıdır” (Akkurt, 1986).

ASTM (1997) standartlarına göre tribolojinin iki önemli parametresi vardır. Bunlar; sürtünme ve aşınmadır. Malzeme seçiminin iyi yapılması, malzeme aşınma dayanımlarının

arttırılmasıyla ve bu malzemelerin endüstrinin çeşitli kollarında ve teknolojik uygulamalarında kullanılmasıyla ekonomik açıdan maliyette azaltma sağlanmış olur. Maliyetin azaltılması üretimin verimi açısından da önemli bir rol oynamaktadır.

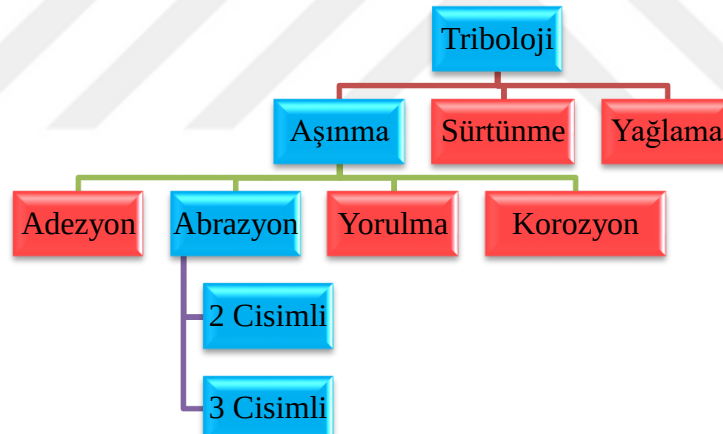


BÖLÜM 2

TRIBOMETRİK SİSTEM

Triboloji kelimesi Latince sürtünme anlamı olan tribos kelimesiyle bilim kelimesinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Ayrıca triboloji, sürtünme bilimi olarak da kullanılmaktadır (Büyükkelleci, 2008).

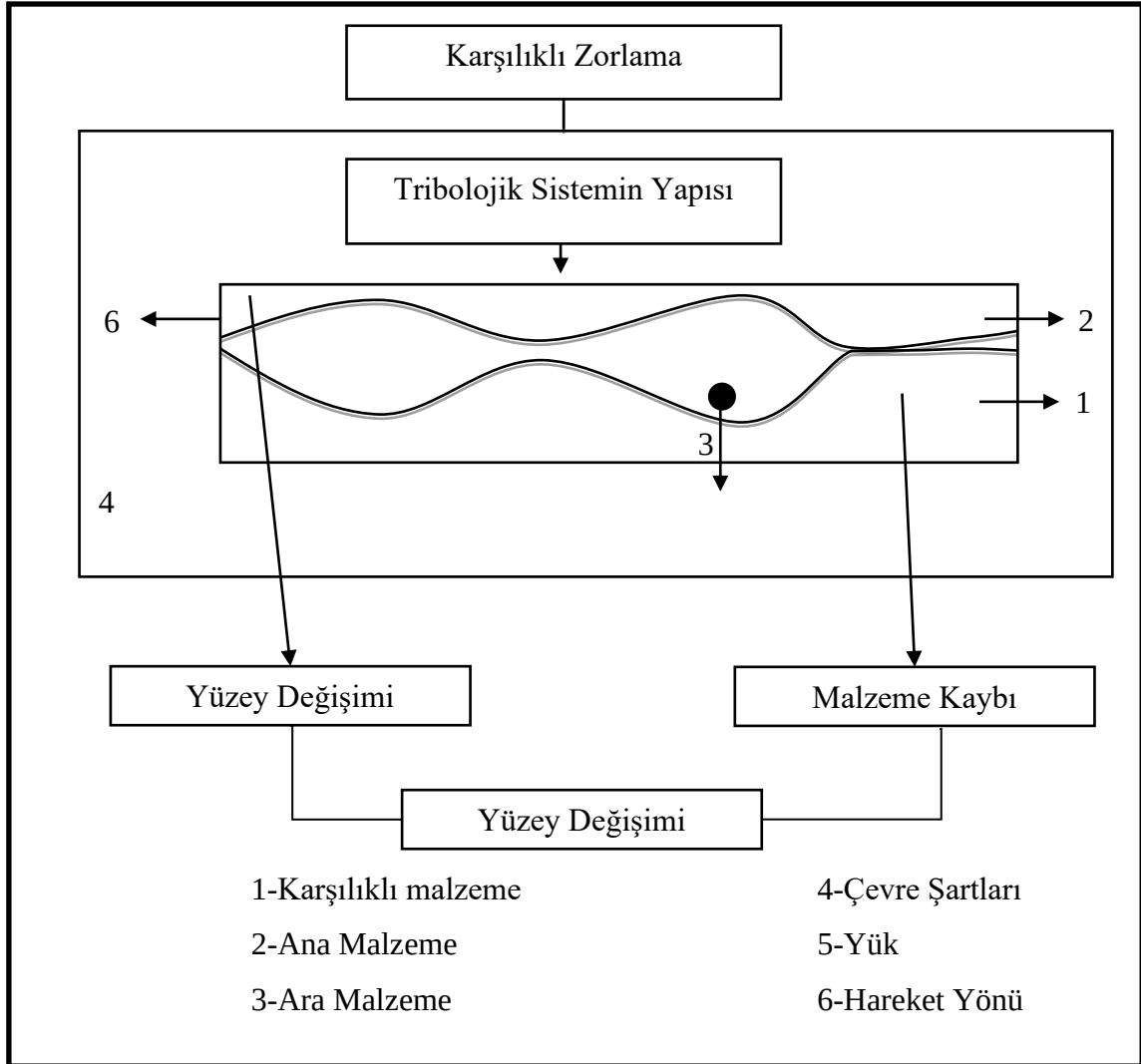
Tribometrik sistemin anlamını, parametrelerini ve ona tesir eden etkenleri bilmemiz gerekmektedir. Triboloji Şekil 2.1' deki gibi aşınma, sürtünme ve yağlama gibi kavramlardan meydana gelir (Kobrick, 2010). Aşınma adezyon, abrazyon, yorulma ve korozyon aşınması olarak 4 çeşit aşınmadan meydana gelmektedir. Bir tribometrik sistemin çözümleyebilmemiz için özellikle aşınma ve sürtünme kavramlarını iyi araştırmamız gerekmektedir.



Şekil 2.1: Tribolojik sistemin gösterimi.

Triboloji, aşınma problemlerinin çözüm yolları ile ilgilenen bir bilim dalıdır. Triboloji kavramı ilk olarak 1966 yılında, İngiltere hükümet komitesi tarafından ele alınmıştır. Bu komite, İngiltere sanayisinde triboloji prensiplerinin esaslı bir biçimde uygulanmasıyla elde edilebilecek tasarrufun araştırmasını yapmıştır. Peter Jos, 1966 yılında yapmış olduğu araştırmalarında maliyetlerdeki artışları incelemiş ve tribolojik tasarımla elde edilen tasarrufun yılda£515 milyonu bulduğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca yapılan araştırmalar bu durumun Almanya ve Amerika'da da var olduğunu göstermiştir (Stachowiak ve diğer. 1993). Yapılan bu araştırmalar sonucunda aşınmayı bilmek ve önlemek için gerekli

tedbirler alınır; hızla artan nüfusun talepleri, sınırlı sayıda olan doğal kaynaklardan ekonomik olarak sağlanmış olur. Tribolojik sisteminin şematik gösterimi Şekil 2.2'deki gibidir.



Şekil 2.2: Tribolojik sistemin şematik gösterimi.

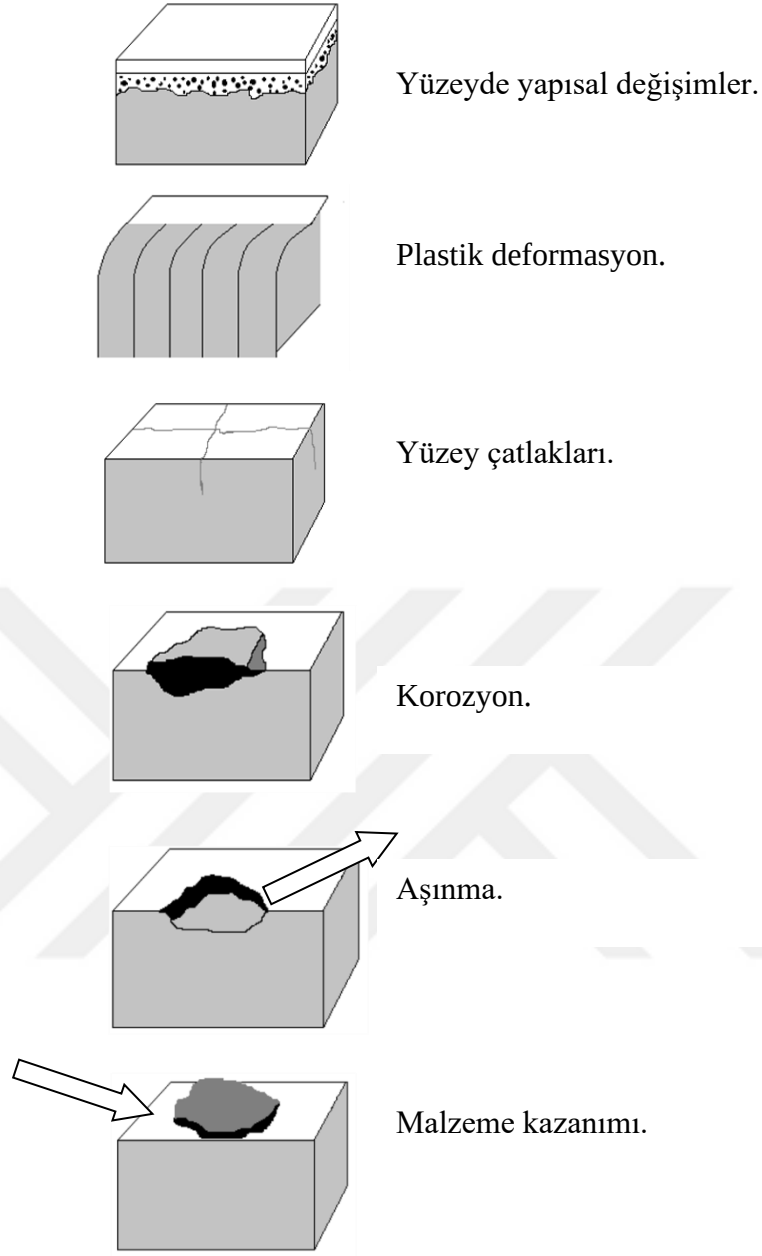
Tribolojik sistem birçok elemandan meydana gelmektedir. Bunlar;

- a) Esas malzeme (aşınan malzeme): Aşınması itina ile incelenen fiziksel ve kimyasal özelliklerine ilaveten yüzeysel yapısı ve durumu tamamıyla net olan malzemedir,

- b) Karşı malzeme (aşındıran malzeme): Esas malzeme ile aşınma oluşturan, katı bir cisim, sıvı ya da gaz olan malzemedir. Karşı malzeme (aşındıran malzeme), aşınmanın oluşmasında başlıca öneme sahiptir,
- c) Ara malzeme: Esas aşınan malzeme ile karşı malzeme(aşındıran malzeme) arasında kalan ve katı, sıvı, gaz, buhar veya bunların karışımı şeklinde bulunan maddeye verilen addır,
- d) Yük: Etkiyen kuvvetin çeşidi (statik, dinamik, darbeli veya titreşimli olup olmadığı),etki eden kuvvetin büyüklüğü bu kuvvetin doğrultusu ve zamana bağlı değişimi yüklemenin şiddetini belirleyen etmenleri meydana getirirler,
- e) İzafi hareket: Esas sürtünen malzemenin karşı malzemeye göre izafi hareketinin cinsi (kayma, yuvarlanma ya da çarpma etkilerinden hangisinin ağırlıklı olduğu), büyüklüğü ve doğrultusuyla belirlenir,
- f) Çevre (ortam): Sistemi kapsayan, içine alan ve genelde sıvı ya da gaz halinde bulunan ortamdır. Ortam, su ve gazlar teknikte en yaygın görülen çevre ortamlarıdır (Erdem, 2006).

Tribolojik sistem; karşılıklı etkileşim halinde olan elemanlarda (karşı malzeme, ara madde, esas malzeme) hız, yükün bileşimi ve termal koşullarda meydana gelen aşınma olayını inceler. Tribolojide önemli olan yüzey hasar tipleri Şekil 2.3' te gösterilmiştir. Bunlar;

- a) Yüzeyde yapısal değişimler,
- b) Plastik deformasyon,
- c) Yüzey çatlakları,
- d) Korozyon,
- e) Aşınma,
- f) Malzeme kazanımı.



Şekil 2.3: Tribolojide önemli olan yüzey hasar tipleri (Gök, 2008).

2.1 Aşınma

2.1.1 Aşınmanın Tanımları

Cisimlerin yüzeylerinde mekanik etkenler nedeniyle küçük ve ince boyutlu taneciklerin yavaş olmasına karşı, sürekli bir şekilde malzeme yüzeyinden kopup ayrılmasıyla oluşan ve malzemede istenmeyen değişikliklerin meydana gelmesi olayına aşınma denir.

Genel anlamda aşınma; malzeme yüzeyine temas eden parçaların kimyasal, mekanik ve fiziksel etkenleri neticesinde, malzemede mikroskobik parça kopmalarına bağlı olarak meydana gelen malzeme kaybına denir.

Moore tarafından aşınma ise; kullanım halinde olan malzemelerin yüzeylerine katı, sıvı ve gazların katıların temas etmesiyle, malzemenin yüzeyinden mikro taneleri koparması neticesinde oluşan yüzey bozulması olarak ifade edilir (Bhushan, 2000).

1979' da yayınlanan Alman DIN 50320 standardına göre aşınma ise, kullanımda olan malzemelerin farklı malzemeler ile (katı, sıvı ya da gaz) teması sonucu, mekanik etkenler ile yüzeyden küçük parçacıkların ayrılmasıyla oluşan ve istenmeyen yüzey hasarları olarak ifade edilir (Sevim, 1998).

Aşınmanın en az seviyede tutulması birçok parametreyi yakından etkilemektedir. Örneğin; malzeme değişim masrafları, servis sürecinde geçen zaman kayıpları, doğal kaynaklara verilen zarar, insan sağlığına verilen zararlar gibi örnekler bunlardan birkaçıdır.

Aşınma, malzemede oluşan bir hasar mekanizması olarak da isimlendirilir. Aşınmanın meydana gelebilmesi için, malzeme yüzeylerinin birbirine göre izafi (bağlı hareket) yapması, birbirine temas halinde olan malzemelerden en az bir tanesinde mekanik bir etki yardımıyla malzeme kaybı oluşması ve kaybın istemeyerek oluşması gerekmektedir. Aşınma olayları bir tribosistem (triboloji) olarak adlandırılan bir sistemde incelenmektedir.

İlk kez Mısır ve Sümer uygarlıklarında incelenen aşınma olayı daha sonraları Leonardo Da Vinci (1452-1519) ve G. Amontons (1663-1705) tarafından incelenmiş ve ana prensipleri ortaya çıkarılmıştır. Aşınma; farklı ortamlarda çeşitli tipleri ile madencilik, makine, tarım gibi çeşitli sektörlerde kullanılan malzemelerin ömrünü önemli ölçüde azaltarak büyük ekonomik zararlara sebep olmaktadır (Erdem, 2006). Yapılan bir araştırmaya göre, malzemelerde oluşan çeşitli aşınmalar nedeniyle meydana gelen malzeme kayıplarının ülkelerin yıllık brüt milli hâsılatının % 6-7'sini oluşturduğu belirlenmiştir (Gök, 2008).

Tekniksel olarak aşınma ise cisimlerin yüzeylerinde meydana gelen mekanik etkenler ile mikro taneciklerin kopup malzemeden ayrılması neticesinde malzemede istenmeyen bir

değişimin/değişimlerin meydana gelmesi olayıdır. DIN 50320 standardına göre aşınmanın tanımı; katı cisim yüzey bölgesinden tribolojik zorlanma neticesinde ilerleyen ve malzemede kayba yol açan durum şeklinde ifade edilmiştir.

2.1.2 Aşınmanın Oluşması İçin Gerekli Şartlar

Malzemedeki yıpranmanın ve hasarın bir aşınma olarak kabul edilebilmesi için bazı şartların sağlanması gerekmektedir. Bu şartlar şunlardır;

- a) Mekanik bir etki var olmalı,
- b) Sürtünme meydana gelmeli,
- c) Yavaş ama sürekli olması,
- d) Malzemenin yüzeyinde bir değişim oluşmalı,
- e) İstenilmese de meydana gelmeli.

Bu koşulların hepsini sağlamayan bir malzemedeki yıpranma olayının aşınma olarak düşünülmemesi gerekir (Gök, 2001).

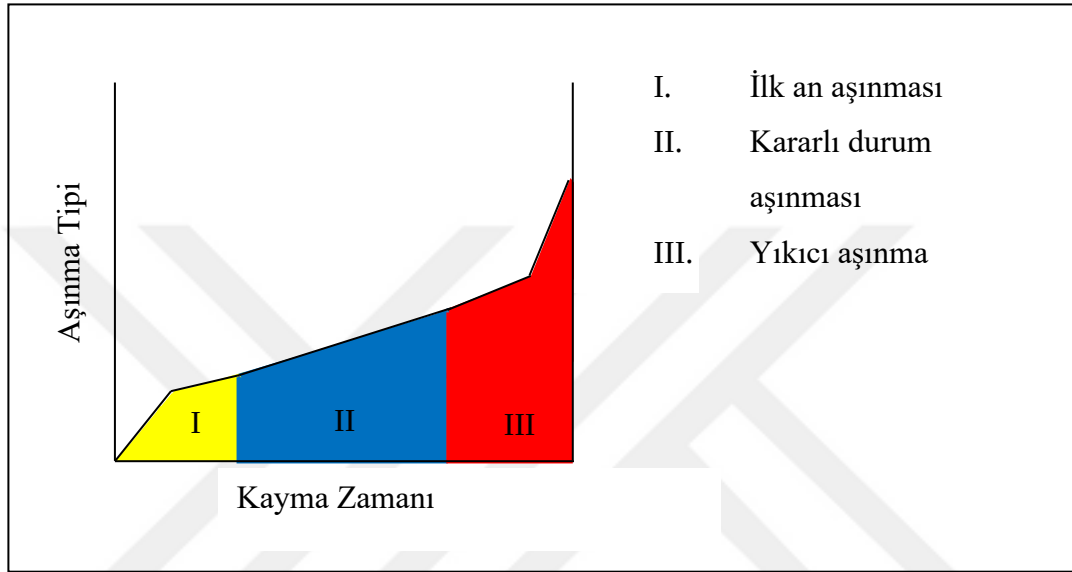
Birbirleri ile etkileşim halinde bulunan yüzeylerden, herhangi bir mekanik sebeplerle meydana gelen malzeme kaybı, geçmişten bu yana insanoğlunun mekanik problemlerinin başında gelmiştir. Dünyada var olan mekanik enerjinin, % 30 gibi bir kısmının mekanik kayıplara harcandığı varsayılırsa, sürtünme ve aşınmanın ne kadar önemli olduğu daha iyi anlaşılabilir.

Malzeme bilimciler bugünün sanayisinde, gelişen teknolojiye ayak uydurabilmek için, sert ama tokluk bakımından oldukça yüksek, aşınmanın ve sürtünmenin en az seviyelerde olacağı, yeni malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle Araştırma Geliştirme (Ar-Ge) çalışmalarına önemli bir bütçe ayırmaktadır.

Aşınma çalışan parçaların birbirleriyle temas halinde bulunan yüzeylerinde meydana gelir. Bu yüzden sanayide, her çalışma ortamında aşınma direnci yüksek olan malzeme üretmek ekonomik olarak ucuz olmamakla birlikte oldukça güçtür. Bu duruma en iyi çözüm çalışma koşullarına göre uygun malzeme üretmektedir. Aşınmayı önleme yöntemlerinden

en etkili ise; malzemenin, mikro yapısının ve sertliğinin servis şartlarıyla uyum sağlamasıdır.

Malzemelerin etkileşiminde kaymanın devam etmesiyle birlikte aşınma süreçlerinde farklı devreler meydana gelir. Şekil 2.4’ te de gösterildiği gibi bunları üç ana safhada toplamak mümkündür (Bhushan, 2000).



Şekil 2.4: Kayma zamanına bağlı olarak meydana gelen aşınma devreleri.

- I. İlk an aşınma safhası:** Bu aşınma tipi yatak ve dişli gibi makine elemanlarının kayma sistemlerinde önemli rol oynar. İlk an aşınmasında aşınma oranı nispeten yüksektir ancak malzemenin hizmet ömründe az bir zaman teşkil etmektedir.
- II. Kararlı durum aşınma safhası:** Bu aşınma devresi malzemenin hizmet ömründe önemli yer tutar. Malzeme için sürtünme kuvvetlerinin ve aşınma oranlarının ölçüldüğü devredir.
- III. Yıkıcı aşınma safhası:** Aşınma oranlarının çok yüksek olduğu ve malzemelerin yüzeylerinde sistemin çalışmasına engel olacak kadar ağır hasarların meydana geldiği safhadır.

2.1.3 Aşınmaya Etki Eden Faktörler

2.1.3.1 Malzeme Seçimi

Birbirleriyle etkileşim halinde çalışan parçaların aşınma dayanımını artırmak için çalışma ortamı ve malzemenin mekanik özellikleri iyi değerlendirilmelidir (Keskin, 2012).

2.1.3.2 Pürüzlülük

Malzemelerin aşınma dirençlerini en fazla etkileyen faktörlerden biri yüzey pürüzlülüğüdür. Gerçek yüzey alanı pürüzlerin temas ettiği bölgede olmasından dolayı, ilk temas bölgesi olan pürüzlerin adhezyon kuvvetlerinin artmasında rolü önemlidir (Keskin, 2012).

2.1.3.3 Sertlik

Malzemelerde diğer etkenler sabit kalmak koşulu ile sertliğin artırılması ile aşınma miktarı azaltılmış olur. Sertleştirme gerçekleşmemiş malzeme yüzeyinde deformasyon sertleşmesi uygulanan bölgelerde mikro bölgeler meydana gelir. Meydana gelen bu mikro bölgelerin sünekliği azalarak kopar. Aşınmaya karşı dayanımını arttırmak için ısıtma işlemi ya da alaşımlandırma işlemi uygulanarak yüzey sertleştirilmelidir (Keskin, 2012).

2.1.3.4 Yüzey İşlemleri

Malzemede aşınmaya karşı olumlu yönde katkıda bulunmak için, temas halinde çalışan iki metal arasındaki sürtünme katsayısının ve aynı zamanda tutunabilme özelliğinin azaltılması gerekmektedir (Keskin, 2012). Bunun için yüzeyde elektrokimyasal, kimyasal ya da termo-kimyasal yöntemlerle malzeme yüzeylerinde tabakalar meydana getirilmelidir.

2.1.3.5 Yağlama

Yağlama gerek ekonomik olması, gerekse kolay uygulanabilir olması için, aşınmaya karşı uygulanan en çok tercih edilen yöntemdir. Yağlama işlemi sayesinde birbirine sürtünen yüzeyler arasındaki metal-metal sürtünmesi yerine sıvı-metal sürtünmesi sağlamaktadır.

Kullanılan yağların dikkat edilecek en önemli özelliği yüksek sıcaklar dâhil yağlama özelliğini uzun süre muhafaza edebilmeli niteliğe sahip olmasıdır (Keskin, 2012).

2.1.3.6 Temas Geometrisi

Birbiri temas halinde malzemelerin temas geometrisi aşınma miktarına etki eder. Örneğin malzemede meydana gelen abrazyon aşınmasını azaltmak için aşınma artıklarını iki yüzey arasından dışarı çıkarmalarını kolaylaştırılması gerekmektedir (Keskin, 2012).

2.1.3.7 Çevre

Çevre, aşınma miktarına etki etmektedir. Atmosferde bulunan oksijen sayesinde yüzeyde koruyucu oksit tabakası meydana gelmektedir. Eğer ortamda soy gaz varsa oksit oranı soy gaz oranında azalma gösterir. Ve buda oksit tabakalarının koparılması nedeniyle malzemede metal-metal teması oluşarak, adezyon kuvveti aşınması meydana gelir.

Aşınma olayını etkileyen diğer faktör ise atmosferde bulunan bağıl nem oranıdır. Bağıl nem oranı azaldıkça, aşınma miktarını artmaktadır (Keskin, 2012).

2.1.3.8 Zaman

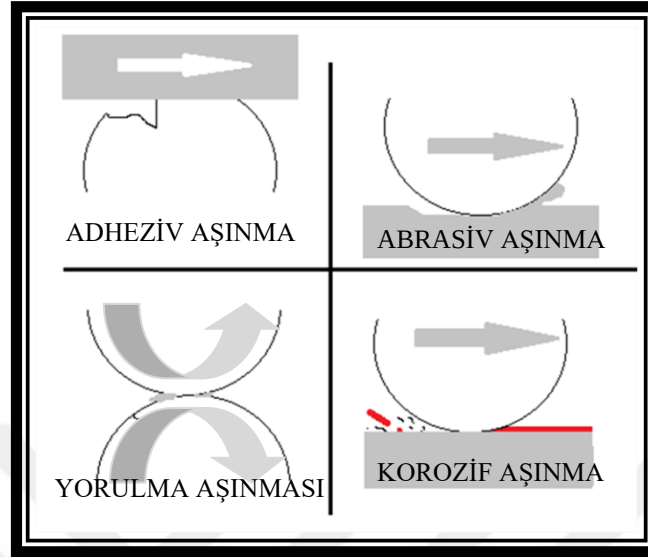
“Metal yüzeyinin yorulması ve deformasyon sertleşmesi frekansa, devir sayısına ve toplam zamana bağlıdır” (Keskin, 2012).

2.1.4 Aşınma Çeşitleri

DIN 50320 standardında ifade edildiği üzere aşınma mekanizmalarını dört ana grupta toplanabilir. Bunlar;

1. Abrasiv aşınma,
2. Adheziv aşınma,
3. Yorulma aşınması,
4. Korozyon aşınma.

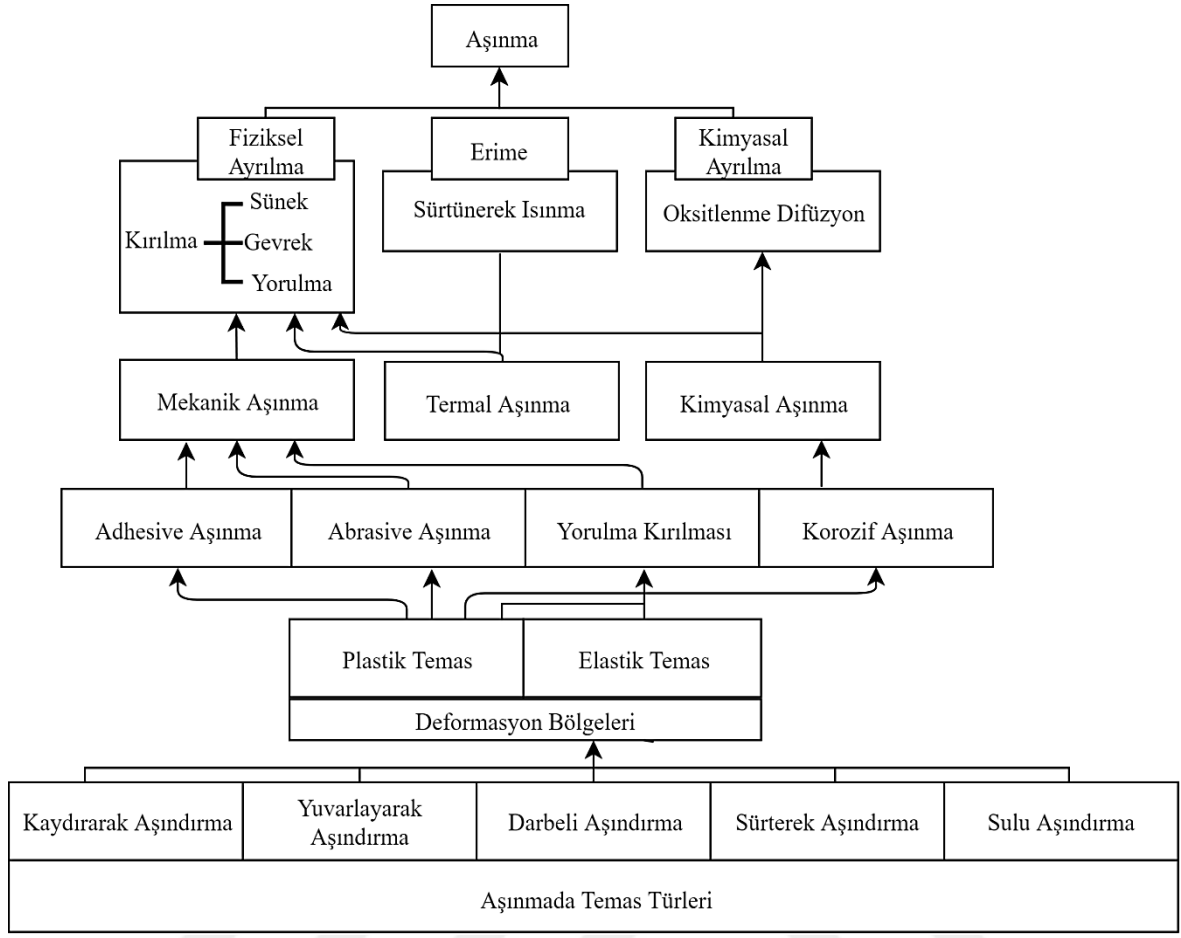
Genel anlamda kabul gören bu dört aşınma türü, Şekil 2.5’ te gösterilmekte ve bu aşınma tiplerine bağlı olan aşınma mekanizmaları, detaylı olarak açıklanmaktadır (Özel, 2004).



Şekil 2.5: Dört aşınma tipinin şematik gösterimi.

Genel manada aşınma, aşınma yüzeyinin durumu ve kayıp olan malzemenin miktarı ile değerlendirilir. Aşınma oranı, aşınma katsayıları, aşınma derecesi ve özel aşınma oranı değerleriyle tanımlanır. Aşınmanın oranı, her bir aşınmanın mesafesi ve aşınmanın yüklemesi için aşınmanın şiddeti olarak ifade edilir. Aşınmanın katsayısı da, belirli aşınma oranı ve aşınan malzemenin sertlikleri ile ifade edilir (Archard, 1953).

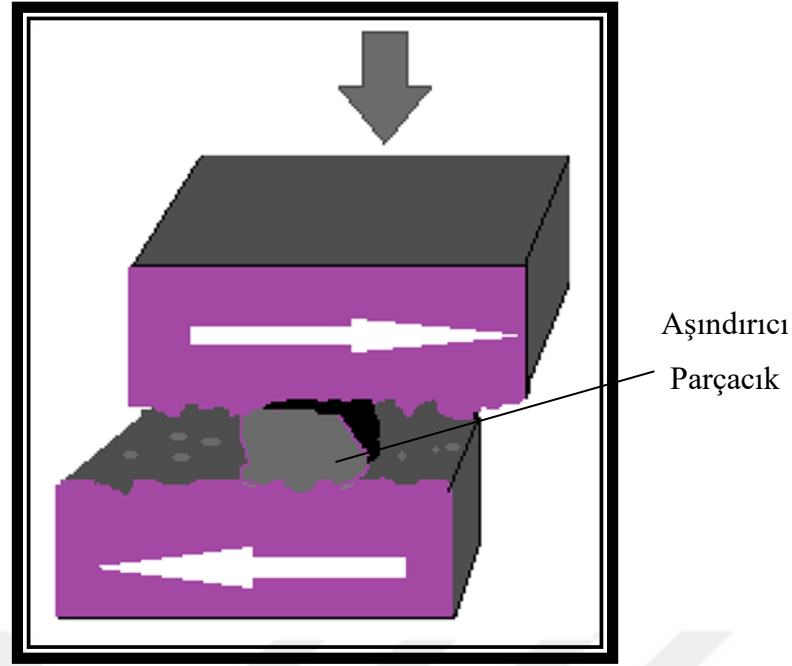
Aşınmayı açıklayan birden fazla ifade mevcuttur ve bu ifadeler birbirinden çok farklı değildir. Aşınmayı tanımlayan bu ifadelerin bu kadar çok ve birbirine yakın olmaları aşınma mekanizmasının birbiri ile karıştırılmasına neden olur. Dolayısıyla, aşınma mekanizmalarının çözümüne yaklaşımımızda anlaşılabilirliği daha iyi gerçekleştirmek için aşınmanın tanımlayıcı anahtar kelimeleri ve bunların karşılıklı özellikleri Şekil. 2.6’ da gösterilmektedir (Gür, 2006).



Şekil 2.6: Aşınmanın anahtar kelimeleri ve temas tiplerinin tanımlanmaları.

2.1.4.1 Abrasiv Aşınma

Temas halindeki iki malzemeye, uygulanan yükün ve uygulanan hareketin sebebiyle, birbirine sürtünen iki cisimden daha sert olanın cismin, pürüzleri ya da taneleri yardımıyla diğer cismi çizmesiyle mikro talaş kaldırması olayıdır (Şekil 2.7). Bu tanım katı-mineral, katı-katı, katı ve sıvı arasında meydana gelen birçok abrasiv aşınmayı kapsar.



Şekil 2.7: Abrasiv aşınma (Şafak, 2008).

Genellikle abrasiv aşınma, sürtünen cisimlerde doğrudan karşılıklı etkileşimleri neticesinde meydana geliyorsa iki cisimli abrasiv aşınma, eğer ara yüzeylerde sürtünme elemanlarını çizerek onları tahrip eden sert tanecikler bulunuyor ise üç cisimli abrasiv aşınma olarak adlandırılır.

Çoğunlukla aşınma mekanizmaları, metal/metal sürtünmelerinde aşınma başlangıç olarak iki cisimli abrasiv ya da adhesiv aşınma şeklinde oluşur ve daha sonra üç cisimli abrasif olarak devam eder. Genellikle üçüncü cisim olarak ortaya çıkan mineral taneleri, toz ve çizilme sonunda serbest hale gelen mikro talaşlar ve parçalanmış oksit parçacıkları görülebilir. Üçüncü cisim abrasif aşınma, aşınmayı hızlandırıcı bir tesire sahiptir. Bir sistem içinde yüksek hızlı parçacıkların akışı, erozyon olarak bilinen abrasif aşınmanın özel şeklini ortaya çıkarır (Demirel, 2013).

Abrasiv aşınma; sert partiküllerin veya sert şişliklerin, karşı malzemenin yüzeyinden parça kaldırarak aşınmasına sebep olması şeklinde tanımlanabilir. Tablo 2.1’ de abrasiv aşınmada etkili olan faktörler verilmiştir. Bu tablodan da anlaşılacağı üzere, hem aşındıran hem de aşındırılan malzemede, mekanik özellikler çok önem taşımaktadır. Bunun yanında aşınmada direkt etkisi olan çevre şartları da (korozyon ve oksitlenme) unutulmamalıdır.

Aşındırıcı ve aşındırılan malzemelerin özelliklerine bağlı olarak farklı tip aşınma mekanizmaları meydana gelir. Bu aşınma mekanizmaları aşağıda anlatılmıştır.

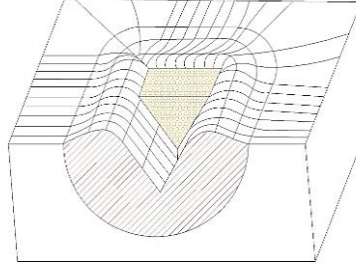
Tablo 2.1: Abrasiv aşınma davranışını etkileyen faktörler.

Abrasivin Özellikleri	Etkileşim Şartları	Aşındırılan Malzemenin Özellikleri
Partikül büyüklüğü	Kuvvet	Sertlik
Partikül şekli	Hız	Akma gerilmesi
Sertlik	Darbe	Elastik modülü
Akma gerilmesi	Kayma	Süneklik
Kırılma özellikleri	Sıcaklık	Tokluk
Konsantrasyon	Nemlilik	Mikro Yapı
		Kırılma tokluğu
		Korozyon direnci
		İşleme sertleşmesi

Khruschov ve Babichev, aşındırıcı taneler ile temas halinde olan yüzeylerde iki sürecin oluştuğunu yaptığı incelemelerde fark etmiştir (Çetin, 2005).

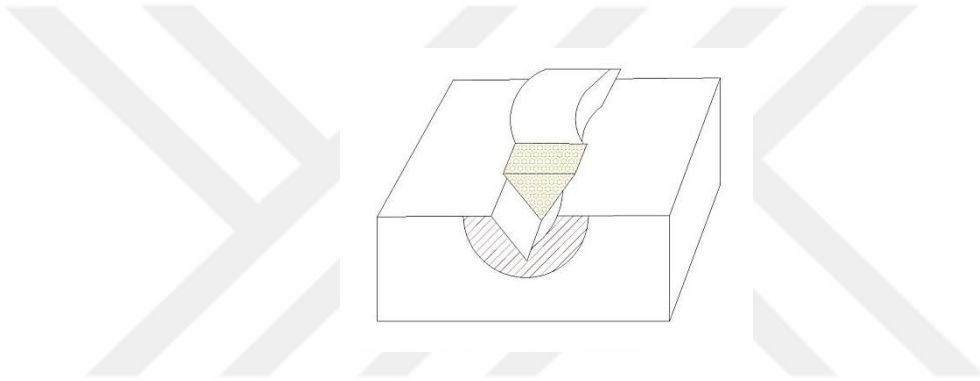
- Çiziklerin oluşmasının sebebi basıncın yardımıyla plastik şekil değiştirmelerdir (Metal kalkmadan yüzeyin plastik şekil değiştirmesi),
- Metal parçacıkların mikro talaş şeklinde ayrılması (Yüzeyden mikro talaşların ayrılması).

Sürülme aşınması, oradan geçen bir abrasiv partikülün malzemeyi aşındırması olayıdır. Bu tip aşınmada malzeme yüzeyinden direkt olarak malzeme koparılmaz. Önce bitişik sırtlar şeklindeki oluklar meydana gelir, sonra bu sırtlar ikinci bir abrasiv partikül tarafından malzeme yüzeyinden koparılır. Bu durum, Şekil 2.8’ de görülmektedir.



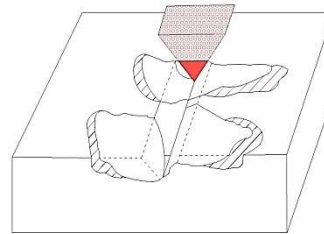
Şekil 2.8: Mikro sürülme aşınma mekanizması.

Kesilme aşınmasında, aşınan malzemeler yüzeyden aşınma atıkları veya mikro yongalar şeklinde ayrılırlar. Bu aşınma tipi alışılagelmiş talaş kaldırma işlemini anımsatır. Bu durum Şekil 2.9’ da ifade edilmiştir.



Şekil 2.9: Mikro kesilme aşınma mekanizması.

