

**KAPLAMASIZ, PVD TEKNİĞİ İLE TİN VE AİTİN KAPLANMIŞ DIN
1.2379 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

Ali Emrah BÜLBÜL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2013
ANKARA**

Ali Emrah BÜLBÜL tarafından hazırlanan “Kaplamasız, PVD Tekniği ile TiN AlTiN Kaplanmış DIN 1.2379 Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi” adlı bu tezin Yüksek Lisans olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç.Dr. Hakan DİLİPAK
Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Makina Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN
İmalat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç.Dr. Hakan DİLİPAK
İmalat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Hakan ATEŞ
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi : 30/07/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ali Emrah BÜLBÜL

**KAPLAMASIZ, PVD TEKNİĞİ İLE TiN VE AlTiN KAPLANMIŞ DIN 1.2379
SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ DENEYSEL
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Ali Emrah BÜLBÜL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEMMUZ 2013**

ÖZET

Bu çalışmada, kalıp sektöründe kullanılan DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin kaplamasız, PVD tekniği ile TiN ve AlTiN kaplamalı olanlarıyla karşılaştırılıp, aşınma davranışları incelenmesi hedeflenmiştir. Deney numuneleri 40Øx5 mm ebatlarında özdeş olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri ısıtılma tabii tutulduktan sonra, PVD yöntemiyle TiN ve AlTiN kaplama işlemi uygulanmıştır. Aşınma testleri ileri geri aşınma tipi cihazda 0,5 m/s kayma hızında, 5N, 10N ve 15N yükler altında ve 120m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde aşındırıcı olarak 6 mm çapında alümina top kullanılmıştır. Numunelerin mikro sertlik gibi mekanik özellikleri ile SEM ve EDS gibi metalografik incelemeleri yapılmıştır.

Yapılan deneylerde malzemeye uygulanan kuvvet ve çevrim arttıkça aşınmanın arttığı gözlemlenmiştir. Kaplamasız numuneler, AlTiN kaplamalı numunelerden yaklaşık 2 kat fazla, TiN kaplamalı numunelerden de 1 kat daha fazla aşınmıştır. TiN kaplamalı numunelerin de AlTiN kaplamalı numunelerden 1 kat daha fazla aşındığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç ile, kaplamalı numunelerin aşınma dirençlerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Alınan SEM

görüntülerinde ve yapılan EDS analizlerinde kaplamanın malzemeye homojen olarak nüfuz ettiği gözlemlenmiştir.

Deney numunelerinin inceleme sonucunda AlTiN kaplamalı numunelerin TiN kaplamalı ve kaplamasız numunelere göre daha az aşındığı, TiN kaplamalı numunelerinde kaplamasız numunelere göre daha az aşındığı gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 708.3.028

Anahtar Kelimeler : PVD, DIN 1.2379, yüzey kaplamaları, triboloji,

Sayfa Adedi : 102

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE WEAR BEHAVIOUR OF DIN
1.2379 COLD WORK TOOL STEEL UNCOATED, TiN AND AlTiN COATED
WITH PVD TECHNIC
(M. Sc. Thesis)**

Ali Emrah BÜLBÜL

**GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
JULY 2013**

ABSTRACT

In this study, TiN and AlTiN coated with PVD technique and uncoated of DIN 1.2379 cold work tool steel used in the mold industry have been compared each other and the wear behaviors of the materials have been investigated. The experimental specimens were prepared identically in the Ø40x5 mm dimensions. The experimental specimens have been heat-treated and then TiN and AlTiN PVD coating process is applied to them. The wear tests were performed 0,5 m/s sliding speed, 5, 10 and 15 N loads and 120m sliding distance using reciprocating abrasion device. 6 mm diameter alumina balls were used as abrasive in the experiments. The mechanical properties such as micro hardness and metallographic tests such as SEM and EDS of the samples were performed.

In the experiments, it was observed that as the force applied to the material and the cycle increased, the wear also increased. It was observed that the uncoated specimens approximately two times more than AlTiN coated and one time more than AlTiN coated. TiN coated specimens wore approximately one time more than AlTiN coated. With this result, the wear resistant of coating specimens were much higher

than other samples. In the SEM images and EDS analysis, It was observed that the coating was spread uniformly in the materials.

As a result of the review of the test samples, It was observed that the AlTiN coated samples wore less than TiN coated and uncoated samples and the TiN coated samples wore less than the uncoated samples.

Science Code : 708.3.028

Key Words : PVD, DIN 1.2379, surface coatings, tribology,

Page Number : 102

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Hakan DİLİPAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım başında yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Hasan SERT'e çalışmalarımı tamamlamamda bana çok büyük destek veren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK'a ve ayrıca kaplamaları yapan Ionbond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş. çalışanlarına, aşınma deneylerini yapan Arş. Gör. Onur BAYRAMOĞLU'na çalışmalarım boyunca yardımlarını benden esirgemeyen Yavuz KAPLAN, Uğur ÖZTÜRK, Muhammed İLİVAN'a ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan değerli eşim Nehir BÜLBÜL'e ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. TRİBOLOJİ	14
3.1. Tribolojinin Esasları.....	14
3.2. Sürtünme	16
3.3. Aşınma	18
3.3.1. Aşınma mekanizmaları	20
3.3.2. Aşınma testleri.....	27
3.3.3. Aşınmanın sistematik incelenmesi.....	27
4. İNCE NİTRÜR FİLM UYGULAMA ALANLARI	31
4.1. Kesici Takımlar İçin İnce Nitrür Kaplamalar	31
4.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan İnce Nitrür Film Kaplamalar.....	32
4.3. Şekillendirme Takımları ve Matkaplar İçin İnce Nitrür Film Kaplamalar.....	33
4.4. Enjeksiyonla Kalıplama Parçalar İçin İnce Nitrür Film Kaplamalar.....	34
4.5. Dekoratif Amaçlı Kaplamalar	35
4.6. Optik Fonksiyonlu Kaplamalar	35
4.7. Elektrik Fonksiyonlu Kaplamalar.....	35
5. İNCE NİTRÜR FİLM KAPLAMALAR.....	37
5.1. TiN Kaplamalar	37
5.2. CrN Kaplamalar	38

	Sayfa
5.3. TiCN Kaplamalar.....	39
5.4. ZrN Kaplamalar.....	40
5.5. AlTiN Kaplamalar.....	41
5.6. TiAlN Kaplamalar.....	41
5.7. Dominizer Kaplamalar	42
5.8. Maximizer Kaplamalar	43
5.9. Super AlTiN Kaplamalar	43
5.10. DeepDraw Kaplamalar.....	44
5.11. UltraCast Kaplamalar	44
6. İNCE FİLM BİRİKTİRME YÖNTEMLERİ	45
6.1. Nitrasyon Yöntemi	45
6.2. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD).....	46
6.3. İyon Demeti Destekli Biriktirme	47
6.4. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD).....	47
6.4.1. PVD kaplama teknikleri	51
6.4.2. PVD kesici takım kaplamaları	62
6.4.3. PVD şekil verme ve sıvama kalıp kaplamaları.....	64
7. MATERYAL VE METOT	66
7.1. Amaç	66
7.2. Deneyde Kullanılan 1.2379 Soğuk İş Takım Çeliğinin Özellikleri.....	66
7.2.1. Kimyasal bileşimi	66
7.2.2. Kullanım alanları.....	67
7.2.3. Isıl işlem	67
7.2.4. Mekanik özellikleri	69
7.3. Metot.....	69
7.3.1. Numune hazırlama	70
7.3.2. Numunelerin sertleştirilmesi	71
7.3.3. Numunelerin TiN kaplanması	71
7.3.4. Numunelerin AlTiN kaplanması	72
7.3.5. Numunelerin kodlanması	73

	Sayfa
7.3.6. Numunelerin aşınma deneylerinin yapılışı	73
8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	76
8.1. Aşınma Deneyi Sonuçları	76
8.2. Numunelerin Mikrosertlik Metodu ve Ölçümü	83
8.4. SEM Görüntüleri ve EDS Analizleri.....	86
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	92
9.1. Sonuçlar	92
9.2. Öneriler	94
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	102

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. CrN kaplama özellikleri	39
Çizelge 6.1. PVD kesici takım kaplamaları kullanım yerleri ve özellikleri	62
Çizelge 6.2. PVD şekil verme ve sıvama kalıp kaplamaları kullanım yerleri ve özellikleri	64
Çizelge 7.1. Deneyde kullanılan 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi	66
Çizelge 7.2. TiN kaplama parametreleri	71
Çizelge 7.3. AlTiN kaplama parametreleri	72
Çizelge 7.4. Deneyde kullanılan numunelerin kodlanması	73
Çizelge 8.1. Kaplamasız numunenin aşınma miktarı	76
Çizelge 8.2. TiN kaplı numunenin aşınma miktarları	78
Çizelge 8.3. AlTiN kaplı numunenin aşınma miktarları	80
Çizelge 8.4. Numunelerin mikrosertlik değerleri	84
Çizelge 8.5. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri	85

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Tribolojinin diğer bilimlerle olan ilişkisi.....	14
Şekil 3.2. Sürtünme ve aşınmayı etkileyen faktörler	15
Şekil 3.3. Statik ve dinamik sürtünme esnasında cisme etki eden kuvvetlerin şematik gösterimi	16
Şekil 3.4. Sürtünmenin çeşitleri.....	17
Şekil 3.5. İki elemanlı ve üç elemanlı abrasif aşınma oluşum şekilleri	22
Şekil 3.6. Eroziyon Aşınma	25
Şekil 3.7. Aşınma mekanizmaları ve birbirleriyle olan ilişkileri	30
Şekil 4.1. Katodik ark yöntemi ile TiAlN kaplanmış delici takım uçları	32
Şekil 4.2. TiN Kaplanmış diz implantı.....	33
Şekil 6.1. İyon demeti destekli biriktirme yönteminin şematik gösterimi	47
Şekil 6.2. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi (PVD)	48
Şekil 6.3. PVD kaplama teknikleri	51
Şekil 6.4. Rezistanslı ısıtıcı sistemli PVD sistemi.....	53
Şekil 6.5. Oyuk katot tabancası kullanan PVD sistemi.....	54
Şekil 6.6. Katodik ark PVD sistemi.....	55
Şekil 6.7. Diyot sıçratma mekanizması	57
Şekil 6.8. Triyot sıçratma	58
Şekil 6.9. Manyetik sıçratma mekanizması	59
Şekil 7.1. 1.2379 Soğuk iş takım çeliğinin ısıtma işlem şeması	68
Şekil 7.2. 1.2379 Soğuk iş takım çeliğinin monevişleme diyagramı	68
Şekil 8.1. 5-10 ve 15 N Yükte kaplamasız numunenin aşınma grafiği	77
Şekil 8.2. 5-10 ve 15 N Yükte TiN kaplı numunenin aşınma grafiği	79
Şekil 8.3. 5-10 ve 15 N Yükte AlTiN kaplı numunenin aşınma grafiği	81
Şekil 8.4. Kaplamasız, TiN ve AlTiN kaplamalı numunelerin 5000 Çevrim aşınma grafiği	81
Şekil 8.5. Kaplamasız, TiN ve AlTiN kaplamalı numunelerin 10000 Çevrim aşınma grafiği	82

Şekil	Sayfa
Şekil 8.6. Kaplamasız, TiN ve AlTiN kaplamalı numunelerin 15000 Çevrim zımparadaki aşınma grafiği.....	82
Şekil 8.7. Numunelerin mikrosertlik değerleri.....	84
Şekil 8.8. Numunelerin yüzey pürüzlülük grafiği.....	85
Şekil 8.9. TiN kaplamalı numunenin kesitteki kaplama yüzeyinden alınan EDS analizi	89
Şekil 8.10. AlTiN kaplamalı numunenin kesitteki kaplama yüzeyinden alınan EDS analizi.....	90

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. TiN kaplamalı kesici takım örnekleri.....	37
Resim 5.2. CrN kaplama örnekleri	39
Resim 5.3. TiCN kaplamalı kesici takım örnekleri	40
Resim 5.4. AlTiN kaplamalı kesici takım örnekleri	41
Resim 5.5. TiAlN kaplamalı kesici takım örnekleri	42
Resim 6.1. PVD kaplama örnekleri	50
Resim 7.1. IONBOND PVD kaplama cihazı	70
Resim 7.2. a) AlTiN kaplamalı deney numunesi, b)Kaplamasız deney numunesi, c)TiN kaplamalı deney numunesi.....	71
Resim 7.3. İleri geri aşınma test cihazı	74
Resim 7.4. 1 mg hassasiyetindeki terazi.....	75
Resim 8.1. Mikrosertlik ölçüm cihazı	83
Resim 8.2. SEM (Scanning Electron Microscope) cihazı	86
Resim 8.3. Kaplamasız kaplamalı numunelerin 10 N yük altında a) 5000 Çevrim, b)10000 Çevrim, c) 15000 Çevrim alümina top ile aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri	87
Resim 8.4. TiN kaplamalı numunelerin 10 N yük altında a) 5000 Çevrim, b)10000 Çevrim, c) 15000 Çevrim alümina top ile aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri	88
Resim 8.5. AlTiN kaplamalı numunelerin 10 N yük altında a) 5000 Çevrim, b)10000 Çevrim, c) 15000 Çevrim alümina top ile aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri	88
Resim 8.6. TiN Kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü	89
Resim 8.7. AlTiN Kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü.....	90

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda kullanılmıştır.