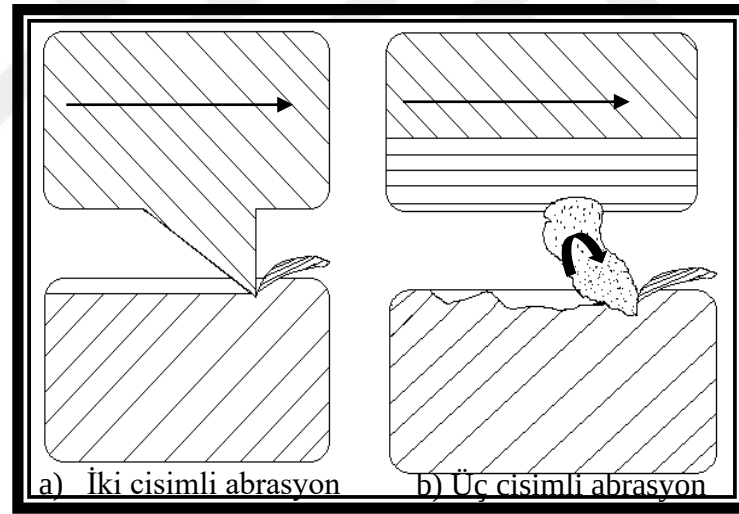
Parçalanma aşınması, bu tür aşınma malzeme yüzeyinde meydana gelen kesilme veya yüzeye saplanan abrasivin lokal kırılmalarla sebep olmasıyla meydana gelir. Bu kırıklar aşınma oluklarında serbestçe bölgesel olarak yayılırlar, malzeme kaybını artırarak dökülmelere sebep olurlar (Şekil 2.10).



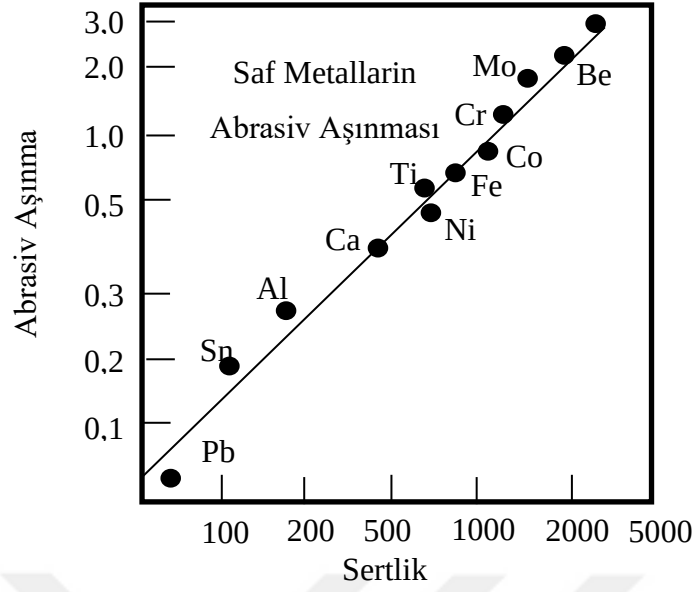
Şekil 2.10: Mikro çatlama aşınma mekanizması (Zum Gahr, 1987).

Aşınmada; sürülme ve kesme mekanizmalarında plastik deformasyon aktif rol oynarken, diğer aktif rol oynayan mekanizma kırılmadır. Bunun için malzemelerin aşınma dirençlerinde kırılma toklukları ve plastik deformasyon önemli rol oynar. Şöyle ki; yüksek kırılma tokluğu ve süneklik ile düşük akma mukavemetine sahip malzemelerde sürülme aşınması hüküm sürerken, aksine olarak yüksek akma gerilmesi, düşük süneklik ve kırılma direncine sahip malzemelerde parçalanma aşınması hüküm sürer.

İki cisimli ve üç cisimli abrasiv aşınma olarak iki çeşit abrasiv aşınma mevcuttur (Şekil 2.11). Malzemenin dış yüzeyinin üzerindeki sert tümseklerden aşınma meydana geliyorsa; buna “iki cisimli abrasiv aşınma” denir. Üç cisimli abrasiv aşınmadaysa sert abrasiv partiküller bulunur ve bu partiküller iki ayrı kayma yüzeyinin arasında yuvarlanıp aşınırlar. İki cisimli aşınmada aşınma hızları üç cisimli aşınmaya nazaran çok daha hızlıdır (Kuş, 2007). Metallerin sertlikleri, abrasiv aşınmayı önemli ölçüde etkiler. Bu etki Şekil 2.12’ de verilmiştir.



Şekil 2.11: İki cisimli ve üç cisimli abrasiv aşınma (Zum Gahr, 1987).



Şekil 2.12: Saf metallerin abrasiv aşınma özelliklerine sertliğin etkisi (Yıldız vd., 2006).

Üç cisimli abrasiv aşınma, ayrıca kendi içinde şu şekilde sınıflandırılır (Mısra, 1980). Bunlar;

- Oymalı sürtünme abrasyon aşınması,
- Yüksek gerilmeli abrasyon aşınması,
- Düşük gerilmeli abrasyon aşınması.

a) Oymalı Sürtünme Abrasyon Aşınması

İri aşındırıcı tanecikler ile yüzeyinden büyük miktarlarda talaş kaldırılarak oluşan bir aşınma türüdür (Mısra, 1982). Bu aşınma mekanizması genellikle hafriyatta kullanılan araçlarda örneğin; buldozerlerde ve kazıcı tipi kepçelerde sıklıkla görülür. Bunun neticesinde hafriyatta kullanılan araçların iç kısımları, buldozerlerin ve kazıcıların, kepçe ve yürüyen aksamaları aşınmaya maruz kalır.

b) Yüksek Gerilmeli Abrasyon Aşınması

Yüksek gerilmeli abrasyon, büyük yükler altında aşındırıcı parçalarının kırılarak küçük keskin köşeli parçacıklar oluşturup yüzeyi çizerek malzemede kayıplara neden olmasıyla oluşur. Bu tip aşınmaya örnek olarak bilyalı değirmenler gösterilebilir. En fazla metalik

cevherleri ve birçok metal olmayan minerali kırmak amacıyla kullanılan bilyalı kırıcılar, bu aşınmanın önemli bir kısmını oluşturur (Mısra, 1983).

c) Düşük Gerilmeli Abrasyon Aşınması

Aşınma yüzeyleri arasında aşındırıcı taneciklerinde kırılma olmaksızın parçayı aşındırmak suretiyle gerçekleşir (Mısra, 1983).

2.1.4.1.1 Abrasiv Aşınma İçin Genel Sınıflandırma

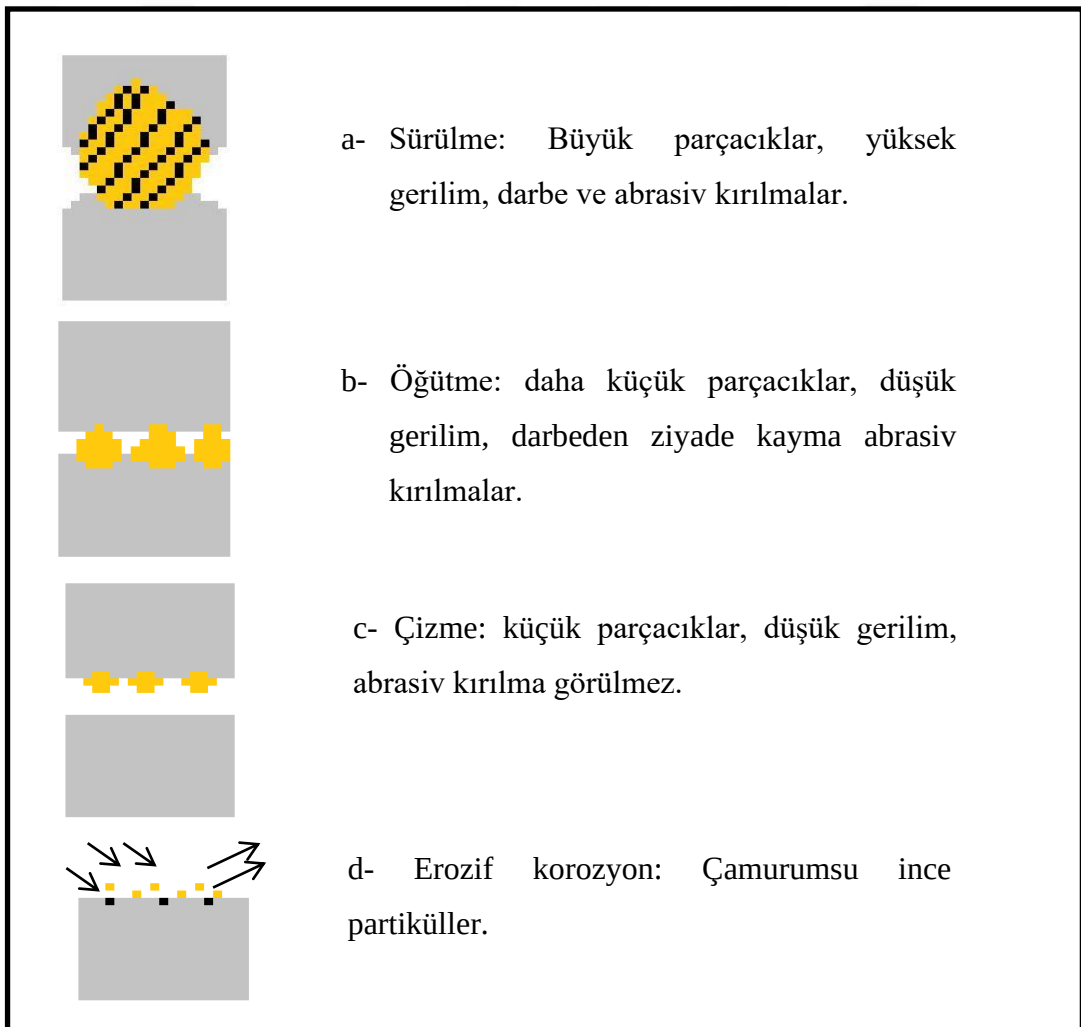
Abrasiv aşınma; kazı makineleri, madencilik sektöründe kullanılan ekipmanlar ile mineral işleme ekipmanlarında baskın olarak rol oynar. Kısaca sert partiküllerin veya sert şişliklerin, karşı malzemenin yüzeyinden parça kaldırarak aşınmasına neden olması olarak tanımlanabilecek abrasiv aşınmanın, Avery ve arkadaşları tarafından (Mutton, 1988) daha kapsamlı bir sınıflandırılması yapılmıştır. Bu sınıflandırma Şekil 2.13' te verilmiştir.

Sürülme aşınması: Bu aşınma tipinde, yüzeye batan abrasiv partiküller, yüksek gerilim altında hareket ederek yüzeyi Şekil 2.13a' daki gibi aşındırırlar. Bu tip aşınmada hem kesme hem de yırtılma aşınması görülür. Sürülme aşınmasında aşındırılan yüzeyler abrasiv kuvvetler altında plastik deformasyona uğradıkları gibi, işleme sertleşmesine de uğrarlar. Bu tip aşınmaya maruz kalacak malzemelerin iyi bir direnç gösterebilmeleri için, uygun bir ısıl işlemle sertleştirilmeleri gereklidir (Mutton, 1988).

Yüksek gerilim veya öğütme aşınması: Öğütücü mil ve toplarda olduğu gibi, abrasiv partiküllerin kuvvetin de etkisiyle yüzeyleri aşındırmasıdır. Şekil 2.13b' de gösterilmektedir. Bu aşınma çok küçük yerel bölgelerde meydana gelir. Aşındırıcı partiküllerin öğütücü mil veya toplar tarafından tutularak, yüksek basıncın etkisiyle yüzeye batması, çizmesi ya da tozlaştırmasıyla meydana gelir. Yüksek gerilim aşınması; plastik deformasyon, kesme, mikroskobik ölçüde yüzeyde kırılma şeklinde meydana gelebileceği gibi, kırılma, kopmaya da pul-pul dökülme şeklinde de meydana gelebilir. Bu tip aşınmalarda mikro yapının önemi büyüktür. Özellikle karbürlerin kırılması zor olduğu için bu tip malzemeler daha iyi abrasyon direncine sahiptir.

Düşük gerilim veya çizme aşınması: Bu tip aşınma abrasiv partiküllerin, hafif yükler altında malzeme yüzeyine batarak hareket etmesi sonucu oluşur. Aşındırılan yüzeylerde meydana gelen kesme ve sürülmeler mikroskobik seviyededir (Mutton, 1988). Şekil 2.13c’ de gösterilmektedir.

Erozif-korozyon aşınması: Sulu ya da içerisinde sıvı bulunan ortamlarda korozyon da aşınmada etkili olur. Her gün malzemelerin yüzeylerinden erozif-korozyon aşınmasıyla malzeme kaybı meydana gelmektedir. Bu tip aşınma özellikle maden sektöründe kullanılan veya kumlu ortamda çalışan pompalarda, pervanelerde, oluklu hatlarda, hidrolik ve pinomatik taşıyıcılarda sıklıkla görülür (Şekil 2.13d).



Şekil 2.13: Dört tip abrasiv aşınma mekanizmasının şematik gösterilmesi (Mutton, 1988).

2.1.4.2 Adhesiv Aşınma

Adhesiv aşınma yapışma aşınması olarak da bilinir. Adhesiv aşınma, bir metal yüzeyinin bir başka metalin yüzeyinde bağıl hareketi sırasında, birbirlerine yapışmış (kaynaklanmış) yüzeydeki pürüzlerin kırılması neticesinde meydana gelmektedir (Türküz, 2006). Diğer bir ifade ile aynı çalışan parçaların temas yüzeylerinde yerel olarak oluşan soğuk kaynakların, hareketleri neticesinde kopması ve karşı yüzeye aktarımı şeklinde ifade edilebilir (Özmen, 2004).

Sürtünme sırasında malzeme yüzeyinde oluşan kaynak bağlarının kırılması, temas yüzeyinde olursa, malzeme kaybı görülmez. Ancak kırılma temas yüzeyinden uzakta olursa ve herhangi birinin içinde olursa; kırılan parçacıklar bir yüzeyden diğerine geçerek malzeme aktarımı olur. Metallerin biri diğer metale istinaden daha yumuşak olursa kaynak bağı aracılığıyla kırılma, yumuşak malzemede meydana gelir ve malzeme iletimi yumuşak malzemeden sert malzemeye doğru olur. Ama bu iletim esnasında yüzeyde bulunan nitrür ve oksit tabakaları kopararak bu tabakalar yumuşak malzemeye gömülür ve böylece sert malzemeyi aşındırabilir (Büyükkelleci, 2008).

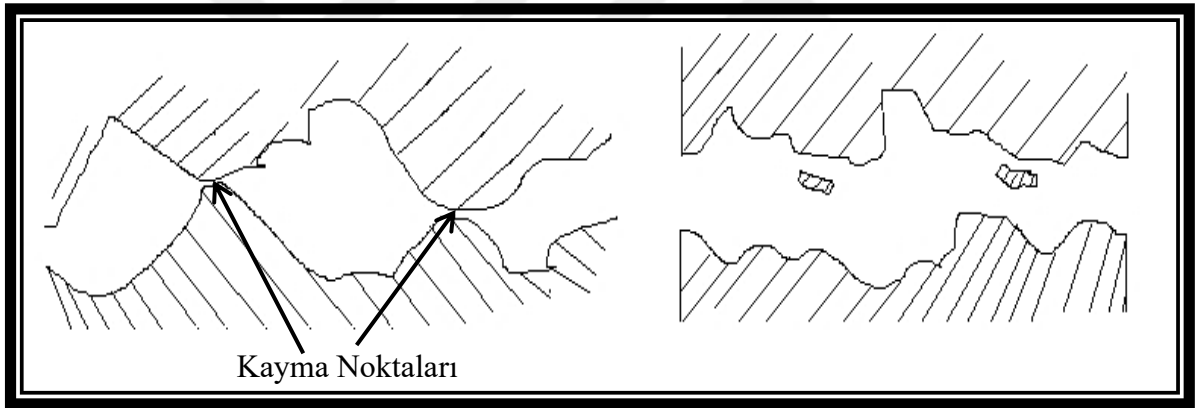
Adhesiv aşınmanın olduğu durumlarda, sökölüp takılması ve tamir edilmesi nispeten kolay olan parçaların diğerlerine göre yumuşak olması tercih sebebidir. Örneğin, ana dişliye göre, sökölüp takılabilen pinyon dişlinin yumuşak olması tercih nedeni olmalıdır (Büyükkelleci, 2008).

Makroskobik olarak yapılan incelemelerde düzgün görünen malzeme yüzeylerinin, mikroskobik olarak yapılan incelemelerinde önemli derecede yüzey pürüzlülüğü ihtiva ettiği gözlenir (İnçal, 2007). Bu bakımdan temas halinde olan iki yüzey, bu çıkıntılar aracılığıyla birbirine temas eder. Bu çıkıntıların arasındaki girintilerse temas alanının dışında kalır (Karaoğlu, 2006). Birbiri ile temas halinde olan yüzeylerdeki temas alanları çok küçük olduğundan bu temas noktalarında çok yüksek basınçlar oluşturmaktadır (Şafak, 2008). Düşük temas alanına etki eden basıncın gerçekte çok yüksek olması, metal yüzeyler arasında mikro kaynamaların oluşmasına sebep olur (Urun, 2008). Bu noktalardaki basınç yani diğer bir anlamda bu gerilme, pürüzlerin akma sınırını aştığında pürüzlerin birbirini çizmesine, plastik deformasyona, yarmasına ve sıvanıp kaynaklaşmalarına sebep olurlar (Demiral vd., 2006). Bu şekilde meydana gelen bağlar, soğuk kaynak olarak adlandırılır

(İnçal, 2007). Birbiriyle kolay bir şekilde alaşım oluşturabilen Cr, Fe ve Ni gibi sert malzemeler arasında kuvvetli kaynak bağlantısı meydana getirmektedir (Soydaş, 2006).

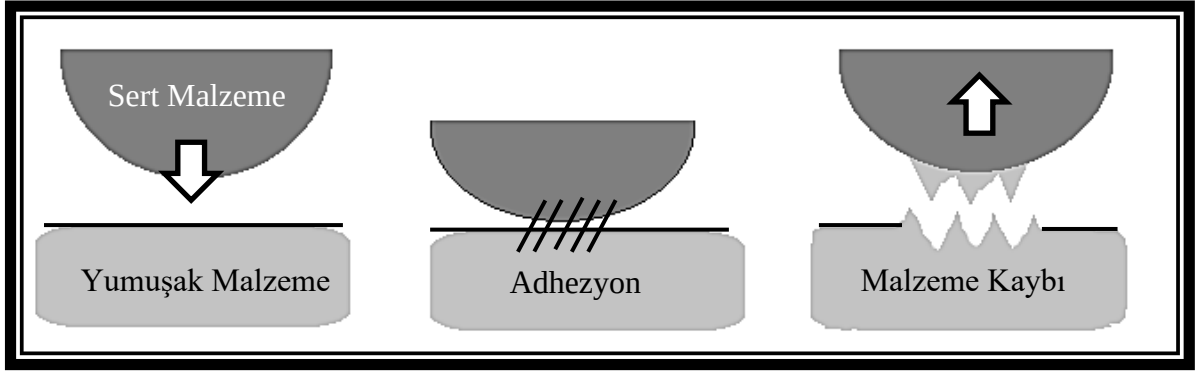
Kayma halinde yüksek basınçlara ilaveten, temas noktalarında aşırı sıcaklık artışlarının da olması, kaynak bağlarının oluşumunu kolaylaştırır. Malzeme yüzeyleri ne kadar temiz ise, oluşan bağ o kadar kuvvetli olmaktadır. Rutubet, absorbe gazlar ve yağlayıcı maddelerin varlığı bağ kuvvetini ve dolayısıyla aşınmayı azaltır (Karaoğlu, 2006).

Adhesiv aşınma en çok, benzer kristal kafes yapıda olan malzemelerde görülür. Benzer kristal kafes yapıya sahip olan bu metallerin hareketleri ve sürtünmeleri sebebiyle sıcaklığın yükselmesiyle beraber yüzeylerinde kaynak bağlarının oluşumu daha kolay gerçekleşir. Şekil 2.14' te adhesiv aşınmadaki kaynak bağının oluşumu görülmektedir (Büyükkelleci, 2008).



Şekil 2.14: Adhesiv aşınma (Şafak,2008).

Sistemdeki hareketin sürekliliği neticesinde, oluşan kaynak bağları kopar. Kopmanın, bağın olduğu kaynama noktasının haricindeki bir noktadan meydana gelmesiyle bir yüzeyden diğerine malzeme aktarımı söz konusu olur. Bu mekanizmanın birçok kereler tekrarlanması sonucunda, malzeme yüzeylerinden önemli miktarlarda malzeme kayıpları olabilmektedir. Bu türde bir mekanizma ile meydana gelen aşınma, adhesiv (yapışma) aşınması olarak adlandırılır. Bir yüzeyden diğerine malzeme aktarımı Şekil 2.15' te görülmektedir (İnçal, 2007).



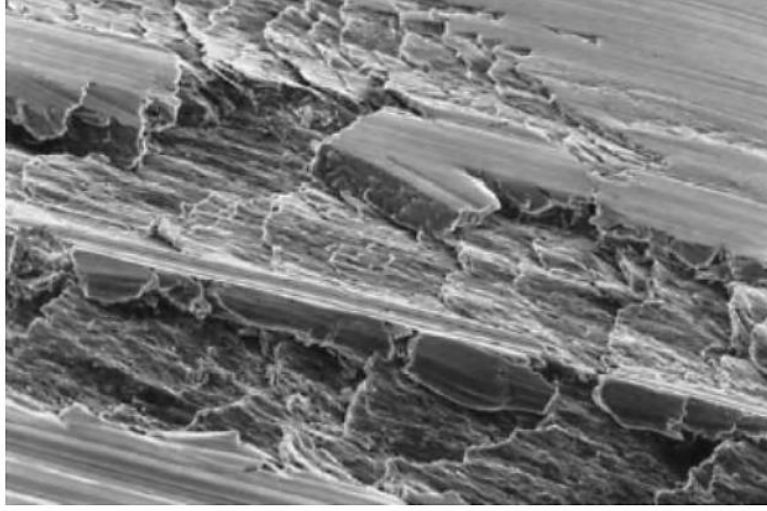
Şekil 2.15: Adezyon (yapışma) sırasındaki metal transferi (Şafak, 2008).

Adhesiv aşınma, en çok metaller arasındaki kayma sürtünmesi nedeniyle oluşur ve aşınma parçaları yumuşak olan metalden kopar (Türküz, 2006). Çeşitli metal kombinasyonlarında yapılan aşınma testleri sonucunda adhesiv aşınmanın, malzeme çiftindeki yumuşak malzemeden sert malzemeye kaynak noktasında transfer olduğunu göstermektedir. Bu transfer sonucunda yumuşak malzemeden kopan parçaların bir kısmı sert malzemeye transfer olmakta, bir kısmı ise sürtünme yüzeyleri arasında kalmakta ve yüzeyleri aşındırmaya devam etmektedir (Şafak, 2008). Yüksek sertliğe sahip malzemelerde aşınma, düşük sertliğe sahip olan malzemelerdeki aşınmaya göre daha az meydana gelir (Çetin vd., 2007). Şayet iki metal aynı sertliğe sahipse; aşınma her iki yüzeyde de meydana gelir (Kalkan, 2008).

Rabinowicz, Tabor ve Skorski' nin yaptığı çalışmalar adhesiv aşınmanın bazı genel özelliklerinin ortaya konulmasında faydalı olmuştur. Bu çalışmalar neticesinde aşınma miktarının, normal yük, aşınan yüzeyin sertliği ve kayma mesafesi ile orantılı olduğu tespit edilmiştir. Çalışmalar söz konusu parametrelerin değiştirilmesine bağlı olarak, birçok aşınma probleminin çözülebileceğini göstermektedir (Soydaş, 2006).

Adhesiv aşınma en yaygın aşınma çeşididir ve yüksek aşınma oranları ile sürtünme katsayısında kararsızlıklar doğurur. Özellikle kayan mekanizmalarda adezyon aşınması sonucu çok hızlı bir şekilde hasar meydana gelir (Şafak, 2008).

Adhesiv aşınma, Şekil 2.16' da verilen SEM görüntüsünde olduğu gibi yüzeylerde birtakım çizikler şeklinde veya tam tersine yüzeyleri parlatmış gibi görülmektedir (Şafak, 2008).



Şekil 2.16: Malzeme yüzeyindeki adezyon çizikleri (Şafak, 2008).

Adhesiv aşınmada temas halinde olan iki yüzeyden biri, başlangıç periyodundan sonra oluşan aşınma ürünleri (aşındırıcı partiküller) sebebiyle birbiriyle temas edemez hale gelir ve adezyon olayı ortadan kalkmış olur. Yeni oluşan aşınma modeli ise abrasiv aşınma olarak nitelendirilir (Ezirmik, 2008).

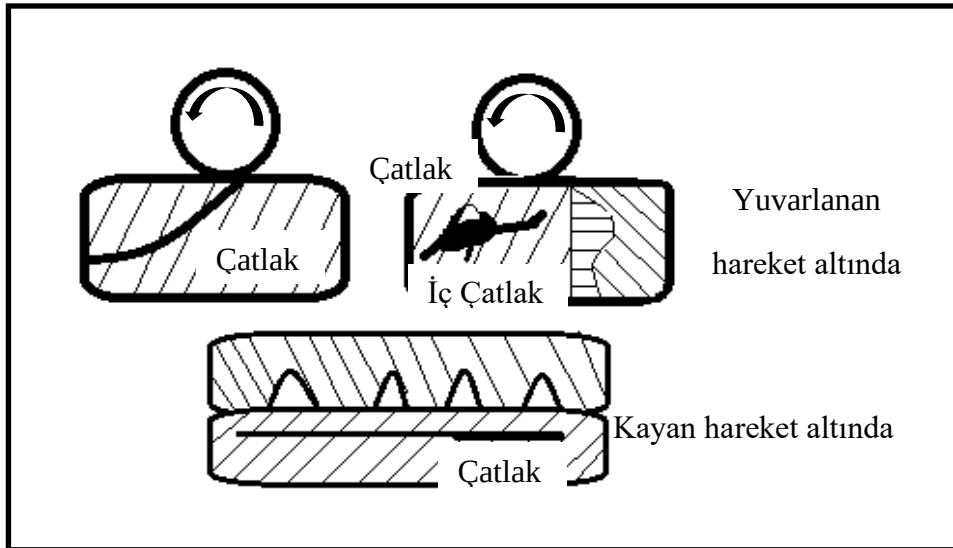
Adhesiv aşınmayı önlemek için; malzemenin diğer mühendislik özelliklerini bozmayacak şekilde mümkün olduğunca sert olması gerekmektedir. Genelde sert metaller çok zor plastik şekil değişimi gösterirler ve daha düşük sürtünme katsayısına sahiptirler. Ayrıca, adhesiv aşınma benzer ya da kolayca alaşım yapabilen malzemeler arasında oluşmaktadır. Bu sebeple, malzeme çiftlerinden birisi sert ise, diğeri yumuşak olacak şekilde seçilmelidir. Bunun yanında yüzey topografyasının iyileştirilmesi, temas yüzeyinin arttırılarak yüzey basınçlarının düşürülmesi ve yüzeyin güçlendirilmesi adhesiv aşınmayı azaltmaktadır. Adhesiv aşınmayı önlemek için alınabilecek bir diğer tedbir ise yağlamadır. Yüzeylere yapışan yağ katmanı adezyonu önemli ölçüde önlemektedir (Şafak, 2008).

2.1.4.3 Yorulma Aşınması

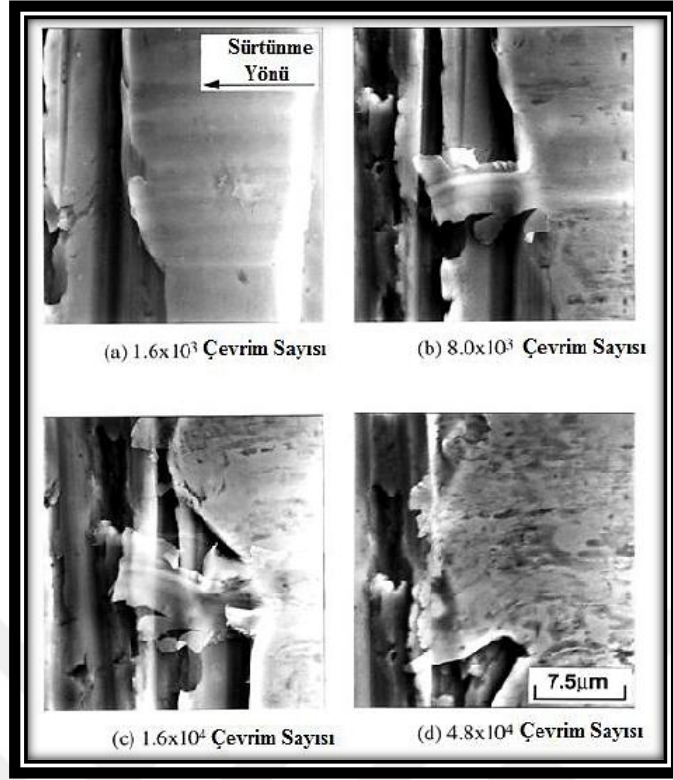
Değişken ve tekrar eden yükler altında, temas eden yüzeylerde ortaya çıkan aşınma hasarı, yorulma aşınması olarak tanımlanır. Temas halinde bulunan iki yüzey, birbiriyle sürekli yük altında periyodik olarak temas ettirildiği zaman, yüzeyler arasında yalnızca adhesiv aşınma oluşmaz, yorulma aşınması da meydana gelebilir (Bhushan, 2000). Tribolojik

yüklemeler, genelde yüzeyde, büyüklüğü, konuma ve zamana göre değişen mekanik gerilmelerden kaynaklandığından dolayı, birçok aşınma mekanizmasında yorulma aşınmasının izlerine rastlanmaktadır. Neticede, malzeme yüzeyinde çatlak meydana gelmesiyle başlayan süreç, çukur ve oyukların meydana gelmesiyle devam eder ve yüzeyden parçacıkların ayrılmasıyla hasar meydana gelir (TMMOB, 2003). Yorulma aşınması, yuvarlanma hareketi yapan parçaların yüzeylerinde oluşur ve esas olarak bir malzeme yorulması olayının sonucudur. Şekil 2.17’ de yorulma aşınmasına bağlı meydana gelen çatlağın gösterimi verilmiştir.

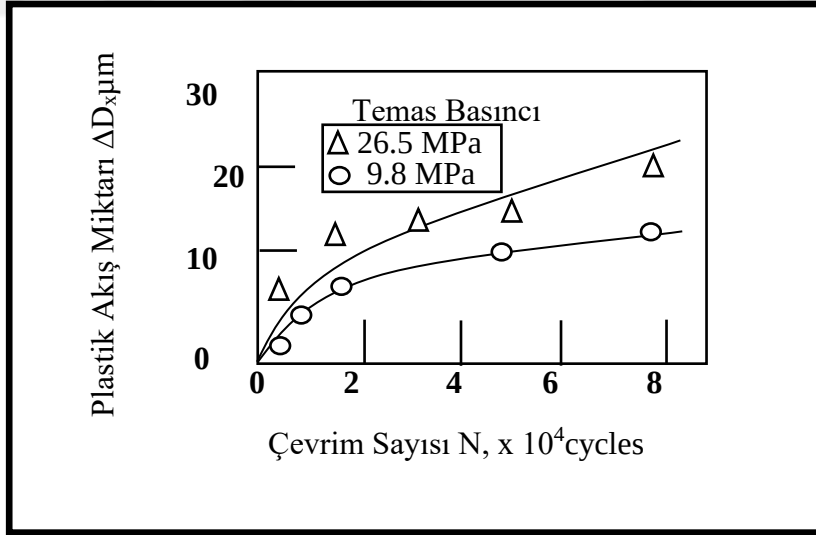
İki çeşit yorulma aşınması bulunmaktadır. Bunlar basit yorulma aşınması ve tahrip edici yorulma aşınmasıdır. Basit yorulma aşınmasında meydana gelen çukurcuklar büyümektedir ve çok küçüktürler. Bu nedenle yüzeye yayılamazlar. Tahrip edici yorulma aşınmasındaysa oluşan çukurcuklar zamanla büyürler ve doğrudan yüzeye yayılırlar. Basit tipteki yorulma aşınması, makine elemanın günlük çalışmasını genelde engellememektedir. Tahrip edici yorulma aşınması ise makine elemanını kullanılmaz hale getirir (Akkurt, 1986) ve bu aşınma türü malzemede büyük hasarlar meydana getirmektedir.



Şekil 2.17: Kayan ve yuvarlanan hareket altında meydana gelen yorulmaya bağlı çatlak (Owsalou, 2012).



Şekil 2.18: Yorulma aşınmasına maruz kalan bir çeliğin farklı çevrim sayılarında yüzeylerinde meydana gelen hasarlar (Akagaki vd.,1988)



Şekil 2.19: Çelik/Çelik sınır yağlamasında yorulma aşınması çevrim sayısına bağlı plastik akış miktarındaki değişim.

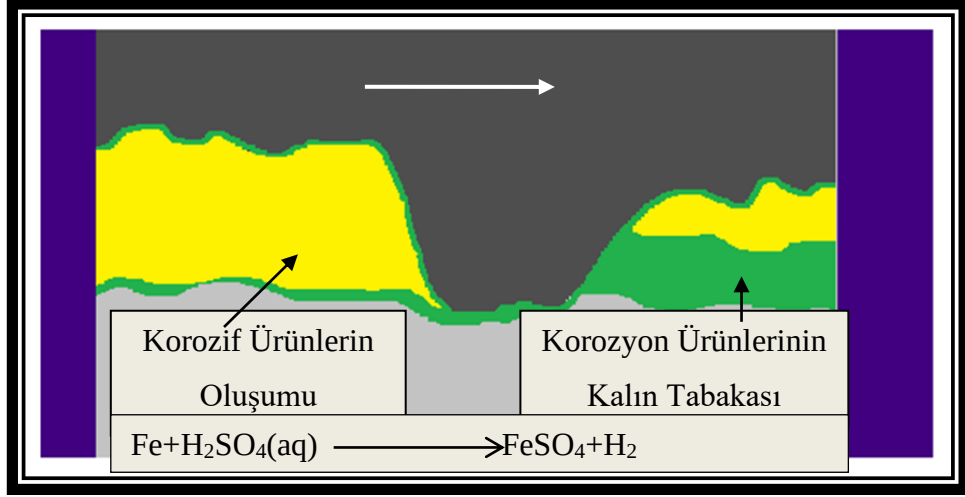
Şekil 2.18' de yorulma aşınmasına maruz kalan bir çeliğin farklı çevrim sayılarında yüzeylerinde meydana gelen hasarlar ve 2.19' da yorulma aşınması çevrim sayısına bağlı olarak plastik akış miktarının değişimi gösterilmiştir (Akagaki vd., 1988). Çevrim sayısının

artması plastik şekil değişimini artırmakta ve malzemede ciddi hasarlar meydana getirmektedir.

2.1.4.4 Korozyon Aşınması

Korozif bir ortam oluştuğunda parçaları meydana getiren metal ve alaşımlar bileşik oluşturmak amacıyla çevreyle kimyasal ya da elektrokimyasal reaksiyona girerler ve türlü bileşikler meydana getirerek metalin içyapısında bir zayıflamaya sebep olurlar. Meydana gelen bu bileşiklerin ana metalle bağlantıları zayıf hale gelir ve böylece bileşikler ana metalden koparlar (Karadeniz, 2005). Korozyon aşınması, genel anlamda metallerde hem korozyonun hem de aşınmanın beraber oluşması şeklinde tanımlanabilir. Korozyonlu aşınmada oluşan malzeme kayıpları, bu mekanizmaların ayrı ayrı oluşması halinde ortaya çıkan malzeme kayıplarının toplamından daha fazla olur. Korozyon aşınmasında, aşınma olayı iki aşamada gerçekleşir:

1. Temas halinde olan, sürtünen yüzeyler ortamla reaksiyona girerler ve reaksiyon ürünleri yüzeyde bir katman meydana getirir,
2. Ardından temas noktasında çatlak oluşumu ve/veya abrasiv etkilerden dolayı reaksiyon katmanı hasar görür. Bu aşınma tipinde olumsuz çevre koşulları çok büyük önem taşımaktadır. Ayrıca korozyon aşınmasının neticesinde meydana gelen korozyon ürünleri, korozyon sebebiyle aşınma hızını arttıran bir etkidir. Korozyon genel olarak mekanik aşınmaya neden olur ama mekanik aşınma her zaman korozyon mekanizmasını etkilememektedir (Şekil 2.20). Korozyon aşınmasında 3 cisimli abrasiv aşınmadan kaynaklı aşınma oranı artar ve kayan, sürtünen yüzeylerin arasındaki sert oksit katmanlarıda aşındırılmış olur (Owsalau, 2012).



Şekil 2.20: Şematik korozif aşınma gösterimi.

Ortam ve sıcaklığa bağlı olarak korozif aşınma sekiz farklı şekilde oluşabilir (Kobrick, 2010). Bunlar aşağıdaki gibidir;

1. Oksitlenme,
2. Karbürlenme ve metal tozlaşması,
3. Nitrülenme,
4. Halojen korozyonu,
5. Sülfürlenme,
6. Kül (tuz) çökeleği korozyonu,
7. Erimiş tuz korozyonu,
8. Sıvı metal korozyonu.

2.1.5 Aşınma Mukavemetini Artırma İşlemleri

Malzemenin kimyasal içerikleri ve temas yüzeylerinin setliği aşınmayı etkileyen önemli parametrelerin başında gelmektedir. Malzemelerde aşınmayı azaltabilmek için malzeme kompozisyonunun birbirine bağlanmayı engellemesi ve korozyona karşı mümkün olduğu kadar dayanıklı olması gerekmektedir. Malzeme yüzeyinin pürüzlü olması ya da termokimyasal ve kimyasal işlemleri maruz kalması aşınmayı hızlandırır. Bu durum istenmediği için aşınma olayını azaltmak amacıyla bazı önlemler alınması gerekmektedir (Sarıkaya, 2007).

2.1.5.1 Pürüzlülük

Aşınma direncinin artırılması ile malzemenin sertliği doğru orantılıdır. Deformasyon sertleştirilmesi yardımıyla sertleştirilmiş malzemenin yüzeyinde mikro bölgeler oluşur. Oluşan bu bölgelerde kopabilir. Malzemenin sertliği genellikle abrasif aşınma direncine bağlıdır (Sarıkaya, 2007).

2.1.5.2 Sertlik

Malzemenin sertliğini artırdığımızda genellikle malzemenin aşınma direncini de artırmış oluruz. Sertleşen malzeme yüzeyinde deformasyon sertleşmesinin etkisiyle mikro bölgeler meydana gelmiş olur. Meydana gelen bu mikro bölgelerin kopması da mümkün olabilir. Abrasiv aşınma direnci genellikle malzemenin sertliği ile doğru orantılıdır. Malzemelerin aşınma dayanımlarını arttırmak amacıyla, ısıtma işlemi ya da alaşımlandırma ile malzeme yüzeyi sertleştirilebilir ve bu yöntemler ile malzemenin aşınma dayanımında artış meydana gelir (Sarıkaya, 2007).