Simgeler	Açıklama
°A	Angstrom ($1^{\circ}\text{A}=10^{-10}\text{m}=10^{-4}\mu\text{m}$)
°C	Santigrad derece
m	Metre
mm	Milimetre
cm	Santimetre
μm	Mikron ($1\ \mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$)
N	Newton
V	Volt
T	Sıcaklık
Kısaltmalar	Açıklama
AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
AlTiN	Aliminyum Titanyum Nitrür
C	Karbon
Cr	Krom
CrN	Krom Nitrür
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
DVD	Doğrudan Buhar Biriktirme
EDS	Enerji Dağılımlı X Işınları Spektrometresi
Fe	Demir
Mn	Manganez
Mo	Molibden
Ni	Nikel
P	Fosfor

Kısaltmalar**Açıklama****PVD**

Fiziksel Buhar Biriktirme

S

Kükürt

SEM

Taramalı Elektron Mikroskobu

Si

Silisyum

TiN

Titanyum Nitrür

V

Vanadyum

W

Wolfram (Tungsten)

1. GİRİŞ

Günümüzde imalat sektöründe kullanılan makine ekipmanları ve kalıp malzemelerinin aşınması ve kırılması imalatları olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuzlukları en aza indirmek için kullanılan malzemelerin kaliteleri, yüzey pürüzlülükleri ve ısıl işlemlerinde farklı yöntemler uygulanmaktadır. Üretimde kullanılacak malzemeler çalışma şartları, işlevi ve ekonomikliğine göre belirlenmelidir. Bu çalışmalar doğrultusunda malzemelerin dayanımlarının, sertliklerinin ve yüzey kalitelerinin artırılması için ince sert kaplamalar yapılmaktadır.

Makina yapımında kullanılan bütün malzemelerin uzun bir süre görevlerini aksatmadan yerine getirebilmeleri beklenir. Sürtünerek çalışan bütün makina elemanları zamanla aşınır ve buldukları sistemin fonksiyonunu yerine getirmesinde aksamalara neden olmaktadır. Bu gibi elemanların yüzey özellikleri çalışma şartlarına ve yapıldığı malzemenin cinsine göre termal veya termokimyasal yollarla iyileştirilir. Ancak bazı elemanların bahsedilen yollarla yüzey performanslarının artırılması mümkün olmayabilir. Bu çerçevede yüzey kaplamaları gündeme gelmektedir [1].

Yüzey kaplama işlemleri son yüzyılda sağladığı ekonomik ve teknik avantajlar sayesinde birçok çalışmanın konusunu oluşturmuştur. Yüzey enerjisi, yüzey gerilmesi, yüzeyin aktivitesi, aşınma, korozyon ve yüzeyle ilgili problemler dünyada her yıl önemli maddi kayıplara neden olmaktadır. Bu sebeple bu problemler bilimsel alanda büyük bir önem kazanmıştır. Metal ve alaşımlarının, kütleli ve yüzeysel özellikleri arasındaki ilişki uzun yıllardan beri araştırılmaktadır. İşte bu araştırmalar sonunda geliştirilen modern kaplama tekniklerinden; PVD, CVD, spreyleme ve difüzyon esaslı kaplama teknikleri; aşınma, korozyon ve oksidasyona karşı dirençli karbür, nitrür ve bor kaplamaların gerçekleştirilmesinde uygulanmaktadır [2].

Yüzey kaplamaları, bir metalin yüzeyini bir metal, ametal veya bir organik madde ile kaplayarak malzemeye hem görünüş güzelliği kazandırmak hem de malzemeyi daha dayanıklı hale getirmek amacıyla yapılmaktadırlar. Çelik, yüzeylerin kaplanması en yaygın kullanım alanı bulmuş bir kaplama malzemesi olup PVD tekniği ile başarıyla uygulanmaktadır.

Bu çalışmada, amaç ortaya çıkan bu sorunları, kaplamanın ve kaplama türlerine etkisi kesme kalıplarında kullanılan DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğine PVD tekniği ile TiN ve AlTiN kaplayarak aşınma davranışlarını inceleyerek minimum seviyeye indirmektir.

Elde edilen deneysel veriler kullanılarak, ülkemiz endüstrisinde henüz kullanılmayan, fakat kullanımı ile çevre dostu olmasının yanı sıra kalıp maliyetini, iş gücü ve zaman kaybını belli bir oranda düşüreceği tahmin edilen bu yöntem ile konuyla ilgili deneme yanılma yolu ile belirlenmesi muhtemel olan deneysel verilere bakarak kalıplama işlemlerinde kullanılması sağlanacaktır. Böylece; üretimde kesme kalıplarında meydana gelen aşınmaları azaltarak iş gücü kaybı, zaman kaybı, maliyet azaltılarak ülke ekonomisine katkıda bulunmaktadır.

Bu bağlamda, soğuk iş takım çeliği kaplanmadan ele alınmıştır daha sonra PVD tekniği ile TiN ve AlTiN kaplanmış ve ileri geri aşınma tezgahında kuru sürtünme ile sabit kayma hızında aşınma şartları incelenmiştir.

Çalışmada, deneyler esnasında üç farklı yük ve üç farklı çevrimde parçalar incelenmiş aşındırıcı olarak 6mm çapında alümina top kullanılmıştır.

Çalışmada, deneyler sonucunda numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve mikrosertlik değerleri tespit edilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Endüstride, kullanılan malzemeler çalıştıkları yere göre aşınmaya maruz kalmaktadır. Kalıp zımbalarında kullanılan yüksek hız çeliklerinin kaplamasız olarak aşınma sonucu ömürleri, toplam maliyet üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kalıp zımbalarının kaplanarak kullanılması işlem verimliliğini artırmakta olup maliyetini de önemli ölçüde azaltmaktadır.

Geliştirilen yüzey kaplamalardan beklenen özellikler; yüksek sertlik, iş parçasına düşük ancak takım malzemesine yüksek yapışma, yüksek aşınma direnci, yüksek kimyasal kararlılık ve tokluk, düşük çözünürlük, yüksek yük taşıma kapasitesi, düşük kesme kuvvetleri, düşük ısıl yayınma katsayısı sıralanabilir. Bu özellikleri sağlamak için öncelikli olarak kullanılan başlıca kaplama türleri ise TiN, TiAlN, TiCN, ve CrN'dür [3].

Solak, yüzey kaplama bir metalin veya ametalin yüzeyini bir metal, ametal veya bir organik madde ile kaplayarak, malzemeyi hem görünüş hem de fiziksel ve kimyasal (korozyon) bakımdan daha dayanıklı hale getirmek amacıyla yapılan işlemdir. Kaplama esnasında ana malzemenin sadece yüzey özellikleri değiştirilir. Malzemenin kütle özelliklerinin değişmemesine dikkat edilir [4].

Eryılmaz ve Tönshoff, PVD yöntemi yüksek sıcaklıkta, vakum altında bulundurulmuş kaplama malzemesi yüzeyindeki atomların buharlaştırılarak (atomlaştırılarak) kaplama yapılacak yüzeyde atomik veya iyonik bileşikler şeklinde tarif edilmektedir [5, 6].

Sert, H., "PVD ile TiN kaplanmış alüminyum ekstürüzyon kalıplarının yüzey özellikleri ve aşınma performanslarının deneysel incelenmesi" doktora tezinde, TiN kaplı alüminyum ekstürüzyon kalıplarının, kaplamasız kalıplara göre daha az aşındığını tespit etmiştir. Kaplamasız kalıplarda aşınma üstel olarak, TiN kaplı kalıplarda lineer olarak arttığını belirlemiştir. Bu da

aşınmanın geciktirilmesi ve yavaşlatılması anlamına geldiğinden kalıp performansının arttığını öngörmüştür [2].

PVD ve CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme) yöntemleriyle ince filmle kaplanmış malzemelerin yorulma davranışı ile ilgili yapılan çalışmalarda ince filmlerin, malzemelerin yorulma dayanımını arttırdığı bilinmektedir. Makina parçaları ve yapı elemanlarından çoğu çevrimsel yüklemeler ve titreşimler yüzünden yorulma hasarına uğramaktadır. Genelde yorulma hasarında çatlak başlangıcı, yüzeyden başlar. Bu nedenle malzemelerin yorulma dayanımını artırmak için yüzey özellikleri geliştirilmelidir. İstenilen yüzey özellikleri iki temel prensiple geliştirilebilir. Birinci prensip ana (taban) malzemenin yüzey özellikleri kimyasal, termokimyasal, ısı ve mekanik işlemle değiştirilebilir. İkinci prensip ise ana malzemenin yüzeyine çeşitli yöntemlerle ince film kaplanmasıdır [7].

Scoles, yaptığı çalışmada PVD ve CVD yöntemlerini incelediği zaman DVD'den farklı yönleri olduğunu açıkça göstermiştir. CVD yönteminde kaplanacak olan parçalar 1000°C-1200°C sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Bu da sertleştirilmiş parçalar için istenilmeyen bir olaydır. Çünkü bu sıcaklıklarda malzemelerin içyapıları değişebilmektedir. Böyle olumsuz bir yönü olmasına rağmen CVD yöntemi küresel özellikteki parçalar (bilye) için tartışılmaz kolay kaplama yöntemidir. Ayrıca CVD yöntemi ile uzun malzemelerin kaplanması (tel, mil ve diğerleri) kolaylıkla yapılabilmektedir. Ancak elektronik alanda kullanılan özellikle fiber optik ve bakır kabloların kaplanmasında ortalama sıcaklık 350°C-650°C arasında olmalıdır. Bu nedenle CVD yöntemi bu tip kaplamalarda kullanıma uygun değildir. DVD yönteminde sistemin uzun ebatlı parçalara ayarlanması oldukça kolaydır ve işlem odasının sıcaklığı 600°C yi geçmemektedir [8].

Reichelt ve Jiang, yaptıkları çalışmalarda ana malzeme yüzeylerinin ince sert filmlerle kaplanmasıyla yüzey özelliklerinin geliştirildiğini tespit etmişlerdir. Bu tür kaplamalarda genellikle CVD ve PVD yöntemleri kullanılmaktadır. Bu

yöntemlerle üretilen ince filmlerin üstün özellikleri malzemenin yüzey özelliklerini önemli derecede geliştirmektedir. Kaplanan malzemenin yüzeyindeki bu önemli gelişmeler; yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, yüksek korozyon direnci, kimyasal kararlılık ve kavitasyon ve erozyon aşınmalarına direnç gibi özelliklerin geliştiğini göstermişlerdir [9].

Sert ve Meriç, yaptıkları çalışmalarda kaplama metodunun kullanılma amacına göre ince sert kaplamaların kalın kaplamalara bir alternatif olduğunu göstermişlerdir. Her iki metodun ayrı ayrı kullanım şartları mevcut olup yağlamanın olması istenilen yerlerde kalın kaplamanın avantajlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca korozyona, darbeye, aşınmaya dayanımlı yerlerde kalın kaplamaların iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Yine kalın kaplamaların çekme dayanımları incelenirken kaplamanın ana malzemenin üzerinden yüksük şeklinde ayrıldığı ve döküldüğü gözlemlemişlerdir. Daha nitelikli ve daha sert malzemeler yine yüzey kaplamayla elde edilebilmekte olduğunu vurgulamışlardır [10].

Miao ve arkadaşları tarafından, CrN/TiN çoklu kaplamanın aşınma direncini artırmak için magnezyum alaşımlı AZ91 malzemenin üzerine kaplama yapılmıştır. Kaplamanın toplam kalınlığı CrN ve TiN tabakasının yaklaşık olarak 2 µm ile 12 µm kalınlığı arasında değişmiştir. Elde edilen bu bileşim ve mikro yapı XRD ve GDS (glow discharge spectrum) vasıtası ile analiz edilmiştir. Yüzey ve morfolojisi SEM yöntemi ile inceleme yapılmıştır. Kaplamalar arasındaki ve alt parçanın yapışma direnci çizik testi uygulanmıştır. Aşınma deneyi ball on disk deney test cihazında değerlendirilmiştir. AZ91 numunesi ayrıca korozyon testine (tuz püskürtme testi) tabi tutulmuştur. Çalışmada, magnezyum alaşımlı AZ91 malzemenin üzerine yapılan CrN/TiN kaplamanın hem korozyon hem de aşınma direncini iyileştirme gözlenmiştir [11].

Baragetti yaptığı çalışmada, düz dişli çarkların PVD yöntemi ile CrN kaplama

yaparak dişli çarkın yorulma direncini artırmak mümkün olduğunu göstermiştir. PVD kaplı dişli çarklar çatlak oluşunu nümerik bir simülasyon yöntemi ve deneyler yapılarak gerçekleştirilmiştir. CrN kaplama tabakasının mikro sertliği ve artık gerilme karakteristiği yüzeyden elde edilmiştir. alışmalar sonucunda, otomotiv güç aktarma organında kullanılan CrN kaplama düz dişli çarkın yorulma ömrü numerik bir model ile tahmin edilebilmektedir. Sonuç olarak eğer TiN PVD kaplama derinliği 5 m kalınlığında elde edilirse titanyum düz dişli arkda yorulma direncinin artırdığını grlmştir [12].

Park ve Kim yaptıkları çalışmalarında, elik ana malzeme zerine TiN, TiAlN ve TiSiN gibi kaplama malzemesi kullanılarak CVD yöntemiyle yapılan sert kaplamaların, mikro sertlikleri, mikro yapıları ve oksidasyon davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Az miktarda alüminyum ve silisyumun TiN' e ilavesinin, mikro sertlik ve oksidasyon direncine büyük miktarda etki etmektedir. TiAlN ve TiSiN deki aşırı mikro sertlik artışı TiN ile karşılaştırılmış ve bunun sebebi mikro yapıdaki değişiklikten kaynaklandığı anlaşılmıştır. TiN' in oksidasyon sıcaklığı 500°C olarak belirlenirken TiAlN ve TiSiN 700°C'de oksitlenmeye başladığı anlaşılmıştır [13].

zses'in AISI 5140, AISI 4140, St37 malzemeleri kullanarak yaptığı deneysel çalışmalarda, malzemenin karbon miktarına bağlı olarak değişen sertlik ve mekanik özelliklerin yüzey pürüzlülüğünü etkilediği grlmştir. İşleme parametreleri olarak kesme hızının arttırılması durumunda takım aşınmasının hızlandığı dolayısı ile takım ömrünün azandığı anlaşılmıştır [14].

Yalçın ve Yılmaz, ark PVD tekniği ile TiN sert film tabakasıyla kaplanan matkap yüzey sertliklerinin normal takımlara göre, iki kat daha fazla sertlikte olduğunu gözlemlemişlerdir. Yapılan delme deneylerinde ise, aynı delme koşullarında ölçülen aşınma miktarlarına göre; TiN'le kaplamalı matkapların, kaplamasız takımlara nazaran 5 kat ve 8 kat daha fazla çalışma ömrüne sahip olduğunu elde etmişlerdir. TiN sert seramik kaplamalı matkapta, delik

delme sırasında tabaka kalınlığı birkaç mikron mertebesinde olduğundan dolayı, ana malzemenin tokluğu TiN tabakaya da kazandırılmıştır. Bu sayede, takım yüzeyinde pul pul dökülmeler ve çatlaklıklar gözlemlenmediğini ortaya koymuşlardır [15].

Gökkaya ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, kesici takım kaplama malzemeleri ve işleme parametrelerinden kesme hızı ile ilerleme hızının iş parçası yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kaplama malzemesi, ilerleme ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde farklı etkilere sahip parametrelerin olduğu belirtilmektedir. Yapmış oldukları çalışmada, en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğünü, en üstte TiN kaplı kesici takımla elde etmişlerdir. İlerleme miktarının %80 azaltılmasıyla yüzey pürüzlülüğünde %176 iyileşme sağlamışlar, kesme hızının %200 artırılması ile de yüzey pürüzlülüğünde %13 iyileşme elde etmişlerdir [16].

Tay ve arkadaşları, filtreli katodik vakum ark tekniği ile silisyum ana malzemeler üzerine üretilen TiN filmlerinin mekanik ve yapısal özellikleri üzerine, azot akış oranı, yığma oranı ve ana malzeme biasının etkilerini araştırmışlardır. Azot akış oranındaki bir yükselmenin, sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve tane boyutunda bir artış ile sonuçlandığını ve yüksek miktardaki azot iyonundan dolayı artan iyon bombardımanının, film çekirdekleşmesini daha yoğun yönelmesine sevk ettiğini bulmuşlardır. Ayrıca, yığma oranındaki bir artışın, gerilme, sertlik ve yüzey pürüzlülüğünü artırdığı, bunun momentum transferindeki artıştan kaynaklandığını, negatif ana malzeme biasının artması ise, hem film gerilmesi hem de sertliğini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, iyon akış enerjisinin film özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır [17].

Sert ve Can, kesici takım kaplama malzemesi ve kaplama yöntemine bağlı olarak değişen yüzey pürüzlülüğü değerlerini yorumlandıklarında kaplamasız takımlardan sermet ile diğer TiAlN ve TiN kaplı kesici uca oranla daha düşük yüzey pürüzlülüğü sağladığını gözlemlemişlerdir. Bunun sebebi kaplamasız

sermet kesici takımın diğer iki takıma oranla daha düşük sürtünme katsayısına sahip olması ve kaplamasız olmasından dolayı daha keskin bir kesici köşeye sahip olmasına atfetmişlerdir. TiAlN kaplı kesici uç TiN kaplı kesici uca oranla daha düşük yüzey pürüzlülüğü sağlaması yine sürtünme katsayısına atfedileceği gibi CVD ile TiN kaplı kesici uca nazaran PVD yöntemiyle 3-4 µm kalınlığında çok ince olarak kaplanmasından dolayı, keskin bir kesici köşeye sahip olmasından kaynaklandığını tespit etmişlerdir [18].

Padley ve Devi, PVD yöntemiyle TiC, TiN, TiAlN, Al₂O₃ kaplı uçların yüksek sıcaklık sertliklerini, oksidasyon hızlarını, aşınma özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Janoss tarafından yapılan çalışmalarda kaplama yöntemi ve kaplama malzemesinin, yüzeyi mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi incelenerek belirtilen sertlik, sürtünme katsayısı, oksidasyon sıcaklığı, korozyon dayanımı gibi özellikleri karşılaştırılmıştır [19].

Gökkaya ve Nalbant, farklı kaplama malzemelerinin farklı işleme parametrelerine bağlı olarak takım-talaş ara yüzey sıcaklığı ve iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kaplamasız, PVD yöntemiyle AlTiN ve TiAlN kaplanmış, CVD yöntemiyle üç katlı kaplama uygulanmış (en üste TiN kaplı) dört farklı semantit karbür takımla, AISI 1015 çeliği beş farklı kesme hızı ve iki farklı ilerleme değerinde işlenerek elde edilen takım-talaş ara yüzey sıcaklıkları ve ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri tespit edilmiş ve birbirleri ile ilişkilendirilmiştir. Kesme hızı, ilerleme ve sürtünme katsayısındaki artışa bağlı olarak takım-talaş ara yüzey sıcaklığı artmıştır. Kesme hızının artışına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği, ilerleme ve sürtünme katsayısının artışına bağlı olarak ise ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı yönünde sonuçlar tespit etmişlerdir [20].

Totik ve arkadaşları, HSS-M2 üzerine kaplanmış (TiAl)N seramik filmin, ısıtma işlem öncesi ve sonrası XRD, SEM, EDS ve mikrosertlik incelemelerinde; ısıtma işleminden önce yüksek olan sertlik değerlerinin, ısıtma işlemi ile azaldığını tespit

etmişlerdir. Sıcaklığa bağlı olarak sertlikteki azalmanın sebebi yapı içinde bulunan gerilmelerin azalması, tane boyutunun büyümesi, kafes parametrelerinin azalması ve yapı içinde bulunan Ti_2N fazının ısı işlem ile yapı içindeki çözünmesi olarak yorumlamışlardır. Bu değişikliğin sebebi ise yapı içinde bulunan elementlerin ısı işlem ile α -Fe içinde çözünmesi ve fazların değişmesi, kaplama ve taban malzeme arasındaki difüzyonu artması olarak ifade etmişlerdir [21].

Martin ve Bendavid, filtreli katodik arkta kombine edilmiş yığma ve implantasyon prosesini kullanmışlar, 20 keV yüksek enerjili pulslu iyon bombardımanı ile üretilen filmlerde ana malzeme içerisine implantasyonunun meydana geldiği, üretilen kalın karbon filmlerinde gerilmenin azalarak film yapışmasının arttığını tespit etmişlerdir [22].

Öztürk ve arkadaşları, TiN, CrN ve MoV kaplamaların değişik kayma şartları altında tribolojik davranışları arasında kaplamalar arasında kıyaslama yapılmıştır. Çalışmada kaplamaların içine bakır katılarak bir çalışma yapılmıştır. Ancak bu yöntem hala geliştirme safhasındadır. Bu çalışmanın sonucunda TiN, CrN ve MoV kaplamanın içine Cu ekleyerek tane büyüklüğü ve morfolojisini değiştirmiştir. Ancak bu metot ile yalnızca MoN kaplamanın aşınma davranışı ve sürtünme üzerinde faydalı etkiye sahip olduğu görülmüştür. CrN kaplamanın tribolojik davranışı Cu eklendikten sonra çok fazla değiştirmedeği ancak TiN kaplamanın içine Cu eklendiği durumda olumsuz etkisi olduğunu bulmuşlardır [23].

Özgür tarafından yapılan çalışmada, M41 yüksek hız çeliğine 5 farklı PVD kaplama (TiN, TiAlN, CrN, AlTiN ve TiCN) yapılarak pin on ring test cihazında kuru şartlar altında aşınma performansı araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada, TiAlN ve AlTiN kaplama diğer kaplamalara nazaran daha iyi aşınma performansı sahip olduğunu saptamışlardır. Diğer kaplamalarda ise hemen hemen benzer aşınma performansına sahip olduğu görülmüştür. PVD

kaplama yapılan numunelerin sertlik değerin artışı ile birlikte aşınma hacminde azalma görülmüştür [24].

Paulitscha ve arkadaşları, CrN ve TiN kaplamalar yüksek sertlik değeri ve yüksek aşınma direncine sahip olması nedeni ile sanayide çok yaygın olarak kullanılan bu kaplamaların mekanik özelliklerini ve yapısını iyileştirebilmek için kaplama esnasında ion bombardımanı (high power impulse magnetron sputtering) HIPIMS yöntemi ile artırarak iyileştirme yapılabileceğini öne sürmüşlerdir. Çalışmalarında göstermiştir ki HIPIMS yöntemi ile CrN ve TiN tek kaplamalarında da mükemmel sonuç vermiştir ve hem mekanik özelliklerini hem de tribolojik özelliklerinde artışlar gözlenmiştir [25].

Prengel ve arkadaşları, sert metal üzerine PVD yöntemiyle tek katlı TiN, TiAlN, TiB₂ ve çok katlı TiAlN kaplamalı takımların kesme işlemlerinde aşınma davranışları ve takım ömürleri incelenmiştir. Takım ömürleri, gri dökme demirin frezelenmesi, Inconel 718 ve A390 alüminyum alaşımının tornalanması ile elde edilmiştir. Gri dökme demirin işlenmesinde tek katlı TiAlN, çok katlı TiAlN kaplı sert metal ve çok katlı TiN/TiCN/TiAlN kaplı sert metal uca oranla daha yüksek takım ömrüne sahip olduğu anlaşılmaktadır. Inconel 718 alaşımının işlenmesinde, çok katlı TiAlN kaplı sert metal uç, tek katlı TiAlN kaplı sert metal uca ve çok katlı TiN/TiCN/TiAlN kaplı sert metal uca oranla daha yüksek takım ömrüne sahip olduğu tespit edilmiştir [26].

Ranea, ince sert kaplamaların aşınma hızları ile ilgili deneysel çalışmasında, yüksek hız çelikleri üzerine TiC, TiCN, TiAlN ve TiN kaplama yaparak pin-disk üzerinde kuru sürtünme ortamında aşınma hızlarını tespit etmiştir. En düşük aşınma hızını TiAlN kaplı numunelerde gözlemlemiştir. TiAlN' den sonra en düşük aşınma hızına sahip numuneler ise sırasıyla TiC, TiCN ve TiN olduğunu belirtmiştir. TiAlN kaplamanın sertliği ve sürtünme katsayısı düşük olduğundan diğer kaplamalara göre daha düşük aşınma hızına sahiptir. İnce film kaplamaların sertlik ve sürtünme katsayıları aşınmalarında önemli faktördür [27].

Başman, TiN kaplanmış GGG 40 sınıfı küresel grafitli dökme demirleri yorulma davranışlarını incelemiştir ve kaplamasız KGDD'in yorulma dayanım sınırı 285 Mpa iken, TiN kaplanmış KGDD'de bu sınırın 305 Mpa gerilme genline ulaştığını tespit etmiştir [28].

Tuck ve arkadaşları, filtrelili katodik ark metodu ile M2 takım çeliği ana malzemeler üzerinde ürettikleri ince sert nitrür kaplamaların sertliklerini mikro ve makro sertlik ölçme metodları ile tespit etmişler ve sonuçları yeni bir model olan "work-of-indentation" modeli ile analiz etmişler ve yorumlamışlardır. Tuck ve arkadaşları model için iki yeni parametre önermişler ve yalnız mikrosertlik sonuçlarından kaplı sistem hakkında daha fazla bilginin çıkarılmasına imkân sağlamışlardır [29].

Çınar, katodik ark metodu ile yüksek hız çeliği üzerinde üretilen TiAlN-TiN esaslı multi tabaka kaplamalardaki (ilk tabaka TiN, ara Tabaka TiAlN-TiN ve diğer tabakalar TiAlN olmak üzere 6 tabaka) TiN ara tabakalarının kaplamanın yapışma özelliğini arttırdığı, sertliğini ise bir miktar azalttığını gözlemlemiştir [30].

PVD ve CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme) yöntemleriyle ince filmle kaplanmış malzemelerin yorulma davranışı ile ilgili yapılan çalışmalarda ince filmlerin, malzemelerin yorulma dayanımını arttırdığı bilinmektedir. Makina parçaları ve yapı elemanlarından çoğu çevrimsel yüklemeler ve titreşimler yüzünden yorulma hasarına uğramaktadır. Genelde yorulma hasarında çatlak başlangıcı, yüzeyden başlar. Bu nedenle malzemelerin yorulma dayanımını artırmak için yüzey özellikleri geliştirilmelidir. İstenilen yüzey özellikleri iki temel prensiple geliştirilebilir. Birinci prensip ana (taban) malzemenin yüzey özellikleri kimyasal, termokimyasal, ısı ve mekanik işleme değiştirilebilir. İkinci prensip ise ana malzemenin yüzeyine çeşitli yöntemlerle ince film kaplanmasıdır [31].

Tanaka ve arkadaşları, katodik ark metodu ile karbur freze uçları üzerinde (Al,Ti,Si)N filmleri sentezlemişler ve aşınma ve oksidasyon dirençleri incelenmiştir. (Al, Ti, Si)N filmlerinin (Al, Ti)N ve (Ti, Al)N'den daha yüksek bir sertlik ve oksidasyon sıcaklığına sahip olduğu ve (Al, Ti, Si)N kaplı karbur freze uçlarının sert malzemelerin yüksek hızlarda işlenmesinde (Al, Ti)N ve (Ti, Al)N kaplılardan daha yüksek bir aşınma direnci ve kesme performansı gösterdiklerini tespit etmişlerdir [32].

Zhengyang ve arkadaşları, katodik ark yöntemi ile yüksek hız çeliği malzemeleri üzerinde üretilen TiN kaplamaların özelliklerine DC biası üzerine uygulanan puls biasının etkilerini araştırmışlardır. Bunun için, puls piki voltajı, frekans ve görev çevrimi puls güç kaynağı faktörlerini ve basınç, ark akımı ve DC bias voltajını değiştirmişlerdir. Kaplamaların yüzey pürüzlülüğü, kalınlık ve mikrosertlik değişimlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak DC+puls bias voltajı kullanılarak üretilen filmlerin makro parçacık yoğunluğu ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, film yapışması ve üniformaluluğunun ise arttığını tespit etmişlerdir [33].

Mustapha ve Howson, katodik ark buharlaştırma ile üretilen TiN ve ZrN ince filmlerinin renk değişimini, azot ile geçiş metalleri arasındaki atomik oran ve oksijen kirliliğine göre incelemişlerdir. Azotun geçiş metallerine atomik oranının artmasının altın tarzı renk yansıtıcılığının azalmasına ve sarılığın artmasına sebep olduğunu, önemsenmeye değer bir renk değişimi olmaksızın stokiyometri değişiminin TiN için ZrN den daha büyük olduğunu ve oksijen içeriğindeki değişimin azotunki ile aynı yönde renk değişimi ile sonuçlandığını tespit etmişlerdir [34].