2.1.5.3 Tane Boyutu

Tane boyutuyla malzeme dayanımı doğrudan bağıntılıdır. Tane boyutu ne kadar küçük olursa malzeme de o kadar tok ve mukavemetli olur. Malzemenin kristal yapısı da aşınmayı etkileyen faktörlerden biridir. Sıkı paket kristal yapıya sahip malzemelerin aşınma direnci oldukça yüksektir. Kobalt bu yapıya örnektir. Oda sıcaklığında sıkı paket yapıdaki kobaltın aşınma direnci yüksektir. Ancak kobaltı ısıtıp, kristal yapısını kübik yüzey merkezli yapıya dönüştürdüğümüzde aşınma direncini azaltmış oluruz (Sarıkaya, 2007).

2.1.5.4 Malzeme Boyutu

Geometrik olarak şekli daire olan malzemelerde aşınmanın daha az olduğu ve malzemenin şeklini koruduğu gözlenmiştir (Sarıkaya, 2007).

2.1.5.5 Yüzey İşlemleri

Malzemelerin yüzey yapısı aşınma direncini etkilemektedir. Yüzeyde kimyasal, termo kimyasal ya da elektro-kimyasal yöntemler sonucu meydana gelen tabakalar ile birlikte çalışılan parçalar arasındaki sürtünme azaltılırsa aşınma direnci de artar (Sarıkaya, 2007).

2.1.5.6 Ortamın Etkisi

Ortamın etkisi de aşınma miktarını etkilemektedir. Özellikle atmosferde çalışan sistemlerde çevre şartları büyük bir etkidir (Sarıkaya, 2007).

2.1.5.7 Sıcaklık

Sürtünen yüzeylerin meydana getirdiği sıcaklığın artmasıyla yüzey sertliği azalmış olur ve buna bağlı olarak oksidasyon gerçekleşir bu gerçekleşen oksidasyon da plastik deformasyonun kolaylaşmasına sebep olur. Yapılan araştırmalar neticesinde sıcaklığın, belli bir sıcaklık değerine kadar aşınma direncini etkilemediği ama kritik bir sıcaklık değerinin üzerine çıkıldıkça aşınmanın arttığı görülmüştür. Özellikle sürtünmenin istenmediği kaymalı çalışma yatak ve kızaklarda yatağın ısınması sorun oluşturur ve sıcaklığın azaltılması için ısı transfer görevini de üstlenen yağlayıcı maddelerin kullanılması gerekmektedir (Sarıkaya, 2007).

2.1.5.8 Atmosfer

Malzeme yüzeyinde oksit tabakasının oluşma nedeni atmosferde bulunan oksijendir. Ortamda soy gaz kullanıldıkça oksit oranı azalır, ancak buna bağlı olarak da bölgede adhezyon aşınması gözlenir(Sarıkaya, 2007).

2.1.5.9 Nem

Atmosferdeki nem oranının yükselmesi, sürtünme katsayısının azalmasına ve buna bağlı olarak da aşınma miktarının azalmasına sebep olur (Sarıkaya, 2007).

2.1.5.10 Malzeme Seçimi

Aynı malzemelerin birbirleriyle kaynaklanabilme kabiliyetleri, farklı malzemelerin birbiriyle kaynaklanabilme kabiliyetinden daha iyidir. Bu nedenle birbirleriyle temas halinde çalışan parçaların, malzemelerinin farklı türde seçilmesi adhezyon aşınmasına karşı direnci artırır (Sarıkaya, 2007).

2.1.5.11 Yağlama

Aşınmaya karşı en etkili, basit ve maliyet açısından en ekonomik yöntemlerden biride yağlamadır. Aşınmayı önlemek için kullanılan yağların kayma mukavemetleri düşük olmalı, kullanıldığı yerde korozyon etki yaratmamalı, bu yağlar malzeme yüzeyinde oksit tabakasına sebebiyet vermemeli, kendi özelliklerini muhafaza edebilmeli ve sıcaklıktan etkilenmeden görevini devam ettirebilir özellikte olmalıdır. Yataklarda da olduğu gibi hareket hızının fazla olduğu yerlerdeki yükü, yüzeyler arasında meydana gelen yağ filmi taşımaktadır ve bu da çalışan sistemlerin kullanım ömürlerini doğrudan etkilemektedir (Sarıkaya, 2007).

2.1.5.12 İşletme Koşulları

Kayma yolu, yük ve hız gibi özellikler işletme koşulları olarak incelenebilir (Sarıkaya, 2007).

2.1.5.12.1 Hız, Kayma Yolu

Şiddetli aşınma durumunda kayma hızının artması aşınma miktarını azaltır. Çünkü sürtünen alanın azalmasıyla, ısıdan dolayı sürtünme katsayısını azaltır. Tek yönlü kayma ve sabit hızdaki aşınmanın, iki yönlü ve değişken hızdaki aşınmaya göre daha az aşındığı gözlenmiştir (Sarıkaya, 2007).

2.1.5.12.2 Yük

Malzemeye uygulanan kuvvetin arttıkça, aşınma yüzeyinin etkileneceği yükün büyüklüğü, birim yüzeye uygulanan kuvvet ve sürtünme kuvveti de artar. Böylece aşınma artar. Eğer

aşınma miktarı iki kat artarsa yük kritik yük olarak adlandırılır. Soğuk deformasyon ile aşınma yüzeyinin sertliğinin belli bir oranda arttığı değere, kritik yükleme değeri denir. Yüzeydeki oksit tabakasının aşınma sebebi kayma olayıdır. Bu durumda aşınan bu oksit tabakasından sonra tabaka sürekli olarak kendini yenilemeye çalışacaktır ve dolayısıyla aşınma olayı artarak gerçekleşmeye devam edecektir (Sarıkaya, 2007).

2.1.5.12.3 Zaman

Malzeme yüzeyinin yorulması devir sayısı ile ilişkilidir ve malzeme yüzeyinin aşınması da devir sayısı, zaman ve frekansa bağlıdır (Sarıkaya, 2007).

2.1.6 Aşınma Deneyleri Ve Ölçüm Yöntemleri

2.1.6.1 Ağırlık Farkı Metodu

Bu metotta en sık kullanılan ölçüm metodu; tartı metodudur. Aşındırılan malzeme tartılarak tek bir sayı şeklinde aşınma miktarı bulunur. Tartma işlemi bir kimyasal terazide gerçekleştirilir. Bu yöntemde malzemenin devamlı temiz olmasına ve üzerinde tortu kalmamasına dikkat edilmelidir (Karaoğlu, 2006). Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-3} ya da 10^{-4} gram hassasiyetinde oldukça duyarlı bir teraziyle yapılır (Karaoğlu, 2006). Bu metodun dezavantajı; deney numunelerinin her bir ölçümü için numunenin çıkartılıp ölçüm yapılması gerekir yani numune yerindeyken üzerinden ölçü alınmamasıdır (Soydaş, 2006).

Ağırlık farkı metoduna göre, ağırlık kaybı miktarı; aşınma miktarı gr ya da mg olarak ifade edildiğinde, m ya da dak m olarak tespit edilen birim sürtünme yoluna karşılık olarak (g/km) ya da (mg/m) cinsinden, birim alan için hesap edilecekse, (g/cm^2) cinsinden ifade edilir. Hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde ise malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine düşen yük hesaba katılarak, birim yükleme ve birim yol ağırlığına karşılık gelen hacim kaybı vasıtası ile ağırlık kaybı hesaplanır. Ağırlık farkı metodunda en sık kullanılan denklem şu şekildedir.

$$W_a = G / (d \cdot M \cdot S) \text{ (mm}^3 / \text{Nm)}, \text{ (Ulutan, 2007)}$$

Denklem 1

- W_a : Aşınma oranı ($\text{mm}^3 / \text{N.m}$),

- ΔG : Ağırlık kaybı (mg),
- M: Yükleme ağırlığı (N),
- S: Aşınma yolu (m),
- d: Cismin yoğunluğu (gr/cm^3),

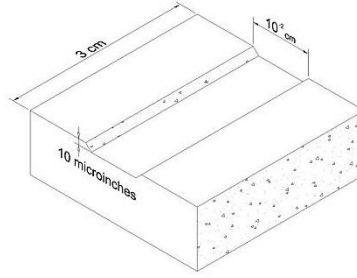
olarak verilmiştir. Aşınma oranının (W_a) tersi aşınma direnci (W_r) olarak gösterilir.

$$W_r = 1 / W_a (\text{Nm}/\text{mm}^{-3})$$

Denklem 2

2.1.6.2 Kalınlık Farkı Metodu

Aşınma esnasında meydana gelecek boyut değişimlerinin ölçülmesi ve başlangıç değeriyle karşılaştırılması amacıyla aşınma miktarı ölçülmektedir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değer baz alınarak hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık hassas ölçü aletleri kullanılarak $\pm 1 \mu\text{m}$ duyarlılıkta ölçülmelidir (Urun, 2008). Kalınlık farkı esasına dayanan ölçümler, çoğu zaman aşınmanın hangi elemanda, ne oranda, düz mü yoksa eğik mi olduğu hakkında tam bir bilgi veremez ve bu nedenle daha çok hacim olarak meydana gelen değişimler dikkate alınır (Karaoğlu, 2006).



Şekil 2.21: Aşınmayı ölçmek için profilometre yöntemi (Oğuz, 1993).

Genelde mekanik ölçüm büyük ebatlı kayar komponentlere (örneğin otomobil motoru silindirlerine) uygulanmaktadır ve elde edilen en az aşınma miktarı çok daha büyük olur (Oğuz, 1993).

Aşınmayı ölçmenin diğer bir yöntemi ise özellikle aşınmanın dar bir şerit gibi olması halinde bir profil metreyle şeridin bir profilini çıkarmak ve kazınmış malzeme miktarını

tahmin etmekten ibarettir (Oğuz, 1993). Örneğin 3 cm uzunluk, cm genişlik ve 10^{-2} mikro inç (0,254 mm) derinlikte bir şeritte gramlık bir ağırlık kaybı saptanabilir (Oğuz, 1993).

2.1.6.3 İz Değişimi Metodu

Bu metotta sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metoduyla geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney süresince bu izin karakteristik bir boyutunun (örneğin çapının) değişimi takip edilir. Bu metotta iz bırakması için çoğunlukla Brinell veya Vickers sertlik ölçme uçları kullanılır. Bu uçların (bilya veya elmas piramit) bıraktığı izlerin boyutlarında meydana gelen değişim mikroskop vasıtasıyla ölçülerek değerlendirilir (Soydaş, 2006).

$$h = h_{bef} - h_{aft} = (d_{bef} - d_{aft}) \times \tan \theta / 2$$

Denklem 3

- h: Aşınma derinliği,
- h_{bef}: İzin aşınma öncesi derinliği,
- h_{aft}: İzin aşınma sonrası derinliği,
- d_{bef}: İzin aşınma öncesi genişliği,
- d_{aft}: İzin aşınma sonrası genişliği,
- θ : İzin yatayla yaptığı meyil açısı.

2.1.6.4 Radyoizotop Metodu

Bu metot sürtünme yüzey bölgesinin nötron, proton ya da yüklü α - parçacıklarıyla bombardımana tutularak radyo aktif hale getirilmesi esasına dayanır (Kosel vd., 1978). Bu yöntemde aşınmanın büyük hassasiyetle ölçülebilir ve sistem içinde çalışma şartlarını da değiştirmeden ölçü alınabilir. Bu yönler, bu yöntemi avantajlı hale getirmektedir. Ama ekonomik açıdan pahalı olması nedeniyle, sadece özel amaçlarla kullanılır. Özel durumların çözüm yolu dışında sıklıkla kullanılan bir yöntem değildir.

2.1.6.5 Akustik Emisyon Tekniği İle Aşınmanın Ölçülmesi

Bu teknikte, malzemedeki şekil değıştirme enerjisinin hızla serbest kalması sonucu oluşan transient elastik gerilmesi olarak adlandırılır. Uygun bir sensör yardımıyla yüzeyde, radyasyon gerilim dalgaları tespit edilir.

2.1.6.6 Online İzleme Yöntemi

Yöntem şu şekildedir. Lazer diyot tarafından ışık üretilir. Üretilen bu ışık, iş parçasının üzerine, fiber optik kablo yardımıyla gönderilir. İş parçasının üzerinden yansıyan ışın başka bir optik fiber kablo sayesinde alınarak foto diyet üzerine düşürölür. Bunun sonucunda foto diyet çıkışından alınan voltaj değeri analog/dijital dönüştürücü yardımıyla bilgisayar da depolanır. Uygulamanın esası fiber optik uçların iş parçası ile aralarındaki mesafeyi koruması ve iş parçası boyunca kesme işlemini takip etmesine dayanır.

BÖLÜM 3

KESİCİ TAKIMLAR

Kesici takımlar, kuru işleme, yüksek hızlı veya yüksek performanslı işleme gibi modern talaşlı imalat tekniklerinde büyük gerilimlere, ağır çalışma şartlarına maruz kalmaktadır. Yeni yöntemlerin gelişmesi, yeni şartlara uyumlu takımları gerektirmektedir. Kullanıma uygun bir kesici takımın sertliği yüksek olmalı, tokluğu iyi olmalı ve bunlarla birlikte kimyasal kararlılığa da sahip olmalıdır. Özellikle sertlik ve tokluk birbirine zıt niteliklerdir ve ikisini aynı anda sağlayan bir kesici takım yoktur (Byrne, 2003). Bu durum, tokluğu iyi altlık yüzeylerinin istenilen sertlik değerlerine sahip malzemelerle kaplanarak yeni koşullara uyumlu takımların geliştirilmesi çalışmalarını başlatmıştır. Şekil 3.1 kesici takımlara örnektir.



Şekil 3.1: Kesici takımlar (URL-1, 2010)

3.1 Kesici Takımların Tarihsel Gelişimi

19. yüzyılın başlarında çeliklere uygulanan çeşitli işlemler sonucunda takım çelikleri üretilmiştir. Ulaşılan bu noktada yüksek karbonlu çelikler ve alaşımlı çelikler zamanının en ideal takım malzemeleri haline gelmişlerdir. Ancak bu malzemeler, dakikada birkaç metrelik kesme hızlarında oluşan ısıda bile sertliklerini yitirmişlerdir. Bu nedenle bu ilk

takımların ömrü çok az olmuş, takımlar ısıt işlemlerin ve metalürji biliminin henüz gelişmemiş olması nedeniyle işlem esnasında niteliklerini koruyamamışlardır.

Geliştirmiş ilk takım malzemesi hız çeliğine benzeyen Mushet çeliğidir ve bu çelik tesadüf eseri bulunmuştur. Mangan ile yapılan deneylerle çeliğin havada sertleştirilebildiği, bunun neticesinde de ortaya çıkan alaşımlı çeliğin karbon çeliğine göre çok daha iyi bir işleme kapasitesinin olduğu görülmüştür. Geliştirilen bu malzeme karbon çeliğine göre daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilmiş ve çok sayıda iş parçasını yüksek hızlarda (yaklaşık 10 m/dak) işleyebilir hale gelmiştir. 19. yüzyılın başlarında yaşanan en büyük gelişme ise Fredrick Taylor tarafından hız çeliğinin bulunması olmuştur. Bu yeni takım ile 40 m/dak kesme hızı, 1,6 mm/dak ilerleme hızı ve 4,8 mm talaş derinliği gibi işlem değerlerine çıkılabilmektedir.

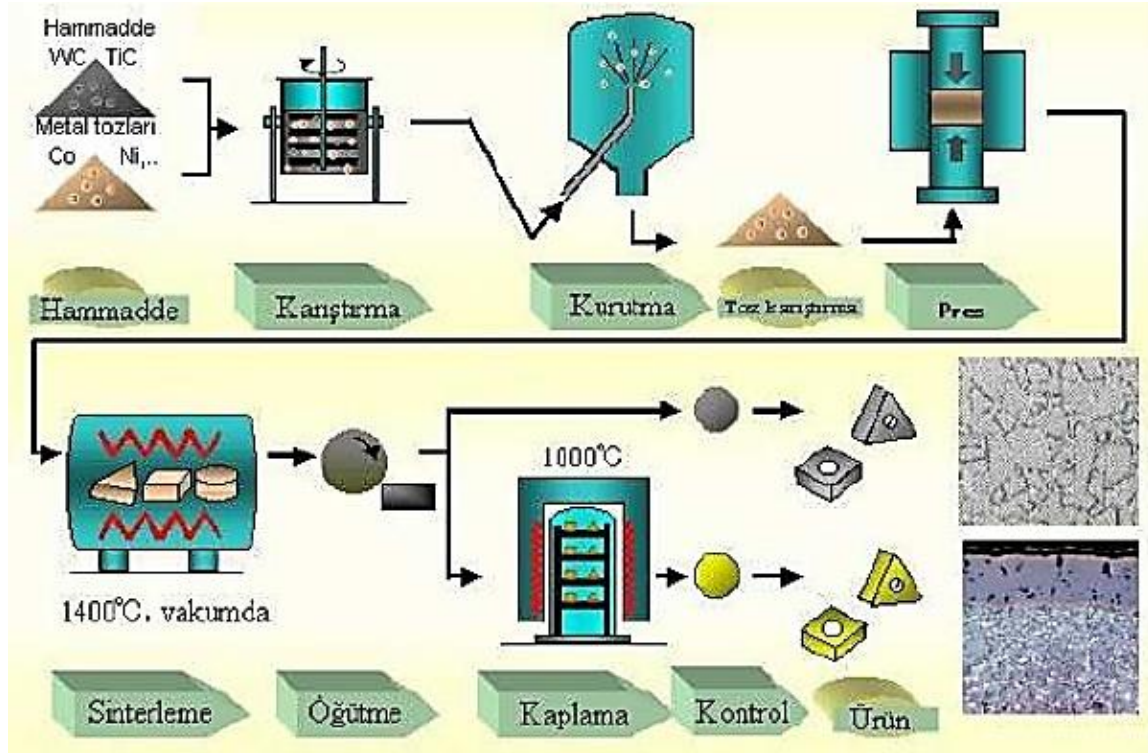
Hız çeliklerinin talaşlı imalata büyük katkıları olmuştur. Bilenmesi son derece uygun bir takım olması özellikle torna tezgâhlarındaki işlemlerde yüksek hız çeliği takımların en fazla kullanılan takım olmasını sağlamıştır. Taylor'un bulmuş olduğu takım ömrü bağıntısı, günümüzde hala geçerlidir.

Elde edilen bu gelişmeler sayesinde 19. yüzyılın sonlarında, yüksek karbonlu çeliklerle 100 dakika süren bir tornalama işlemi, 20. yüzyılın başlarında yüksek hız çeliği takımlarla 26 dakikada, dokum alaşımlı takımlarla ise sadece 15 dakikada yapılabilir hale gelmiştir.

Hız çeliklerinin bileşimine kobalt ilavesiyle 1930' lu yıllardan hemen önce süper yüksek hız çeliği takımlar bulunmuş ve 70 m/dakikalık kesme hızlarına ulaşılmıştır. Süper yüksek hız çelikleri takip eden dönemde, alüminyum ve magnezyum gibi geniş kullanım alanına sahip malzemelerin işlenmesinde tercih edilen takımlar olmuşlardır.

Takım malzemesi olarak 1930' larda, tungsten karbür ya da sert metal olarak da bilinen sinterlenmiş karbürler kullanılmaya başlanmıştır. Bu, yüzyıl için talaşlı imalat açısından yeni bir dönüm noktasıdır. Sinter karbürler, bağlayıcı metal içerisinde % 90 karbür parçacıkları bulunduran tozun sinterlenmesiyle elde edilirler (Şekil 3.2). Geçmiş biraz daha eskiye dayanan sinter karbürler ilk olarak 1920' lerde Almanya'da ortaya çıkmıştır.

1927' deki Leipzig Fuarı'nda tanıtılmış olup, yüksek hız çeliklerinin onlarca katı kesme hızı değerlerine ulaşmış ve bu nedenle 1930'larda birçok ülkede en gözde takım malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. YHC takımlarla 26 dakikada, döküm alaşımlı takımlarla 15 dakikada yapılan işlemler sinterlenmiş karbür takımlarla sadece 6 dakikada tamamlanır olmuştur.



Şekil 3.2: Sinter karbürlerin imalat aşamaları.

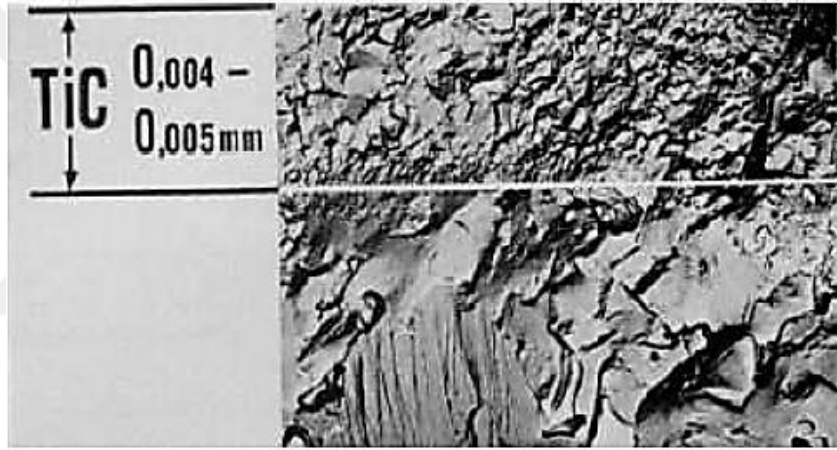
Seramik kesici takımlar üzerine deneysel çalışmalara 1930' larda başlanmış, ancak kesici uç olarak kullanılmaları 1950'leri bulmuştur. Günümüzde bile sınırlı kullanım alanlarına sahip kübik bor nitrür (CBN) ve çok kristalli elmas (PCD) gibi çok sert takım malzemeleri ise ancak 1970' lerde elde edilebilmişlerdir. Başlangıçta değiştirilebilir kesici uçların kullanıldıktan sonra atılıyor olmaları israf olarak görülmüş, kabul edilmeleri ve yaygın kullanımları ise İkinci Dünya Savaşı sonrasında seri üretimin gelişimi ile gerçekleşmiştir.

Gelişen seri imalat sadece takım malzemelerinin değil takımların geometrilerinde ve takım tutucularda da iyileştirmeleri zorunlu kılmıştır. Kesici kenarın güçlendirilmesi amacıyla 1960' larda kenar yuvarlatma (ER) işlemi yapılmaya başlanmıştır. 1970' lerden sonra bilgisayar kontrollü tezgâhların kullanımı yaygınlık kazanmaya başlamıştır. Özellikle

otomotiv, uçak ve benzeri sanayilerde çubuk malzemeden çeşitli elemanların seri üretimi gerçekleştirilmiş ve bu tip üretim için uygun kesici takımlar geliştirilmiştir.

Değişik firmalarca üretilen aynı özelliklere sahip değiştirilebilir kesici uçların seçiminde kolaylık sağlamak için yedi basamaklı kodlama sisteminden oluşan bir ISO standardı oluşturulmuştur.

1970' lerin başında kaplama işleminin gerçekleştirilmesiyle kesici takımlar açısından atılmış dev bir adım olmuştur. Yapılan ilk kaplama işlemi, sinterlenmiş karbür takım üzerine çok ince bir katman halinde saf titanyum ve onun üzerine de çok ince taneli titanyum karbür kaplanmasıdır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Kesici takımların kaplaması.

Böylece kesici uçta tokluk ve aşınma direnci bir araya getirilmiştir. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemiyle yapılan bu kaplama, sadece birkaç mikronluk kalınlığına rağmen kesme hızını %50 artırarak takım ömrünü iki katına çıkarmıştır. Bu kaplamanın kesme işlemine katkısı son derece büyük olmuştur.

1960' ların başlarında, lehimli sinterlenmiş karbür uçlarla 80 m/dak kesme, 183 mm/dak ilerleme hızlarında tornalama işlemleri yapılabilirken, 1964' de KNUX tipi kesici ucun bulunmasıyla 110 m/dak kesme, 315 mm/dak ilerleme hızlarına; 1970' llerde kaplamalı kesici uçların geliştirilmesiyle de 200 m/dak kesme, 700 mm/dak ilerleme hızlarına çıkmıştır.

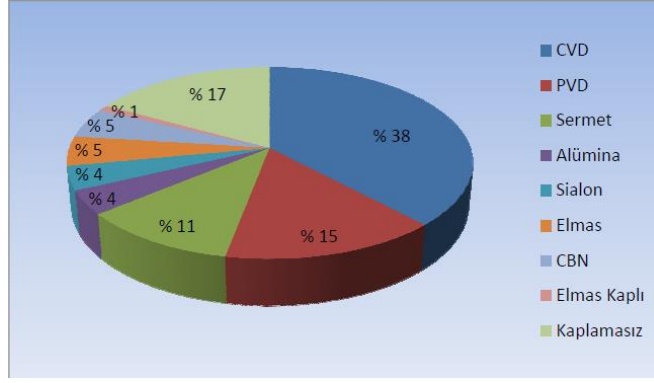
1970' lerde geliştirilen presleme ve sinterleme teknikleri sayesinde kesici ucun taşlanmasına gerek kalmadan yeni dalgalı kenar ve talaş yüzeyi tasarımları yapılabilmektedir. Al ve Ti alaşımları ile süper alaşımların dayanımları zamanla artırılmış, bu sayede kesme hızlarının azalmasını sağlamış, işleme verimi ise ilk kaplamalı kesici uçların kullanıldığı döneme kıyasla % 20 artış göstermiştir.

1980' lere gelindiğinde, kesici uçlarda elde edilen yeniliklerle talaşlı işleme maliyetleri daha da azaltılmıştır. Örneğin alaşımsız çelik çubuk için ilk takımlarla 100 dakika olan işleme zamanı kesici takımlardaki gelişmeler sayesinde 1 dakikaya kadar indirilebilmiştir. Takım ömrü açısından değerlendirilecek olursa başlangıçta hız çeliği ile 2,5 parça işlenebilirken 1980' lerde ulaşılan noktada kaplamalı sinterlenmiş karbür takımlarla yaklaşık 60 parça işlenebilir hale gelmiştir (Çakır, 2006).

3.2 Kesici Takım Malzemeleri

Kesici takımların, malzemelere şekil verme, kesme ve istenilen ölçüye getirme gibi talaşlı işlemlerde maruz kaldıkları değişik zorlamalara cevap verebilmeleri istenir. Günümüzde artan ihtiyaçlara cevap verebilmek için, teknolojinin de gelişimiyle, çeşitli malzemelere ve bu malzemelerin talep edilen kalitede ve maliyet açısından da olabildiğince uygun işlenebilmesi için yeni kesici takımlara ihtiyaç duyulmuştur. Örnek olarak, 1982 yılında İngiltere'de yüksek hız çeliği üreten 30 firma 205 farklı tip çeliği; 49 firma ise 441 farklı sinter karbür takımı piyasaya sürmüştür (Şahin, 2000).

Kesici takımlar günümüzde yüksek kaliteli, yüksek boyut hassasiyetli ve çoğu gelişmiş teknolojinin ürünü olan malzemelerden üretilmektedir. Kesici takım malzemesi seçilirken işlenecek olan malzemenin özellikleri ve kesici takımın talaş kaldırma esnasında karşılaşacağı durumlar göz önünde bulundurulmalı ve malzeme seçimi bu şartlara uygun olarak yapılmalıdır. Yüksek sıcaklıklarda sertlik, yüksek hızlarda aşınma dayanımı ve tokluk gibi özelliklerin korunması, çoğu kesici takımlardan beklenen ortak özelliklerdendir. Bu özelliklere sahip kesici takımların kullanım ömrü uzun olduğundan ekonomik olarak üretim maliyetlerini de düşüreceklerdir.



Şekil 3.4: 2005 yılında dünyadaki kesici takımların tahmini kullanım oranları (Grzesik, 2008).

Şekil 3.4’ te kesici takımların 2005 yılında dünyadaki kullanımına ait veriler verilmiştir. PVD kaplamalı kesici takımların çoğunlukla kullanıldığı görülmektedir.

Kesici takım malzemeleri, karbür esaslı, metal esaslı ve seramik esaslı olmak üzere üç ana grupta incelenmektedir. Sinter karbürler ve yüksek hız çelikleri günümüzde en çok kullanıma sahip kesici takım malzemeleridir. Elmas takımlar ve kübik bor nitrür (CBN) malzemede yüzey kalitesini iyileştirmek ve takım ömrünü artırmak için yapılan çalışmalar neticesinde kullanılmaya başlanmıştır (Özdemir, 2000).

3.2.1 Takım Çelikleri

Endüstri devriminden, 1860’ lı yıllara kadar talaşlı imalatla büyük oranda kullanılmışlardır. Yapılarında ortalama % 0,9-1,3 karbon bulunduran takım çeliklerine silis, manganez, fosfor ve sülfür gibi diğer alaşım elementleri katılarak çelik yapımı kolaylaştırılır. Karbonlu takım çelikleri, 835 °C ile 850 °C sıcaklık aralığında kızıl sıcaklığa kadar ısıtılıp ardından da oda sıcaklığına kadar su içerisinde hızla soğutularak sertleştirilir. Aşınma dayanımları, alaşımlı çeliklere kıyasla düşüktür.

Vanadyum (V), kobalt (Co), wolfram (W), nikel (Ni), krom (Cr), manganez (Mn) ve molibden (Mo) gibi bazı alaşım elementleri, karbonlu takım çeliklerinin kesme özelliklerini iyileştirmek, dayanımlarını artırmak ve yüksek sıcaklıklarda sertliklerini korumak amacıyla eklenirler (Çakır, 2006).

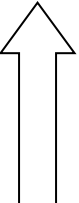
3.3 Kesici Takım Malzemelerinin Sınıflandırılması

Kesici takım malzemeleri, imalatçı firmaların kendilerine has kod sistemlerine göre sınıflandırılmaktadırlar ve bu konuda bütün dünyaca kabul edilmiş herhangi bir standart yoktur. ISO standartlarında var olan sınıflandırma ise iş parçası malzemeleri esas alınarak yapılmış, harfler ve sayılardan oluşan bir kodlama sistemidir.

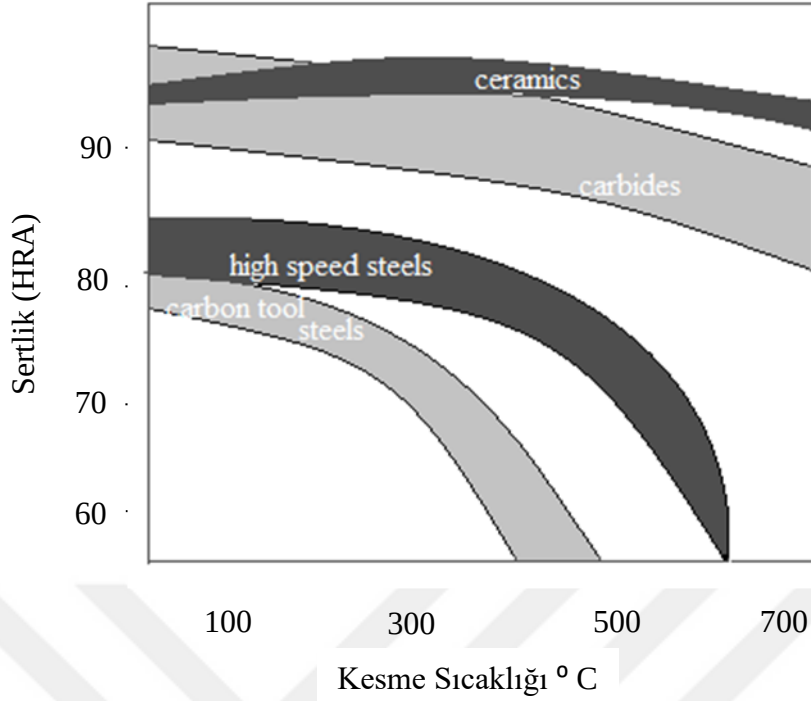
- P serisi (mavi): Dökme çelikler, çelikler, uzun talaş oluşturan temper dökümlerin işlenmesinde;
- M serisi (sarı): Dökme çelikler, östentik/ferritik/martenzitik/paslanmaz çelikler, alaşımlı dökme demirler, temper dökümler, manganlı çelikler, otomat çeliklerin işlenmesinde;
- K serisi (kırmızı): Kokil dökme demirler, dökme demirler, kısa talaş oluşturan temper dökümlerin işlenmesinde;
- N serisi (yeşil): Alüminyum, bakır ve alaşımları ile plastiklerin işlenmesinde;
- S serisi (turuncu): Titanyum alaşımlarının ve ısı dirençli süper alaşımların işlenmesinde;
- H serisi (gri): Sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde kullanılır.

Tablo 3. 1’de harfler ve sayılardan oluşan kodlama sistemi verilmiştir (Aydemir, 2006).

Tablo 3.1: Sert metal uçlu takımlar için ISO kalite sınıflandırması

ISO Grubu Rengi	Malzeme Grubu	Kalite	Karakteristiği
P (Mavi)	Çelikler	P01 ↕ P50	 Aşınma Dayanımı
M (Sarı)	Paslanmaz Çelikler	M10 ↕ M40	
K (Kırmızı)	Dökme Demirler	K01 ↕ K30	
N (Yeşil)	Demir Esaslı Olmayan Malzemeler	N01 ↕ N30	 Tokluk
S (Turuncu)	Isıl Dirençli Malzemeler	S01 ↕ S30	
H (Gri)	Sertleştirilmiş Malzemeler	H01 ↕ H30	

Şekil 3.5’ te kesici takım malzemelerinin kesme sıcaklıklarındaki sertlik değişimleri verilmiştir. Malzemelerde sertlik arttıkça kesme sıcaklığının arttığı görülmüştür.



Şekil 3.5: Kesici takım malzemelerinin kesme sıcaklıklarında meydana gelen sertlik değişimleri (Marinov Manufacturing Technology).

3.4 Kesici Takım Seçim Kriterleri

Herhangi bir talaşlı imalatın yapılacağı takım tezgâhından yüksek verim almak ve iş parçasının istenilen nitelikte işlenebilmesi için takım malzemesinin doğru seçilmesi çok önemlidir. Yapılacak doğru seçim imalatın ekonomik yönünde olumlu etkileyecektir.

Daha yüksek ilerleme ve kesme hızlarında talaş kaldırabilmeleri amacıyla kesici takım malzemelerinin üç önemli özelliği taşımaları gerekir. Bunlar;

- Aşınma dayanımı (Aşınma Direnci-WR),
- Kırılmaya karşı mukavemet (Tokluk-T),
- Yüksek sıcaklıklarda sertliği ve kimyasal kararlılığı koruma (Kızıl Sertlik - HH).

Kullanıma uygun kesici takım malzemesi seçilirken, takım malzemesi ve geometrisine ek olarak aşağıdaki faktörler de dikkate alınmalıdır.

- Uygulanacak işlemin türü,
- İş parçasının malzemesi ve şekli,
- Takım tezgâhı,
- Kesme verileri,
- İstenilen yüzey niteliği,
- Genel rijitlik,
- Ekonomik olarak malzemenin işlenmesi maliyetleridir (Çakır, 2006).

3.5 Kesici Takımlardan Beklentiler

Talaşlı imalatla, işleme veriminin yüksek olabilmesi için işlem sürelerinin kısa, birim zamanda kaldırılan talaş miktarının olabildiğince yüksek ve işlenen parçanın yüzey kalitesinin yeterince iyi olması gerekir. Bütün bu koşulların aynı anda gerçekleşmesi, işlem parametrelerinin doğru belirlenmesinin yanı sıra işlenecek malzeme için doğru takımın seçilmesi ile mümkün olabilir. Günümüzde artan ihtiyaçları karşılamaya yönelik çalışmalarla yüksek sıcaklıklarda sertliklerini ve kimyasal kararlılıklarını koruyabilen, korozif ortamlara dayanıklı malzemeler geliştirilmiştir. Yeni nesil bu malzemelerin yüksek verimlilikte işlenebilmeleri için kesici takım niteliklerinin de en az işlenecek malzemelerinki kadar iyi olması gerekir. Kesici takım malzemesinde aranan özellikler şöyle özetlenebilir:

- Sert olmalı serbest yüzey aşınmasına ve deformasyona dayanıklı olmalı,
- Oda sıcaklığındaki sertliğini yüksek sıcaklıklarda da koruyabilmeli,
- Tokluğu yüksek olmalı ve çatlamalara, kırılmaları karşı direnç göstermeli,
- İş parçasıyla kimyasal reaksiyona girmemeli,
- Kimyasal olarak kararlı yapıda olmalı ve oksitlenmelere karşı mukavemeti yüksek olmalı,
- Isıl şok direnci iyi olmalıdır (Çakır, 2006).

BÖLÜM 4

KAPLAMA YÖNTEMLERİ

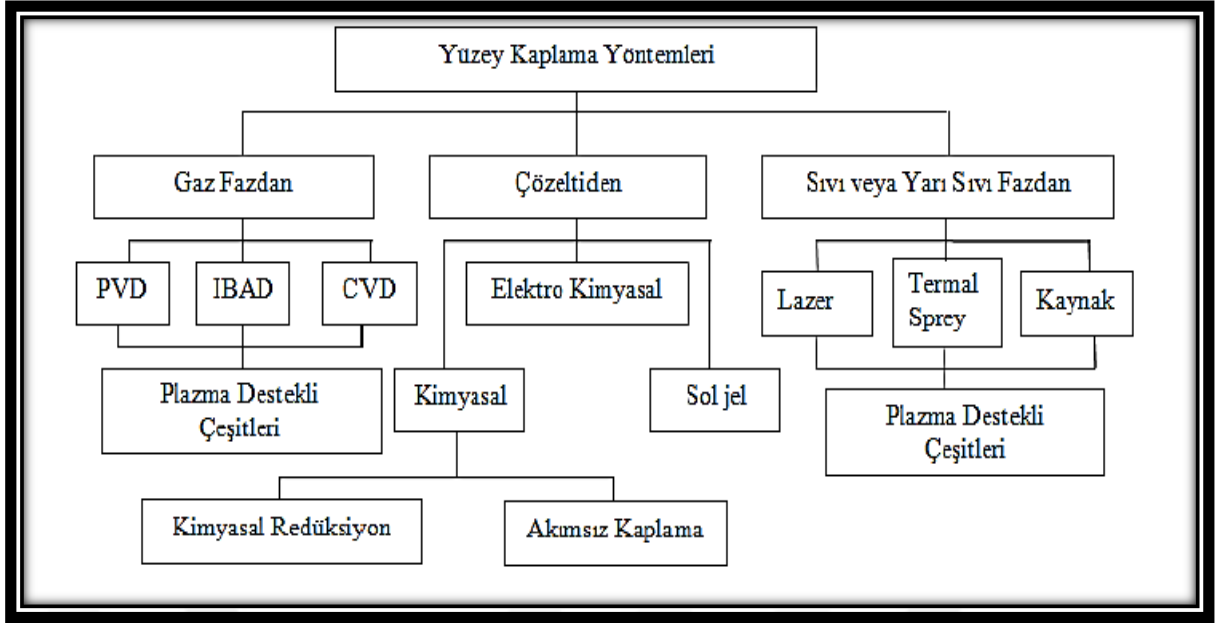
Günümüz teknolojisinde, tek yapıda olan malzemelerden bazı özellikler karşılanamamaktadır ve bu sebeple kombinasyona sahip malzemelerine ihtiyaç duyulmaktadır (Türküz, 2006). Bu amacı gerçekleştirebilmek amacıyla kaplama tekniklerinden yararlanılmaktadır (Türküz, 2006).

1838 yılında ilk ince film, “elektroliz” yöntemiyle elde edilmiştir. 1852 yılında Bunsen, “kimyasal reaksiyon” yöntemiyle, Faraday “asal gaz içerisinde buharlaştırma” yöntemiyle, Nahrwold ve Kundt “Joule ısıtması” yöntemiyle yine ince film elde etmişlerdir. Vakum cihazlarının gelişimine kadar olan süreçte ince filmler üzerinde yapılan çalışmalar, laboratuvar çalışmaları düzeyinde kalmıştır. Vakum cihazlarının gelişiminden sonra modern metotlarla üretilen ince filmlerin kristal yapıları, optik ve elektriksel özellikleri araştırılmaya başlanmıştır (Sönmezoğlu vd., 2012).

Kaplama süreçlerinin temelde iki amacı mevcuttur. Bunlardan ilki malzeme yüzeyinin aşınma direncini arttırmak ve ikincisi sürtünme davranışının azalmasını sağlamaktır. (Alsaran vd., 2002).

Bir kaplamanın uygunluğu yani; kaplamanın iyi ya da kötü oluşu, altlık (taban) malzeme ve kaplama arasındaki yapışmaya bağlıdır. Yapışma eğer iyi olmuşsa; kaplanmış parçanın, aşınma ve korozyon dayanımı da o kadar iyileşmiş olur (Alsaran vd., 2002).

Malzeme yüzeylerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değiştirilmesine olanak sağlayan kaplama yöntemleri, kaplama malzemesinin bulunduğu fiziksel duruma göre, gaz halinden, çözeltiden, sıvı ya da yarı sıvı halden yapılan kaplamalar olarak ana başlıklara ayrılır. Bu yöntemlerde kendi aralarında çeşitli alt gruplara ayrılmaktadır. Kaplama malzemesinin bulunduğu fiziksel duruma göre kaplamaların sınıflandırılması Şekil 4.1’ de verilmiştir (Doğan, 2001).



Şekil 4.1: Kaplanacak malzemenin bulunduğu fiziksel duruma göre kaplamaların sınıflandırılması (Şafak, 2008).

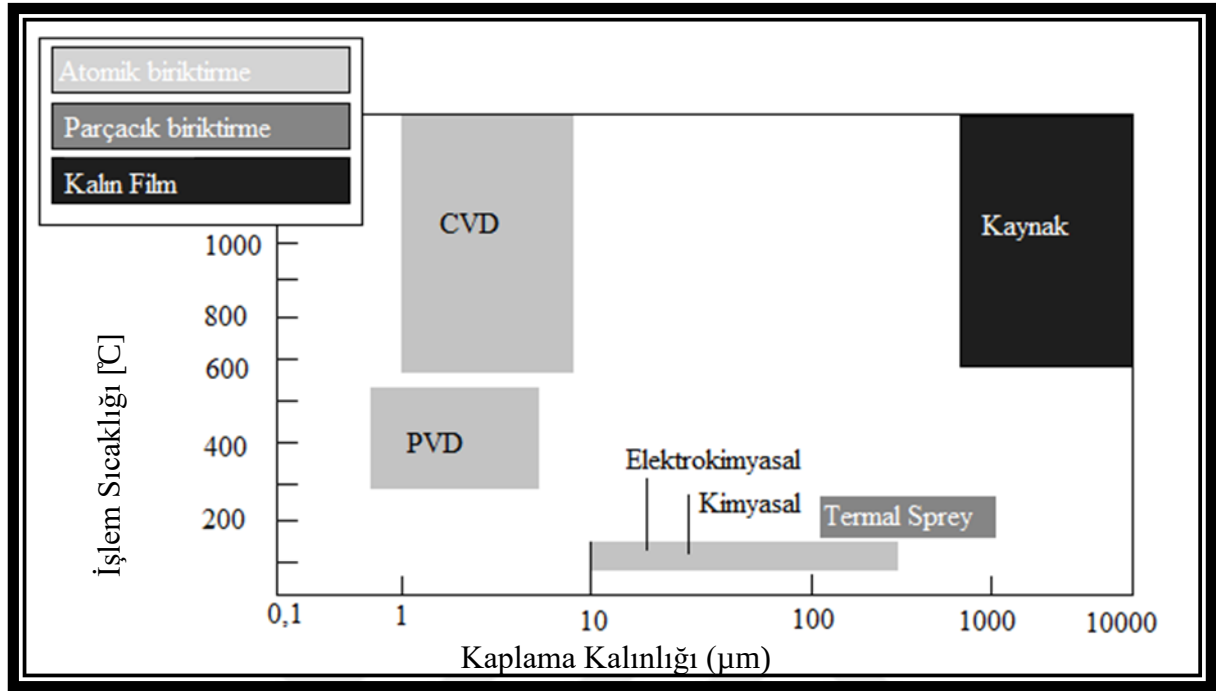
Buhar fazında yapılan kaplama teknikleri, altlık malzemesine veya kaplamaya herhangi bir sınırlama getirmeden yüksek nitelikte kaplamalar elde etmeyi sağlamaktadır. Buhar fazında yapılan kaplama teknikleri; CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme-Chemical Vapour Deposition) ve PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme-Physical Vapour Deposition) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Sönmezoğlu vd., 2012).

Kaplama proseslerinden kimyasal buhar biriktirme ve fiziksel buhar biriktirmeyi kapsayan buhar proseslerinde, buharın meydana getirdiği kinetik enerjiden faydalanılarak kaplama işlemi gerçekleştirilmektedir (Alsaran vd., 2002).

Gaz halinde yapılan kaplama yöntemlerinden olan PVD (fiziksel buhar biriktirme) ve CVD (kimyasal buhar biriktirme) yöntemleri sanayide kullanılan uygulamalarda yaygın kullanım alanlarına sahiptir. PVD kaplama yöntemi, diğer yöntemlere göre daha düşük işlem sıcaklıklarında yapılabildiği ve bu kaplama yöntemi ile geniş kaplama kalınlık aralıklarında kaplamalar elde edilebildiği için daha yaygın kullanım alanına sahiptir (Doğan, 2001).

Kaplama yöntemlerinin uygulama alanlarını belirleyen iki parametreden birincisi, kaplama işleminin yapıldığı sıcaklık, ikincisi kaplama işlemi sonrası elde edilebilecek kaplama

kalınlık aralıdır (Doğan, 2001). Çeşitli kaplama teknikleri için işlem sıcaklıkları ve elde edilebilecek kaplama kalınlıkları şekil 4.2’ de ayrıntılı olarak verilmektedir.



şekil 4.2: Farklı yüzey kaplama yöntemlerinin uygulama kalınlıkları (şafak, 2008).

Yüzeye uygulanan kaplamalar, kaplamanın kalınlığına göre, ince film kaplamalar ve kalın film kaplamalar olarak ikiye ayrılır. İnce film kaplamalar, kalınlıkları 1-10 μm arasında olan kaplamalardır. Bu kaplamaların birikmesi atomal düzeyde gerçekleşmektedir. Kalın film kaplamalarda ise birikme büyük kütlelerin transferi ile gerçekleşmektedir (şafak, 2008).

CVD (kimyasal buhar biriktirme) prosesinde, sıcak taban malzemesi yüzeyi üzerinde atomistik olarak kaplama oluşturabilmek için, termal olarak ayrışabilen veya diğeri gaz ya da buharlarla kimyasal olarak reaksiyona girebilen, buharlaşabilen bir kaplama malzemesi bileşeni kullanılmaktadır. Genellikle kimyasal reaksiyonlar, 150-2200 °C sıcaklık aralığında ve yaklaşık olarak 0,5 torr’dan atmosfer basıncına kadar değışebilen bir basınç aralığında meydana gelmektedir. CVD kaplamalar nispeten iyi yapışma göstermektedirler. İşlem sırasında yüksek taban malzemesi sıcaklıklarının (1000-1200 °C) gerekmesi, bu tekniğinin uygulamalarını yüksek sıcaklıklara dayanabilen taban malzemeleri ile sınırlandırmaktadır. Ayrıca bu yüksek sıcaklıklar, taban (altlık) malzemenin özellikleri ve

yapısında değişimlere sebep olabilmektedir. Hâlbuki PVD prosesinde, taban malzemesi daha düşük sıcaklıklara (200-600 °C) maruz kalmaktadır (Sert vd., 2002).

4.1 PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme) Yöntemi

Balzers tarafından 1979 yılında ilk PVD takım kaplama uygulaması gerçekleştirilmiştir. İlk olarak bir yüksek hız çeliği matkap ve kılavuz takımı kaplanmıştır ve yöntemin uygulanışı daha sonra diğer takımlara da uygulanmıştır. 1980' li yılların başından beri PVD kaplama uygulamaları sanayide sıklıkla kullanılmaktadır (Kıyak vd., 2003).

Sanayide kullanıma sahip, sürtünmeye maruz kalan, bu sebeple çalışmayan ve verimliliğini kaybeden sistemlerin iyileştirilmesi için PVD, CVD, DVD, Plazma ve Termal püskürtme yöntemleri kullanılarak çeşitli kaplamaların yapıldığı görülmektedir. Uygulanma kolaylığı, ölçüsel tolerans değişikliğine gerek duyulmaması, taban malzemenin mikro yapısına zarar vermemesi, vb. özelliklerinden dolayı fiziksel buhar biriktirme kaplama yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır (Aytaç vd., 2016).

Bu kaplama yöntemi, vakum altında bulundurulanan malzemeleri buharlaştırarak ya da sıçratarak atomların yüzeyden kopartılması ve kaplama yapılacak yüzeye atomsal ya da iyonşal olarak biriktirmesi esasına dayanmaktadır. Fiziksel buhar biriktirme işlemlerinde düşük taban malzeme sıcaklıkları ve yüksek oranda refrakter kaplama malzemeleri kullanımı nedeniyle yüksek iç gerilmeler meydana gelmektedir. Diğer taraftan yüksek enerjili iyon bombardımanı nedeniyle de iç gerilmede artış meydana gelebilmektedir. Bu işlem refrakter malzemelerin biriktirilmesinde uygun bir kaplama tekniğidir (Kusano vd., 1998).

Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD), kısmen iyonize olmuş metal buharının üretimi, belirli gazlarla reaksiyonu ve taban malzeme üzerinde belirli bir bileşime sahip ince bir film oluşturarak metal bazlı sert kaplamaların üretilmesi için bir yöntemdir. En çok kullanılan yöntemler püskürtme ve katodik arkıdır. Püskürtme sırasında buhar, enerjik gaz iyonlarıyla bombardımana tutulan metal bir hedef tarafından oluşturulur. Katodik ark yönteminde, malzemeyi buharlaştırmak için tekrarlayan vakum ark deşarjları kullanır. Tüm PVD işlemleri yüksek vakum koşullarında gerçekleştirilir. Ti, Cr, Zr ve AlCr, AlTi, TiSi gibi alaşımların nitrürler, karbürler ve karbonitridlerden oluşan kaplamalar, çok çeşitli alet ve

bileşenler üzerinde ince film biriktirilmesi için kullanılır. PVD kaplamalar için tipik işlem sıcaklığı 250 °C ile 450 °C arasındadır. Kaplamalar; tekli, çoklu ve kademeli tabakalar halinde de biriktirilebilir. Kaplama kalınlığı 2 ila 5 µm arasında değişir, ancak birkaç yüz nanometre kadar ince veya 15 veya daha fazla µm kadar kalın olabilir (URL-2, 2019).

Alt tabaka malzemeleri arasında, çelikler, demir dışı metaller, tungsten karbürler ve ayrıca önceden kaplanmış plastikler bulunur. Taban malzemesinin PVD kaplaması için uygunluğu sadece birikim sıcaklığında ve elektriksel iletkenlikteki stabilitesi ile sınırlıdır. Bu alanda sert seramik film kaplamalarla birlikte kaplama uygulamalarında son yıllarda büyük kademeler kat edilmiştir. Bu malzemelerin gevrek ve çok kırılgan oluşları, dolu bir malzeme olarak kullanılmalarını engellemektedir. Bazı PVD yöntemi ile yapılan kaplama uygulamalarına ait fiziksel özellikler Tablo 4.1’ de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: PVD yöntemi ile yapılan kaplamalara ait fiziksel özellikler (URL-2, 2019).

Kaplama	Kaplama Kalınlığı (µm)	Mikro Sertlik (HV 0.05)	Sürtünme Katsayısı	Çalışma Sıcaklığı (°C)	Biriktirme Sıcaklığı (°C)
TiN	2-4	2800	0.55	450	425
TiCN	2-4	2800	0.15-0.3	300	425
TiCrN	4-6	2200	0.55	500	425
AlTiN	2-4	3500	0.55	700	450
AlTiCrN	3-8	3200	0.55	850	450-550
AlCrN	2-4	3000	0.55	1050	450-550
CrN	4-6	2300	0.55	700	150-400
Cr ₂ N	2-5	1500-2800	0.55	700	150-400
CrWN	5-8	3000-3200	0.3	800	350
a-C:H:W	4-6	1600	0.2	350	160 - 250
a-C:H:W	+3 – 5	2000 – 2800	0.1	300	160 - 250
a-C:H					
CrN + a-C:H	2 - 5	2000 – 2800	0.1	300	200 - 250
a-C:H	1 - 3	2000 – 2800	0.1	300	160 - 250
B ₄ C	1 – 3	3400	0.55	800	200
TiCN + MoS	2 - 4	3000 + 2000	0.06	500	425 / 150

PVD kaplama yöntemiyle, çoğu metal, alaşım, seramik, metaller arası ve bazı polimerik malzemelerle bu malzemelerin karışımları, vakumdaki çalışma sıcaklıklarında kararlı olan her malzemedan (metaller, seramikler, plastikler ve kâğıt vb.) imal edilmiş taban malzemeleri üzerine kolayca kaplanabilmektedir (Savaş, 2004). PVD kaplamalar (50-500 °C) gibi düşük sıcaklıklarda yapıldığı için altlık (taban) malzemenin mekanik özellikleri ve mikro yapısı bu durumdan etkilenmemektedir (Alsaran vd., 2002).

Bu tekniğin mekanizması,

- Bir ısıtıcı yardımı ile buharlaştırılan kaplama malzemesinin kaplanacak olan malzeme yüzeyinde, vakumlu ortamda, ince bir film tabakası şeklinde biriktirilmesi,
- Katı halde bulunan hammaddenin yüksek enerjiyle iyonlaştırılmış ve reaktif gazlarla oluşturulmuş plazma haline getirilerek ve kontrollü olarak kaplanacak

olan malzemenin üzerine yapıştırılması işlemi olarak özetlenebilir (Sönmezoğlu vd., 2012).

PVD tekniğinin avantajları şu şekilde özetlenebilir:

- a) Neredeyse her kaplama, her taban malzemesi üzerine biriktirilebilir. Teorik olarak her türlü metal, alaşım, seramik ve polimer gibi malzemelerin kaplamaları elde edilebilir.
- b) Kaplamalar mükemmel yapışma özelliğine sahiptir.
- c) Oldukça geniş biriktirme hız aralığına sahiptir ve yüksek hızlarda üretim yapılabilir.
- d) Kaplama işlemi sonrası yüzey pürüzlülüğü, altlık malzemesi yüzey pürüzlülüğü ile neredeyse aynı olduğundan, kaplama sonrası zımparalama ve parlatma gibi herhangi bir yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmaz.
- e) Hiçbir PVD prosesi, çevreye zararlı zehirli atıklar üretmez.
- f) Bu yöntemin kontrollü bir vakum ortamında yapılması ve saf kaynak kaplama malzemelerinin kullanılması, yüksek saflıkta birikimlerin elde edilmesine imkân sağlar.
- g) Prosesin nispeten düşük sıcaklıklarda yapılabilmesi, ısıl işlem görmüş takım çeliklerinin sertlik kaybını önler.
- h) Kompleks geometrilere sahip parçaların, döner mekanizmalarda homojen olarak kaplanabilmesi mümkündür ve kaplama kalınlığının düşük olması sebebiyle (1-5 µm) parça toleranslarının muhafaza edilmesine olanak sağlar.
- i) Kesici takımlar, keskin köşe ve uçlarının özellikleri bozulmadan kaplanabilirler. Ayrıca takımlar ve kalıplar bilindikten sonra tekrar kaplanabilirler.
- j) PVD kaplamaların sökülerek tekrar kaplama yapılabilmesi imkânı mevcuttur (Savaş, 2004).

PVD tekniğinin uygulama alanları şu şekilde sıralanabilir:

- a) Tribolojik uygulamalar: Kesici takımlarda, kalıplarda, kayma ya da dönme hareketi yapan ve aşınma direncinin yüksek olması istenen makine parçalarında (Savaş, 2004),

- b) Elektrik - elektronik amaçlı: yarı iletkenlerde, hibrit devrelerde, kapasitörlerde, dirençlerde, süper iletken kaplama yapımında, piezzo elektrik sürücülerde (Şafak, 2008),
- c) Optik amaçlı: yansıtıcı ve yansıtıcı olmayan camlarda, gözlük camlarında, büyük projektörlerde, kamera lenslerinde, optik disklerde (Şafak, 2008),
- d) Kimyasal uygulamalar: Gaz türbin motorlarında, denizcilik uygulamalarında, korozyona karşı dirençli olması istenilen parçalarda (Savaş, 2004),
- e) Dekoratif amaçlı: oyuncak endüstrisinde, otomobil endüstrisinde, beyaz eşya üretiminde, saat ve gözlük çerçevelerinde kullanılmaktadır (Şafak, 2008).

PVD yöntemi, katı bir kaynağın (kaplama malzemesinin) vakum altında buharlaştırılması ya da atomsal hale dönüştürülmesi ve altlık malzeme üzerine biriktirilmesiyle gerçekleştirilir (Şafak, 2008).

Bu teknik ile kaplama malzemesi, kaplanacak yüzeye atomik, moleküler ve iyonik biçimde taşınır (Alsaran vd., 2002). PVD kaplama yöntemlerinde; altlık malzemesinin türü, kaplama malzemesinin türü, kaplama malzemesinin kaynağı, kaplama sıcaklığı, kaplama malzemesinin atomlarının kinetik enerjisi, kaplama hızı ve kaplama kalınlığı etkin parametreler olarak sıralanabilir. Bu parametreler içinde en önemli olan ise kaplama kalınlığıdır. Çünkü kaplama kalınlığı arttıkça yapışma azalır ve kohezif bozulma ortaya çıkar (Alsaran vd., 2002).

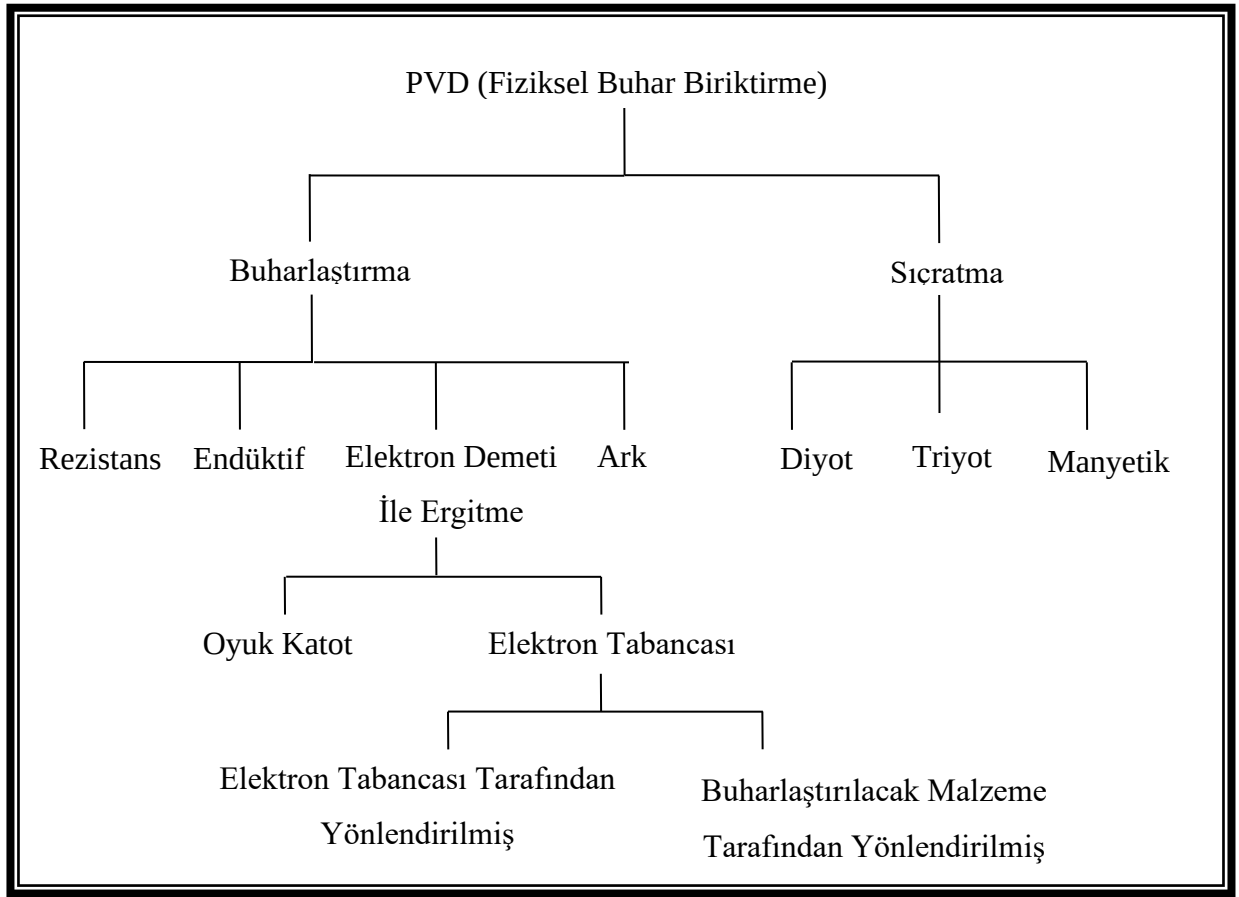
PVD tekniğinin fabrikasyon parametrelerinde yapılacak değişiklikler sonucunda fiziksel özelliklerdeki değişimler incelenebilir. Değişiklik yapılabilecek fabrikasyon parametreleri, bias voltajı, katot akımı, çalışma basıncı, kaplama sıcaklığı ve kaplama süresi olarak sıralanabilir. Değiştirilen bu parametreler neticesinde sertlik, film oluşumu, adezyon ve kalıcı gerilmeler gibi özellikler incelenebilir (Kaya, 1998).

PVD yöntemi kullanılarak seramik nitelikli sert, aşınmaya dayanıklı nitrürler (TiN, CrN, ZrN, TiAlN gibi), karbonitrürler (TiCN gibi), oksitler (Al₂O₃ gibi), borürler (ZrB, TiB₂ gibi), karbürler (TiC gibi), elmas benzeri karbon kaplamalar, sürtünme özelliğini geliştirmeye yönelik MoS₂, hidrojenli elmas gibi karbon kaplamalar üretilebilir (Şafak, 2008).

Vakum ortamında katı ya da sıvı halde bulunan kaplama malzemelerinin buharlaştırılarak ya da sıçratılarak atomlarının yüzeyden koparılması ve kaplanacak olan altlık malzemesi yüzeyine atomsal ya da iyonik olarak biriktirilmesi esasına dayanan PVD kaplama yöntemi, buharlaştırma ve sıçratma olarak iki kategoride incelenir. Bu iki kategori de, substrat (altlık) - kaynak kullanımı ve uygulama şartlarının farklılığı sebebiyle birkaç farklı tekniği içerir (Kaya, 1998). PVD teknikleri Şekil 4.3' te verilmiştir (Sönmezoğlu vd., 2012).

Her iki yöntemle elde edilen gaz fazının, ortama verilen diğer bir reaktif gazla reaksiyona geçirilmesi halinde, yukarıda sayılan metotlar reaktif buharlaştırma veya sıçratma olarak tanımlanır (Doğan, 2001).

Elde edilen gaz atomları, kaplanacak olan malzemeye uygulanan 0,2-5 kV' luk yüksek negatif potansiyelin varlığıyla oluşan şerare etkisine maruz kalarak iyonize olurlar. Elde edilen bu iyonların alt malzemenin yüzeyinde biriktirilmesi sonucunda oluşan kaplamaya iyon kaplama adı verilmektedir (Doğan, 2001).



Şekil 4.3: Fiziksel buhar biriktirme (PVD) tekniklerinin sınıflandırılması (Şafak,2008).

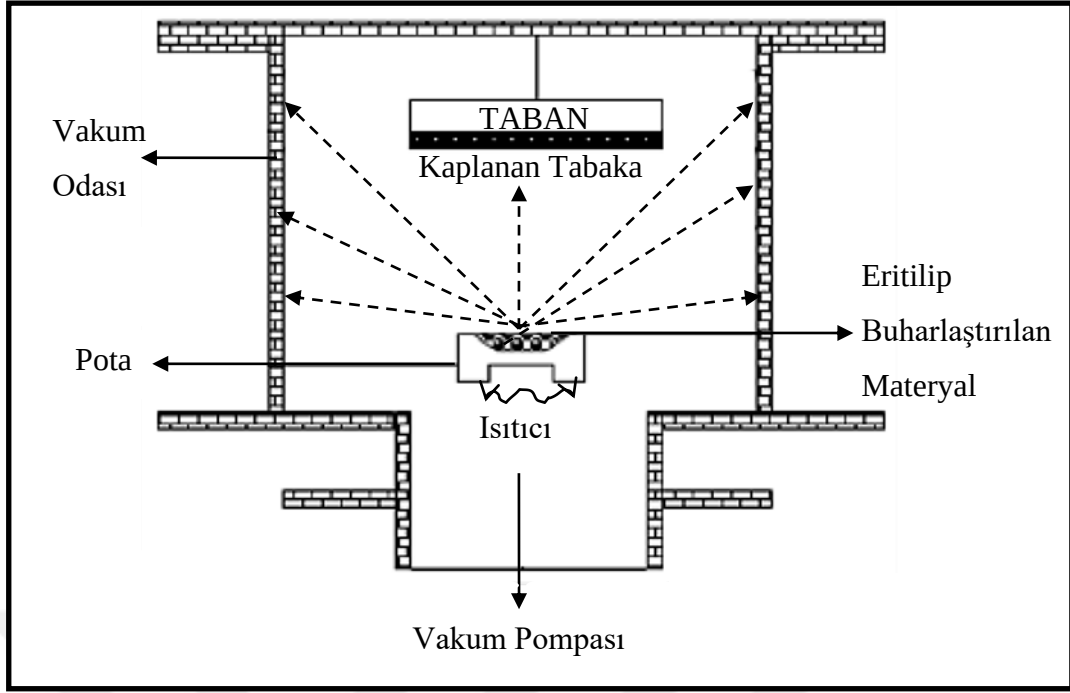
4.1.1 Buharlaştırma İle PVD Kaplama Yöntemleri

Buharlaştırma yöntemi, en eski kullanıma sahip ve en sık kullanılan vakum biriktirme yöntemlerinden biridir (Savaş, 2004).

Şekil 4.4' te görülen bu yöntemde, ince bir film halinde kaplama yapmak istediğimiz malzeme, öncelikle buharlaşması için gereken sıcaklığa kadar ısıtılır (Sönmezoğlu vd., 2012).

Buharlaştırma sürecinde kaplama malzemesi, kaynak malzemesini (katodu) belirli bir sıcaklığa (1000-2000 °C), vakumda ($10^{-8} - 10^{-2}$ torr) ısıtmakla meydana getirilir. Bu şekilde buhar basıncı ($> 10^{-2}$ torr), çevreleyen oda basıncını geçer ve yoğunlaşma için gerekli buharı üretebilir (Savaş, 2004).

Isıtma ile buharlaştırılan bu malzemeler daha soğuk bölgelerde alttaşlar üzerine taşınıp yoğunlaştırılırlar. Bu işlem ile buharlaştırma gerçekleşmiş olur (Sönmezoğlu vd., 2012).



Şekil 4.4: Buharlaştırma yönteminin şematik gösterilişi.

Buharlaştırma yönteminde malzeme çeşitli yöntemler ile ısıtılarak buhar fazı oluşturulabilir. Oluşturulan buhar, düşük sıcaklık bölgesine taşınır ve buradaki taşıyıcılar üzerinde yoğunlaştırılır. Yoğunlaştırma işlemi yüksek vakum ortamında yapılabildiği gibi asal bir gaz ortamında da yapılabilmektedir (Sönmezoğlu vd., 2012).

Üretilen buhar fazı atomları, kaplanacak yüzeye ulaştığında diğer atomlar ya da moleküllerle çarpışarak enerjilerini kaybetmelerini ve yüzeyde istenmeyen bileşiklerin meydana gelmelerini önlemek amacıyla vakum işlemi uygulanmaktadır (Şafak, 2008). Altlık malzemesine genellikle bias voltajı uygulanmaz (Türküz, 2006).

Kaplanacak olan malzeme, elektriksel olarak nötr durumdadır, kaynağın yüzeyinden 0,1-0,3 eV arasındaki termal enerjilerde çıkmaktadır. Kaynak ve altlık malzemelerinin aralığı, 150-450 mm arasında değişir. Birçok malzeme (metaller, alaşımlar, metaller arası bileşikler ve refrakter bileşikler) neredeyse her taban malzemesi üzerine (polimer dâhil) uygun bir yöntem kullanılarak kaplanabilir. Havada asılı, topraklanmış ya da elektriksel olarak polarize edilmiş bir taban malzemesi kullanılabilir. Yoğun ve eş eksenli tane yapısına sahip metal ve refrakter bileşiklerin kaplamaları için yüksek bir sıcaklığa kadar (200-1600°C) ön ısıtma yapılmalıdır. Yüksek taban malzemesi sıcaklıklarında biriktirilmiş

birçok refrakter bileşimin kaplamaları; daha iyi yapışma, daha yüksek sertlik ve aşınma direnci gösterirler (Savaş, 2004).

Buharlaştırmayla yapılan PVD kaplamalarında reaktif gaz kullanılması durumunda tekniğin adı reaktif buharlaştırma adını alır. Kaplanacak malzeme ile reaktif bir gaz arasındaki reaksiyon, malzemenin yüzeyinde gerçekleşmektedir. Reaktif buharlaştırmada parçaya yakın bölgeye konulan bir elektrot yardımı ile plazma oluşumu sağlanır ve böylece reaktif gaz ile kaplanacak malzeme atomları arasındaki reaksiyon, altlık malzeme yüzeyine ulaşmadan gerçekleşir. Bu yöntemde plazmadaki pozitif yüklü iyonlarının, eğer kaplanacak parçaya da negatif potansiyel (bias) uygulanırsa, yüzeye doğru ilerlemeleri hızlandırılmış olur. Bu yöntem reaktif iyon kaplama olarak bilinmektedir (Şafak, 2008).

PVD yöntemleriyle biriktirilen filmler tek bir tabaka halinde oluşarak, kalınlaşmaya ve büyümeye başlamazlar. İlk önce taban malzemesi yüzeyinde üç boyutlu çekirdekler oluşur, sonra bu çekirdekler yanal olarak ve kalınlık yönünde büyümeye başlarlar ve son olarak temas haline gelen çekirdekler birbirleriyle kaynaşarak sürekli bir film oluştururlar.

Sürekli filmin meydana geldiği andaki ortalama film kalınlığı, biriktirme sıcaklığı ve biriktirme hızına bağlıdır ve 10-1000 Å arasında değişir. Sürekli film oluştuktan sonra, kalınlaşmaya devam eder (Savaş, 2004).

Buharlaştırma yönteminde, oluşan kaplama kalınlıkları 0,1-100 µm arasında değişmektedir. Kaynak malzemeleri normal olarak; toz, tel ya da çubuk şeklinde olur ve buharlaştırılmaları için çeşitli yöntemler kullanılır (Savaş, 2004).

Buharlaştırma yönteminin diğer vakum biriktirme yöntemlerine göre en önemli avantajları, yöntemin daha kolay olması, ekonomik açıdan daha uygun fiyatlı olması ve yüksek biriktirme hızlarına sahip olmasıdır. Buhar türleri düşük kinetik enerjiye sahiptir ve bu sebeple buharlaştırma yöntemi, genellikle düşük kaplama yapışmasıyla sonuçlanmaktadır. Ayrıca, yüksek taban malzemesi sıcaklıkları, ince taban malzemelerinin eğrilip çarpılmasına sebep olabilir ve metalik taban malzemelerinin ısı işlemini değişime uğratabilir. Bu sebeple, diğer biriktirme yöntemlerine göre tribolojikel uygulamalar açısından çok fazla tercih edilmemektedir.

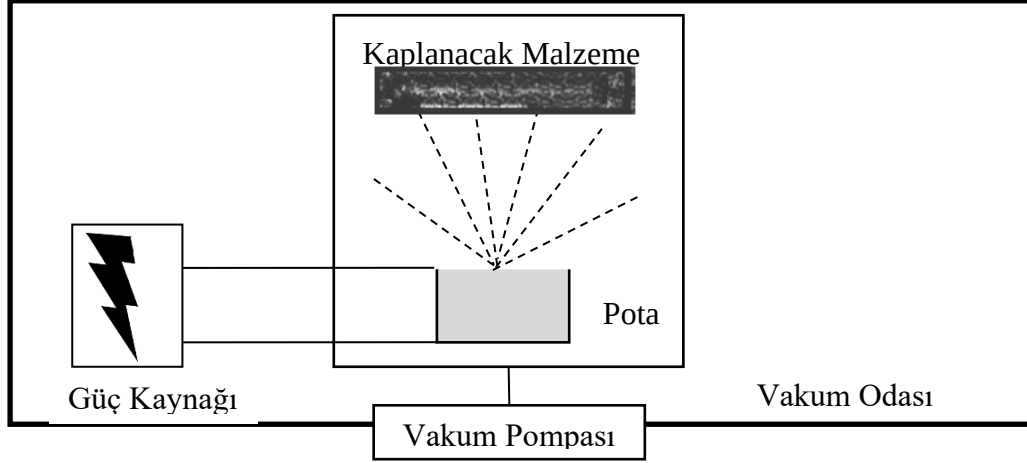
Buharlaştırma yöntemi kullanılarak elde edilen fiziksel buhar biriktirme kaplamalar rezistans, indüksiyon, ark, elektron bombardımanı ve lazer ile buharlaştırma olarak gruplandırılmaktadır (Sönmezoğlu vd., 2012).

4.1.1.1 Rezistansla Buharlaştırma

Bu metotta, buhar fazından elde edilecek kaplama malzemeleri, yüksek sıcaklıklara dayanabilen refrakter potalar içine yerleştirilir. Bu sistemde uygulanacak olan ısıtma işlemi, potanın çevresine sarılmış rezistanslı tellerle sağlanır. Pota malzemesi olarak genelde molibden (Mo) ya da tungsten (W) gibi refrakter malzemeler ya da TiB₂ -BN gibi bir metaller arası bileşik kullanılır. Bu metot en çok Al, Cu, Ag ve Pb gibi düşük ergime sıcaklığına sahip malzemelerin buharlaştırılmasında kullanılır (Türküz, 2006). Rezistansla buharlaştırma metodu, yüksek akımın ve düşük potansiyelin verdiği enerji sistemlerinin kullanıldığı, ekonomik açıdan maliyeti uygun olan ve hızlı bir fiziksel buhar biriktirme işlemidir.

Rezistansla buharlaştırma yönteminde iyonlaşma işleminin çok az olması sebebiyle kaplamanın yüzeye bağlanabilirliği düşük ve gözenekliliği ise yüksek olur. Elde edilen kaplamalar çoğunlukla dekoratif amaçlı ve optik amaçlı uygulamalar için kullanılmaktadır (Sönmezoğlu vd., 2012).

Buharlaştırmanın rezistanslı ısıtıcılar aracılığıyla sağlandığı fiziksel buhar biriktirme işleminin yapısı Şekil 4.5' te verilmiştir.

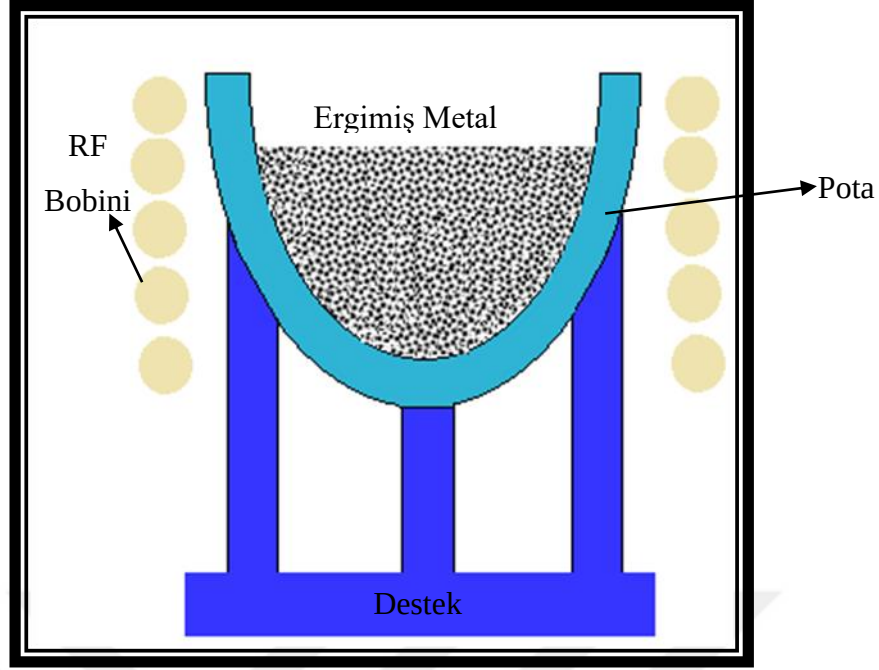


Şekil 4.5: Rezistanslı ısıtıcı sistemli PVD sistemi (Şafak, 2008).

Bu yöntem günümüzde popülerliğini yitirmiştir. Bunun sebepleri arasında yüzey geometrisinin kaplamada önemli role sahip olması, sadece düşük buharlaşma sıcaklığına sahip malzemeler için kullanılabilmesi, malzemeyle birlikte potanın da buharlaşıp kaplamaya karışma riski ve bileşik elementlerinin eşit oranda buharlaştırılamamaları gibi dezavantajlar büyük rol oynar (Şafak, 2008).

4.1.1.2 Endüktif Buharlaştırma

Bu metot ile yapılan ısıtılarda, pota çevresine su soğutmalı olarak sarılmış bakır tellere uygulanan indüksiyon akımı (RF akımı) sonucunda üretilen ısı sonucunda buharlaştırma işlemi gerçekleşmektedir. Ergime sıcaklığı 2100 °C' ye kadar çıkan tüm malzemelere endüktif buharlaştırma yöntemi uygulanabilir. Bu yöntemin en önemli bir dezavantajı ekonomik açıdan maliyetinin yüksek olmasıdır (Sönmezoğlu vd., 2012).



Şekil 4.6: Endüktif ile buharlaştırma yöntemi (Sönmezoğlu vd., 2012).

Endüktif buharlaştırmada meydana gelen ısı potaya değil, direkt olarak buharlaştırılacak malzemeye yönelir. Bu nedenle pota malzemesinin buharlaşmasının ve istenmeyen pota reaksiyonlarının oluşumunun önüne geçilmiş olur. Bu yöntem özellikle Al, Ti gibi malzemelerin buharlaştırılması için uygundur (Şekil 4.6), (Türküz, 2006).