Sert ve Karamış, yüksek mukavemetli çelik ya da sementit karbürden yapılan kesici takımların, metalin metal ile temasından oluşan mikro kaynaktan korumak için takımların, refrakter malzeme olan TiC, TiN, Al₂O₃ ile kaplanması gerektiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada kesme kuvvetindeki azalmaya rağmen takım ömürlerinde %300–%800 oranında bir

gelişme sağlamışlardır. TiC, TiN, Al₂O₃ gibi kaplamaların, kaplama yapılmamış aletlere göre 2 kat ile 8 kat daha fazla bir gelişme sağladığını gözlemlemişlerdir [35].

Öztürk, kaplama prosesinin tanıtımı ile kalıp sektöründe yoğun olarak kullanılan AISI 3343 çeliğinin kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı olanlarıyla karşılaştırılıp, aşınma davranışları incelemiştir. Deney numuneleri Ø34x5mm ebatlarında özdeş olarak işlenmiş ve PVD yöntemiyle TiN ve CrN kaplama işlemi uygulanmıştır. Aşınma için Pin On Disk yöntemi kullanılmış olup, numunelerin aşınma, mikrosertlik gibi mekanik özellikleri ile SEM ve EDS gibi metalografik incelemeleri yapılmıştır. CrN kaplamalı numunelerin aynı şartlarda diğer numunelere oranla daha az aşındığı görülmüştür [36].

İlivan, bir çok endüstriyel uygulamada hızla gelişmekte olan PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme) kaplama işleminin tanıtımı ile kalıp sektöründe kullanılan DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin kaplamasız, PVD tekniği ile TiN ve CrN kaplamalı olanlarıyla karşılaştırılıp, aşınma davranışları incelenmiştir. CrN kaplamalı numunelerin aynı şartlarda diğer numunelere oranla daha az aşındığı görülmüştür [37].

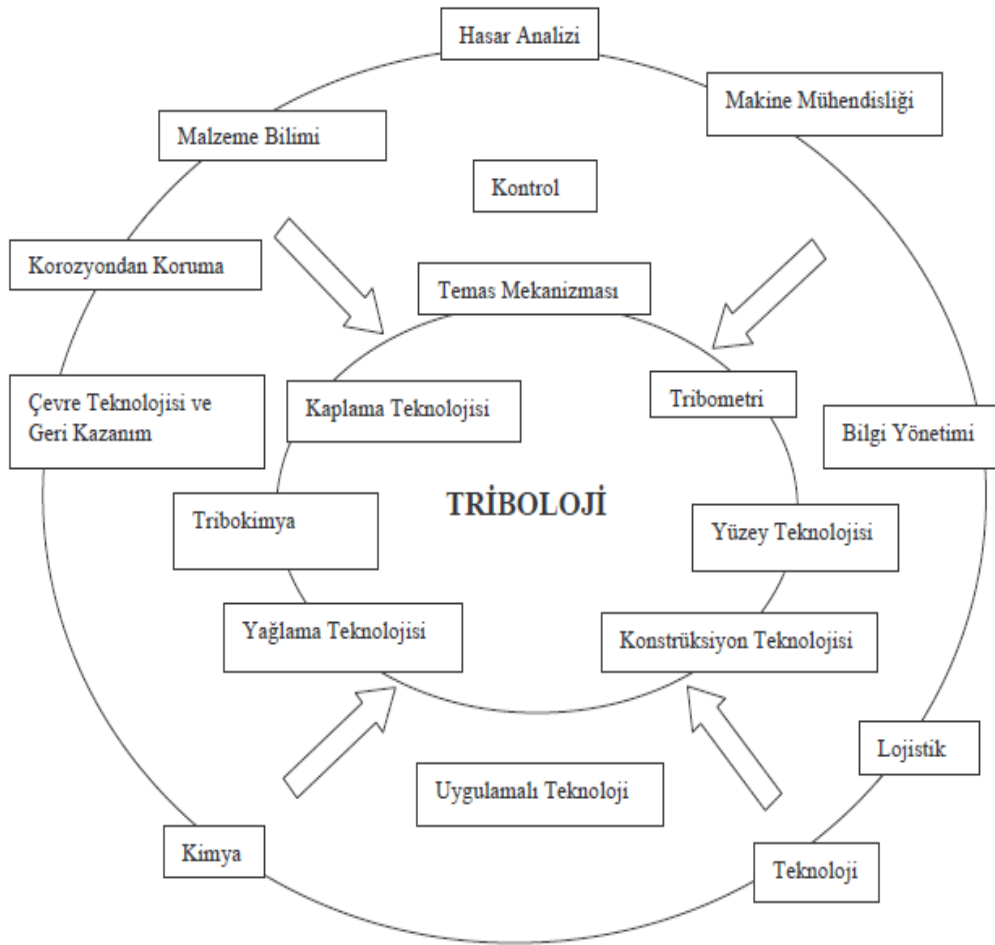
Bu yapılan çalışmalar incelendiğinde PVD yönteminin, CVD ve DVD yöntemine göre malzemelerin kaplamasında daha uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Bu yapılan tez çalışmasında DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliği PVD yöntemiyle TiN ve AlTiN kaplanarak aşınma davranışları incelenmiştir. Deneyler kuru sürtünme şartlarında, ileri geri aşınma test cihazında ve malzeme üzerinde 6 mm çapında alümina top ile aşındırma yapılmıştır. Deneyler yapılırken kayma hızı sabit tutulmuş numunelere parametre olarak 5N, 10N, 15N yük ve 5000 çevrim, 10000 çevrim, 15000 çevrim uygulanarak sonuçlar gözlemlenmiştir.

3.TRİBOLOJİ

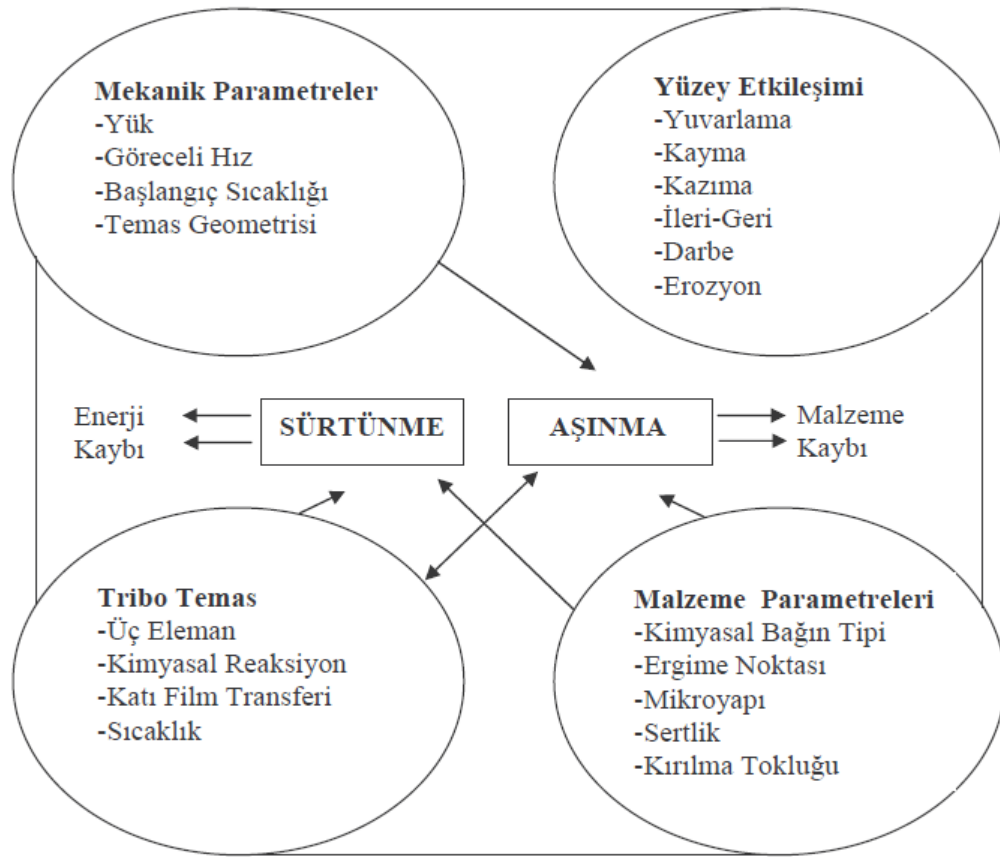
3.1. Tribolojinin Esasları

Triboloji birbirine izafi hareket yapan ve temasta olan yüzeylerde sürtünme, aşınma ve yağlama konuları ile bunlara bağlı konuları inceleyen bilim dalıdır. Triboloji, malzemenin aşınmasında en az anlaşılan henüz tartışılmakta ve gelişmekte olan yeni bir disiplindir. Bununla birlikte malzemelerin aşınma direnci basit bir malzeme özelliği olmayıp sistem içerisindeki bileşenleri ve tüm malzemeleri kapsar. Tribolojinin diğer bilimlerle ilişkisini gösteren şema Şekil 3.1'de verilmiştir [38].



Şekil 3.1. Tribolojinin diğer bilimlerle olan ilişkisi [38]

İstenmeden meydana gelen aşınma, özellikle makine ve teçhizatın kullanımı sırasında çok büyük kayıplara sebep olmaktadır. Bu konu, makine tasarımında çok önemlidir. Çünkü temas eden yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına, aşınma ise işleme toleranslarının kötüleşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle aşınma, göz önüne alınması gereken parametrelerden biridir. Aşınmanın ve tribolojinin sınıflandırılması ve etkili olan faktörlerin şeması Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Sürtünme ve aşınmayı etkileyen faktörler [38]

3.2. Sürtünme

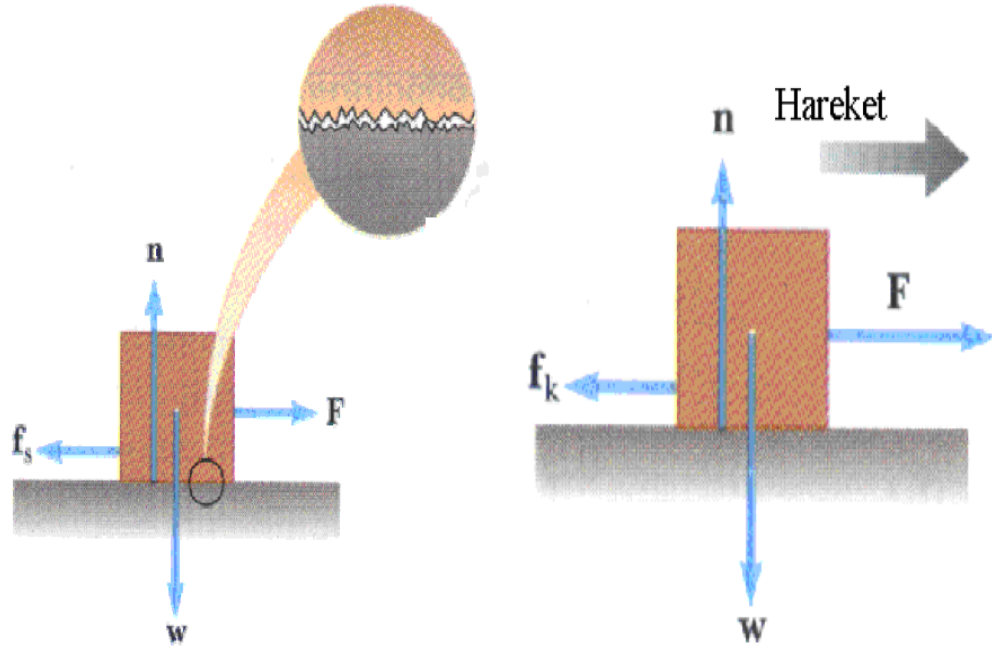
Bir katı cismin kendisiyle temas eden başka bir katı bağıl hareketlerine veya hareket ihtimaline karşı gösterdiği dirençtir. Sürtünmeyi yenen kuvvete sürtünme kuvveti denir. Sürtünme kuvveti, hareketin cinsine göre (kayma ve yuvarlanma), temas yüzeylerinin durumuna göre (kuru ve yağlı) değişebilir. Kaymayı başlatan kuvvet (F_s) ile, temas yüzeyine etki eden normal kuvvet (F_n) arasında;

$F_s = \mu_s \cdot F_n$ bağıntısı mevcuttur. Burada μ_s statik sürtünme katsayısıdır.

Kayma başladıktan sonra, sürtünme kuvvetinde bir azalma olur ve bu durumda;

$$F_k = \mu_k \cdot F_n$$

bağıntısı yazılabilir. Burada $\mu_k (< \mu_s)$ kinetik sürtünme katsayısıdır [38].

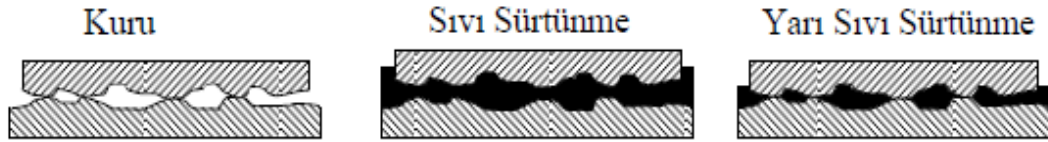


Şekil 3.3. Statik ve dinamik sürtünme esnasında cisme etki eden kuvvetlerin şematik gösterimi [38]

Sürtünme sonucu dinamik enerjinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşerek aşınmayı teşvik eder ve dolayısıyla aşınma sürtünmenin bir ürünüdür [38].

Sürtünme kuvveti, cisimler hareket ederken temas ettikleri yüzeylerin sürtünmesinden kaynaklanan ve yer değiştirmeye zıt yönde ortaya çıkan kuvvete denir. Bir zemin üzerinde bulunan bir cismi harekete geçirmek için, yüzeyin cisme uygulanan hareketin zıt yönünde oluşan sürtünme kuvvetinden daha büyük bir kuvvete gereksinim vardır. Aksi halde uygulanan kuvvet cismin sürtünme kuvvetinden daha küçük veya eşitse cisim harekete geçmez [39].