4.1.1.3 Elektron Demeti İle Ergitme Yöntemiyle Buharlaştırma

Yüksek erime noktasına sahip kaynak malzemelerinin basit rezistiv ısıtıcılarla buharlaştırılmaması nedeniyle ısıya dayanıklı metaller, elektron demeti katmanlaşmayla buharlaştırılır (Kaya, 1998).

Yöntem, bir elektron kaynağı tarafından sağlanan elektronların, kaplama malzemesi üzerine bombardıman edilmesi yardımıyla buharlaşmanın sağlanması esasına dayanır (Şafak, 2008).

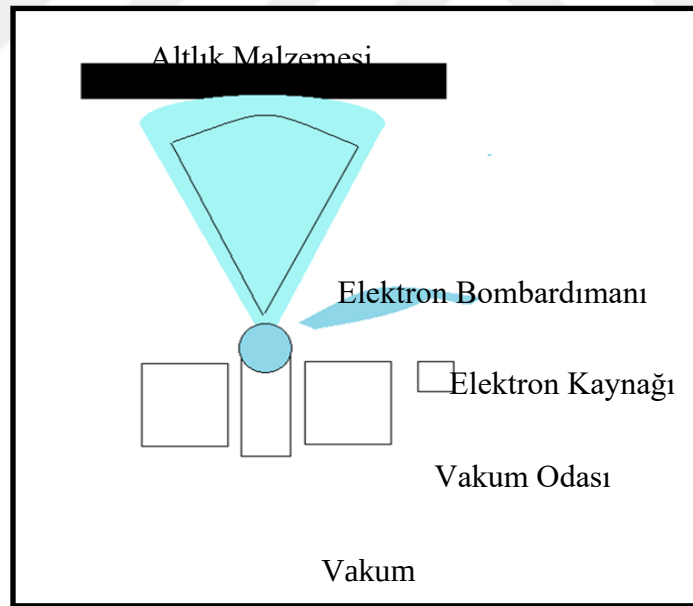
4000 °C sıcaklık gibi yüksek ergime sıcaklıklarına sahip olan malzemelerin buharlaşmasına olanak sağlayan bu metotta elektronların yönlendirilebilmesi avantaj sağlamaktadır ve bu sayede düzenli buharlaştırma oluşturabilen bir bombardıman söz konusu olmuştur (Sönmezoğlu vd., 2012).

Elektron bombardmanı ile buharlaşmanın sağlandığı fiziksel buhar biriktirme yöntemleri için gerekli elektronlar;

- a) Elektron tabancası,
- b) Oyuk katot yöntemleriyle üretilirler.

Bir flamanın akım geçirilmesi sonucu, flamanın ısınarak elektron yaymasıyla elektronların üretimi gerçekleştirilir. Bu elektronlar, elektron tabancasıyla üretilir ve üretilen elektronlar, oluşturulan manyetik alan yardımıyla hızlandırılır ve yönlendirilirler. Elektronların yönlendirilmesinin kolaylığı ile yüzey taranarak buharlaştırma yapılabilir. Böylelikle farklı kalınlıkta kaplama oluşumu engellenmiş olur (Doğan, 2001).

Oyuk katot yönteminde ise oyuk bir silindirin içinde inert gazların kullanımıyla plazma oluşturulur ve bu sayede buharlaşma meydana gelmiş olur (Şafak, 2008). Şekil 4.7’ de elektron demeti ile buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.7: Elektron demeti ile buharlaştırma yöntemi (Sönmezoğlu vd., 2012).

4.1.1.4 Lazer Yöntemiyle Buharlaştırma

Lazer katmanlama yöntemi, kontrol edilebilen kimyasal karışımlarla bileşik ya da alaşımların katmanlanmasında kullanılır (Kaya, 1998). Bu metotta kaplanacak olan hedef

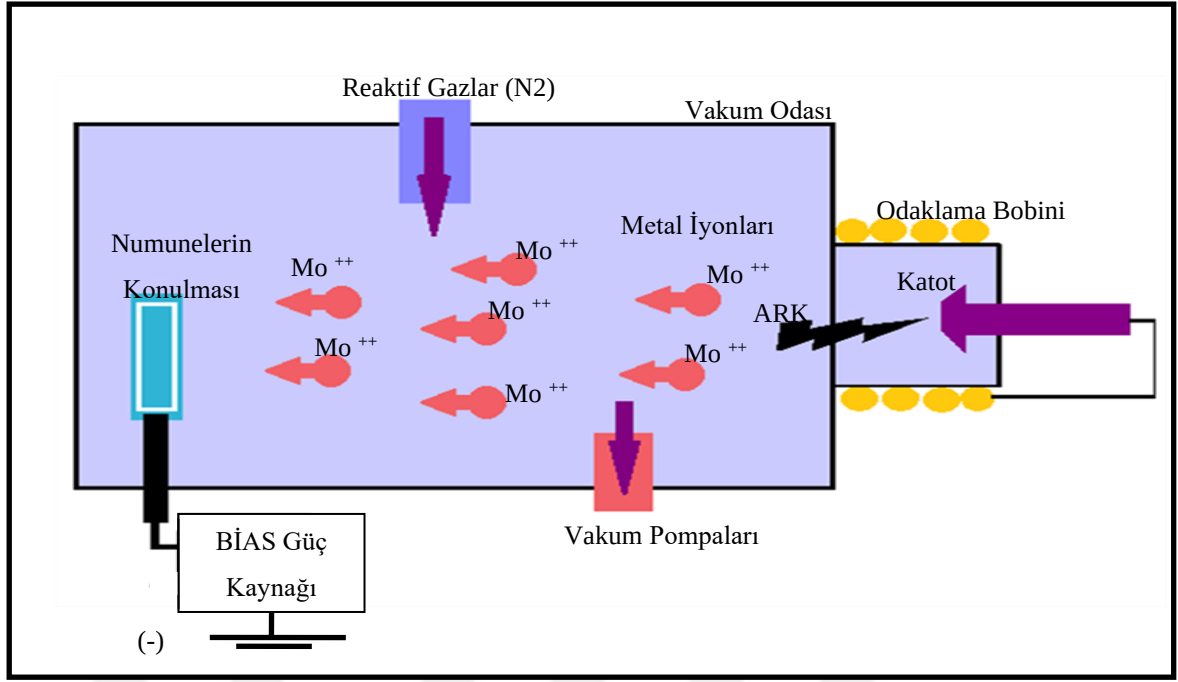
malzeme vakum odasından lazer kaynağı yardımı ile buharlaştırılır ve altlık (taban) malzemesi üzerine biriktirilir (Sönmezoğlu vd., 2012). Yüksek güçte pulslanan KrF lazeri gibi lazerler (1J/Çut) kuartz cama doğru ışınlanır. Hedef kaynak üzerindeki lazer gücünün enerji yoğunluğunu arttırmak için kuartz bir lens kullanılır (Kaya, 1998). Buharlaştırılacak olan malzemenin ışıyım soğurma karakteristiği, kullanılacak olan lazerin dalga boyunun belirlenmesini sağlamaktadır. Bu metot ile lazer ışıyımını soğurabilen yüksek ergime sıcaklığına sahip metaller buharlaştırılabilmektedir (Sönmezoğlu vd., 2012). Yüzeyden buharlaştırılan atomlar, numune yüzeyinde ince film oluşturacak şekilde toplanırlar (Kaya, 1998).

4.1.1.5 Ark Yöntemi İle Buharlaştırma

Katodik Ark PVD tekniği, diğer tekniklere göre daha yeni olan, ancak kullanımı hızla yaygınlaşan bir kaplama tekniğidir (Şafak, 2008). Bu yöntemde hedef malzemenin buharlaştırılması ve iyonize olması için "ark" kullanılır (Sönmezoğlu vd., 2012).

Katodik ark yönteminde; buharlaştırılacak olan malzeme vakum odasında katot, kaplanacak olan taban (altlık) malzeme ise anot olarak yerleştirilmektedir (Okay, 2006).

İşlem esnasında uygulanan 10-40 V gibi düşük voltajlar ve 30-300 Å gibi yüksek akımlar katot üzerinde “ark” meydana getirilir. Katot yüzeyinde arkın oluştuğu ark izi veya katot izi olarak adlandırılan noktalarda, sıcaklığın yaklaşık 2500 °C gibi çok yüksek değerlere ulaşması, bu noktalarda ergime ve buharlaşmalara sebep olur (Sönmezoğlu vd., 2012). Katot üzerindeki ark nedeni ile meydana gelen noktalar (ark izi noktaları) sabit değildir ve hızla yer değiştirirler. Bu hızla gerçekleşen yer değişim ile katodun homojen bir şekilde buharlaşması sağlanır. Oluşan buhar fazı, katodun önündeki yüksek elektron yoğunluğuna sahip bölgede (10^{20} m^{-3}) çarpışmalar sonucu iyonize olurlar ve oluşan iyonlar hızla taşınırlar. Katodik ark buharlaştırma sistemi Şekil 4.8’ de verilmiştir (Okay, 2006).



Şekil 4.8: Katodik ark PVD sistemi(Şafak,2008)

Katodik ark yöntemi, diğer buharlaştırma yöntemlerinin tersine intermetalik fazların oluşması amacıyla kaplama işleminden sonra herhangi bir ısıl işleme ihtiyaç duymaz. Bu sayede teknolojik uygulamalara uyumu oldukça kolaydır. Bu yöntemde, taban malzemeye sırasıyla düşük ve yüksek bias voltajları uygulandığında yüzeyin yapısı değişmektedir. Hedef malzemeye ait enerjik iyon bombardımanı esnasında taban malzemesinin yüzeyinin ısınması ve iyon - taban malzeme etkileşimlerinin difüzyon üzerindeki kuvvetlendirici etkileri sistemde sırasıyla, yüzeyde spinodal ayrışmalara ve intermetalik fazların oluşumuna neden olmaktadır.

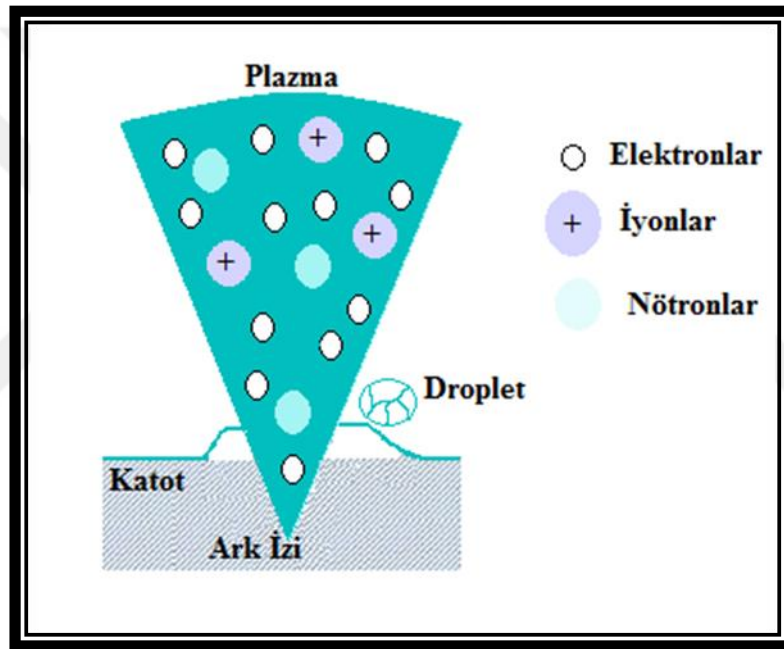
Katodik ark yöntemi bazı özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. Bunlar;

- İyonizasyon miktarının yüksek olması,
- İstenilen bileşimde kaplama yapılabilmesi,
- Kaplama biriktirme hızının yüksek olması,
- Düşük altlık (taban) malzeme sıcaklıklarında dahi iyi yapışma sağlaması (Sönmezoğlu vd., 2012).

Katodik ark PVD sisteminde işlem kademesi şu şekildedir:

- Vakum işlemi,
- Taban malzemenin; radyasyon, taban malzeme tutucularından ısı iletimi ve sistemde bulunan hızlandırılmış partiküller aracılığıyla ısıtılması,
- Taban malzeme yüzeyine çarpan elektronlar neticesinde, taban malzeme yüzeyinden atomların koparılması ve bu sayede yüzeyin temizlenmesi,
- Film biriktirme işlemi,
- Soğutma işlemi (Şafak, 2008).

Katodik ark buharlaştırma prosesinde, katot üzerinde ark oluşumu Şekil 4.9' da gösterilmiştir.



Şekil 4.9: Ark oluşum mekanizması (Sönmezoğlu vd., 2012)

- Katodik ark yönteminin karakteristik özellikleri şu şekildedir:
- Plazma bir ark spotu ile oluşturulur,
- Katot yüzeyinde buharlaşan malzemenin % 30 ilâ % 80'i iyonize olur,
- Plazmada farklı yüklerde iyonlar mevcuttur (T^+ , T^{+2} , T^{+3}),
- İyonlar 40-100 eV arası kinetik enerjiye sahiptir (Okay, 2006),
- Yüksek buharlaştırma verimine sahiptir,
- Katodik ark metoduyla imal edilen filmler uygun mikro yapıya ve yüksek yapışma özelliğine sahiptirler,

- h) Bu yöntemle yapılan kaplamalarda, kritik yükler 100 N' a ulaşabilir; yani filmin taban malzemeye adezyonu çok iyidir (Türküz, 2006),
- i) Ark kaplamalar çok sayıda droplet (damlacık) içerir (Okay, 2006).

Bu metodun en önemli dezavantajı, film yapısında makro partiküllerin oluşmasıdır. Makro partiküllerin oluşma nedeni, katot üzerinde arkın oluştuğu ark izi noktalarında aşırı ısınmanın meydana gelmesi sonucunda "droplet" adı verilen büyük sıvı kütlelerin de iyonlarla beraber taban malzeme yüzeyine taşınmasıdır (Türküz, 2006). Dropletler, kaplama sırasında perdeleme etkisi yaratarak, altlarında kaplanmamış bölgelerin oluşmasına neden olurlar. Bunun neticesi olarak da kaplama niteliğini birçok açıdan olumsuz yönde etkilerler (Sönmezoğlu vd., 2012). Optik ve mikro elektronik kaplamalar, damlacıkların olumsuz etkilerinin görüldüğü uygulamalardır. Optik kaplamalarda damlacıklar saçılma merkezleri olarak davranır ve optik kaybı artırır (Okay, 2006). Ayrıca buharlaştırma sırasında oluşan damlacıklar kaplanacak malzeme yüzeyine yapışarak yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olurlar.

Ark akımı, biriktirme süresi, kaynak-taban malzemesi arası mesafe, azot kısmî basıncı ve taban malzemenin bias voltajının, makro partikül sayısını etkileyen en önemli biriktirme parametreleri olduğu, ayrıca kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğündeki artışın miktarı ile yapıdaki makro partikül sayısı arasında doğru orantılı bir ilişkinin bulunduğu belirlenmiştir (Türküz, 2006).

Ana malzemeye negatif temel gerilim uygulanırsa, buharlaşan malzeme ana malzeme üzerinde yoğunlaşır. Plazma içinde hareket halinde olan iyonların kinetik enerjileri 10-100 eV arasındadır ve bunun neticesi olarak çok yüksek biriktirme hızlarına ulaşılmaktadır. Üretilen kaplamalarda damlacık sayısı azaldıkça, kaplamanın yapışma (bonding) ve aşınma özelliklerinde gelişme gözlenmektedir (Okay, 2006).

Kaplamaların damlacık içeriğini azaltmada iki yaklaşım mevcuttur. Bunlardan birincisi damlacık üretimini azaltma, ikincisi plazmadan damlacıkları ayırma yöntemleridir. Katot sıcaklığını azaltma, arkın reaktif gaz ortamında çalıştırılması ve yönlendirilmiş ark metodunun kullanılması katot erozyon hızını ve damlacık saçılma hızını büyük oranlarda azaltmaktadır. Damlacık kontrolünde diğer bir yaklaşım plazmadan damlacıkları ayırmadır. Damlacıklar katot çevresine konulmuş damlacık toplayıcılarıyla en aza

indirilmektedir. Ana malzemeye uygulanan temel (negatif) gerilimi, makro partikül sayısında büyük oranda azalmalara sebep olmaktadır (Okay, 2006).

Manyetik filtreleme sistemlerinde plazma demetini kısıtlamak ya da yönlendirmek için bir manyetik alan kullanılır (Okay,2006). Böylece yüklü iyonlar tercihi olarak katoda yönelmekte, yüksüz makro partiküllerse meydana gelen manyetik alandan etkilenmemektedir (Türküz, 2006). Bu sayede damlacıklar etkisiz hale getirilebilir (Okay, 2006).

Katodik ark kaplamaların çok sayıda droplet içermesi, ark davranışını geliştirmede yeni teknolojilerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Son yıllarda üzerinde çalışılan teknolojilerden birisi de yönlendirilmiş ark tekniğidir. Yönlendirilmiş ark tekniği damlacık boyutunu azaltarak daha pürüzsüz bir kaplama yüzeyi elde etmenin yanı sıra, farklı parçacıklardan oluşan katotları kullanma olanağı da sağlamaktadır. Aynı kaynaktan farklı ve çok katlı kaplama yapılabilmesi bu tekniğin endüstride önemli bir yer edineceğini göstermektedir. Rastgele (random) ark tekniğinde karşılaşılan TiAlN filminin son bileşiminde alüminyum kaybı bu teknikte görülmemektedir (Okay, 2006).

Katodik ark kaplama yöntemi çok geniş bir aralıkta değişiklik ve üretim yapmaya olanak sağlar. TiN, ZrN ve CrN gibi çift katlı kaplamaların elde edilmesi mümkündür. Gelişen teknoloji sayesinde TiAlN ve TiZrN gibi üç katlı kaplamaların elde edilmesi de mümkün olmaktadır. Üçlü kaplamaların üretimi, istenilen özelliklere uygun kaplama edebilme açısından son derece esneklik sağlamaktadır. Kaplama kompozisyonunun ana malzeme üzerine etki edebilmesi, katodik ark işleminin hangi şartlarda yapıldığına bağlıdır. Özel kullanım amaçları için, kaplamanın özelliklerine göre optimizasyon gerekebilir. Özel kullanım amaçlı katodik ark kaplamalarda mekanik karakteristikler ve mikro yapı incelemeleri, uygun kaplamayı yapabilmek için çok önemlidir. Genellikle katodik ark kaplamalar yoğun mikro yapılarına ve atık vermesine karşın elektron sıçratma yöntemine göre daha az gerilime neden olan bir işlemdir (Okay, 2006).

Katodik ark tekniğinin avantajları şu şekilde sıralanabilir (Türküz 2006).

- a) Kaplama elemanları yüksek oranda iyonize edilebilir,
- b) Karmaşık şekilli parçalar üzerine yeterli homojenlikte kaplama yapılabilir,

- c) Sistemde ergimiş bir banyo oluşmadığı için, buharlaştırma kabini herhangi bir doğrultuda, hatta baş aşağı bile konumlandırılabilir,
- d) Basit konstrüksiyon ve basit güç kaynak üniteleri yeterlidir,
- e) Katot uzun süre kullanılabilir.

Yöntemin en önemli dezavantajı ise, kaynaktan çıkan dropletlerin, kaplamaların niteliğini düşüren makro partiküller oluşturmalarıdır (Türküz, 2006).

Katodik ark yönteminin diğer PVD yöntemlerine göre üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

- a) Metaller, alaşımlar ve bileşikler yüksek kaplama hızlarında biriktirilebilirler.
- b) Ana malzeme yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmak zorunda değildir.
- c) İstenilen bileşimde alaşımlar biriktirilebilir.
- d) Bileşik filmler kolaylıkla üretilebilir (TiAlN vb.).
- e) Geniş kaplama parametrelerinde iyi kalitede filmler elde edilebilir.
- f) Karmaşık geometriye sahip parçalar üniform olarak kaplanabilir (Okay, 2006).

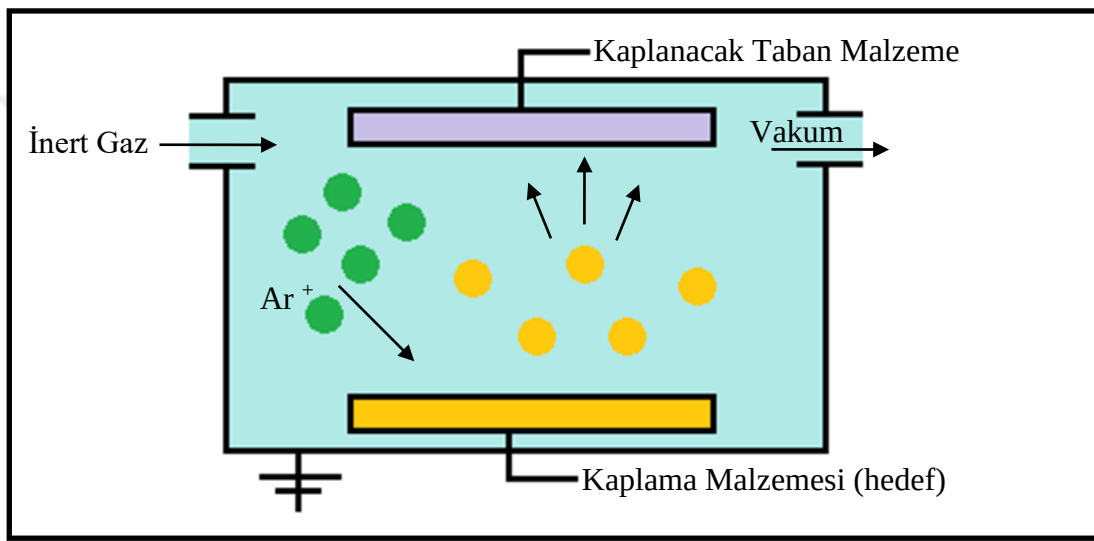
4.1.2 Sıçratma İle PVD Kaplama Yöntemleri

Sıçratma yöntemi, genelde plazma ya da iyon tabancası aracılığıyla hızlandırılmış atomik boyuttaki yüksek enerjili gaz iyonları ile hedef malzeme yüzeyinin bombardımana tabi tutularak, atomların yüzeyden sıçratılması ve hedef malzeme yüzeyinden koparılan bu atomların buhar fazına geçirilerek altlık malzemesi yüzeyinde biriktirilmesi esasına dayanır (Sönmezoğlu vd., 2012).

Sıçratma prosesi evrenseldir ve kaplama bileşimi yüksek bir hassasiyetle kontrol edilebilir. Kaplama malzemesi, buhar fazına mekaniksel bir prosesle (momentum değişimi) geçtiğinden dolayı, neredeyse her malzemenin kaplanması için aday olabilir (Savaş, 2004). Ama bugün sıçratma, sıklıkla yüzey temizlemede, yüzey aşındırmada, ince film biriktirmede ve yüzey analiz işlemlerinde kullanılmaktadır (Sönmezoğlu vd., 2012). Sıçratma tekniğiyle pek çok malzeme başarılı bir şekilde kaplama oluşmasına karşın, birikme hızının ve plazma içindeki iyonlaşma etkisinin düşük olması ve alttaş sıcaklığının yükselmesi sistemin kullanımını sınırlamıştır (Sönmezoğlu vd., 2012). Sıçratma, enerjik partiküller tarafından yüzeyin bombardıman edilmesiyle, momentum değişimine bağlı

olarak, kaplama malzemesinin katı yüzeyinden çıkartılıp fırlatıldığı bir süreçtir. Yüksek enerjili partiküller, genellikle ağır bir inert veya reaktif gazın (argon en yaygın kullanılan asal gazdır) ya da kaplama malzemesi türlerinin pozitif iyonlarıdır. Taban malzemesi, sıçratılmış atomların akışını kesmesi için hedefin önüne yerleştirilir (Savaş, 2004).

Şekil 4.10’ da yer alan sıçratma yönteminde kullanılan inert gaz iyonları, hedef malzeme yüzeyine çarparak sahip oldukları enerjiyi malzemeye verirler ve böylece malzeme yüzeyinden atomları sıçratırlar (Sönmezoğlu vd., 2012).



Şekil 4.10: Sıçratma mekanizması (Şafak, 2008).

Kopartılan bu atomlar oluşan plazma içerisinde buhar fazına geçer ve altlık malzemesi yüzeyinde biriktirilir. Bu şekilde sert seramik filmler ya da bileşik malzemelerden üretilen kaplamalar yapılabilir (Şafak, 2008). Sıçratma momentum değişimi, yüzeyin sadece 1 nm altını kapsayan bir bölgede meydana gelir (Savaş, 2004). Farklı buharlaşma hızlarına sahip alaşımlar da bileşimleri değişmeden biriktirilebilir, ayrıca kaplama yapısına makro partikül girme olasılığı da oldukça azdır (Savaş, 2004).

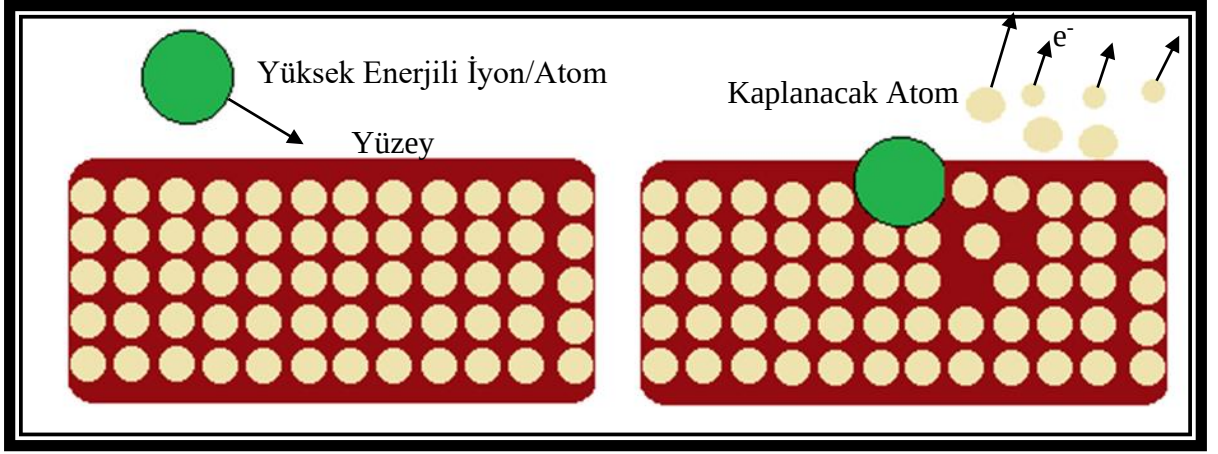
Sıçratma sistemi, negatif doğru akım ya da alternatif akım potansiyel uygulanan kaplama malzemesi ile kaplanacak altlık malzemenin bulunduğu bir vakum odasından oluşur. Kaplanacak altlık malzemesi, kaplama malzemesiyle karşılıklı yerleştirilir ve topraklama, negatif potansiyel uygulama ya da kendi halinde bırakma işlemlerinden birisi uygulanır. Sıçratma işleminde plazma oluşumunu başlatabilmek için diğer malzemelerle reaksiyona

girmeyecek inert gaz iyonları kullanılır. Bunun için argon en çok kullanıma sahip olan gazdır (Şafak, 2008). Argon iyon halinde bulunan inert gazdır. İntert gaz iyonları hedef malzeme yüzeyine çarparak ilerler ve sahip oldukları enerjiyi de malzemeye aktarırlar. Bu durumda yüzeyden bir atom dışarı fırlar. Süreç düşük basınçta inert gazlı ortamda gerçekleşmektedir (Okay, 2006).

Sıçratma mekanizmasında verimi koruyabilmek için iyonların kinetik enerjilerinin uygun bir değerde tutulması önem arz etmektedir. Fotoelektrik olayda elektronların metal yüzeyden ayrılışı, metalin cinsine bağlı olarak değişen ve eşik enerjisi adı verilen kritik bir kinetik enerji değerine bağlıdır. Sıçratma yönteminde kullanılan inert gazın ağırlığına göre verilmesi gereken kinetik enerjide de böyle bir benzerlik mevcuttur (Okay, 2006).

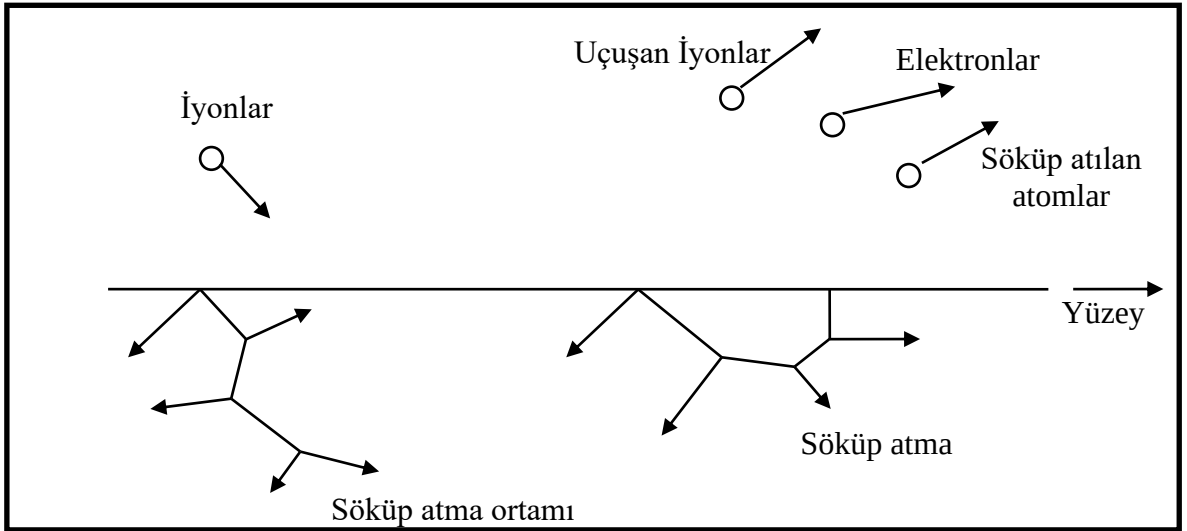
Hedef adı verilen kaplama malzemesine 2-3 kV' luk negatif potansiyel uygulanır ve oluşturulan plazmadaki pozitif iyonların hedef yüzeyine çarpmaları sağlanır (Şafak, 2008). İntert gaz iyonlarının saçınımları durumunda bıraktıkları enerji, yüzeyde ısı olarak belirecektir (Okay, 2006). Momentum değişim mekanizmasıyla çarpan iyonlar hedef malzemeden atom kopartırlar. Hedef malzemenin atomlarının bu şekilde malzemeden uzaklaştırılmasına sıçratma adı verilir (Şafak, 2008).

İyonların yüzeyden atom koparabilmeleri için kütlelerinin oldukça büyük olması gerekmektedir. Helyum ve argon ile yapılan sıçratmanın daha verimli olduğu görülür. Sıçratma veriminin, iyonların sahip oldukları kinetik enerji ve geliş açısıyla da çok yakından ilişkisi mevcuttur. İyonlar malzeme yüzeyine dik olarak çarpıyorlarsa iyonların malzemenin derinliklerine dik olarak ilerlemeleri daha kolay olacağından verim düşmüş olacaktır. Geliş açısının artması durumundaysa iyonların geri saçılma olanağı artmaktadır (Okay, 2006).



Şekil 4.11: Sıçratma mekanizması (Sönmezoğlu vd., 2012).

Sıçratılan iyonların bazıları kaplanacak taban metal yüzeyine giderek orada birikir ve bir film oluşturur. Sıçratma esnasında hedef yüzeyine pozitif yüklü iyonların çarpmasıyla başka ara etkilemeler de meydana gelebilir. Hedef yüzeye çarpan atomlardan bazıları malzeme içine gömülebilir ya da enerjilerini malzemeye bırakarak geri saçınabilirler (Şekil 4.11). Atomların geri saçınmaları durumunda bıraktıkları enerji malzeme yüzeyinde ısı olarak açığa çıkacaktır. Başka bir durum ise çarpmanın etkisi ile çıkan ikincil elektronların, nötr haldeki sıçratma gazı atomlarının ilave iyonizasyonuna neden olabilmesidir (Şekil 4.12), (Şafak, 2008).



Şekil 4.12: Sıçratma yönteminin şematik gösterimi (Okay, 2006).

Sıçratma metodundaki gelişimlerin çoğu, manyetik alan içinde gerçekleşmiştir. Bunun sebebi ise manyetik alanda sıçratma yöntemiyle yapılan kaplamaların, mikro elektronik,

optik, manyetik ve optik diskler, türbin bıçakları ve kesici takımlar gibi sanayide kullanılan birçok alanda kullanılmasıdır (Sönmezoğlu vd., 2012).

Sıçratma metodunun en önemli avantajı farklı buhar basınçlarında farklı buharlaşma hızlarına sahip alaşımların, bileşimleri değişmeksizin yüzeyde başarıyla biriktirilebilmesidir. Ayrıca bu metotta film yapısına makro partiküllerin girme ihtimali çok düşüktür. Elde edilen kaplamaların taban malzemeye yapışması oldukça iyidir ve taban malzemenin sıçratmayla temizlenmesi neticesinde yapışma özelliği daha da iyi hale getirilebilir. Sonuç olarak sıçratmayla elde edilen filmin niteliği ve yapısı çok iyidir (Sönmezoğlu vd., 2012).

Sınırlı kaplama kalınlığı ve ekonomik açıdan yüksek maliyetli olması bu yöntemin dezavantajlarıdır. Çünkü sıçratma yöntemindeki elektrik kullanımı, buharlaştırma yöntemine göre çok daha fazladır (Sönmezoğlu vd., 2012).

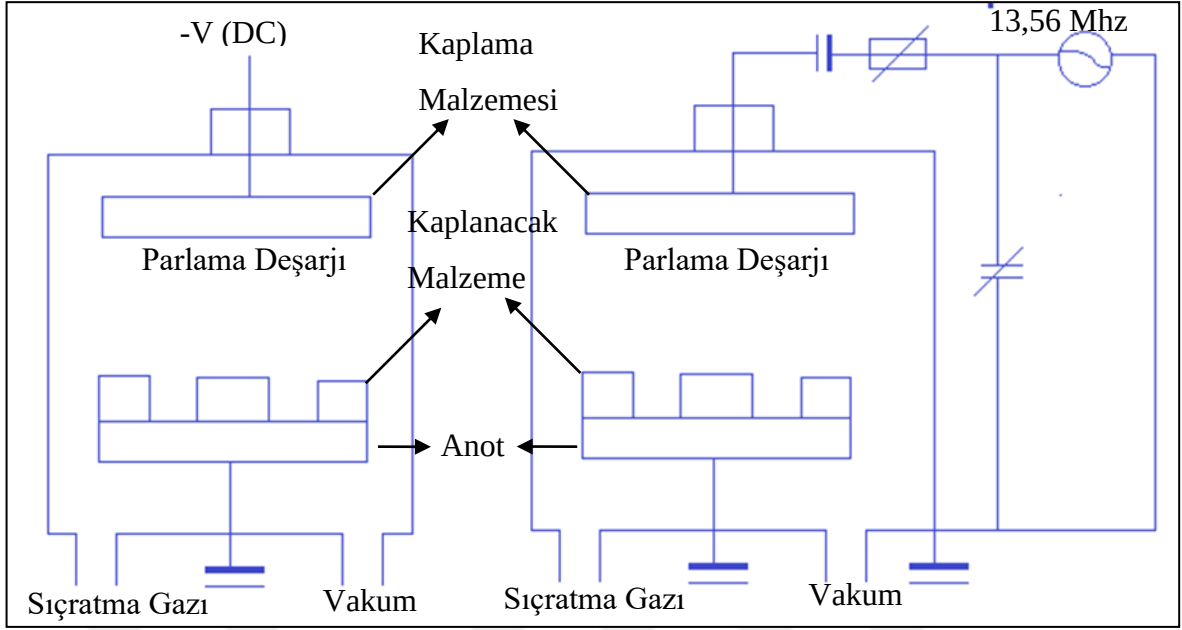
Sıçratma yöntemiyle yapılan kaplamalarda iyon kaynağı olarak, iyon tabancası ve plazma kullanılmaktadır. Sıçratma ile kaplama tekniği temel olarak kendi içinde üçe ayrılmaktadır. Bunlar:

- a) Diyot sıçratma,
- b) Triyot sıçratma,
- c) Manyetik sıçratmadır (Şafak, 2008).

Bununla birlikte sıçratmanın yönteminin maliyeti, buharlaştırma tekniğine göre 3 - 10 kat daha yüksektir (Savaş, 2004).

4.1.2.1 Diyot Sıçratma

Diyot sıçratma yöntemi, biri anot diğeri katot olmak üzere karşılıklı olarak yerleştirilmiş bir çift düzlemsel elektrottan oluşmaktadır. Katodun plazmayla temas halinde olan üst yüzeyinde kaplama malzemesi, katodun altındaysa su soğutmalı hazne bulunmaktadır. Kaplanacak malzeme anoda yerleştirilmektedir. Diyot sıçratma sisteminin şematik resmi Şekil 4.13'te verilmiştir (Sönmezoğlu vd., 2012).



Şekil 4.13: Diyot sıçratma sistemi (Sönmezoğlu vd., 2012).

Eğer bu ortama yüksek basınçta (4-15 Pa) inert gaz verilir ise yoğun atom çarpışmaları gerçekleşir (Şafak, 2008).

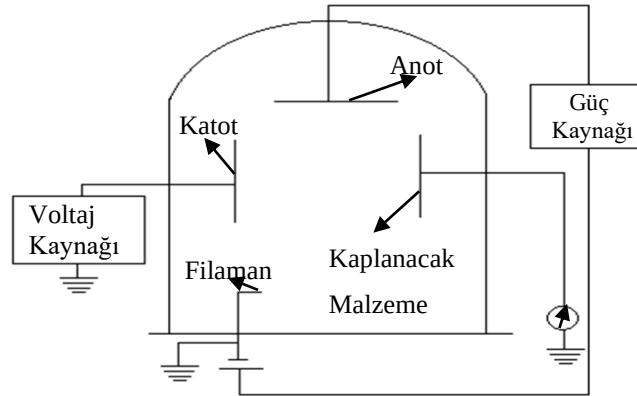
Sıçratma haznesi vakum altına alındıktan sonra basınç 13,3 Pa (10 torr) olacak şekilde argon gazı gibi soy bir gaz hazneye verilip, elektrotların arasına bir kaç kV' luk gerilim ve 1-10 k Ω ' luk direnç uygulandığında, parlama deşarjı (glow discharge) oluşmaktadır. Parlama deşarjındaki pozitif iyonlar katot yüzeyine çarpmakta ve buradan kaplama malzemesini sıçratarak kaplanacak yüzey üzerinde ince bir film tabakası meydana getirmektedir. Eğer bu kaplama malzemesi iletken bir malzemeyse parlama deşarjı meydana getirmek amacıyla doğru akım uygulanmaktadır. Doğru akım diyot sıçratma denilen bu sistemde kaplama malzemesinin yalıtkan olması durumunda parlama deşarjını oluşturabilmek amacıyla doğru akımdaki voltaj kullanmak yerine radyo frekans (RF, radio frequency) voltaj kullanılmaktadır. Bu yöntemse radyo frekans diyot sıçratma olarak adlandırılmaktadır. Diyot sıçratma yöntemi kolaylığı nedeniyle sıklıkla kullanılmasına karşın ikincil elektronların kullanılmaması, düşük biriktirme hızı, yüksek enerjili partiküllerin bombardımanına bağlı olarak taban malzemenin fazla ısınması ve oldukça sınırlı biriktirme yüzey alanı gibi birçok dezavantaja sahiptir (Sönmezoğlu vd., 2012).