Sürtünme genel olarak statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılır. Birbirlerine temas eden yüzeyler arasında bağıl hareket yoksa statik sürtünmeden söz edilir [40].



Şekil 3.4. Sürtünmenin çeşitleri [40]

Eğer temas eden yüzeyler arasında bağıl hareket mevcutsa bu durumdaki sürtünmeye dinamik veya kinetik sürtünme denir. Bu durumda sürtünme kuvveti temas halindeki yüzeyleri oluşturan atom veya moleküllerdeki, zıt işaretli yerel elektrostatik yük dengesizliklerinin birbirini çekmesinden kaynaklanır [42].

Sürtünmenin kuru, sıvı ve yarı sıvı olmak üzere üç hali vardır. Kuru sürtünme yağlanmamış iki katı cisim arasındaki sürtünmedir. En hassas işlemede bile yüzeyde pürüzlülük olacağından, yüzeyler arasındaki temas noktalarında oluşan yüksek basınç kaynak bağlantısı oluşmasına sebep olacak ve bu sebeple ortaya çıkan sürtünme kuvveti oldukça fazla olacaktır [42].

3.3. Aşınma

Birbirine temas eden mühendislik malzemelerinin, birbirlerine sürtünmesi neticesinde meydana gelen aşınma, çeşitli makine ve teçhizatın kullanımı sırasında çok büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Aşınma, bir yüzeyden diğer bir yüzeye malzeme transferi veya aşınma parçalarının oluşumu neticesinde ortaya çıkan malzeme kaybıdır. DIN 5320'de aşınma; "kullanılan malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması suretiyle meydana gelen değişiklik" olarak tanımlanmaktadır [41].

Temas halinde bulunan katı yüzeylerde, malzeme kaybı üç şekilde gerçekleşebilir. Bunlar bölgesel erimeler, kimyasal çözünme ve yüzeyden fiziksel anlamda oluşan ayrılmalıdır. Uygulamada aşınma kapsamında, daha çok yüzeyden fiziksel anlamda ayrılan malzemenin sebep olduğu hasarlar dahil edilmektedir [41].

Bir aşınma sisteminde; ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük ve hareket aşınmanın temel unsurunu oluşturur. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem teknikte "Tribolojik Sistem" olarak isimlendirilir. Bir aşınma sistemindeki önemli etkenlerden biri de çevre şartlarıdır. Sistem elemanlarının nem ve korozif etkiler ile karşı karşıya kalması aşınmayı hızlandırır [41].

Aşınma, genellikle önceden bilinen bir hasar tipidir. Birbirleri ile temasta olan malzeme yüzeyleri oksit filmleri veya yağlayıcılar ile korunsalar bile, mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması, iki yüzeyin birbiriyle doğrudan temasına sebep olabilir. Bu temas sonucu oluşan sürtünme malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya sebep olur. Bu hasar uygun yağlama, filtreleme, uygun malzeme seçimi ve uygun tasarım gibi faktörlerle en aza indirilebilir, fakat kesinlikle önlenemez [41].

Aşınmayı etkileyen faktörleri dört ana grup halinde toplayabiliriz [41].

I) Ana Malzemeye Bağlı Faktörler

- Malzemenin kristal yapısı
- Malzemenin sertliği
- Elastisite modülü
- Deformasyon davranışı
- Yüzey pürüzlülüğü
- Malzemenin boyutu

II) Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi

III) Ortam Şartları

- Sıcaklık
- Nem
- Atmosfer

IV) Servis Şartları

- Basınç
- Hız
- Kayma yolu

3.3.1. Aşınma mekanizmaları

Pek çok aşınma mekanizması vardır. Bunları aşağıdaki başlıklar altında açıklamak mümkündür.

Adhesiv Aşınma

Özellikle birbiriyle kayma sürtünmesi yapan, metal-metal aşınma çiftinde meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucudur. Birbiri üzerinde kayan yüzeylerdeki gerilmeler küçük yüklemelerle dahi akma gerilmesi sınırına, erişirler veya geçerler. Böylece temas eden metaller arasında yapışma kuvvetleri kendini gösterir. Bu nedenle bir parçadan diğerine malzeme geçişi, soğuk kaynaklaşma ve küçük parçaların kopması olayları meydana gelir [41]. Adhesiv aşınma, en sık rastlanan aşınma türü olmasına rağmen genellikle hasarı hızlandırıcı etkide bulunmaz. Adhesiv aşınma bir metal yüzeyinin başka bir metal yüzeyindeki bağıl hareketi sırasında birbirlerine kaynamış veya yapışmış yüzeydeki pürüzlerin kırılması sonucu ortaya çıkar [41].

Eğer iki metal aynı sertlikte ise aşınma her iki yüzeyde de olur. Metaller arasındaki yağlamanın mükemmel olması, yüzeye etki eden yükün azaltılması ve malzemenin sertliğinin artırılması adhesiv aşınmayı azaltır. Sonuç olarak adhesiv aşınma; yüzeye etkiyen normal yük, kayma yolu ile ve aşınan malzemenin yüzey sertliği ile orantılıdır [41].

Abrasif Aşınma

Yırtılma veya çizilme veya kazıma olarak da isimlendirilen abrasif aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrasif aşınma; biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbiriyle temas halindeyken kayma sırasında meydana gelir. Sert parçacıkların yumuşak metale batması abrasif aşınmaya sebep olabilmektedir. Bu mekanizmaya

örnek olarak, sisteme dışarıdan giren toz parçacıklarının, karbürlerin veya bir motorda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma tarzı verilebilir.

Abrasif aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırılması sırasında daha az iz bırakması sağlanır.

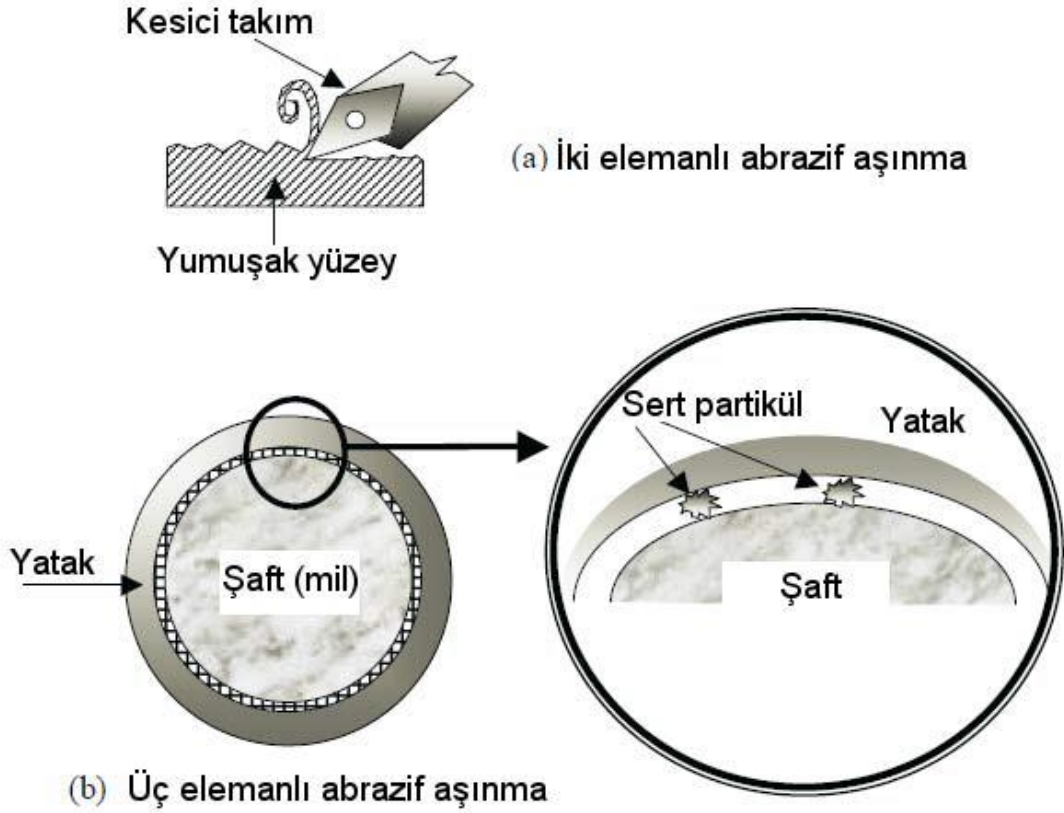
Malzeme açısından abrasif aşınmayı azaltmak için verilen tavsiyeler şunlardır [41];

- Daha sert alaşım kullanmak,
- Sertlik arttırmak amacıyla ısıl işlem uygulamak,
- Malzeme yüzeyini sert bir tabaka ile kaplamak,

Aşındıran malzeme serbest halde iki metal arasında bulunuyorsa veya yalnız bir metali aşındıran sabit veya serbest taneler mevcut ise bu durumda;

- İki elemanlı abrasif aşınma,
- Üç elemanlı abrasif aşınma,

şeklinde gruplandırma mümkündür [41].



Şekil 3.5. İki elemanlı ve üç elemanlı abrazif aşınma oluşum şekilleri [41]

Metal-metal sürtünmelerinde aşınma iki elemanlı abrazif veya adhesiv olarak başlayıp üç elemanlı abrazif olarak devam eder. Bu durumda araya giren toz, mineral taneleri, çizilme sonucu serbest hale geçen mikro talaşlar ve parçalanmış oksit parçacıkları üçüncü elemanı (ara malzemeyi) oluşturabilir. Serbest hale geçen mikro talaş parçacıkları genellikle ana malzemeden daha sert olduklarından (üç elemanlı) abrazif aşınma, aşınmayı hızlandırmaktadır. Endüstriyel makinelerdeki en önemli aşınma türü olan abrazif aşınmaya genel olarak aşağıda verilen yerlerde rastlanmaktadır [41].

- Traktör, greyder gibi tarım ve iş makinelerinin bıçak ve tırnaklarında
- Cevher işleme ve öğütme tesislerinde
- Eleklerde
- Değirmenlerde
- Nakil makinelerinde

Bu gibi makine ve makine parçalarında yalnızca abrasif aşınmadan söz edilebileceği gibi, bunlardan başka aşınma türlerinin de birlikte görülmesi mümkündür.

Tabaka Aşınması

Abrasiv aşınma yüzeyine yakın yerlerinin (sınır yüzeyinin) özelliğinin pek önemi yok iken, tabaka aşınmasının önemi büyüktür. Çevredeki gazların ve ara malzemenin etkisiyle meydana gelen aşınma yüzeyi sınır tabakası, çizilmeyle sıyrıldığından daima yeniden meydana gelir.

Yorulma Aşınması

Yorulma aşınması, titreşim veya değişken yüklere maruz kalan malzemenin yorulma kırılması hasarı olarak ortaya çıkar. Bu aşınmada, içyapı tahribatı, çatlamlar, lokal ayrılmalar meydana gelir. Genellikle periyodik yüklemeler dolayısıyla, yüzeyden veya yüzeye yakın yerlerde içyapının parçalanarak yırtılmalar oluşturması sebebiyle yüzeyden kısmi çözümlerin olmasıyla meydana gelir.

Kayma Aşınması

Taneli minerallerin meydana getirdiği kayma aşınması, mineral sertliğine bağlı olarak belirlenir. Metal olmayan sert malzemelerde aşınma, metal malzemelerde olduğu gibi mineral tanelerinin sertliğiyle artar, fakat sert malzemenin aşınma yüzeyinde gevrek kırılmalar meydana gelir. Aşınma esnasında malzeme sertliği, aşınma direncinin büyüklüğünü etkileyen önemli bir faktördür [41].

Metal-Metal Aşınması

Metal-metal sürtünme tiplerinden hidrodinamik sürtünmede genellikle hiçbir aşınma olmaz ve malzeme çiftinin önemi yoktur. Çünkü malzemeler bu anda birbirine temas etmemektedir. Fakat tam yağlama için minimum bir hız gereklidir. Karışık yağlamada kuvvet kısmen hidrolik, kısmen katı cisimlerin teması ile sağlanır. Bu temas noktalarında malzemelerin özellikleri ve kayma yapan malzeme çiftleri ile yağlayıcı maddenin etkisi vardır [41].

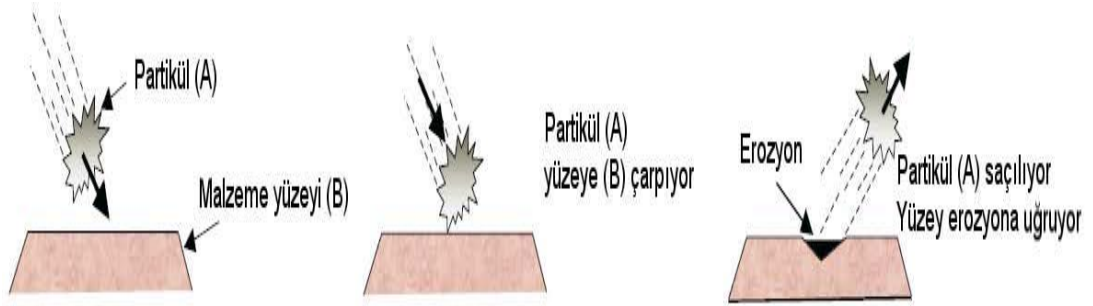
Özellikle yağsız yüzeylerin sürtünmesinde aşınma durumu malzeme çiftinin yüzeyine bağlıdır. Ayrıca kayma yüzeylerin islenişi (yüzey pürüzlülüğü, işlemi doğrultusu) de aşınmaya büyük ölçüde etki etmektedir [41].

Korozif Aşınma

Aşınan yüzeyler, aynı zamanda korozif etkilere de uğrarsa buna korozif aşınma denir. Kimyasal korozyon kendi başına oluşabildiği gibi diğer aşınma türleriyle birlikte meydana gelebilir. Yüzeye sıkıca yapışan filmler oluşturan kimyasal reaksiyonlar yüzey aşınmasını önler. Fakat film kırılabilir ve yüzeye gevsek ise aşınma büyük miktarda hızlanır. Çünkü sürtünme hareketi sırasında filmler çatlar ve yerinden kopar [41].

Erozyon Aşınması

Erozyon (hidro-abrasif) aşınması, akıcı maddelerin meydana getirdiği aşınmadır. Sıvılar, gazlar akış sırasında parçanın sınır yüzeylerinde patlama veya çarpışma etkisi yaparak yüzeyden parçacıklar koparırlar ve girdaplar etkisiyle dalgalı yüzey meydana getirirler. Böylece aşınma daha da hızlanır [41].



Şekil 3.6. Eroziyon aşınma

Yuvarlanma Aşınması

Bu tür aşınma birbiri üzerinde yuvarlanarak hareket eden malzemelerde oluşan aşınmadır. Bu aşınma da şüphesiz malzemelerin özelliklerine sıkı sıkıya bağlıdır. Yuvarlanma esnasında aşınma tek bir malzemede oluşabileceği gibi her iki malzemede de değişen miktarlarda oluşabilir. Yuvarlanma aşınmasında yüzeylerin yağlanıp, yağlanmamasının çok büyük önemi vardır [41].

Öğütmeli Aşınma

Öğütmeli aşınma, yüksek basınçlar altındaki partiküllerin metal yüzeyleri ile düşük hızlardan karşılaşmaları sonucunda, metal yüzeyinden parçacıkların kesilerek veya çok sayıda ufak çizikler açılarak kopartılması ile meydana gelir. Bu yüksek basınç ve düşük hız kombinasyonu genellikle hafriyat çalışmalarında kullanılan buldozer ve kepçe gibi ağır iş makinelerinin çalışma koşullarında meydana geldiği için, bu araçların kesici uç yüzeylerinde bu hasar türü meydana gelir. Kepçelerde kullanılan kesici ve batıcı uçların, öğütmeli aşınma sonucunda şekil değişimi meydana gelerek körlenme oluşur [41].

Oymalı Aşınma

Oymalı aşınma, malzeme yüzeyinin çok yüksek gerilmelerdeki çarpma durumlarında, yüzeyden bir parçanın kesilerek veya oyularak kopmasıyla meydana gelir. Bu tip aşınmaya genellikle hafriyat, madencilik, petrol kuyularını delme işlemi ve benzeri koşullarda çalışan malzemelerin kesme ve delme görevi yapan kısımlarında görülür. Bu işlemler sırasında sert abrasif parçacıkların çok yüksek gerilmeler altında malzeme yüzeyine çarpmaları ile yüzeylerde hızlı bir şekilde hasar oluşumu meydana gelir.

Oymalı aşınma diğer aşınma türlerine göre çok daha hızlı olarak geliştiğinden, bu aşınmaya uğrayan parçaların yenileriyle değiştirilerek kullanılması daha ekonomik olmaktadır.

Kazımalı Aşınma

Kazımalı aşınma, karşılıklı yüzeylerde mikro kaynaşmanın meydana geldiği adhesiv aşınmaya bir miktar benzemektedir. Aralarındaki fark ise; adhesiv aşınma, birbirleri üzerinde kayan yüzeylerde meydana gelirken, kazımalı aşınma birbirlerine göre hareket etmeyen yüzeylerde meydana gelir. Ancak kazımalı aşınma, çok düşük genlikteki hareketlerin (vibrasyon) meydana geldiği sistemlerde, mikro kaynaşmanın oluşmasıyla meydana gelir.

Kazımalı aşınma, vibrasyonlu ortamlarda çalışan somun, perçin, civata gibi bağlantı elemanlarıyla birleştirilmiş sistemlerde otomobil şaftlarının birleşme noktalarında, yüksek hareketlerin meydana geldiği sistemlerde ve yataklarda en yaygın olarak rastlanılan hasar oluşum mekanizmasıdır. Yükün yeterli olduğu hallerde örneğin kalay, gümüş, indiyum ve kadmiyum ile kaplanmış parçaların çelikle beraber kullanılmaları önerilebilir [41].

3.3.2. Aşınma testleri

Aşınma testleri değişik deney düzeneklerinde yapılmaktadır. Aşınma deneylerinde en yaygın deney donanımlarından birisi, bir disk (silindir veya dikdörtgen) üzerine bastırılan pimdir. "Disk üzerinde pim" metodunun başka şekilleri de vardır. Ancak ana fikir hep aynıdır. Bu tip asimetrik düzenlemelerde, pim ya da blok çoğu zaman numunedir ve bu parçanın aşınma hızı ölçülür. Diğer parça olan disk ise, "dış yüzey" olarak isimlendirilir. Aşınma deney düzenekleri uluslararası standartlara uygun olarak standartlaştırılmıştır [44].

3.3.3. Aşınmanın sistematik incelenmesi

Aşınmayı tanımlayan pek çok terim vardır ve bu terimler her zaman birbirinden çok ayrı kavramlar da değildirler. Bu durum bazen aşınma mekanizmalarının anlaşılmasını kafa karıştırıcı ve zor hale getirebilmektedir.

Aşınma bazen katı madde yüzeylerinin temas ile etkileşim türleri açısından incelenir. Uygulamada birçok farklı temas biçimi vardır. Dik veya eğimli basma ve ayrılma, tek yönlü kayma, tek yönlü yuvarlanma, git-gel şeklinde kayma, git-gel şeklinde yuvarlanma, kayma ile birlikte yuvarlanma gibi durumlar temas eden parçaların hareketi bakımından sınıflandırılan farklı temas biçimleridir. Üstelik bazen serbest katı partiküller de etkileşimde olan yüzeylere çarparak veya temas ederek başka bir temas biçimi meydana getirmektedirler.

Bu anılan temas türlerindeki aşınma kayma aşınması, yuvarlanma aşınması, darbe aşınması, titreşimli (fretting) aşınma, çamurlu (slurry) aşınma olarak tanımlanmaktadır. Bu aşınma tanımlamalarının hepsi teknik yaklaşıma ve temas türünün görünümü esasına dayalıdır. Bilimsel olarak aşınma mekanizmalarını temsil etmemektedir.

Temas biçimleri bakımından aşınma mekanizmalarına odaklanmak için temas ara yüzeyindeki görünen ve gerçek temas durumlarını (bu biçimleri ayırmadan ve detaylandırmadan) değerlendirmek gerekir. Temasın şiddeti, örneğin elastik temas veya plastik temas durumu, aşınma mekanizmalarını ele almak için en basit ve direkt yoldur.

Temastaki şiddet aynı zamanda dinamik parametreler, malzeme parametreleri ve atmosferik parametrelerce belirlenen bir tribo-sistem yanıtıdır.

Aşağıdaki dört aşınma mekanizması genelde temel ve ana mekanizmalar olarak tanınırlar:

- Adhezif aşınma
- Abrazif aşınma
- Yorulma aşınması
- Korozyon aşınma

Adhezif ve abrazif aşınma plastik temas altında oluşan aşınma mekanizmalarıdır. Benzer malzemelerin plastik teması durumunda, temas ara-yüzeyi adhezif bağ mukavemetine sahiptir. Şayet kırılma/ayrılma esasen temas ara-yüzeyindeki güçlü adhezyon (tutunma) sonucu meydana gelmişse, buradaki aşınma, (kırılma modu hakkında herhangi bir ayrıma gitmeksizin) adhezif aşınma olarak adlandırılır.

Sert ve keskin bir malzemeyle görece yumuşak bir malzeme arasındaki plastik bir temas durumunda sert olan, yumuşak olana penetre olur (yüzeyine girer). Eğer kırılma/ayrılma sert olan malzemenin mikro-kesme (micro-cutting) işlemi nedeniyle meydana gelmişse, buradaki aşınma, (kesme işlemine yol açan kilitlemiş temas biçimi şeklinde tanımlanan ve yine adhezif

kuvvetler ve kırılma modunun ayrıntısına girmeksizin) abrazif aşınma olarak adlandırılır.

Birbirine yeni temas etmeye başlayan tribo-sistemlerde, yorulma kırılması tekrarlanan sürtünme çevrimlerinden sonra oluşur. Yüzey hasarı yorulma nedeniyle oluşmuşsa, bu aşınma yorulma aşınması olarak adlandırılır [41].

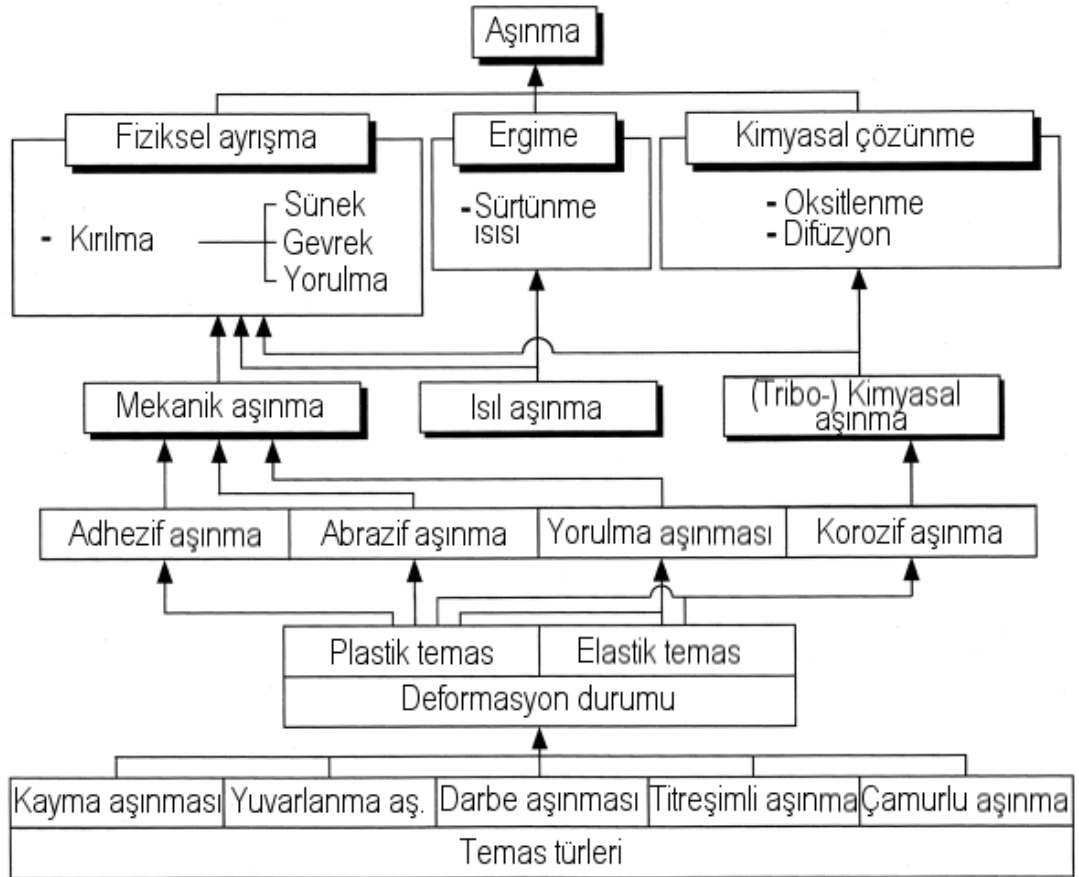
Korozif bir ortamdaki temas durumunda temas ara-yüzeyinde tribo-kimyasal reaksiyon meydana gelebilir. Korozif ortamdaki tribo-kimyasal reaksiyon bir malzeme kaybına yol açmışsa, bu aşınma korozif aşınma olarak adlandırılır. Havada en baskın korozif ortam oksijendir ve metallerin havadaki tribo-kimyasal aşınması genellikle oksidatif aşınma olarak adlandırılır.

Yorulma ve korozif aşınma hem plastik hem elastik temaslarda meydana gelebilir. Adhezif, abrazif veya yorulma aşınmasındaki malzeme kaybı, temas bölgesindeki deformasyon ve kırılma ile belirlenir. Buradaki kırılma modları (türleri) yorulma, gevrek veya sünek kırılmadır. Bu tür deformasyon ve kırılmalar mekanik nedenli gerilme ve gerinmeler tarafından oluşturulur. Bu nedenle bu tür aşınmalar genellikle mekanik aşınma olarak tanımlanır.

Korozif aşınmadaki malzeme kaybı, aşınma yüzeyindeki kimyasal reaksiyon filminin büyümesi ile belirlenmektedir. Aşınma yüzeyinde kimyasal reaksiyonlar kolaylıkla aktive edilmektedir ve sürtünme deformasyonu, sürtünme ısı, mikro-kırılmalar ve reaksiyon ürünlerinin ardışık olarak kopması ile de hızlandırılmaktadır. Bu tür bir aşınma genellikle kimyasal aşınma veya tribo-kimyasal aşınma olarak adlandırılır [42].

Bazı durumlarda da sürtünme ısı nedeniyle yüzeysel ergime veya ısı gerilmelerin neden olduğu yüzey çatlakları tarafından malzeme kaybı meydana gelir. Bu aşınma türleri, sürtünme ısı ve kısmi yüksek sıcaklığın belirleyici olduğu, termal (ısı) aşınma olarak tanımlanır [42].

Mekanik, kimyasal ve ısı aşıma bakımından yapılan makroskopik sınıflandırma, aşınmanın kapsamlı bir şekilde anlaşılması ve irdelenmesi için oldukça yararlıdır. Keza hemen hemen tüm aşınma modelleri bu üç türde bulunmaktadır. Şekil 3.7’de aşınma mekanizmalarını ve birbirleri arasındaki ilişkileri özetlemektedir [42].