Diyot sıçratma tekniğinde sıçratma etkisi çok zayıftır. Bu sebeple çok fazla kullanılmamaktadır (Şafak, 2008).

4.1.2.2 Triyot Sıçratma

Triyot sıçratma tekniğinde, amaç düşük basınçlarda iyonlaşmayı arttırmak ve parlama deşarjını sürdürmektir. Bu sebeple diyot sistemine ilaveten, ısıtıcı ve pozitif potansiyelli bir elektrot yer almaktadır. Isıtıcı ve elektrot, gaz iyonizasyon derecesini arttırarak sıçratma verimini yükseltmektedir. Katodun karşısına yerleştirilen birincil anot, plazmanın oluşmasını sağlayan gaz iyonizasyonu potansiyeline yakın bir potansiyele sahiptir. Bu koşullarda, düşük basınç değerlerinde bile homojen bir plazma elde etme olanağı sağlamaktadır (Sönmezoğlu vd., 2012).

En çok kullanılan triyot sıçratma sistemi Şekil 4.14'te görülen sıcak katot triyot sistemidir. Sıcak katot, termo iyonik emisyon süresince elektron yaymaktadır ve yayılan bu elektronlar parlama deşarjı sisteminin içine atılmaktadır. Bu durumda iyonizasyon etkinliği artmaktadır. Böylelikle parlama deşarjı daha düşük basınçlarda ($6,6 \cdot 10^{-2} - 10^{-3}$ Pa / $5 \cdot 10^{-2} - 10^{-3}$ torr) ve daha düşük voltaj (50-100 V) uygulanarak oluşmaktadır.



Şekil 4.14: Triyot sıçratma sistemi (Sönmezoğlu vd., 2012).

Bu nedenle triyot sıçratma ile biriktirme hızı diyot sıçratmayla biriktirme hızına göre daha yüksektir. Reaktif gaz varlığında filamanların ömrünün kısılması, triyot sıçratma yönteminin en önemli dezavantajıdır (Sönmezoğlu vd., 2012).

4.1.2.3 Manyetik Sıçratma

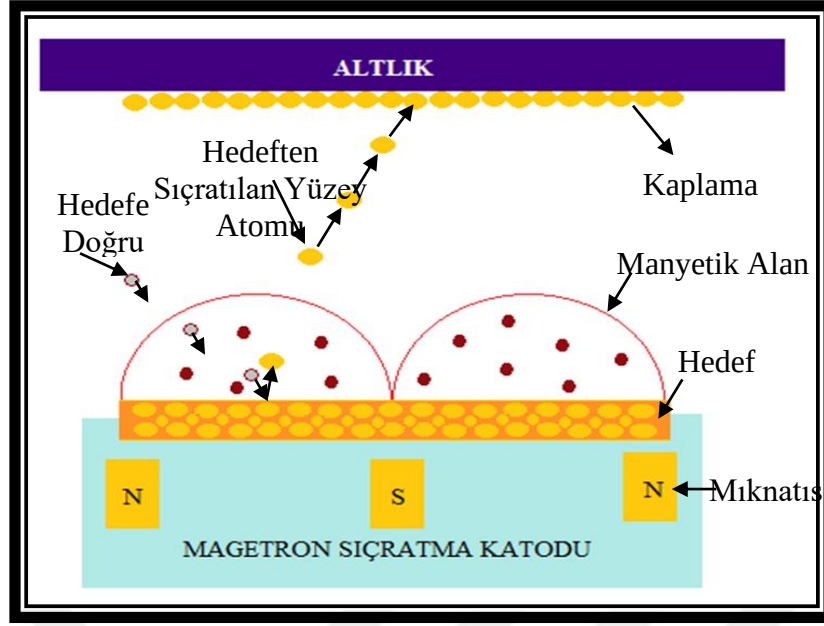
Manyetik sıçratma yöntemi, son yıllarda sıklıkla kullanılan ve gelişmiş bir sıçratma yöntemidir (Türküz, 2006). Bu teknikte hedef malzeme, su soğutmalı mıknatıs ya da elektromıknatıslardan oluşan tutucunun üzerine yerleştirilmiştir (Sönmezoğlu vd., 2012).

Temel sıçratma yönteminde, bir hedef (veya katot) plakanın önünde bulunan bir plazma içinde oluşturulan enerjik iyonlar, bu hedefi (veya katodu) bombardıman etmektedir. Böylelikle bombardıman işlemiyle hedef atomlar kopartılmakta ya da sıçratılmaktadır. Daha sonra bu atomlar ince bir film olarak bir altlık (taban) malzeme üzerinde birirmektedirler. İyon bombardımanının sonucu olarak ikincil elektronlar hedef yüzeyinden yayılmakta ve bu elektronlar, plazmanın sürdürülmesinde önemli rol oynamaktadır (Çalışkan vd., 2010).

“Mıknatısın bir kutbu kaplama malzemesinin merkez eksenine, ikinci kutbu ise kaplama malzemesinin kenarlarına yerleştirilmiştir. Mıknatısların bu şekilde düzenlenmesi, elektrik ve manyetik alanların kaplama malzemesinin üzerinde birbirine dik olmasını sağlamaktadır” (Sönmezoğlu vd., 2012).

Mıknatısların bu şekilde düzenlenmesi neticesinde meydana gelen manyetik alan, iyon bombardımanı ile katot yüzeyinden yayınan ikincil elektronların, özellikle bu bölgede tutularak iyonizasyonun artmasına ve plazmanın daha yoğun olmasına sebep olur (Şafak, 2008). Böylece, daha yüksek sıçratma oranlarıyla hedefin iyon bombardımanı artmakta ve bu sebeple taban malzeme üzerinde daha yüksek biriktirme oranlarının elde edilmesi sağlanabilmektedir (Çalışkan vd., 2010).

Aşınma, kaplama malzemesi yüzeyinde manyetik alan çizgileri boyunca oluşmaktadır. Manyetik sıçratma yöntemiyle elektronlar yönlendirilerek çarpışmaların çoğunlukla katot yüzeyine yakın yerlerde meydana gelmesi sağlanmaktadır. Çarpışmaların katot yüzeyine yakın yerlerde oluşması, iyonizasyonun artmasına ve plazmanın daha yoğun olmasına neden olmaktadır. İyonizasyon etkisinin artmasıyla ana sıçratma sistemlerinden daha düşük çalışma basınçlarında plazma oluşturabilen manyetik alanlar meydana getirilebilir (Sönmezoğlu vd., 2012).



Şekil 4.15: Manyetik sıçratma işlemi (Çalışkan vd., 2010).

İyonizasyon etkisinin artmasıyla daha düşük çalışma basıncında plazma oluşturabilen manyetik alanlar meydana gelir (Şafak, 2008). Çalışma basıncının düşürülmesiyle sıçratılan hedef atomlarının gaz fazındaki saçılması daha az olacağından taban malzemeye ulaşan tanecik sayısı artar ve bu nedenle birikme hızları nispeten daha yüksek olur (Sönmezoğlu vd., 2012).

Pratikte birikme hızını kontrol eden etkenler, alt metal - hedef mesafesi, hedef malzemesi, hedef bölgesindeki güç yoğunluğu, hedef alanı ve basınçtır (Şafak, 2008). Neticede elektronların etkin kullanılmasıyla düşük basınçta ($0,13-0,39 \text{ Pa} / 1 \times 10^{-3} - 3 \times 10^{-3} \text{ torr}$) ve düşük voltajda (300-700 V) kaplama yapılabilir (Sönmezoğlu vd., 2012). Bu yöntemle hem biriktirme hızında artış sağlanmış, hem de metrekairelerce büyüklükteki taban malzeme yüzeylerine homojen biriktirme yapılması mümkün hale gelmiştir. Ayrıca manyetik ve triyot sıçratma yöntemleriyle, taban malzeme içermeyen, sadece kaplama malzemesinden oluşan şekiller üretmek de mümkün olmaktadır (Türküz, 2006).

4.2 PVD Tekniğinde Kullanılan Başlıca Kaplama Malzemeleri

Mevcut bilimsel çalışmalar incelendiğinde PVD yöntemiyle genelde Ti, TiN, TiC, TiCN, TiAlN, TiAlCN, TiB, TiSiCN, AlTiN, TiZrN, TiBN, CrN, CrCN, CrN / TiN, Cr-AlN, MoV, MoS₂, MoS₂-Ti, Al₂O₃, ZrN, NbN, WC/Co kaplamalar yapılarak aşınma

davranışlarının incelendiği gözlemlenmiştir. Yapılan firma araştırmaları neticesinde Türkiye şartlarında PVD yöntemiyle yapılan kaplama türleri; TiN (Titanyumnitrür), CrN (Kromnitrür), CrCN (Kromkarbonitrür), TiAlN (Titanyumalüminyumnitrür), ZrN (Zirkonyumnitrür) kaplamalar olarak sıralanabilir (URL-4, 2003; URL-3; URL-5; URL-6; URL-7, 2013).

Yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde, katot temin edildiği takdirde NbN (Niyobyumnitrür), MoS₂-Ti (Molibdendi Sülfid-Titanyum), WC/Co (Tungstenkarbür-Kobalt), TiSiCN (Titanyumsilisyumkarbonitrür), Cr-AlN (Krom-Alüminyumnitrür), TiZrN (Titanyumzirkonyumnitrür), TiBN (Titanyum bornitrür) kaplamalar katodik ark tekniğiyle yapılabilmektedir. Katot temin edildiği takdirde kaplama firmaları yukarıda belirtilen kaplamaları yapabileceklerini beyan etmişlerdir (URL-4, 2003; URL-3; URL-5; URL-6; URL-7, 2013).

Tablo 4.2: Bazı ince sert film kaplamaları ve özellikleri (Gündüz vd., 2005).

Kaplama Özellikleri	Kaplamalar						Özel Kaplamalar		
Kaplama Malzemesi	TiN	TiCN	TiCN-MP	TiAlN	AlTiN	ZrN	CrN	CBC	TiAlCN
Kaplama Yapısı	Tekli	Çoklu	Çoklu	Tekli	Tekli	Tekli	Tekli	Çoklu	Çoklu
Sertlik (GPa)	24	37	32	35	38	28	18	20	28
Sürtünme Katsayısı	0,55	0,2	0,2	0,5	0,7	0,55	0,3	0,15	0,25
Kaplama Kalınlığı (µm)	1-5	1-4	1-4	1-4	1-3	1-4	1-4	0,5-2	1-4
Sıcaklık (°C)	600	400	400	800	800	600	700	400	500
Kaplama Rengi	Altın Sarısı	Mavi-Gri	Parlak Kırmızı	Mene kş	Mavi-Siyah	Açık Sarı	Gümü ş	Kömür Grisi	Kırmızımsı Bakır

4.2.1 TiN (Titanyum Nitrür) Kaplama

Titanyum nitrür kaplama, tüm PVD kaplamalar içinde en sık ve en eski kullanıma sahip olan kaplama türüdür. Demir, çelik vb. metaller, kesme kalıpları, metal işleme, aşınmaya maruz parçalar, tıbbi ve dekoratif parçalarda kullanılan bir kaplama türüdür. Uygulamada çoğunlukla matkap uçları, frezeler, bıçaklar, broşlar, kesme-bükme kalıpları, zımbalar, azdırma çakıları gibi birçok takım ve kalıpta kullanılmakta, performans yönünden kaplanan parçaların ömründe 3 ilâ 30 kat arasında bir artış sağlamaktadır (URL-4, 2003).

Yüksek sertliğe ve düşük sürtünme katsayısına sahip olan TiN, metalin metale sürtünmesinden dolayı oluşan aşınmaları önler, kayganlığı artırır, yapışma-sarma gibi problemleri minimuma indirir. Kaplama yüzeyinin sürtünme katsayısı oldukça düşüktür, bu nedenle sürtünme kuvvetleri azaldığından plastik deformasyonu geciktirir. Kimyasal reaksiyonlara girmediğinden dolayı oksidasyonu ve korozyonu önler. Kaplama yüzeyi mükemmel yapıştığından yüzeyde kaplama dökülmesi meydana gelmez (URL-4, 2003).

Tablo 4.3: Titanyum nitrür kaplamanın özellikleri (URL-4, 2003).

Kimyasal Bileşimi	TiN
Sertlik	2900 ± 200
Oksidasyon Sıcaklığı (°C)	550
Sürtünme Katsayısı	0,65
Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) µm	0,2
Kalınlık () µm	2-3
Renk	Altın Sarısı

4.2.2 TiCN (Titanyum Karbo Nitrür) Kaplama

Titanyum karbonitrür kaplama, karbon içeren reaktif gazlar ile elde edilir. Karbon oranı arttırıldığından sertliği çok yüksektir. TiCN kaplama, TiN kaplamaya kıyasla daha düşük yüzey pürüzlülüğü, daha yüksek kaplama yapışma kuvveti ve daha düşük sürtünme katsayısı gibi avantajlara sahiptir. Isıl iletkenliğinin yüksek olması, TiCN kaplamanın dezavantajıdır (Şafak, 2008).

TiCN kaplama, zımbalar, yüksek hızda çalışarak talaş kaldıran takımlar gibi yüksek sertlik gerektiren uygulamalarda iyi performans sağlamaktadır. TiCN kaplama, sağlamlığı, iyi yapışma özelliği, yüksek sertliği ve düşük sürtünme katsayısıyla çatlamalara karşı yüksek direnç sağlar (Şafak, 2008).

Tablo 4.4: Titanyum karbo nitrür kaplamanın özellikleri (Şafak, 2008).

Kimyasal Bileşimi	TiCN
Sertlik (HV 0,05)	4000 ± 400
Oksidasyon Sıcaklığı (°C)	400
Sürtünme Katsayısı	0,45
Yüzey Pürüzlülüğü (Ra µm)	0,18
Kalınlık (µm)	2-5
Renk	Violet

4.2.3 TiAlN (Titanyum Alüminyum Nitrür) Kaplama

TiN kaplamaya alüminyum eklenmesi ile TiAlN kaplamalar elde edilir. Bu sayede hem sertlik hem de kaplamanın oksitlenmeye karşı direncinde artış sağlanır. Elde edilen kaplama tabakasının özellikleri alüminyum miktarına göre değişkenlik gösterir. TiAlN kaplama, yüzeyinde oluşan Al₂O₃ tabakası nedeniyle düşük ısı iletkenliği özelliğine sahiptir. Bu sayede özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışan kalıp ve takımlar için idealdir (Tablo 4.5), (Şafak, 2008).

Tablo 4.5: Titanyum alüminyum nitrür kaplamanın özellikleri (Şafak, 2008).

Kimyasal Bileşimi	TiAlN ve AlTiN
Sertlik (HV 0,05)	3600 ± 400
Oksidasyon Sıcaklığı (°C)	800
Sürtünme Katsayısı	0,42
Yüzey Pürüzlülüğü (Ra µm)	0,2
Kalınlık (µm)	2-5
Renk	Siyah / Füme

4.2.4 CrN (Krom Nitrür) Kaplama

Metal şekillendirmede çok aranan bir kaplama da CrN' dür. Özellikle sıvama kalıpları, metal ve plastik enjeksiyon kalıpları ve plastik kalıplarında çok iyi neticeler alınmaktadır. Kaplamanın düşük sıcaklıklarda yapılması sebebiyle kalıplarda çarpılmalar olmaz. Derin çekme ve sıvama kalıplarında kaplamanın yüksek sertliği ve düşük yüzey pürüzlülüğünden dolayı sarma yapmaz, parçalarda ve kalıplarda çizilmeleri asgariye indirir. Keskin köşelerin formu klasik sert krom kaplamada olanın aksine bozulmaz (Şafak, 2008).

İç gerilmelerinin düşük olması sebebiyle, 10 µm kalınlığa kadar CrN kaplama yapılabilmektedir. CrN kaplamanın yüzey pürüzlülüğü, TiN kaplamadan daha azdır. Yüksek mukavemet göstermesinden ve kalın kaplanabilmesinden dolayı TiN' e göre daha iyi korozyon direnci gösterir. CrN kaplama, geleneksel sert krom kaplamadan 2-3 kat daha serttir. Bu kaplamanın diğer özellikleri olan, düşük sürtünme katsayısı ve düşük kalıcı gerilme seviyeleri bir araya gelince, yüzeylerde her türlü aşındırıcı etkiye karşı koruma sağlanmış olur (Şafak, 2008). CrN kaplamanın özellikleri Tablo 4.6' da verilmiştir.

Tablo 4.6: Krom nitrür kaplamanın özellikleri (Şafak, 2008).

Kimyasal Bileşimi	CrN
Sertlik (HV 0,05)	2800 ± 400
Oksidasyon Sıcaklığı (°C)	700
Sürtünme Katsayısı	0,55
Yüzey Pürüzlülüğü (Ra µm)	0,2
Kalınlık (µm)	3-5
Renk	Gümüş Grisi

4.2.5 ZrN (Zirkonyum Nitrür) Kaplama

Zirkonyum nitrür kaplama, TiN kaplama ile benzer özelliklere sahip bir kaplama çeşididir (Şafak, 2008). ZrN kaplamanın en önemli özelliği insan vücuduna biyolojik olarak en uygun kaplama çeşidi oluşudur. Bu sebeple tıbbi implantlarda özellikle tercih nedenidir (Şafak, 2008). ZrN kaplamanın özellikleri Tablo 4.7' de verilmiştir.

Tablo 4.7: Zirkonyum nitrür kaplamanın özellikleri (Şafak, 2008).

Kimyasal Bileşimi	ZrN
Sertlik (HV 0,05)	2800 ± 200
Oksidasyon Sıcaklığı (°C)	600
Sürtünme Katsayısı	0,61
Yüzey Pürüzlülüğü (Ra µm)	0,2
Kalınlık (µm)	2-3
Renk	Açık Sarı

BÖLÜM 5

LİTERATÜR ÖZETİ

Kaplamanın en önemli amacı, malzemelerin aşınma direncini yükselterek servis ömürlerini uzatmaktır. Bu amaçla seçilen bir alt yüzey malzemesinin üzeri uygun kaplama tekniklerinden birisi kullanılarak, koruyucu bir tabaka ile kaplanır. Kaplamada kullanılan malzemeler toz ya da tel şeklinde olabilir. Bu işlem orijinal parça üretiminde kullanılabileceği gibi hasar görmüş malzemelerin onarımında da başarı ile kullanılmaktadır. İnce, sert ve aşınmaya dayanıklı bir tabaka elde etmek için uygulanan kaplama ve yüzey modifikasyon yöntemleri sırasıyla; borlama, karbürleme, karbonitrürleme, nitrürleme (Modenesi vd., 2000), plazma esaslı fiziksel buhar depolama (Molinari vd., 2001), (Zhong vd.,2002) plazmayla (Berns vd., 1997), (Deuis vd., 1998), toz püskürtme (Perchlik vd., 2001) yöntemleriyle yapılmaktadır

Günümüzde sanayide kullanılan birçok kaplama malzemesi, yani, TiAlN, CrN, TiAlSiN, AlCrN, TiCN, AlTiN / TiSiN, Al₂O₃ vs. vardır. Çalışkan (2017), Kuram (2018), Mitterer (2015), Panich (2006) bu kaplamaların çoğu, aşınmaya karşı koruma sağlamak için kesici takımlar üzerinde biriktirilir. Kesici takımlar özellikle sert malzemelerin işlenmesi sırasında yıpranmaya maruz kalır. Bu yüzden bir kaplama malzemesinin aşınma direncinin belirlenmesi, bir kaplamanın tasarım ve geliştirilmesinde önemli bir aşamadır.

Costa ve diğerleri (2010), Hogmark ve diğerleri(1997), Günen ve diğerleri (2013), Richter (2004), Hutchings (1998), Çalışkan ve diğerleri (2013), Korkut ve diğerleri(2013), Karaoğlanlı vd.,(2013) göre ince film kaplamaların aşınma direncini belirlemek için kullanılan, araştırmacılar tarafından kullanılan birkaç teknik vardır. Bunlar mikro-abrasyon ya da krater oluşum metodudur, büyük test yüzeyi gerektirmediği ve gerçekleştirmesi kolay olduğu için araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Bu teknikte, sabit veya hareketli 1'' boyutundaki çelik top (bilya), üzerine aşındırıcı solüsyonun belli aralıklarla damlatılması ile gerçekleştirilir.

Cozza ve diğerleri (2009, 2007); Ibáñez ve diğerleri (2009), topun bir mil üzerinde serbestçe dönmesi durumunda, serbest top kraterleme metodu olarak adlandırıldığını savunmuşlardır.

Adachi ve Hutchings (2005), Jones (2005), Mathew (2008), topun aynı ekseninde bir mil üzerine sabitlenmesi ve dönen top tarafından numune yüzeyine normal bir kuvvet uygulanması durumunda, sabit top kraterleme tekniği olarak adlandırıldığını savunmuşlardır. Bu top kraterleme testlerinden sonra, numune yüzeyinde oluşan kraterin çapı mikroskopla ölçüldüğünü ve malzemenin hacim kaybının hesaplandığını vurgulamışlardır.

Batista ve diğerleri (2002), AISI H13 çeliğine sabit bilyalı bir krater ekipmanı ile AISI H13 çeliğinde biriktirilen çift katlı ve tek katmanlı TiAlN, TiN ve CrN kaplamaların aşınma dayanımı araştırmışlardır. Tek katmanlı emsallerine göre, daha yüksek bir mikro aşınma direnci elde ettiklerini bildirmişlerdir. Çift yönlü TiAlN kaplama, en yüksek aşınma direncini göstermiştir.

Bose ve Wood (2003), sabit bilyalı krater tekniğiyle elmas, $B_{13}C_2$ ve TiN/TiC kaplamalarda mikro aşınma testlerini yapmışlardır. Yakın küresel aşınma izlerinin düşük yüklerde ve düşük top dönme hızlarında elde edildiğini ve üç gövdeli aşınmanın yuvarlanma ana aşınma mekanizması rejimi olduğunu bildirmişlerdir. Özel elmas kaplama aşınma oranı $B_{13}C_2$ ve TiN / TiC kaplamalardan daha düşüktür. Martinho ve diğerleri (2009), AISI P20 örneğinde biriken TiAlCrSiN kaplamaların fiziksel buhar biriktirme (PVD) magnetron püskürtme tekniği ile aşınma davranışını incelemiştir. Aşınma testleri bilyalı krater mikro-aşınması ve pratik testlerle yapılmıştır. %30 cam elyaf takviyeli polipropilenin enjeksiyonu sırasındaki aşınma davranışını gözlemlemek için plastik bir enjeksiyon makinesinde pratik testler yapılmıştır. Yazarlar, kaplanmamış AISI P20 çelik substrat ile karşılaştırıldığında TiAlCrSiN kaplama ile yaklaşık %50 artış elde edildiğini bildirmiştir.

Allsopp vd., (2002), takım çeliği substratları üzerine biriktirilmiş ark buharlaştırma ile bırakılan oda sıcaklığında ve 350 °C' deki TiN, TiCN ve AlTiN kaplamalarında performansı sıralamak için mikro ölçekli aşınma testi yöntemleri kullanılmıştır. Yazarlar, farklı sıcaklıklarda kaplamaların aşınma direnci değerlerinin farklı olduğu ve malzeme

sıralamasının benzer olduğu ve yüksek sıcaklıkta aşınma mekanizmalarında bir değışiklik olduğu sonucuna varmışlardır. AlTiN, test edilen en aşınmaya dayanıklı kaplama olarak bulunmuştur. Test sıcaklığının bulamaç aşınma direnci üzerinde önemli bir etkisi yoktur. Bu nedenle yazarlar, oda sıcaklığında mikro ölçekli aşınma testinin, 350 ° C'ye kadar yüksek sıcaklık uygulamaları için kaplamaların aşınma direncini değerlendirmek için kullanılabileceğı sonucuna varmıştır.

Literatür taraması, kaplama malzemelerinin farklı yükler ve aşındırıcı ebatları altında aşındırıcı aşınma davranışlarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi hakkında sınırlı bilgi olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, WC substratlarına fiziksel buhar biriktirme tekniğı ile bırakılan tek tabakalı TiN, AlTiN, AlCrN ve kaplamasız WC sementte karbür altlığın mikro aşınma davranışı sabit bilyalı kraterleme tekniğı ile incelenmiştir.

BÖLÜM 6

MATERYAL VE METOT

6.1 Amaç

Aşınma genellikle malzeme yüzeylerinde mekanik ya da kimyasal etkiler sonucunda parçaların ayrılması ve/veya yüzey özelliklerinin bozulması sonucu meydana gelen ve istenmeyen bir olaydır. Genelde aşınmadan korunmak için yoğun çabalar harcanmış ve farklı yöntemler bulunmuştur. Aşınmadan korunmak amacıyla en çok kullanılan yöntemlerden biri, mekanik olarak aşınmaya maruz kalan yüzeylerin kendilerinden daha sert ve aşınmaya karşı daha dayanıklı bir malzemeyle kaplanmasıdır. Çalışmanın ana amacı, kaplanmış malzemelerin farklı yükler altında ve farklı sürelerde aynı aşındırıcı solüsyon ile aşınma dayanımlarının incelenmesidir.

Bu çalışmada yüzeyi TiN, AlCrN, AlTiN ile kaplanmış, bir kesici takım malzemesi olan toz metal, sement karbürün (WC - %6 Co) mikro ölçekli aşınma testi ile aşınma davranışları incelenmiştir. Numuneler PVD yöntemi ile kaplanmıştır. Tüm kaplamalar, delaminasyon veya çatlak oluşumu olmadan yoğun ve homojen bir mikro yapıya sahiptir. Aşınma testi olarak mikro abrasyon aşınma testi uygulanmıştır.

6.2 Numunelerin PVD Yöntemi İle Kaplanması

Bu proste kullanılan ekipman; Hauzer Flexicoat 850 (Carc+), katodik ark kaplama sistemidir. 106 mm çapında katot kullanılmıştır. Her kaplama için 3 katottan oluşan bir bank kullanılmıştır ve cihaz üzerinde böyle 3 tane bank bulunmaktadır. Yani; toplamda 9 adet katot mevcuttur.

Katot kompozisyonları (% atomik), her kaplama için;

- TiN: (%100 Ti),
- AlTiN: (%50Ti, %50Al),
- AlCrN: (%64Al,%36Cr).

Diğer proses şartları şu şekildedir;

- TiN; $4,0 \times 10^{-2}$ mbar N^2 kısmi gaz basıncı, 450 derece ortam sıcaklığı, -80 Volt Bias voltajı, Katot buharlaştırma akımı 150 amp,
- AlTiN; $4,5 \times 10^{-2}$ mbar N^2 kısmi gaz basıncı, 480 derece ortam sıcaklığı, -80 Volt Bias voltajı, Katot buharlaştırma akımı 150 amp,
- AlCrN; $4,8 \times 10^{-2}$ mbar N^2 kısmi gaz basıncı, 480 derece ortam sıcaklığı, -80 Volt Bias voltajı, Katot buharlaştırma akımı 150 amp.

Tüm kaplamalar sırasında taşıyıcı mekanizması, 2 rpm hızda dönmektedir.

6.3 Mikro-Abrasyon Aşınma Testinin Uygulanması

Mikro abrasyon testinde TiN, AlCrN, AlTiN ile kaplı olan, sementite karbür (WC-%6Co) kullanılmıştır. Sabit bilyalı mikro aşınma test yöntemi ile aşınma testleri yapılmıştır. Bilya olarak, 1" (25,4 mm) çapında AISI 52100 (100Cr6) rulman çeliği kullanılmıştır. Bu sabit bilya, mikro-abrasyon test yönteminde, farklı yükler altında, numune üzerinde hareket etmektedir. 420 çevrim ve 700 çevrim mesafelerinde bu test numunelere uygulanmıştır. Aşınma testinde aşındırıcı olarak 800 mesh, 1000 mesh, 1200 mesh boyutlarında Al_2O_3 içeren aşındırıcı solüsyon kullanılmıştır. Aşındırıcı solüsyon %40 Al_2O_3 ve %60 saf su olarak hazırlanmıştır. Aşındırıcı olarak kullanılan solüsyon, her 20 saniyede bir bilyanın üzerine damlatılmıştır ve bilyanın hareketi ile aşındırıcının yüzey üzerindeki hareketine bağlı olarak aşınma meydana gelmiş ve numunenin aşındırılması sağlanmıştır. Aşınma yükü olarak 1, 2 ve 3 N yükler kullanılmış olup 420 ve 700 çevrim mesafelerinde aşınma testleri uygulanmıştır. Bilyaların numune üzerinde oluşturduğu dairesel kesitli iz SEM ve optik mikroskop altında ölçülerek, elde edilen değerler ile Denklem 4 kullanılarak hacim kaybı hesaplanmıştır ve numunenin aşınma dayanımları belirlenmiştir. Deneyler sonucunda numuneler ilk olarak optik mikroskop altında incelenmiş ve oluşan kraterlerin çapları ölçülmüştür. Sonra numuneler uygun boyutlara indirilerek SEM analizlerine tabi tutulmuştur. Optik mikroskopta boyutları mikro metre cinsinden ölçülen kraterlerin hacim hesapları yapılmıştır. Kayıp hacim hesapları için Denklem 4 kullanılmıştır.

$$V = \pi b^4 / 64R \quad (b \ll R \text{ için})$$

Denklem 4

Bu formülde “V” mm³ cinsinden hacim kaybıdır, “b” mm cinsinden kraterin dış çapıdır ve “R” aşındırma işleminde kullanılan bilyanın yarıçapıdır. Bu formül $b \ll R$ olduğu zaman geçerlidir (Andrade vd. 2009).

6.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Optik Mikroskop Analizleri

Kaplamaların SEM görüntüleri, Bartın Üniversitesi Laboratuvarı bünyesinde bulunan TESCAN marka SEM cihazından alınmıştır (Şekil 6.1). Numuneler vakum ortamına alınmıştır. Elektron mikroskobu içerdiği geri saçılan elektron görüntüsü (BSI) ve ikincil elektron görüntüsü (SEI) teknikleriyle malzemelerin yüzey ve kesitlerinin, yüksek büyütmelerde morfolojik ve kimyasal analizi için kullanılmaktadır.



Şekil 6.1: Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

Numunenin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi sırasında numune üzerinde istenilen alana gönderilen elektron demetiyle numune yüzeyine ya da kesitine enerji transferi sağlanır. Gönderilen bu elektron demetine birincil elektronlar denir ve numuneden bazı elektronların yerinden oynamasına sebep olur. Yerinden onayan bu

elektronlar, ikincil elektron olarak adlandırılır ve bu elektronlar bir algılayıcı tarafından toplanarak ve sinyale dönüştürülür. Bu sayede görüntü elde edilmiş olur.

Numuneler optik mikroskopta incelenmiştir. Numunelerin optik mikroskop ile krater çapları ölçülmüştür. Ölçülen krater çaplarının doğrultusunda Denklem 4 ile hacim kayıpları hesaplanmıştır.



BÖLÜM 7

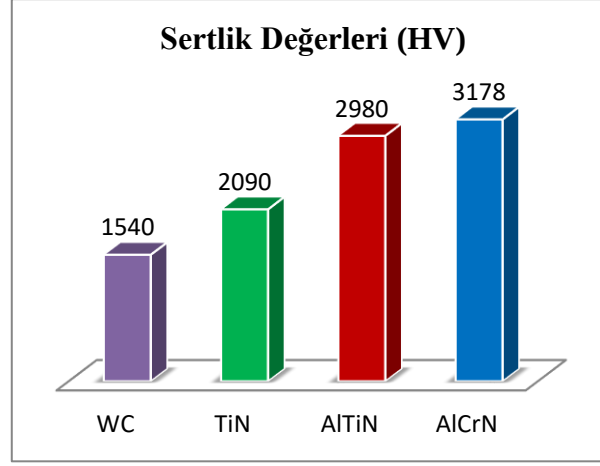
BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1 Numunelerin Sertlik Değerleri

Sertlik, malzeme yüzeyinin kalıcı şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Sertlik ölçümü için, bu çalışmada kullandığımız numunelere (WC, TiN, AlTiN, AlCrN) mikro sertlik testleri yapılmıştır. QNESS Q10 M (Avusturya) mikro sertlik cihazı kullanılmıştır. Daha sonra numunelerin yüzeyleri temizlenerek tablaya yerleştirilmiştir. Tabla, numune batıcı uca değme noktasına gelene kadar yükseltilmiştir. Ardından "start" (başlat) butonuna basılarak deney başlatılmış ve bekleme süresi 15 saniye olarak uygulanmış ve yük olarak da 25 g seçilmiştir. Süre dolduktan sonra tabla aşağı indirilerek batıcı ucun bağlı olduğu kol hareket ettirilerek numunenin üzerine lensler getirilmiştir. Lensler kullanılarak numune üzerine bırakılmış olan iz analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda köşegen uzunlukları belirlenerek malzemenin VHN değeri bulunmuştur. Numunelerin sertlik değerleri aşağıdaki gibidir;

- WC sement karbür altlığının sertlik değeri 1540 HV,
- TiN kaplı numunenin sertlik değeri 2090 HV,
- AlTiN kaplı numunenin sertlik değeri 2980 HV,
- AlCrN kaplı numunenin sertlik değeri 3178 HV.

Şekil 7.1' de bu veriler gösterilmiştir.



Şekil 7.1: Aşınma testlerinde kullanılan numunelerin sertlik ölçüm sonuçları.

WC sement karbür altlığı kaplamasız olduğu için en düşük sertliğe sahiptir. Çünkü kaplama malzemelerde koruyucu tabaka oluşturup, malzemelerin sertliklerini ve aşınma dayanımlarını önemli oranda artırmaktadır.

Bu çalışmada kullandığımız numuneler arasında en yüksek sertliğe AlCrN kaplama sahiptir. AlCrN kaplamanın oldukça mikro yapı olarak küçük tane boyutuna sahip olması ve yüksek alüminyum içeriği sebebiyle yüksek sertlik ve iyi derecede aşınma dayanımı sunmaktadır. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda kullanıma sahip kesici takım uygulamalarında yaygın olarak yer almaktadır. Ayrıca AlCrN kaplı numunenin, kompozisyonundaki Krom Nitrür (CrN) yapısı nedeniyle sertliği daha da yükselmiştir. Krom nitrür kaplama, geleneksel sert krom kaplamadan 2-3 kat daha serttir. Krom nitrür düşük sürtünme katsayısı ve düşük kalıcı stres seviyeleri bir araya gelince, yüzeylerde her türlü aşındırıcı etkiye karşı koruma sağlamış olur.

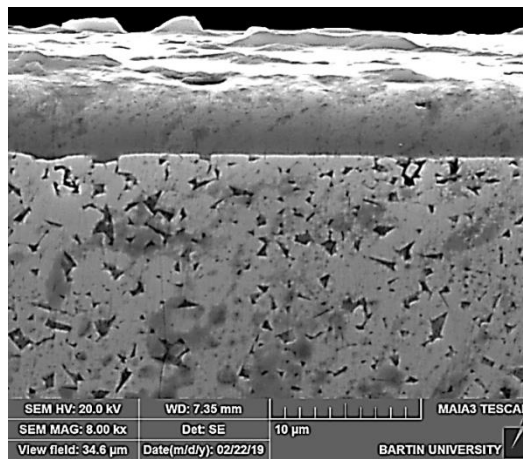
TiN kaplı numunenin sertlik değeri kaplamasız olan WC sement karbürden yüksektir. Çünkü kompozisyonundaki numuneye kaplanan titanyum elementi sertliğin önemli ölçüde artmasına sebep olmuştur. Titanyum nitrür (TiN), dünyada en yaygın uygulanmakta olan genel amaçlı PVD kaplamadır. Ayrıca altın sarısı estetik görünüme sahip olduğu için medikal ve dekoratif uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek kimyasal kararlılığı ve biyo-uyumluluğu sebebiyle de vücut içi implant ve protezlerde başarıyla kullanılmaktadır. Tüm mekanik ve sürtünme özellikleri ortalama düzeydedir. Bundan dolayı tüm kesici takım ve kalıp uygulamaları için olumlu sonuçlar veren ekonomik bir

kaplamadır. Genel anlamda her çeşit kesici takım, kesme kalıbı ve form kalıbına uygulanmaktadır. Özellikle düşük mukavemetli çeliklerin ve dökme demirin yeterli soğutma ortamında talaşlı imalatında kullanılan matkap, freze, kılavuz gibi kesici takımlarda ve azdırma, broş gibi dişli çakıllarında ve her çeşit kesme-sıvama kalıplarında başarılı sonuçlar vermektedir.

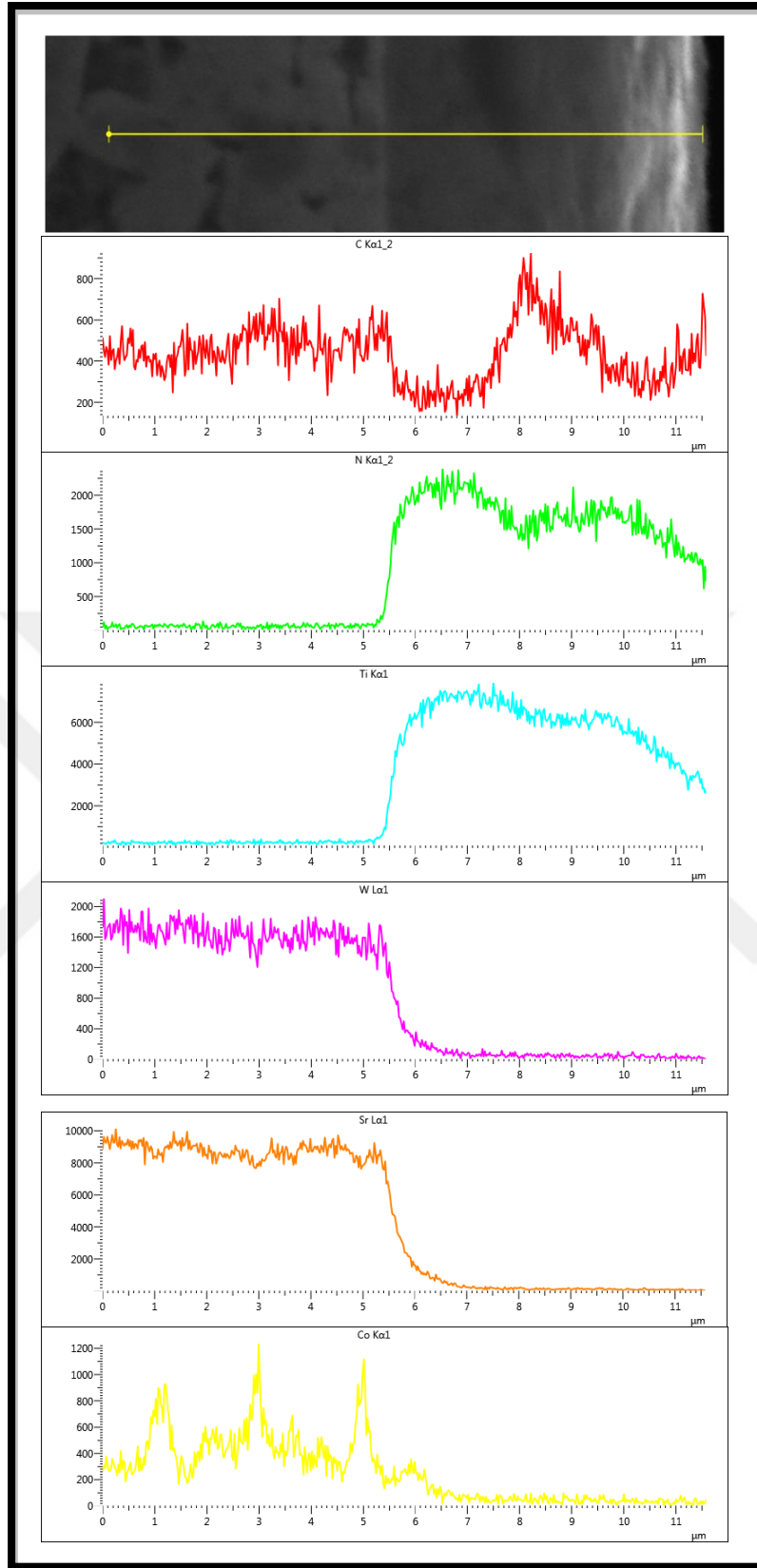
AlTiN kaplı numunede, TiN kaplı numuneden farklı olarak Al katkısı mevcuttur ve bu nedenle sertlik değeri TiN kaplı numuneden daha fazladır. Elde edilen bu kaplama sayesinde hem sertlik hem de kaplamanın oksitlenmeye karşı direncinde artış sağlanır. Elde edilen kaplama tabakasının özellikleri alüminyum miktarına göre değişkenlik gösterir. Orta ve yüksek mukavemetli sacların kesme, sıvama kalıp ve zımbalarında kullanılır.