Şekil 3.7. Aşınma mekanizmaları ve birbirleriyle olan ilişkileri [41]

4. İNCE NİTRÜR FİLM UYGULAMA ALANLARI

Parçacık sıçratma yönteminde 1970'lerin ortasından itibaren olan gelişmelerle kontrollü reaktif sıçratma biriktirmesi ve kontrollü denk iyonların bombardımanı birer opsiyon olarak kullanılmaya başlanmış ve parçacık sıçratma biriktirmesi çok hızlı ilerlemiştir. Günümüzde parçacık sıçratma biriktirmesi uygulamaları yarı iletkenlerde, mimari uygulamalarda enerjiyi muhafaza eden pencere camları, takım uçları, dekoratif uygulamalar ve dış kaplama korumaları için genişçe uygulanmaktadır. Parçacık sıçratma biriktirmesi, şimdiye kadar çok yaygın kullanılan elektrolizle kaplama gibi birçok kaplama metodunun yerine geçerek çok yeni uygulamalar ve pazarlar oluşturmuştur [43].

Takım kaplamaları yüzey kaplama teknolojisine paralel olarak uygulamalarda gelişim göstermektedir. Bunun yanında son zamanlarda parçalar için düşük sürtünme, aşınmaya dayançlı ince nitrür film kaplanması uygulamaları oldukça artmıştır. Özel örnekler yakıt enjeksiyon sistemleri, silindirler, sert koşullar için yataklar, dişliler, pompalar ve kompresörlerdir. 1996 yılında yapılan bir araştırma aşınmaya karşı koruyucu kaplamalar pazarının 83 milyar Euro civarında olduğunu göstermektedir [43].

4.1. Kesici Takımlar İçin İnce Nitrür Kaplamalar

Kesici aletler yüksek hız çeliklerinden veya sinterlenmiş karbürlerden yapılmıştır. Bunlar yapışıcı aşınmada olduğu gibi aşındırıcıdaki yüzey kaybıyla da karşı karşıyadırlar. İkinci durumda, yüksek sıcaklıklar ve kuvvetler, işlenen parçanın çelik kırıntılar ile yüksek hız çeliği aletindeki metal veya sementit karbit kobalt bağı aletin ucunda mikro kaynamaya sebep olur. Sonraki kırıntı, mikro kaynağı kırar ve yüzeyde çukurlaşmaya ve aşınmaya sebep olur. Metal ile metalin sürtünmesi olan yerlerde ince tabaka kaplamalarından, mesela TiC, TiN, Al₂O₃ mikro kaynak oluşumunu önler. İnce sert kaplamalarla kaplanmış kesici aletlerde kesme kuvvetlerinin

azalmasının yanında %300-%800 arasında ömür uzamaları görülmektedir. Kaplamalar PVD veya CVD ile yapılabilir. Titanyum kaplamalar sinterlenmiş karbür kesicilerin yüzeyini kaplamak için endüstride yaygın olarak kullanılır [43].



Şekil 4.1. Katodik ark yöntemi ile TiAlN kaplanmış delici takım uçları [43]

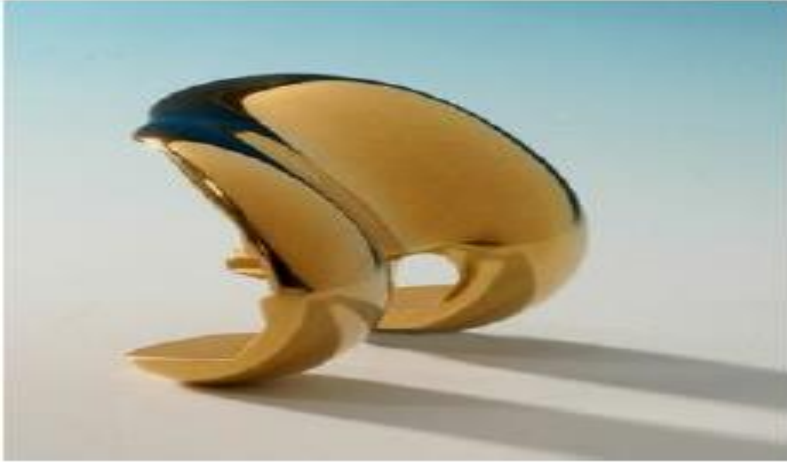
4.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan İnce Nitrür Film Kaplamalar

Geleneksel olarak otomotiv parçaları karbon çelikleri ve dökme demirden yapılmaktaydı. Bunun yanında ağırlığın azaltılması amacıyla bu geleneksel malzemeler yerlerini alüminyum, titanyum ve magnezyum alaşımları gibi hafif alaşımlara bıraktılar. Örneğin birkaç yıl önce Toyota iki silindir beş valf süperşarjlı 804cc motoru sadece 85kg olarak üretmiştir. Motor blok malzemesi alüminyum alaşımı ve salıncak kolları ise titanyumdan üretilmiştir. Ağırlık azaltılması motor hızının yaklaşık %20 artışını sağlamaktadır. Bunun yanında bu malzemeler üstün özelliklerde olmalarına rağmen tribolojik problemleri zayıf noktalarını oluşturmaktadır. Çoğunlukla ara yüzeyde yapışma, yüksek plastik deformasyon, aşınma gibi kısaca yüksek sürtünmeye bağlı problemler gerçekleşmektedir. Aşırı sürtünme olayı birbiri üzerinde kayan parçalarda, örneğin valf gövdeleri veya piston kolları, kaynamaya yol açabilir. Bu problemin çözümü için hafif alaşımlar bir düşük sürtünme kaplamasına tabi tutularak yüzey aşınması ve sürtünmeye karşı korunma sağlanır, enerji

kayıpları azaltılır ve verimlilik artırılmış olur. Bu yeni düşük sürtünme kaplaması uygulamaları üstün tribolojik özellikler sunarlar [43].

4.3. Şekillendirme Takımları ve Matkaplar İçin İnce Nitrür Film Kaplamalar

İnce nitrür film kaplamalar, sert ve aşınmaya dirençli olup şekillendirme ve delme takımlarının kullanım ömürlerini oldukça uzatacak biçimde aşınmaya karşı korurlar. Takım ömrü ve darbe dayanımının artmasıyla üretim, büyük ölçüde artmakta ve birim maliyetlerde düşüş sağlanmaktadır. Yine ince nitrür film kaplamalar şekillendirme takımları ve matkap yüzeylerini aşınmaya karşı korurlar. Bunun beraberinde daha az yağlayıcı kullanımını ve hatta kuru çalışmayı getirir. Bu durum tezgâh temizlenmesi olayını ortadan kaldırarak maliyeti azaltır. Son olarak şekillendirme takımları ve matkapların kaplanması aşınmaların azaltılması ile yüzey kalitesini artırır. Şekil 4.2'de TiN kaplanmış diz implantı görülmektedir [43].



Şekil 4.2. TiN Kaplanmış diz implantı [43]

4.4. Enjeksiyonla Kalıplama Parçalar İçin İnce Nitrür Film Kaplamalar

Enjeksiyonla kalıplama plastik granüllerini erime noktasına kadar ısıtarak yüksek basınçla kalıba açılan yolluktan enjekte etme işlemidir. Plastik soğuduktan sonra parça çıkartılır. Enjeksiyonla kalıplama, karmaşık ve işlenmesi maliyetli olan parçaların elde edilmesinde uygulanır. Enjeksiyonla kalıplamada bir kalıptan çok sayıda parça elde etmek mümkündür.

Enjeksiyon kalıpları ve enjeksiyonla kalıplama teçhizatı oldukça maliyetli parçalardır. Enjeksiyon kalıplarının ince nitrür film kaplanmasıyla birlikte servis ömürleri önemli ölçüde arttırılmış olur. Bu tamirat zamanlarının ve masraflarının azaltılması, kullanım ömrünün artması şeklinde şirketlerin ekonomik anlamda tasarruf etmelerini sağlar. Yine ince nitrür film kaplamalar yapışmayı azaltır. Bu parçanın tahliye kuvvetlerinin azaltılması anlamına gelmektedir [44].

Enjeksiyonla kalıplamada çoğunlukla fazla aşındırıcı eriyikler kullanılmaktadır. İnce nitrür film kaplanmış kalıplar aşınmaya karşı çok dirençlidirler ve uzun kullanım ömrü sağlarlar. Gelişmiş kalıp doldurma özelliğinin bir sonucu olarak azaltılan çarpılmalar ve gelişmiş yüzey özellikleri ile ince nitrür film kaplı enjeksiyon kalıplarında ürün kalitesi arttırılmış olmaktadır. Kaplamayla birlikte enjeksiyon kalıplama işlemi sonrası kalıntılar azaltılır ve kalıbın temizlenmesi kolay hale gelir. Yine ince nitrür film kaplanmasıyla birlikte enjeksiyon kalıp parçaları pahalı yağlayıcılara ihtiyaç olmaksızın sürtünmeye bağlı aşınma ve yapışmalara karşı korunurlar [43].

4.5. Dekoratif Amaçlı Kaplamalar

Endüstride dekoratif amaçla yapılan kaplamalar çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Oyuncak endüstrisinde, otomobil endüstrisinde, hediyelik eşyaların üretiminde, beyaz eşyalarda, kalem, saat, gözlük çerçevesinde bu kaplamalardan dekoratif amaçla faydalanılmaktadır.

Günümüzde sadece dekoratif amaçlı değil aynı zamanda başka fonksiyonel yararlar sağladığı için de bu kaplamalar tercih edilebilmektedir. Örneğin, saat ve gözlük çerçevelerini TiN kaplaması bu eşyaların hem altın renginde olmasını sağlaması hem de eşyalara yüksek aşınma dirençlerini sağlamasından dolayı tercih edilmektedir. Ya da otomobil endüstrisinde enerji darboğazı yüzünden otomobillerin ağırlıklarının azaltılması istenmektedir. Bu amaçla ağır parçaların yerini hafif plastik parçalar kullanılmakta ve bu parçalar PVD yöntemiyle kaplanmaktadır.

4.6. Optik Fonksiyonlu Kaplamalar

Bu amaçla lazer optiklerinde (yansıtma ve geçirme) ev ve otomobil aynalarında, gözlük camları ve lenslerinde, büyük projektörlerde, kamera lens ve filtrelerinde kullanılmaktadır. Ayrıca saydam ve sert kaplamalarda bu yöntemle yapılabilmektedir. Örneğin; helyumoksit, kalayoksit, inkalayoksit, gibi saydam kaplamalar sıvı kristal gösterge (LCD) uygulamalarında kullanılmaktadır.

4.7. Elektrik Fonksiyonlu Kaplamalar

Bu yöntemle yapılan kaplamalar yarı iletkenlerde, hibrit devrelerde, kapasitörlerde, dirençlerde, manyetik ortamlarda (teyp ve diskler) magnetooptik disklerde, süper iletken kaplama yapımında, kontak parçalarda ve güneş pillerinde kullanılmaktadır.

Direnç ve kapasitör gibi elektronik devre elemanların bu kaplama yoluyla plaket üzerine yapılabilir. Elektronik endüstrisinin PVD yöntemiyle yapılan kaplamaları tercih etmesinin en önemli sebepleri şunlardır:

- Çok ince ve hatasız kaplamalar yapılabilmesi,
- İstenen yüzeye kaplama yapılabilmesi,
- Çok katlı kaplamalar yapılabilmesi gibi.

5. İNCE NİTRÜR FİLM KAPLAMALAR

5.1. TiN Kaplamalar

Yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı ve oksidasyon mukavemetine sahip olan TiN, her çeşit kesici takım, kesme, sıvama kalıbı ve sert metal uçların yüzeyine 1(μm)–3(μm) kalınlığında kaplanan, genel amaçlı bir kaplama çeşididir. Resim 5.1’de çeşitli kesici takımlara uygulanmış TiN kaplamalara örnekler gösterilmiştir [45].

Dünyada, tıp ve ilaç sektöründe kimyasal kararlılığı ve biyolojik uyumluluğu nedeniyle vücut içi ve dışı protezlerde de kullanılmaktadır.



Resim 5.1. TiN kaplamalı kesici takım örnekleri

Dünyada aşınmaya karşı yapılan kaplamaların başında gelen TiN kaplamanın avantajları ve özellikleri şöyle sıralanabilir; Yüksek sertliği (2800 HV–3200 HV) ve ısıl geçirgenliği düşük olması nedeniyle talaşın takıma ısı transferini engeller ve takımın ısınarak yumuşamasını önleyerek aşınmasını geciktirir.

- Kimyasal stabilitesi yüksek olduğundan iş parçasına yapışmaz, kayganlık özelliği yükselir.
- Kimyasal reaksiyonlara girmediğinden iş parçasının çalışma yüzeyi uzun süre aktif kalır.
- Kalınlığı 1(μm)–3(μm) arasında olduğundan takımların toleranslarını değiştirmezler.
- Kaplama yüzeye mükemmel yapıştığından sıvama kenarlarında ve kesici kenarlarda kaplama dökülmesi olmaz. Yüksek tonajlı preslerde dahi yüzeyden dökülmezler.

5.2. CrN Kaplamalar

Kromnitür kaplama üstün özellikleri nedeniyle tercih edilir. Kromnitür kaplama, geleneksel sert krom kaplamadan 2kat daha serttir. Kromnitür diğer özellikleri olan düşük sürtünme katsayısı ve düşük kalıcı stres seviyeleri bir araya gelince, yüzeylerde her türlü aşındırıcı etkiye karşı koruma sağlamış olur.

Kromnitür, metal şekillendirmede de çok aranan bir kaplamadır. Özellikle Sıvama kalıpları, metal ve plastik enjeksiyon kalıpları ve plastik kalıplarında çok iyi sonuçlar alınmaktadır.

Keskin köşelerin formu klasik sert krom kaplamada olanın aksine bozulmaz (radyüs oluşmaz). Yapışmama özelliğinden dolayı malzeme kalıptan kolay ayrılır. Kaplamanın düşük sıcaklıklarda yapılması nedeniyle kalıplarda çarpılmalar olmaz [46].

Derin çekme ve sıvama kalıplarında kaplamanın yüksek sertliği ve düşük yüzey pürüzlüğünden dolayı sarma yapmaz, parçalarda ve kalıplarda çizilmeleri asgariye indirir [46].