7.2 MikroYapı Karakterizasyonu

TiN kaplamanın enine kesit SEM görüntüsü Şekil 7.2’de verilmiştir. Fotoğraf üzerinden de görüleceği gibi kaplamanın sementite karbür altlığına iyi bağlandığını, delaminasyon veya çatlak oluşumu olmadan yoğun ve homojen bir mikro yapı sergilediğini gösterir. Yine aynı numunenin üzerinden SEM mikroskobunun EDS (Enerji Dağılımı Spektromesi) modülünü kullanarak alınan elementel analiz raporları Şekil 7.3’ de sırası ile verilmiştir. TiN tozları ile yüzeyi kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi incelendiğinde kaplama bölgesinde Ti ve N elementlerinin yoğunlaştığı alt yüzeyin ise WC-Co elementinden oluştuğu görülmektedir.

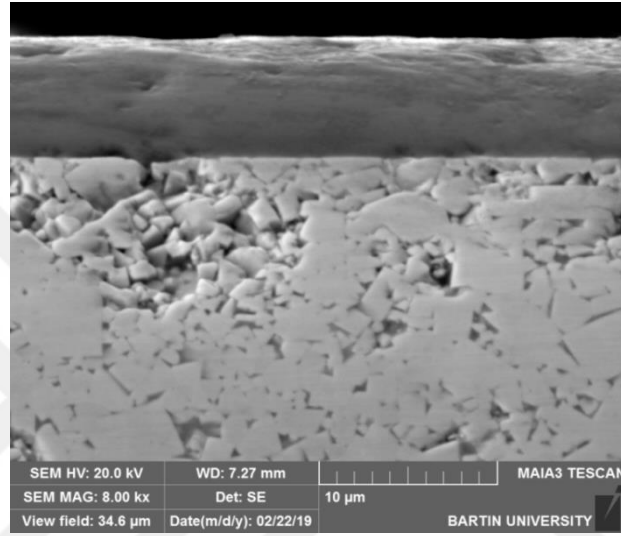


Şekil 7.2: PVD yöntemi ile yüzeyi TiN tozları ile kaplı numunenin SEM yüzey görüntüsü.

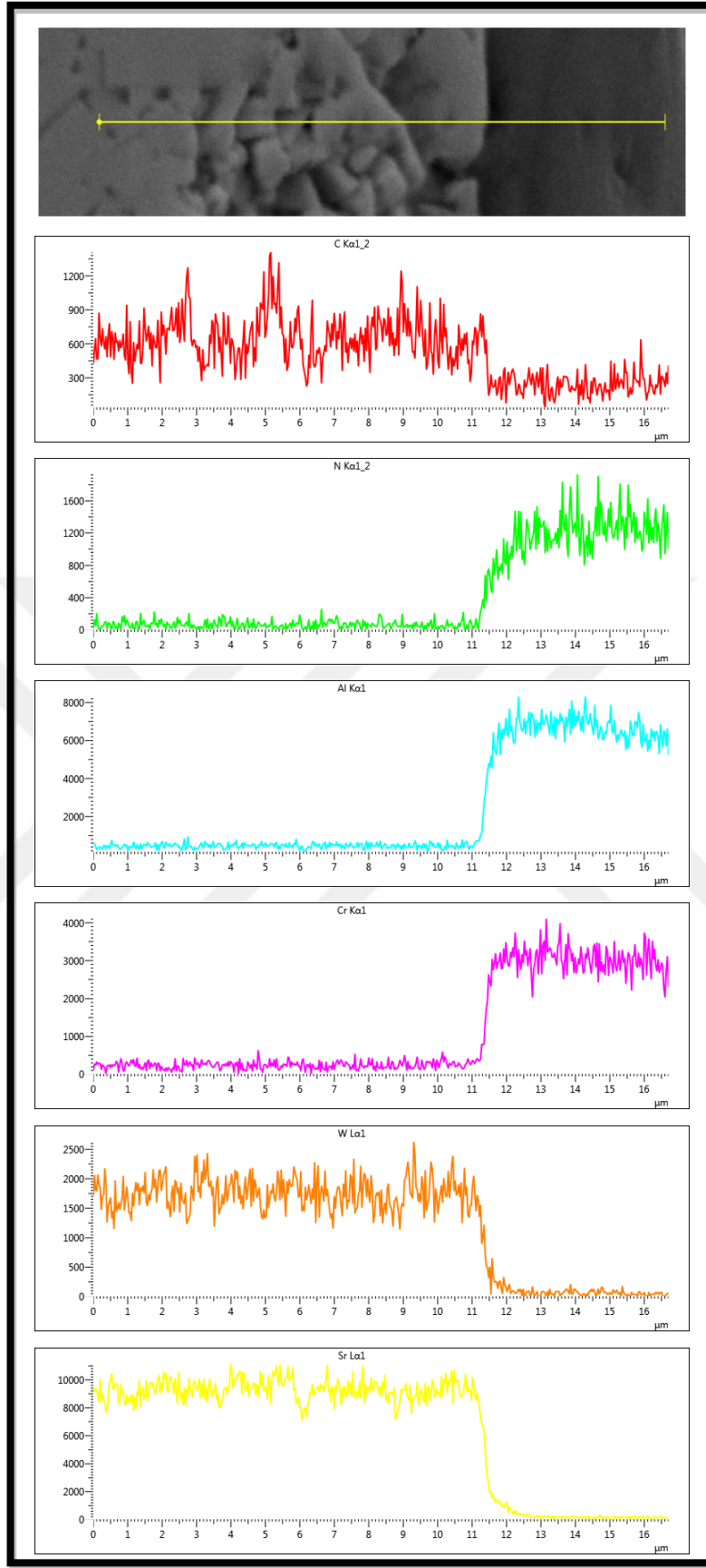


Şekil 7.3: PVD yöntemi ile yüzeyi TiN tozları ile kaplanan numunenin çizgisel EDS analizi.

AlCrN kaplamanın enine kesit morfolojileri, Şekil 7.4’ te gösterildiği gibi SEM ile görüntülenmiştir. Kaplamanın SEM görüntüsünden de görüleceği gibi kaplamanın sement karpür altlığı iyi yapıştığını, delaminasyon veya çatlak oluşumu olmadan yoğun ve homojen bir mikro yapı sergilediğini gösterir. Yine aynı numunenin üzerinden SEM mikroskopunun EDS (Enerji Dağılımı Spektromesi) modülünü kullanarak alınan elementel analiz raporları Şekil 7.5’ te sırası ile verilmiştir. Diğer kaplamada olduğu gibi Al ve Cr elementleri kaplama boyunca homojen bir şekilde dağılmıştır.

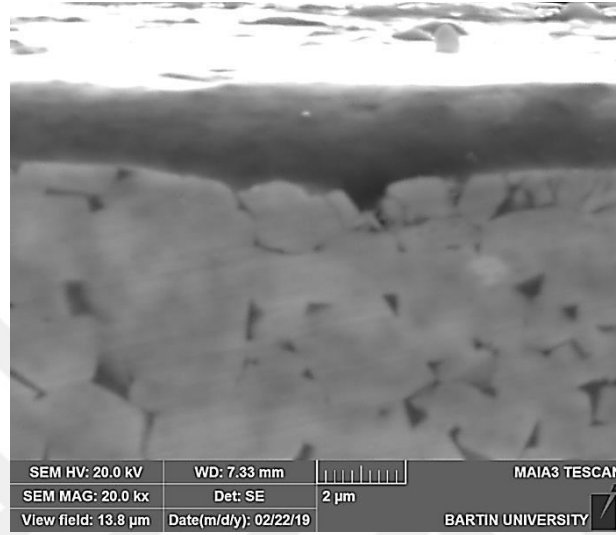


Şekil 7.4: PVD yöntemi ile yüzeyi AlCrN tozları ile kaplı numunenin SEM yüzey görüntüsü.



Şekil 7.5: PVD yöntemi ile yüzeyi AlCrN kaplı numunenin çizgisel EDS analizi.

AlTiN kaplamanın enine kesit morfolojileri, Şekil 7.6' da gösterildiği gibi SEM ile görüntülenmiştir. Diğer numunelerde olduğu gibi kaplanın sement karbür altlığına iyi bağlandığını, delaminasyon veya çatlak oluşumu olmadan yoğun ve homojen bir mikro yapı sergilediğini gösterir. Al, Ti, N içerikleri, AlTiN kaplamanın yüksek homojenliğini belirten biriktirme yönü boyunca sabit kalır.

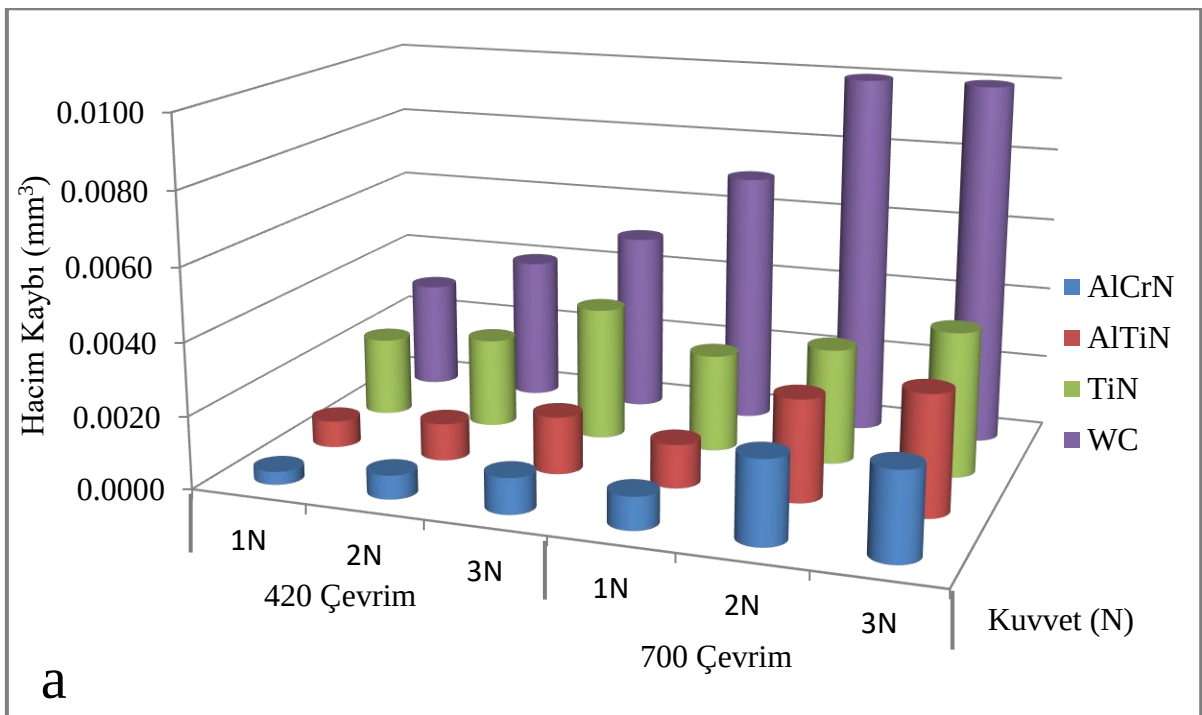


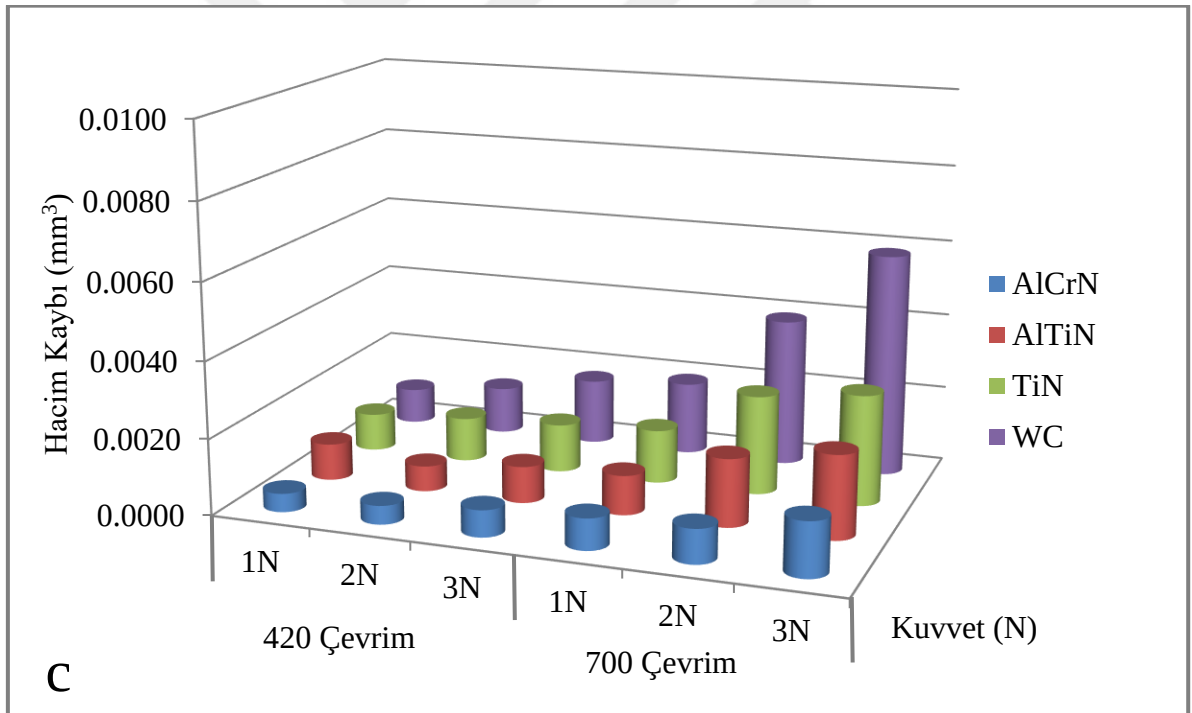
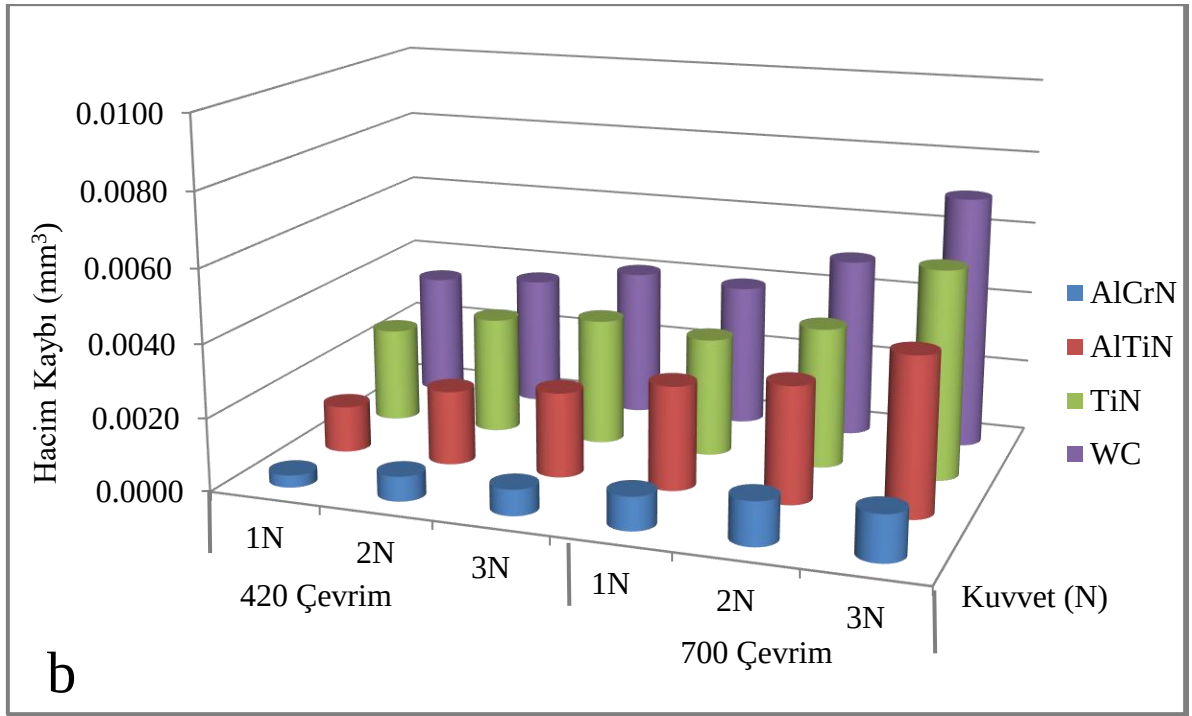
Şekil 7.6: PVD yöntemi ile yüzeyi AlTiN tozları ile kaplı numunenin SEM yüzey görüntüsü.

7.3 Mikro Aşınma Davranışı

Şekil 7.7' de sunulan grafikte, aşındırıcı parçacık boyutunun, mevcut aşınma sonuçlarını ve mekanizmalarını belirleyici bir şekilde etkilediği sonucuna varılabilir. 800 mesh gibi yüksek boyutta Al_2O_3 içeren aşındırıcı solüsyon ile 1200 mesh gibi düşük boyutta Al_2O_3 içeren aşındırıcı solüsyon ile teste tabi tutulan numunelerde, yüksek hacim kayıpları 800 mesh Al_2O_3 aşındırıcı solüsyon içeren numunede görülmüştür. Her koşulda aşınma oranı, aşındırıcı boyutundaki artışla birlikte artmış, bu da düşük boyutlu aşındırıcıların malzeme yüzeyine kolayca zarar vermediğini göstermiştir. Mikro aşınmayı başlatan ilk parçacıklar, temas sırasında kayma ve yuvarlanma için aralarında yeterli bir mesafeye sahip olan ilk olukları oluştururlar. Hatta bazı aşındırıcı parçacıklar, top tarafından tutularak iki gövde aşınmasına neden olur (Silva vd., 2009). Ayrıca Al_2O_3 800, 1000 ve 1200 mesh ile oluşturulan aşındırıcı solüsyon tarafından üretilen aşınma mekanizmalarının aynı olmadığını görmek mümkündür. Büyük aşındırıcı parçacıklara sahip aşındırıcı solüsyonun, önemli miktarda aşınma derinliği oluşturduğu görülmüştür. Çünkü bazı aşındırıcı

parçacıkların, bilya yüzeyine tutunarak örnek yüzeyinde paralel oluklar ürettiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, karşı yüzeyden ayrılan aşınma kalıntılarının, topa tutunarak numune üzerinde mikro çiziklere neden olabileceği unutulmamalıdır. Ancak düşük boyutlu aşındırıcı solüsyona sahip aşınma izleri, iki gövdeli bir mikro aşınma mekanizmasının baskın olmasına yol açacak belirgin oluklar göstermemiştir. Ek olarak, Al_2O_3 1200 mesh partiküllerinin oluşturduğu kraterlerin aşınma yüzeylerinin yüksek büyütmesinde daha pürüzsüz olduğu görülmektedir. Sadece parçacık sertliğinin değil, aynı zamanda boyut dağılımının ve şeklinin de aşınma davranışını etkileyebileceği bilinmektedir (Shipway vd., 2007).



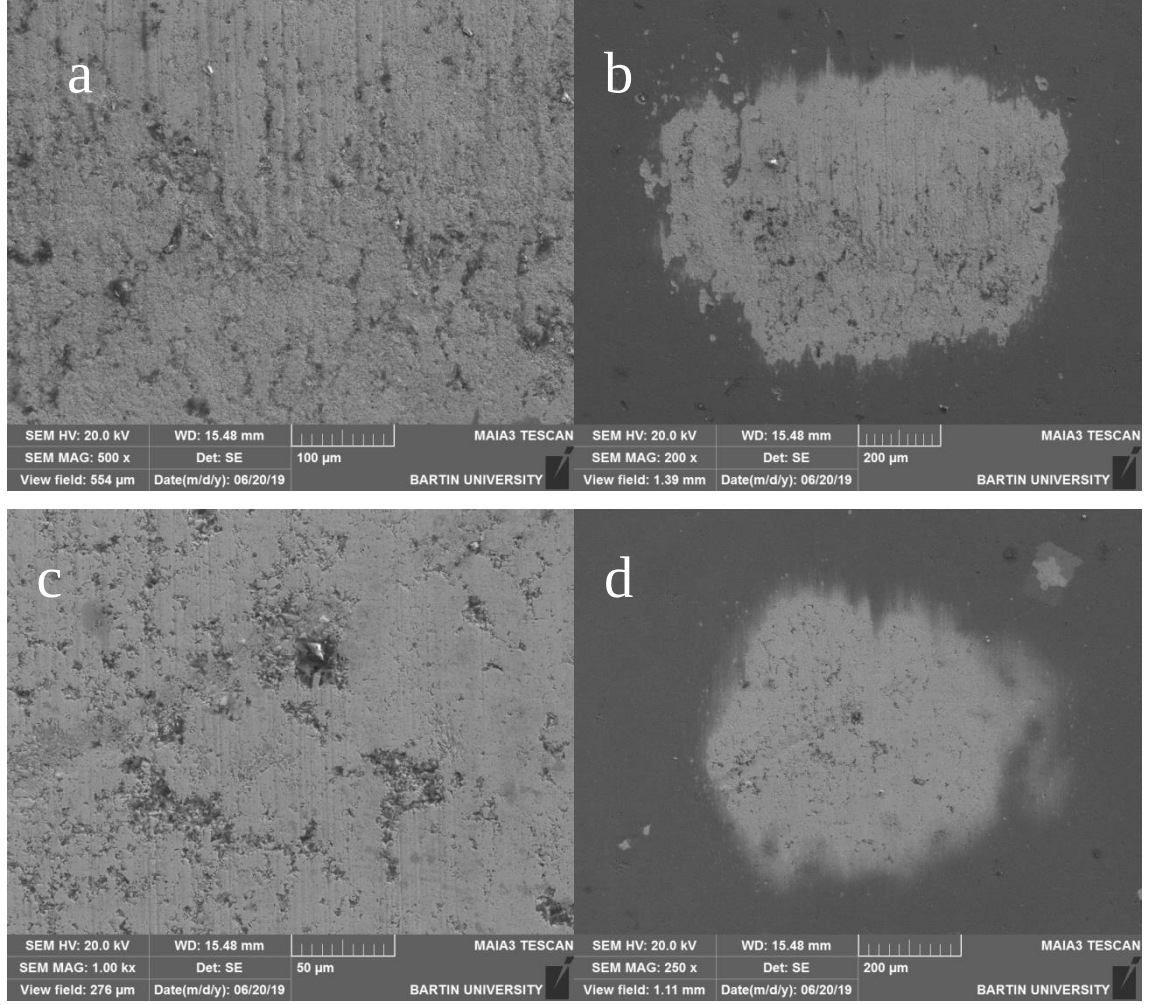


Şekil 7.7: Kaplanmış örnekler için 420 çevrimde ve 700 çevrimde, 1, 2, 3 N yük altında mikro abrasyon testine tabi tutulduktan sonra kaplanmış numunelerin hacim kaybı, a. 800 mesh Al_2O_3 , b. 1000 mesh Al_2O_3 , c. 1200 mesh Al_2O_3 .

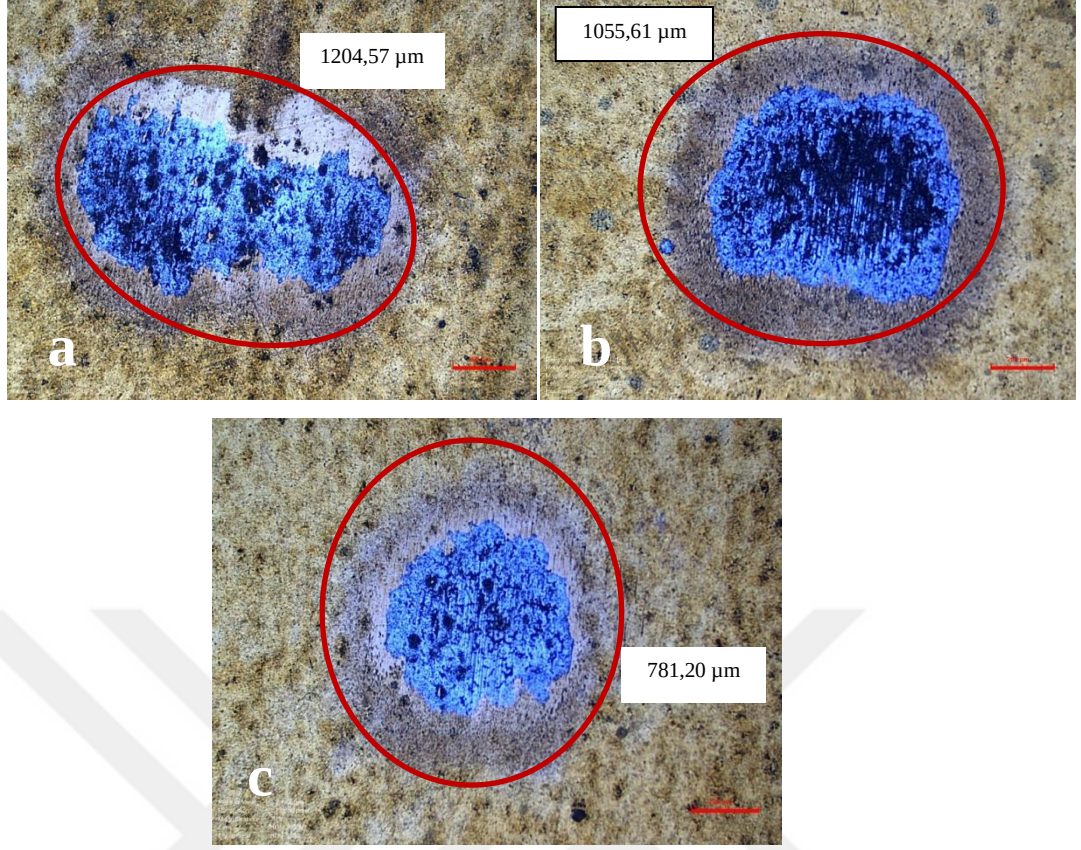
Aşınma testlerindeki uygulanan yükteki artış ve aşındırıcı solüsyon boyutu ile numunelerdeki hacim kayıplarında bir artış söz konusu olmuştur. TiN, AlTiN ve AlCrN kaplamaların artan yüke, artan aşındırıcı solüsyon boyutuna ve aşınma süresine bağlı

olarak aşınma kaybı değerleri, Şekil 7.7' de gösterilmektedir. AlCrN kaplamanın diğer numuneler arasında en iyi aşınma direncine sahip olduğu kolayca söylenebilir. TiN kaplama, diğer üç numuneye göre çok daha ciddi aşınma sergilemiştir ancak WC altlık numune kaplamasız olduğu için, aşınmaya karşı çok fazla direnç gösterememiş ve nispeten kolay aşınmıştır (Şekil 7.7c). Buradan anlayacağımız üzere WC-Co altlıkların PVD yöntemi ile kaplanması malzemelerin aşınmaya karşı direncini ve malzeme ömrünü artırmaktadır. AlTiN kaplamada ise sertlik, kaplamanın içine alüminyum eklenmesiyle önemli ölçüde artmıştır, dolayısıyla TiN' den ve WC altlıktan daha büyük bir direnç göstermiştir. TiN kaplamanın aşınma mekanizmaları, gösterildiği gibi mikro oluklama ve mikro yuvarlanma kombinasyonu olarak görülebilir. Şekil 7.7a WC altlık nispeten düşük sertliği nedeniyle, aşındırıcı parçacıklar kaplama yüzeyine daha kolay nüfuz etmiş ve sürüklenmiş, böylece malzemenin aşınmasını kolaylaştırmıştır. Bilyanın ilk hareketi ile yüzeyde çizikler oluşmaya başlamış, çizik sayısı ve süre arttıkça kaplamanın, aşındırıcı hat boyunca yüzeyden alçalmasına neden olmuştur. Diğer kaplamalardan farklı olarak, WC kaplamasız numunenin düşük boyutlu aşındırıcı testlerde bile yüzeyden çizilmesi ve çıkarılması daha kolaydır (Şekil 7.7b). 800 mesh Al_2O_3 aşındırıcı solüsyon ile yüzey delindikten sonra, aşınma oranı artar ve alt tabakanın görünür alanı kraterde hızla artar. 1200 mesh boyutundaki Al_2O_3 aşındırıcı solüsyon ise iki yüzey arasında yuvarlanarak kaplamada yeterli hasara neden olmamıştır.

Şekil 7.8' de TiN kaplanmanın farklı şartlar altında yapılan aşınma testleri sonucunda meydana gelen aşınma krateri morfolojileri verilmiştir. Şekil 7.8a ve Şekil 7.8b' de 800 mesh boyutundaki Al_2O_3 aşındırıcı solüsyon ile yapılan aşınma testinin SEM görüntüsüne bakıldığında Şekil 7.8c ve Şekil 7.8d' ye göre, aşınmanın yüzeyde daha fazla meydana geldiği ve aşındırıcı boyutuna bağlı olarak aşınmanın yüzeyde oluklar oluşturduğu görülmektedir. 700 çevrimde ve 1 N yük altında uygulanan bu aşınma testlerinde, aşındırıcı boyutunun artması numunelerdeki aşınma farklarını ortaya koymuştur.

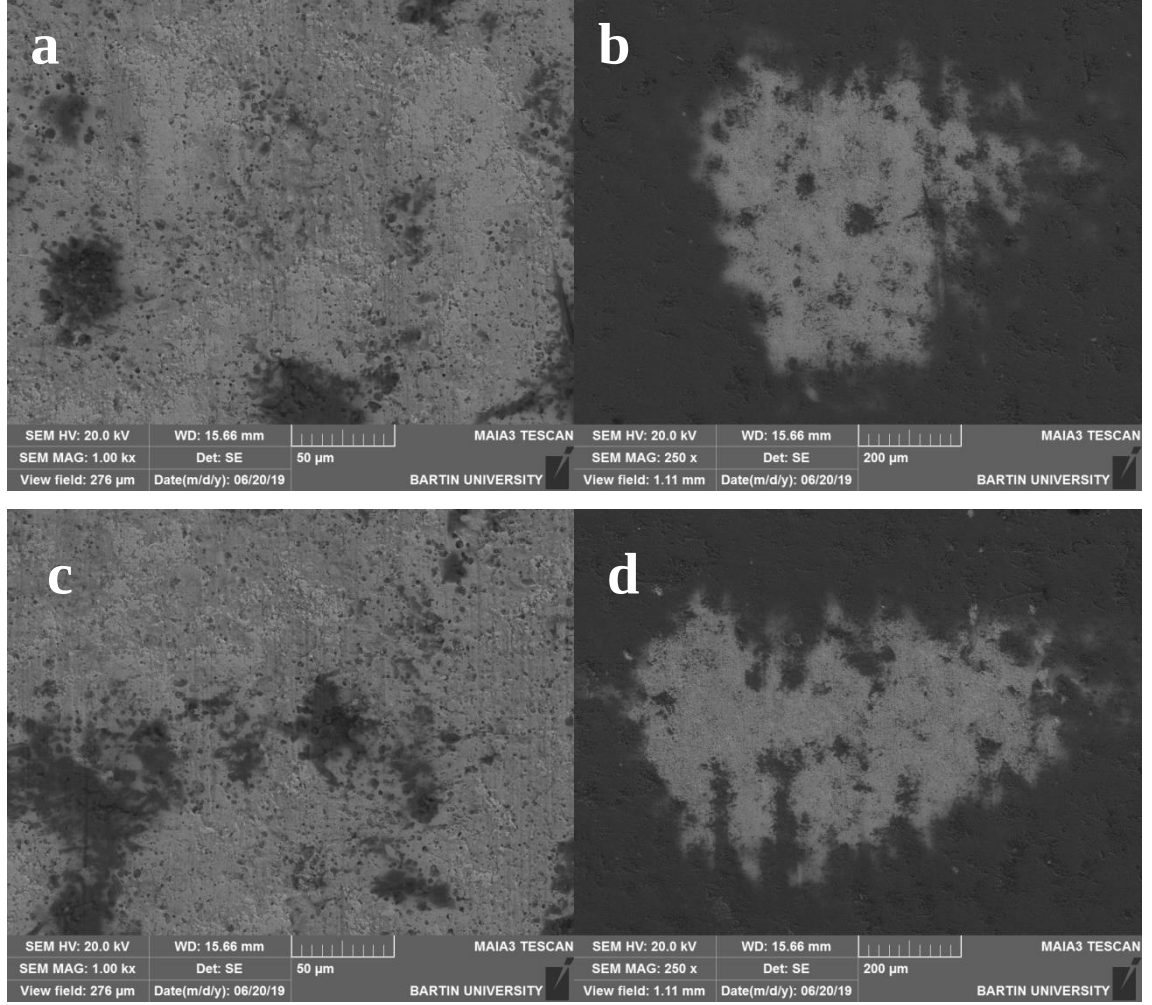


Şekil 7.8: TiN numunesinin aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri, a. 800 mesh Al₂O₃, 700 çevrim, 1 N yük (500 x), b.800 mesh Al₂O₃, 700 çevrim, 1 N yük (200 x), c. 1200 mesh Al₂O₃, 700 çevrim, 1 N yük (1.00 kx), d. 1200 mesh Al₂O₃, 700 çevrim, 1 N yük (250 x).



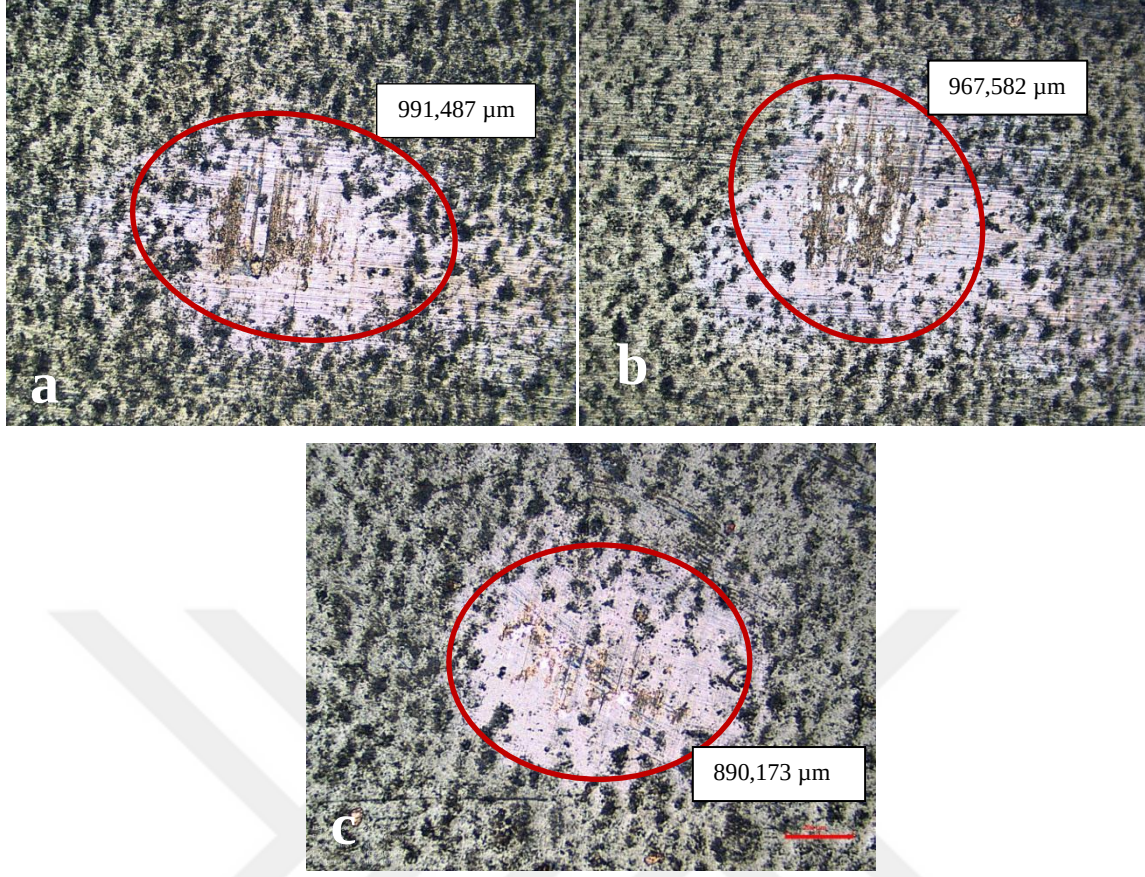
Şekil 7.9: TiN numunesinin aşınmış yüzeylerinin optik mikroskop altındaki görüntüleri, a. 800 Mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 1 N yük, b. 1000 Mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 1 N yük, c. 1200 Mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 1 N yük.

Şekil 7.9’ da bulunan optik mikroskop görüntülerine göre, 420 çevrimde 1 N yük altında, Al_2O_3 solüsyon ile yapılan aşınma testinde yüzeyi en fazla aşınan TiN kaplı numunenin, 800 mesh Al_2O_3 ile aşınan numune olduğu görülmektedir. En yüksek krater çapı Şekil 7.9a’ da, en düşük ise Şekil 7.9c’ de görülmektedir. Aşındırıcı solüsyon boyutu arttıkça aşınma krater çapı artmaktadır.



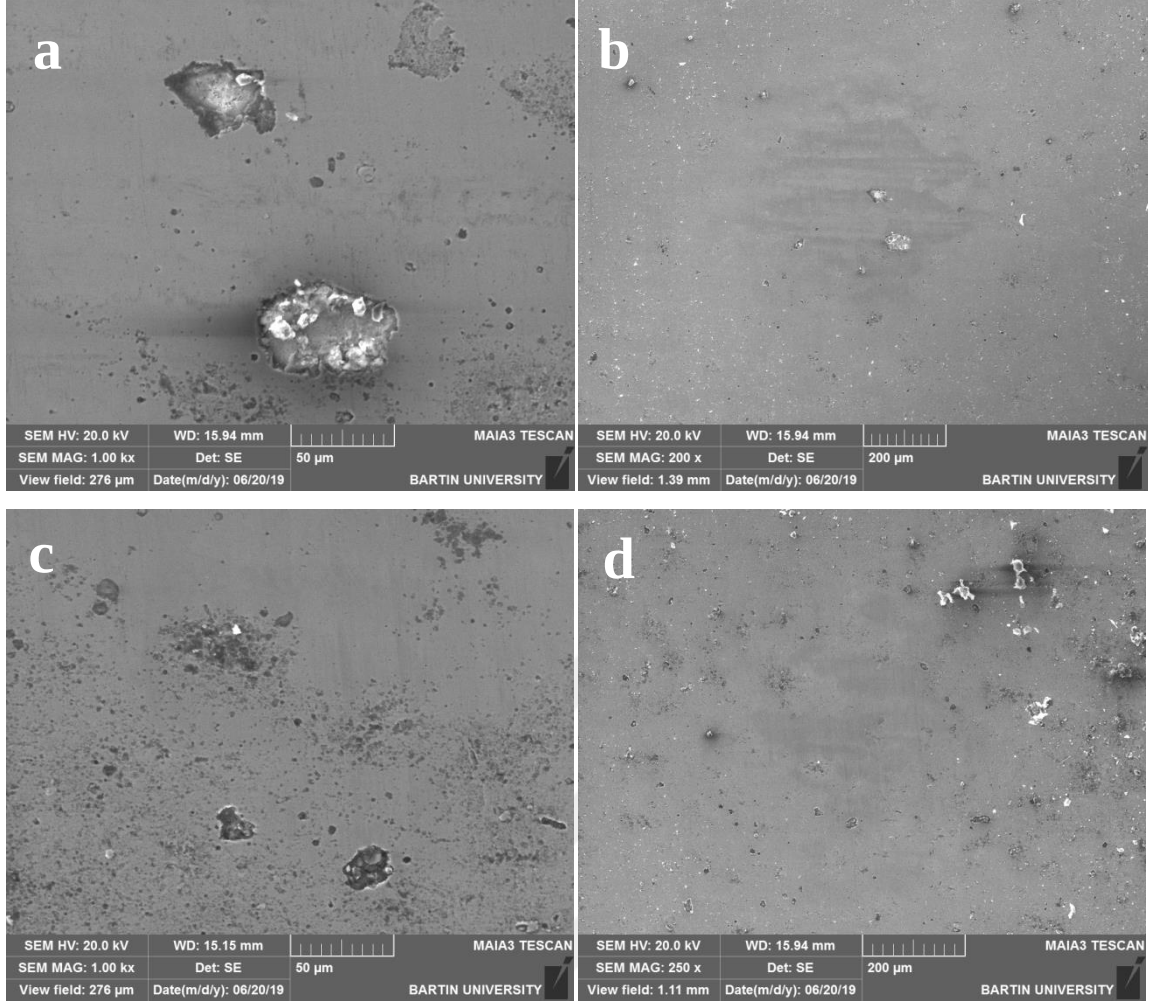
Şekil 7.10: AlTiN numunesinin aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri, a. 800 mesh Al₂O₃, 420 çevrim, 2 N yük (1.00 kx), b. 800 mesh Al₂O₃, 420 çevrim, 2 N yük (250 x), c. 800 mesh Al₂O₃, 700 çevrim, 2 N yük (1.00 kx), d. 800 mesh Al₂O₃, 700 çevrim, 2 N yük (250 x).

Şekil 7.10' da AlTiN kaplanmanın farklı şartlar altında yapılan aşınma testleri sonucunda meydana gelen aşınma krateri morfolojileri verilmiştir. Şekil 7.10, AlTiN kaplı numunenin 800 mesh aşındırıcı boyutunda 420 çevrim sayısında, 1, 2, 3 N yük altında yapılan aşınma testlerinin SEM görüntüsüdür. Şekil 7.10a' da mesafeli aşınma testlerinde aşınma izlerinde ince oluklar oluşmuştur. Aşınma işlemin başlamasından sonraki ilk olukların oluşumu, bilya yüzeyine tutunan aşındırıcı parçacıkların önemli bir kısmı hareket ettiği de meydana gelir. 700 çevrimde yapılan aşınma testlerinde (Şekil 7.10b), tanecikler iki yüzey arasında yuvarlanarak daha fazla deforme olmuştur.



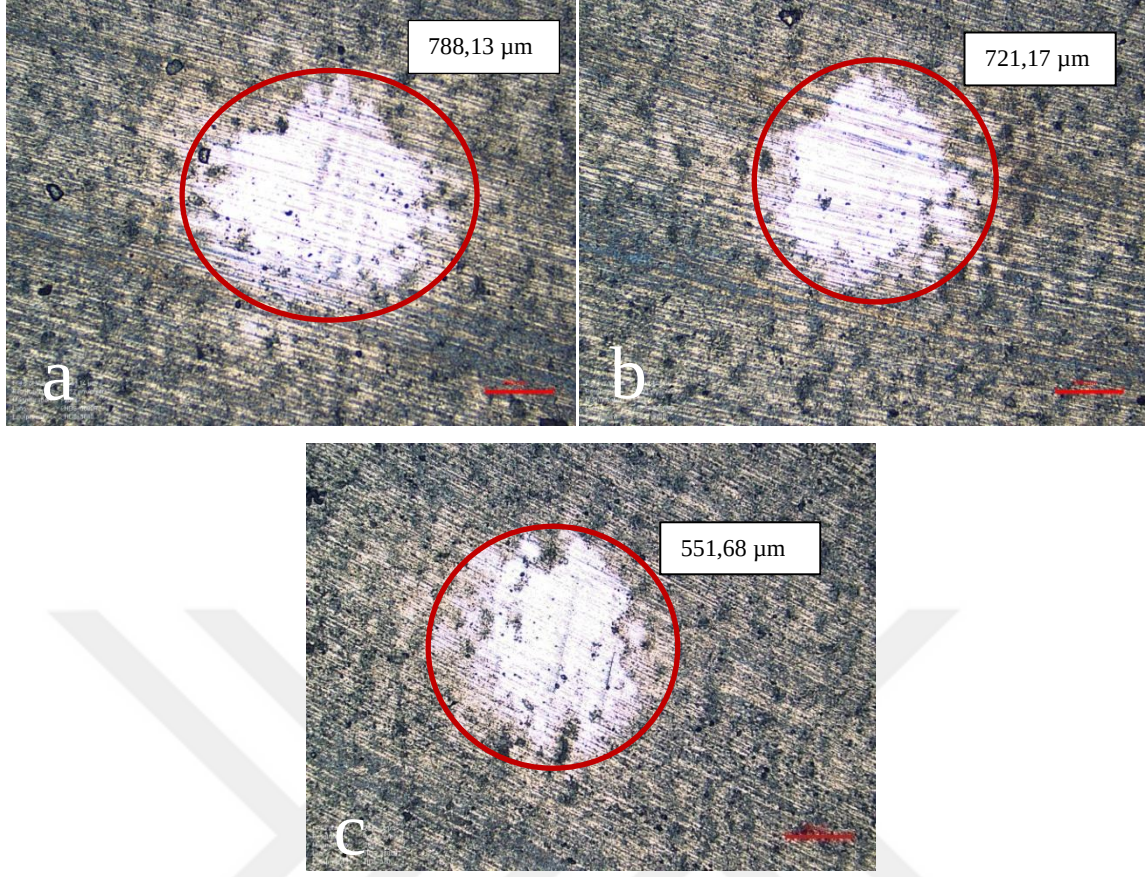
Şekil 7.11: AlTiN numunesinin aşınmış yüzeylerinin optik mikroskop altındaki görüntüleri, a. 800 Mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 3 N yük, b. 800 Mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 2 N yük, c. 800 Mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 1 N yük.

Şekil 7.11’ de bulunan optik mikroskop görüntülerine göre, 420 çevrimde 1, 2, 3 N yük altında, Al_2O_3 solüsyon ile yapılan aşınma testinde yüzeyi en fazla aşınan TiN kaplı numunenin, 3 N yük altında aşınan numune olduğu görülmektedir. En yüksek krater çapı Şekil 7.11a’ da, en düşük ise Şekil 7.11c’ de görülmektedir. Numune üzerine uygulanan yük arttıkça aşınma krater çapı büyümekte ve buna bağlı olarak da hacim kayıpları artmaktadır.



Şekil 7.12: AlCrN numunesinin aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri, a. 800 mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 3 N yük (1.00 kx), b. 800 mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 3 N yük (200 x), c. 800 mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 2 N yük (1.00 kx), d. 800 mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 2 N yük (250 x).

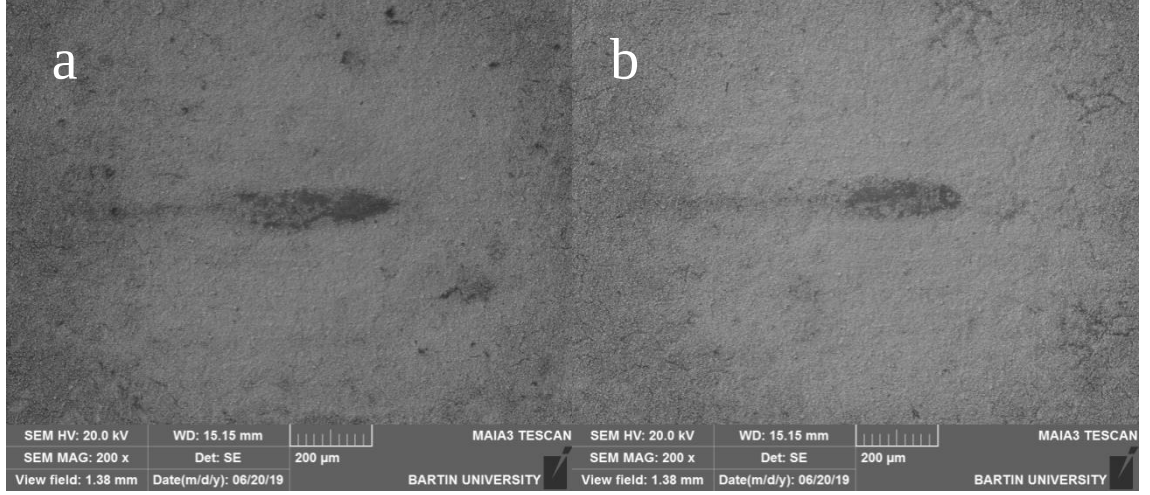
Şekil 7.12' de aynı aşındırıcı boyutunda aynı çevrim sayılarında farklı yükler altında yapılan aşınma testlerinin SEM görüntüsüdür. AlCrN kaplamalar arasında en iyi aşınma direncine sahip numunedir. Şekil 7.12a' da AlCrN kaplı numunenin daha yüksek yüke maruz kalmasından dolayı aşınma krater çapı daha büyüktür.



Şekil 7.13: AlCrN numunesinin aşınmış yüzeylerinin optik mikroskop altındaki görüntüleri, a. 800 Mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 3 N yük, b. 1000 Mesh Al_2O_3 , 700 çevrim, 3 N yük, c. 1200 Mesh Al_2O_3 , 700 çevrim, 3 N yük.

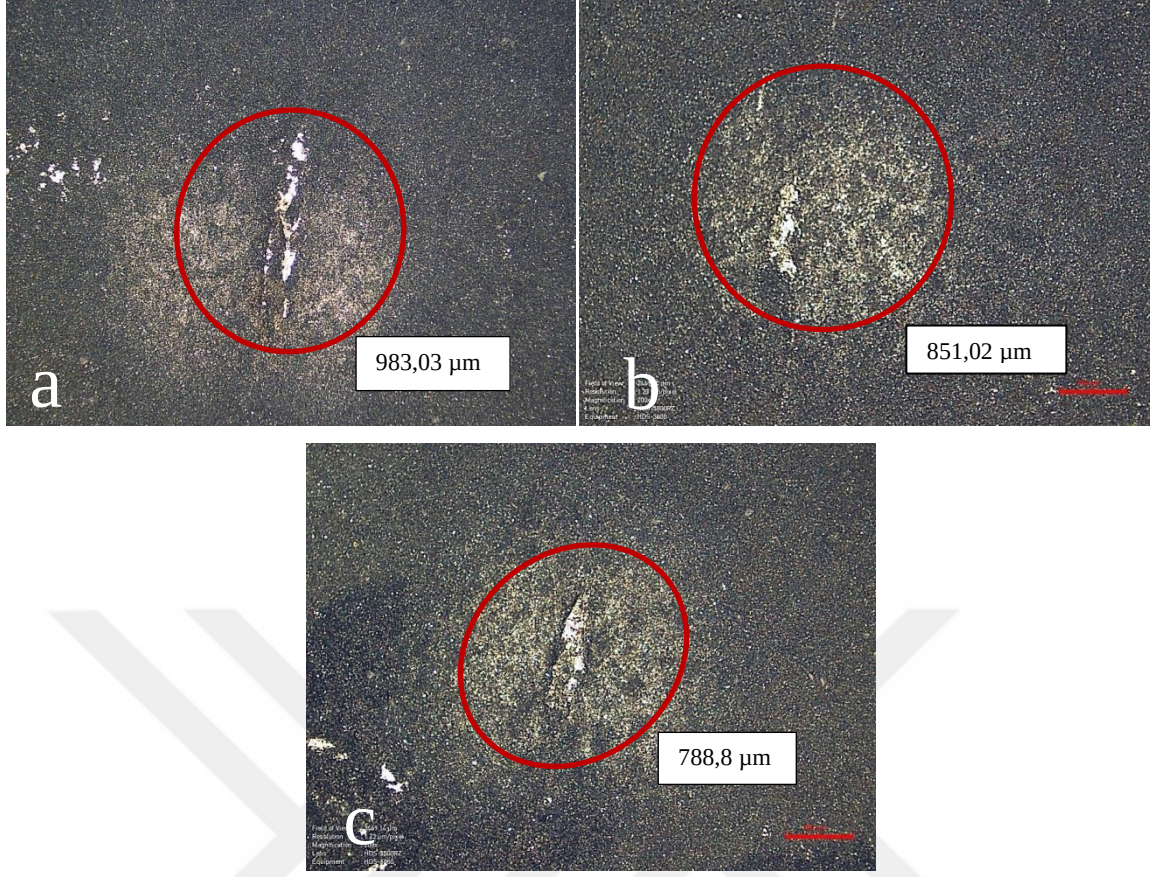
Şekil 7.13’ te bulunan optik mikroskop görüntülerine göre Al_2O_3 aşındırıcı ile 3 N yük altında, 420 ve 700 çevrim sayılarında yapılan aşınma testinde yüzeyi en fazla aşınan AlCrN kaplı numunenin, Şekil 7.13a’ da bulunan numunenin olduğu görülmektedir. En yüksek aşınma krater çapı Şekil 7.13a’ da, en düşük ise Şekil 7.13c’ de görülmektedir. Şekil 7.13b’ deki aşınma krater çapı Şekil 7.12c’ dekinden büyük, Şekil 7.13a’ dan küçüktür. Çünkü Şekil 7.13’te bulunan numunelere uygulanan aşınma testlerinde, yükler aynı olmasına karşın aşındırıcı solüsyon boyutları ve çevrim mesafeleri farklıdır. Aşınma testlerinde kullanılan aşındırıcı boyutu ve çevrim mesafesi arttıkça aşınma krater çapı ve aşınan yüzey boyutu artmaktadır.

Şekil 7.14, WC sementte karbür altlığın mikro yapılarını göstermektedir. WC, teste tabi tutulan tüm numuneler arasında en düşük aşınma direncine sahip numunedir.



Şekil 7.14: WC numunesinin aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri, a. 1200 mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 3 N yük, b. 1200 mesh Al_2O_3 , 700 çevrim, 3 N yük.

Şekil 7.14, WC sementte karbürün 1200 mesh aşındırıcı boyutunda 420 ve 700 çevrim sayısında ve 3N yük altında yapılan aşınma testlerinin SEM görüntüsüdür. Şekil 7.14b’ de WC kaplı numunenin daha yüksek çevrim mesafesinden dolayı aşınma krater çapı daha büyüktür. Yüksek çevrimli aşınma testinde (Şekil 7.14b), tanecikler iki yüzey arasında yuvarlanarak daha fazla deforme olmuştur.



Şekil 7.15: WC numunesinin aşınmış yüzeylerinin optik mikroskop altındaki görüntüleri, a. 800 Mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 3 N yük, b. 1000 Mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 3 N yük, c. 1200 Mesh Al_2O_3 , 420 çevrim, 3 N yük.

Şekil 7.15’ te bulunan optik mikroskop görüntülerine göre, 420 çevrimde 3 N yük altında, Al_2O_3 solüsyon ile yapılan aşınma testinde yüzeyi en fazla aşınan numune 800 mesh Al_2O_3 ile aşındırılan WC sement karbür, kaplamasız altlık olmuştur. En yüksek krater çapı Şekil 7.15a’ da, en düşük ise Şekil 7.15c’ de görülmektedir. Aşınma testinde kullanılan solüsyonun parçacık boyutu arttıkça aşınma miktarı artmıştır. Numunenin kaplamasız olması da aşınmayı nispeten kolaylaştırmış ve hacim kayıplarına yol açmıştır.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1 Genel Sonuçlar

Bu çalışmada WC, TiN, TiAlN ve AlCrN kaplamanın mikro yapı ve mikro aşınma davranışları incelenmiştir. Bu amaçla 800 mesh, 1000 mesh ve 1200 mesh Al_2O_3 aşındırıcı solüsyon ile 1, 2 ve 3 N yük altında sabit bilyalı mikro aşınma testleri yapılmıştır. Bu testler 420 ve 700 çevrimde gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- a) Bütün kaplamalar sementte karbür altlığı iyi yapışma göstermiştir veya çatlak oluşumu olmadan yoğun ve homojen bir mikro yapı sergilemiştir.
- b) AlCrN kaplama, kaplamalar arasında en iyi mikro aşınma direncine sahiptir. En düşük aşınma direnci kaplamasız olan WC sementte karbürde görüntülenmiştir. Aşındırıcı parçacık boyutunun mevcut aşınma sonuçları ve mekanizmaları üzerinde belirleyici bir etkisi vardır. 800 mesh Al_2O_3 ile yapılan testlerde daha yüksek aşınma kayıpları belirlenmiştir. Bununla birlikte, Al_2O_3 800 mesh ile yapılan testlerde baskın aşınma mekanizması mikro oluk açma mekanizmasıyken, Al_2O_3 1200 mesh ile yapılan testlerde baskın aşınma mekanizması mikro yuvarlanma mekanizması olmuştur.
- c) Yükteki artış sonucunda, numunelerde aşınma kayıpları da artmıştır. Bu artış, aşındırıcı parçacıkların yüzeye daha kolay nüfuz etmesine ve böylece yüzeye zarar vermesine ve hacim kayıplarının artmasına neden olmuştur.
- d) Artan çevrim mesafesi, numunelerin hacim kaybını artırmıştır.
- e) Yukarıdaki verilere göre aşınma süresi ve yük arttıkça aşınma oranı ve numunedeki hacim kaybı artar.
- f) AlCrN, AlTiN, TiN kaplama, WC kesici takımların aşınma dayanımını artırmaktadır.

8.2 Öneriler

- a) Farklı tip aşındırıcı solüsyonlar kullanılarak bunların aşınmaya olan etkileri araştırılabilir.

- b) Malzemelerin yüksek ve düşük sıcaklıklardaki aşınma davranışları incelenebilir.
- c) Farklı tip kaplama yöntemleri ile kaplanan sement karbür toz metal parçaların aşınma davranışları incelenebilir.



KAYNAKLAR

- Adachi, K. ve Hutchings, I.M. (2005). Sensitivity of wear rates in the micro-scale abrasion test to test conditions and material hardness. *Wear*, 258, 318–321.
- Alsaran, A. ve Çelik, A., Karakan M. ve Yetim F. (2002). Yüzey mühendisliğinde yeni bir yaklaşım; dubleks yüzey işlemi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 1-7.
- Allsopp, D. ve Hutchings, I. (2002). Micro-scale abrasion and scratch response of PVD coatings at elevated temperatures. *Wear*, 251, 1308–1314.
- Akagaki, T. ve Kato, K. (1988). Simulation of flow wear in boundary lubrication using Vickers indentation method, *STLE, Trib. Trans.* 31 (3), 311-316.
- Akkurt, M. (1986). Makina Elemanları ve Konstrüksiyonu Kürsüsü, Cilt 2, İstanbul: Birsan Yayınevi, 418.
- Andrade, MFC, Martinho RP, Silva FJG, Alexandre, RJD. ve Baptista, APM. (2009). Influence of the abrasive particles size in the micro abrasion wear tests of TiAlSiN thin coatings. *Wear*, 267: 12–18.
- Archard, J.F. (1953). Contact and Rubbing of Flat Surfaces, *J. Appl. Phys.*, 24, 981-988.
- Aydemir, A.O., Nisan (2006). Torna ve Freze Tezgahlarında Bilgisayar Destekli Takım Seçimi Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 106 s.
- Aytaç, A., İlivan, M. ve Gül, F. (2016). The effect of TiN and CrN coating on the abrasive wear behavior of cold-work tool steels. *Journal of the Balkan Tribological Association*, 1:22 (3A-1): 3254-3269.
- Batista, J.C.A., Godoy, C. ve Matthews, A., (2002). Micro-scale abrasive wear testing of duplex and non-duplex (single-layered) PVD (Ti,Al)N, TiN and Cr-N coatings. *TribolInt.* 35, 363–372.
- Berns, H. ve Fischer, A., (1997). Microstructure of Fe-Cr-C hardfacing alloys with additions of Nb, Ti ve B. *Materials Characterization*, 39, 499-527.
- Bhushan, B. (2000). *Modern Tribology Handbook*, CRC Yayınevi, 1760.
- Bose, K. ve Wood, R.J.K. (2003). Influence of load and speed on rolling micro-abrasion of CVD diamond and other hard coatings. *Diam. Relat. Mater.* 12, 753–756.
- Buytoz, S.(2004). AISI 4340 çeliğinin nitrürasyon ve GTA kaynak yöntemi ile yüzey modifikasyonu işlemleri sonrası mekaniksel davranışlarının araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Elazığ, 190 s.

- Büyükkelleci, Ü. (2008). Yeni Bir Aşınma Cihazı Tasarımı Ve Bazı Metallerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 6s.
- Byrne, G., Dornfeld, D. ve Denkena, B. (2003). “Advancing Cutting Technology”, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 52 (2): 483-507.
- Costa, M.Y.P., Cioffi, M.O.H., Voorwald, H.J.C. ve Guimares, V.A. (2010). An investigation on sliding wear behavior of PVD coatings. *Tribol. Int.* 43.
- Cozza, R.C., Tanaka, D.K. ve Souza, R.M. (2009). Friction coefficient and abrasive wear modes in ball-cratering tests conducted at constant normal force and constant pressure-Preliminary results. *Wear*, 267, 61–70.
- Çakır, M.C.(2006). Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Nobel Yayınları, Ankara, 308.
- Çalışkan, H., Kurbanoglu, C. ve Çolak, O. (2010). Yüksek güç darbeli magnetron sıçratma ile kaplama üretimi ve kesici takımlar üzerinde uygulamalar. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(4), 57-71.
- Çalışkan, H., Altaş, E. ve Panjan, P (2017). Çimentolu Karbür Üzerine Nanolayer AlTiN / TiN Kaplama Biriktirme Çalışması ve Kesici Takım Olarak Performansı. *J. Nano Res.* 47, 1-10.
- Çetin, M. (2005). Öztemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışlarının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi, Ankara, 78-100s.
- Çetin, M. ve Gül, F. (2007). Kuru kayma şartlarında matris yapısının küresel grafitli dökme demirin sürtünme katsayısına ve pim sıcaklığına etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (3), 273-280.
- Demiral, M. ve Yaşar, M. (2006). 95200-95300, *Cu-Al-Fe Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Teknoloji Dergisi*, 9 (1), 17-26.
- Demirel, Ç. (2013). AISI 8640 Ve GS 60 Çelik Malzemelerin Abrasif Aşınma Ve Korozyon Davranışına Borlama İşleminin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük, 2s.
- Deuis, R. L., Yellup, J. M. ve Subramanian, C. (1998). Metal-Matrix Composite Coatings by PTA Surfacing, *Composite Science and Technology*, 58, 299-309.
- Doğan, H. (2001). İyon beam implantasyon tekniği ile malzeme yüzeyinin modifikasyonu ve PVD ile karşılaştırılması. (Yayımlanmış doktora tezi), Sakarya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 115 s.

- Erdem, S. (2006). Yüksek Karbon İçeriğine Sahip, Yüksek Kromlu, Manganlı Ve Alaşımsız Düşük Karbonlu Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 65 s.
- Grzesik ve W. January (2008). Advanced Machining Processes of Metallic Materials, Elsevier, ISBN: 0-08-044534-9.
- Gür, A.K. (2006). Aşınma Mekanizmaları, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Semineri, Elazığ.
- Ezirmik, K. V. (2008). Mo-N-Ag Nanokompozit kaplamaların üretimi ve tribolojisi. (Yayımlanmış doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 180 s.
- Gök, M. S. (2001). Taneleri inceltirilmiş mangan ıslah çeliğinin aşınma davranışlarının incelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Elazığ, 125 s.
- Gök, M.S. (2008). Düşük Ve Orta Karbonlu Çeliklerin Yüzeyine TİG Kaynak Metoduyla Kaplanan Ostenitik Paslanmaz Çelik Tozunun Aşınma Direncine Karbür İçeriğinin Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 125 s.
- Günen, A., Sabri Gök, M., Erdoğan, A., Kurt, B. ve Orhan, N. (2013). Investigation of microabrasion wear behavior of boronized stainless steel with nanoboron powders. *Tribol. Trans.* 56, 400–409.
- Hogmark, S., Hedenqvist, P. ve Jacobson, S. (1997). Tribological properties of thin hard coatings: Demands and evaluation. *Surf. Coatings Technol.* 90, 247–257.
- Hutchings, I. M. (1998). Abrasive and erosive wear tests for thin coatings: A unified approach. *Tribol. Int.* 31, 5–15.
- Ibáñez, M. J., Gilabert, J., Vicent, M., Gómez, P. ve Muñoz, D. (2009). Determination of the wear resistance of traditional ceramic materials by means of micro-abrasion technique. *Wear*, 267, 2048–2054.
- İnçal, E. (2007). PVD yöntemi ile kaplanan HSS takım çeliklerinin karakterizasyonu ve aşınma dayanımının incelenmesi. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 82s.
- Jones, A. H. (2005). Micro-scale abrasive wear of silicon nitride, sialon-TiB₂ composites and D2 tool steel using a multiple load method. *Wear*, 258, 942–952.
- Kalkan, N. (2008). PVD yöntemi ile TiN, CrN ve TiN /CrN kaplanmış soğuk iş takım çeliğinin aşınma performanslarının deneysel incelenmesi. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Selçuk Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 117 s.
- Karadeniz, S. (2005). Tamir Bakım Kaynağında Dolgu Maddesi Seçimi. II. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi.

- Karaoğlanlı, A.C., Caliskan, H., Gok, M.S., Erdogan, A. ve Turk, A. (2013). A Comparative study of the microabrasion wear behavior of CoNiCrAlY coatings fabricated by APS, HVOF, and CGDS techniques. *Tribol. Trans.* 57, 11–17.
- Karaoğlu, Y. (2006). Bir aşınma test cihazının tasarımı ve imalatı. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Sakarya Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 94 s.
- Kaya, A. U. (1998). PVD kaplama tekniğiyle hazırlanan TiN ince filmlerin temel karakteristiklerinin incelenmesi. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Kocaeli Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 70s.
- Keskin, İ. (2012). Yüksek Mekanizmalarında Aşınma Ve Elastohidrodinamik Yağlama. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 15-26s.
- Kıyak, M., Çakır, O. ve Altan, E. (2003). CVD ve PVD kaplama yöntemlerinin kesici takımlara uygulanması. II. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi (MATİT 2003), Konya, 115-124.
- Kobrick, R. L. (2010). Characterization and Measurement Standardization of Lunar Dust Abrasion for Spacecraft Design and Operations, A thesis submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Colorado in partial Doktora tezi, Uzay bilimler departmanı.
- Korkut, M. H., Küçük, Y., Karaoglanli, A.C., Erdogan, A., Er, Y. ve Gök, M. S. (2013). Effect of the abrasive grit size on the wear behavior of ceramic coatings during a micro-abrasion test. *Mater. Tehnol.*
- Kosel, T.H., Fiore, N.F. ve Coype, J. P. (1978). Corrosion-Erosion behavior of materials, Metalurgical Society of ASM 1990, Missori, U.S.A.
- Kuram, E. (2018). The effect of monolayer TiCN-, AlTiN-, TiAlN-and two layers TiCN + TiN- and AlTiN + TiN-coated cutting tools on tool wear, cutting force, surface roughness and chip morphology during high-speed milling of Ti6Al4V titanium alloy. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.* 232, 1273–1286.
- Kusano, E., Kitagawa, M., Kuroda, Y., Nanto, H. ve Kinbara, A. (1998). Adhesion and hardness of compositionally gradient TiO₂/Ti/TiN, ZrO₂/Zr//ZrN and TiO₂/Ti/Zr/ZrN coatings. *Thin Solid Films*, 334:151-155.
- Kuş, H., (2007). Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Konya, 91 s.
- Marinov, (2012). V. Cutting Tool Materials, Manufacturing Technology.
- Martinho, R. P., Andrade, M. F. C., Silva, F. J. G., Alexandre, R. J. D. ve Baptista, A. P. M. (2009). Micro-abrasion wear behaviour of TiAlCrSiN nanostructured coatings. *Wear*, 267, 1160–1165.

- Mathew, M. T., Stack, M. M., Matijevic, B., Rocha, L. A. ve Ariza, E. (2008). Micro-abrasion resistance of thermochemically treated steels in aqueous solutions: Mechanisms, maps, materials selection. *Tribol. Int.* 41, 141–149.
- Mısra, A. ve Finnie, I. (1980). “A Clasification of Threec-Body Abrasiv Wear and Design of new tester”, *Wear*, 60 (1980) 111-121.
- Mısra, A. ve Finnie, I. (1982). “A Review of the Abrasive Wear of Metals”, *Journal of Engineering Materials and Technology* Vol, 104, pp. 94-104, April (1982).
- Mısra, A. ve Finnie, I., (1983). “An Experimental Study of Threec-Body Abrasive Wear”, *Wear*, 85 (1983) 57-68.
- Mitterer, C., Daniel, R., Keckes, J., Schalk, N., Tkadletz, M. ve Czettl, C. (2015). Advanced characterization methods for wear resistant hard coatings: A review on recent progress. *Surf. CoatingsTechnol.* 285, 31–46.
- Modenesi, PJ., Apolinario, ER. ve Pereira, IM. (2000). TIG welding with singlecomponent fluxes. *J Mater Process Technol* 99, 260 –265.
- Molinari, A., Tesi, B. ve Bacı, T. (2001). Plasma nitriding and Nitrocarburising of sintered Fe-Cr-Mo and Fe-Cr-Mo-C Alloys”, *Surface andCoatingsTechnology*, 140 pp. 251-225.
- Mutton, P. J. (1988). Abrasion Resistant Materials for the Australian Minerals Industry, Vol. 1, Australian Minerals Industries Research Association Limited, Melbourne, Australia, 54.
- Oğuz, B. (1993). Aşınma sorunları ve dolgu kaynakları. *OerlikonYayını*, 1-7.
- Okay, F. (2006). PVD yöntemi ile kaplı östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin adhesiv aşınma davranışlarının incelenmesi. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Gazi Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 185 s.
- Owsalou, (2012). Aşınmaya Maruz Parçaların Aşınma Dayanımlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon İmalat Anabilim Dalı, 109 s.
- Özdemir, O., İpek, M. ve Zeytin, S. Ağustos (2000). “Kesici Takım Malzemeleri” MMO Mühendis ve Makine, 41 (487).
- Özel, S. (2004). Cu-Sn-Zn-Al Bronz Alaşımılı Yüzeyine Ferromangan Kaplamasının Aşınma Direncine Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Elazığ, 105 s.
- Özmen, Y. (2004). Makine elemanlarının tribolojik hasarları ve uygun malzeme seçimi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2004 (1), 31-37.
- Panich, N., Wangyao, P., Hannongbua, S., Sricharoenchai, P. ve Sun, Y.,(2006). Tribological study of nano-multilayered ultra-hard coatings based on TiB₂. *Rev. Adv. Mater. Sci.* 13, 117–124.

- Perchlik, L., Sampath, S., Gutleber, J., Bancke, G. ve Ruff, A. W. (2001). Friction and wear properties of WC-Co and Mo-Mo₂C based functionally graded materials, *Wear*, 249, 1103-1115.
- Richter, J. (2004). Micro-scale abrasion testing of PVD TiN coatings on conventional and nonledeburitic high-speed steels. *Wear*, 257, 304–310.
- Savaş, S. (2004). PVD metodu ile TiN kaplanmış S 6-5-2 yüksek hız çeliğinin aşınma davranışlarının incelenmesi. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Erciyes Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 181 s.
- Sevim, İ. (1998). Çeliklerin Abrasiv Aşınmasında Aşındırıcı Tane Büyüklüğünün Aşınma Direncine Etkisi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 196 s.
- Sarıkaya, Ö. (2007). Aşınmaya Karşı Yüzey Mühendisliği Yöntemleri, Sakarya, 280s.
- Sert, H., Karataş, Ç., Özdemir, A., Kılınç, Y., Dağ, M. ve Samtaş, G. (2002). Thin and thick hard coating of metals, their environments and performance comparisons. International Conference on Tribology, Kayseri.
- Shipway, P. H. ve Hogg, J. J.(2007). Wear of bulk ceramics in micro-scale abrasion-The role of abrasive shape and hardness and its relevance to testing of ceramic coatings. *Wear*, 263, 887–895.
- Soydaş, S. (2006). Üniversal aşınma test cihazı tasarımı ve imalatı.
- Sönmezoğlu, S., Koç, M. ve Akın, S. (2012). İnce film üretim teknikleri. *Erciyes Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28 (5), 389-401.
- Stachowiak, G.W. Batchelor, A.W. (1993). Engineering Tribology, Tribology Series, 24, Elsevier.
- Şafak, H. E. (2008). Yüzeyi PVD yöntemiyle kaplanmış metallerde tribolojik özelliklerin belirlenmesi. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Ege Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 135 s.
- Şahin, Y. (2000). “*Talaş Kaldırma Prensipleri I*”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 562.
- TMMOB, (2003). II. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi: Bildiriler Kitabı, Yay. No: E/2003/336, Ankara.
- Türküz, M. C. (2006). Fiziksel buhar biriktirme yöntemi ile yapılan zirkonyum nitrür ince film kaplamanın kaplama parametrelerinin incelenmesi ve optimizasyonu. (Yayımlanmış Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 290 s.

- Ulutan, M. (2007). AISI 1040 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri Ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışının Araştırılması. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 79s.
- (URL-1), (2010). Kesici Takımlar, http://www.loadtr.com/504239-_Kesici_Takımlar.htm,
- (URL-2), (2019). (<http://www.ionbond.com/technology/pvd/>).
- (URL-3), (2013). <http://www.eifeler.com.tr/tr/content/pvd-tanitim-bilgileri>, Eifeler Kaplama San. ve Tic. Ltd. Şti.
- (URL-4), (2003). <http://www.titanit.com.tr/teknik/tablo2.htm>, 2003, Titanit Ultra Sert Kaplamalar Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.
- (URL-5), (2013). <http://www.ionbond-tinkap.com/>, Ionbond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş.
- (URL-6), (2013). <http://www.basaktin.com/>, Başaktin Sert Kaplamalar Merkezi.
- (URL-7), (2013). <http://www.yuzeymuhendislik.com/>, Yüzey Mühendislik ve Özel Malzeme Tasarımı San.Tic. Şti.
- Urun, R. (2008). Sürtünme ve aşınma test cihazı tasarımı ve imalatı. (Yayımlanmış yüksek lisans tezi), Celal Bayar Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 85 s.
- Yıldız ve Gür AK (2006).Aşınma Sistemleri, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 6s.
- Zhong, M.,Liu, W. ve Zhang, H. (2002). Corrosion and wear resistance characteristics of NiCr coating by laser alloying with powder feeding on gray iron liner, *Wear*, 260, 1349 - 1355.
- Zum Gahr, K.H. (1987). Microstructure and Wear of Materials, Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Dilara BOYNUEYRİ
Doğum Yeri ve Tarihi : Devrek - 10.01.1994

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi - Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi - Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : M. Sabri GÖK, Mustafa ÖZCAN*, Rıfat ÜNAL, Mesut ÇAKMAK, Mete ULAŞIR, Emre AYDOĞDU, A. Tayfun KİRAZ, Dilara BOYNUEYRİ, Esra GÜNER, Hasan YILMAZ, Dilara BEYTEKİN(2019). Tufal Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitin Kuru Kayma Aşınma Davranışları. *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi Cilt 7 Sayı 1 (2019).*

İş Deneyimi

Stajlar : Erdemir (07.2014),
Malkoç Mühendislik (08.2015).

Projeler ve Kurs Belgeleri : ÇSGB C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı-(02.2019),
Stratejik Planlama Ve Uygulama - Elephio Eğitim Danışmanlık-BAKKA-(21-22.02.2019), (14 Saat),
Yalın Lider-Elephio Eğitim Danışmanlık-BAKKA-(01.2019),
Risk Bazlı Süreç Yönetimi- Nova Akademi & Danışmanlık (12.2017),
Taşlama Ve Kesme Taşlarının Güvenli Ve Verimli Kullanımı- PFERD Aşındırıcı Takımlar - PFERD Tools - (11.2017),

ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Sistemleri- Nova Akademi & Danışmanlık -(11.2017),

OHSAS 180001 İş Sağlığı Ve Güvenliği- Anadolu Kariyer Eğitim Danışmanlık -(06.2016),

ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemleri -Anadolu Kariyer Eğitim Danışmanlık -(06.2016),

ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi -Anadolu Kariyer Eğitim Danışmanlık -(06.2016),

ISO 9001:2008 Kalite Yönetim Sistemi -Anadolu Kariyer - Eğitim Danışmanlık -(06.2016),

İç Tetkikçi -Anadolu Kariyer Eğitim Danışmanlık - (06.2016),

Entegre Yönetim Sistemi - Anadolu Kariyer Eğitim Danışmanlık - (06.2016),

Enerji Yönetim Sistemi -Anadolu Kariyer Eğitim Danışmanlık -(06.2016),

Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi- Anadolu Kariyer Eğitim Danışmanlık -(06.2016),

Stratejik Yönetim -Anadolu Kariyer Eğitim Danışmanlık – (06.2016),

Risk Yönetimi -Anadolu Kariyer Eğitim Danışmanlık - (06.2016),

ISO 10002 Şikayet Yönetimi- Anadolu Kariyer Eğitim Danışmanlık -(06.2016),

İşyeri Organizasyonu -Anadolu Kariyer Eğitim Danışmanlık -(06.2016).

Çalıştığı Kurumlar

: Çelikerler Çelik Konstrüksiyon İnş. San. Tic. Ltd. Şti.- Üretim – Planlama-Kalite Yöneticisi (2017-2019)

MESCİER Demir Çelik San. Tic. A.Ş- Çelikhane Üretim Mühendisi (2019-Devam)

İletişim

E-Posta Adresi

: d.boynueyri@hotmail.com

Tarih

: 28.08.2019