Çizelge 5.1. CrN kaplamaların özellikleri

Kimyasal Bileşimi	CrN
Sertlik (HV 0,05)	2800±400
Oksidasyon Sıcaklığı (°C)	700
Sürtünme katsayısı	0,55
Kalınlık (µm)	3-5
Yüzey Pürüzlülüğü (Ra µm)	0,20
Renk	Gümüş grisi



Resim 5.2. CrN kaplama örnekleri

5.3. TiCN Kaplamalar

Yüksek sertlik ve düşük sürtünme katsayısına sahip olan TiCN kaplamalar mavi renkte ve gri renkte bir kaplamadır. Kılavuzlar, zımbalar ve freze bıçakları gibi orta seviyede kesme sıcaklıklarında yapılan talaş kaldırmada tercih edilir. Resim 5.3'de çeşitli kesici takımlara uygulanmış TiCN kaplamalara örnekler gösterilmiştir [45].

Özellikle süreksiz, kısa talaş veren sert malzemelerin talaşlı imalatında iyi sonuç verir. TiCN kaplamalar tek katlı veya çok katlı olarak uygulanabilir. Özellikle çok katlı TiCN kaplama uygulamaları hem yüksek sertlik hem de yüksek tokluk özelliğini bir arada taşıdığından daha yüksek darbe ve aşınma dayanımına sahiptir. Bu özellikleri ile kılavuz, silindirik ve kanal frezeler ile dişli çakılarına da iyi sonuç verir. TiCN kaplama özellikle çok yüksek sıcaklıkların oluşmadığı ve uygun soğutmanın yapıldığı orta kesme hızlarında frezeleme işlemleri için tavsiye edilir. Yüksek tokluğu sebebiyle takım ucundaki kırılmaları engellediği için darbeli kesme işlemleri için idealdir [45].



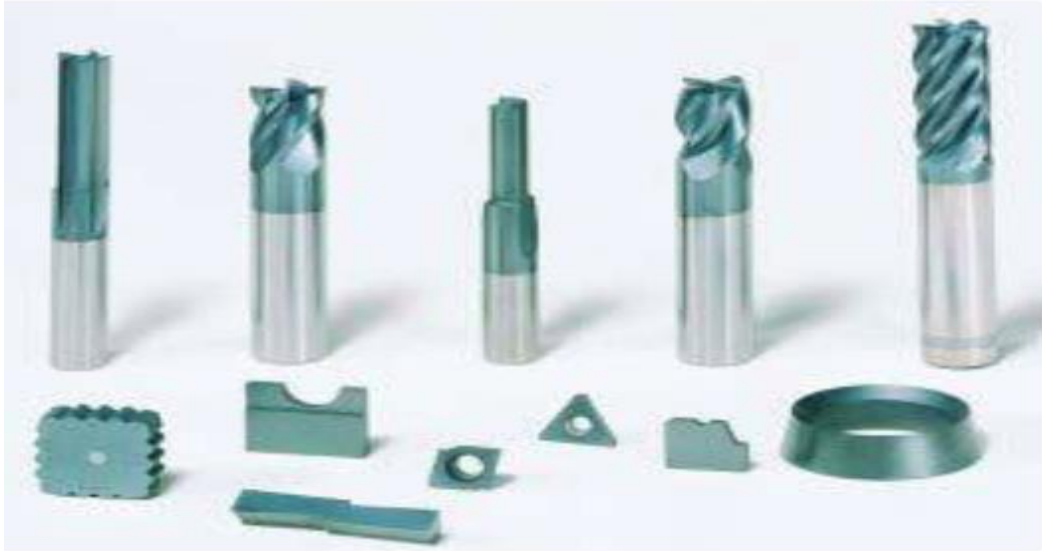
Resim 5.3. TiCN kaplama örnekleri

5.4. ZrN Kaplamalar

TiN kaplama ile benzer özelliklere sahip bir kaplama çeşididir. Rengi TiN kaplamaya göre daha açık olduğundan dekoratif amaçlı olarak da tercih edilir [47]. ZrN kaplamanın en önemli özelliği insan vücuduna biyolojik olarak en uygun kaplama çeşidi oluşudur. Bu sebeple tıbbi implantlarda özellikle tercih sebebidir [46].

5.5. AlTiN Kaplamalar

Yüksek alüminyum içeriğine sahip siyaha yakın mor renkli AlTiN kaplama, bütün talaş kaldırma işlemlerinde, kuru kesmede, kaba ve kalın paso işlemlerinde çok iyi sonuçlar vermektedir. AlTiN kaplamalar 3800HV-4200 HV gibi çok yüksek sertliğe sahip olmasına rağmen oldukça tok ve darbelere dayanıklıdır. Aynı zamanda 1100°C gibi yüksek oksidasyon sıcaklığına sahip olan AlTiN kaplamalar, ısı kalkanı etkisi sebebi ile yüksek sıcaklıkların olduğu kesme işlemlerinde başarı ile uygulanmaktadır. Resim 5.4'de çeşitli kesici takımlara uygulanmış AlTiN kaplamalara örnekler gösterilmiştir [45].



Resim 5.4. AlTiN kaplamalı kesici takım örnekler[45]

5.6. TiAlN Kaplamalar

TiAlN 900°C sıcaklığa kadar okside olmayan, yüksek sertliğe sahip ve çok katlı (7 kat – 9 kat) olması nedeniyle tokluk ve aşınma dayanımı özelliklerini bir arada taşıyan bir kaplama çeşididir. Sertlik ve oksidasyon sıcaklığının yüksek olması nedeniyle, (özellikle sürekli talaş kaldıran, düşük karbonlu ve paslanmaz çelik işleyen) sert metal plakelerin kaplamasında TiAlN en yaygın

kullanılan kaplamadır. Resim 5.5'de çeşitli kesici takımlara uygulanmış TiAlN kaplamalara örnekler gösterilmiştir [45].



Resim 5.5. TiAlN kaplamalı kesici takım örnekleri [45]

5.7. Dominizer Kaplamalar

Cr'un yüksek oksidasyon mukavemeti ve düşük sürtünme katsayısı özellikleri ile yüksek Alüminyum içeren AlTiN bazlı kaplamaların üstün özelliklerinden oluşan geliştirilmiş oldukça iyi randımanlı mükemmel bir kompozit kaplamadır.

Düşük sürtünme katsayısı yanında mükemmel derecede sıcak sertliği sağlaması ve 1000°C'ye kadar oksidasyona karşı stabil olup, kendini koruması en büyük özelliğidir [45].

5.8. Maximizer Kaplamalar

Mükemmel sertliği sayesinde; özellikle yüksek ilerleme değerlerinde talaş kaldırmaya uygundur. PVD kaplamalar genel olarak yüksek kesme hızlarında ekonomi sağlar. Ancak bu kaplama, orta kesme hızlarında verimlidir. Yüksek sıcaklıkta, takım sertliğinin korunması ve düşük sürtünme katsayısı nedeni ile kesme kuvvetlerinin azalması bu nano-kompozit AlTiN kaplamanın temel faydalarıdır. Orta kesme hızlarında çalışma söz konusu olduğunda IonBond Maximizer, yüksek performanslı kaplama olarak kendini gösterir. Azdırmalar, Fellow'lar, Gleaso bıçakları ve parmak frezelerde bu kaplama başarıyla uygulanır [45].

5.9. Super AlTiN Kaplamalar

Derin delik delme uygulamaları, özel uygulamalardır ki; bunlarda delme derinliği 3xd veya bu mesafeden biraz fazladır. Derin delik delme işlemlerinde, sürtünme katsayısının az olması, talaşın; kanal içinde düşük sürtünme kuvveti harcayarak dışarıya kolay atılması istenir. Ayrıca bu işleme ait matkap uçlarının, kanalları geniş, sırtları dar ve helis açısının 35°C'den, uç açısının ise 135C'nden büyük olması gerekir. Talaş kanallardan rahat bir şekilde dışarıya çıkması ve sürtünme kuvvetinin azalmasıyla tork'u düşer ve matkap ucunun ısınması azalır [45].

Bu kaplamanın ayrıca bazı özellikleri de, yeterince sert ve tok oluşunun yanında yüksek oksidasyon sıcaklığı ve ısı iletim katsayısının azlığı sıcak sertlik dayanımını arttırmaktadır [45].

5.10. DeepDraw Kaplamalar

Bu kaplama Şekil verme kalıplarında CrN kaplamanın yetersiz kaldığı derin çekme ve yüksek dayanımlı sacların Őekillendirilmesi gibi uygulamalar ve CVD kaplamalara ihtiyaç duyulabilen çalışma koŐulları için geliştirilen yeni nesil kompozit kaplamalardır [45].

5.11. UtraCast Kaplamalar

Özellikle metal enjeksiyon kalıpları için geliştirilmiş yüksek sıcaklık dayanımı olan kompozit bir kaplamadır.

6. İNCE FİLM BİRİKTİRME YÖNTEMLERİ

6.1. Nitrasyon Yöntemi

Nitrasyonla yüzey sertleştirme işleminde, çeliğin yüzeyine difüzyon ile azot verilerek, malzemenin yüzey özellikleri değiştirilir. Sertleştirme işlemi 500°C – 590°C sıcaklıklar arasında yapılır. Yüzey sertliği ve sert tabaka derinliği işlem süresine, sıcaklığa, gaz karışımına ve demir esaslı malzemenin alaşım içeriğine bağlıdır [47].

Gaz, banyo ve plazma nitrasyon olmak üzere 3 çeşit nitrasyon yöntemi vardır. Gaz nitrasyonda, azot içeren gaz olarak genellikle amonyak (NH₃) kullanılır. Parçalar, kontrol atmosferli gaz sızdırmaz fırın içerisinde 500°C-520°C e kadar yavaş yavaş ısıtılır. Azot difüzyonu için gereken sürenin sonunda, parça tekrar yavaş yavaş soğutulur ve malzeme yüzeyinde nitrür tabakası oluşur [48].

Banyo nitrasyon %25-%50 siyanür ve %50 siyanat içeren siyanür banyolarında yapılır. Banyo sıcaklığı genellikle 500°C-580°C arasındadır. Nitrasyon sonrası parçalar suda ani olarak soğutulurlar. Banyo nitrasyonda bölgesel olarak kısmi daldırma yapılarak, bölgesel nitrasyon yapılabilir [48].

Plazma nitrasyon yönteminde işlem N₂, H₂, Ar ve NH₃ gaz ortamında, 350°C-590°C arasında gerçekleştirilebilir. Nitrür partiküllerinin oluşması için gerekli olan aktifleşme enerjisi, fırın cidarı ile parça arasında oluşturulan yüksek gerilim ile azot verilecek parçaya doğru ivmelendirilen iyonların parça yüzeyini bombardımanı sonucunda açığa çıkmaktadır. Plazma ile nitrasyon işlemi sonrası en dışta beyaz tabaka ve onun altında da difüzyon tabakası olarak adlandırılan yapılar oluşur [47, 48].

6.2. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD)

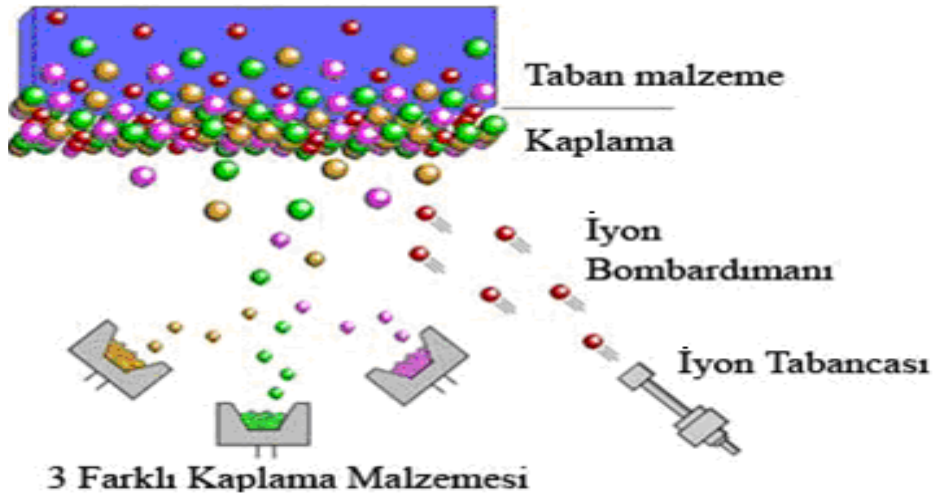
CVD yöntemi, gaz formundaki bir kimyasal bağlantının, katı formda reaksiyon ürünü olarak çöktürülmesi ya da bir başka madde üzerinde ayrıştırılması nedeniyle oldukça fazla öneme sahip bir işlemdir. Konstrüksiyon elemanlarının ve takımların aşınmadan korunması için sert metal karbür nitrür ve borür gibi belirli metal olmayan yada metal bağlantılarının kaplama olarak malzemeye bağlanabilmesi özel anlam taşır.

Kimyasal termik yöntemlerde yüzey tabakasının oluşumunda metal ya da metal olmayan atomlar kaplanacak malzeme üzerine nüfuz ettirilirken, CVD yönteminde yalnızca tabaka sınır yüzeyinde bir difüzyon işlemi görülür yada örneğin, titan metal içerisine karbonun titan karbür olarak çöktürülmesi gibi çöktürülen ana malzemeye nüfuz ettirilir. Sert madde kaplamalar için tabaka malzeme olarak, çelikler, sert metal, seramik malzemeler ve demir olmayan metaller söz konusudur. Çöktürülen tabakanın kalınlığı genellikle 10µm-30µm arasındadır. Kaplama sıcaklığı, yapılan kaplamanın türüne bağlıdır ve genellikle 900°C-1100°C arasındadır. İşlem süresi yapılan tabaka kalınlığına bağlı olarak, çoğu zaman 2 saat ile 4 saat arasında değişir. Reaksiyonun yapıldığı haznenin alt basıncına etki ederek tabaka büyümesinin hızı yükseltilebilir.

Çeliklerde yüksek işlem sıcaklıklarında kaplamadan sonra bir sertleştirme gereklidir, böylece ince sert madde tabakası daha iyi korunabilir. Bu uygulama daha çok şekillendirme takımlarında, vida taraklarında, tekstil makinalarının mekik yürütme elemanlarında ve özellikle titankarbür ya da kromkarbür ile titankarbürden oluşan çift katlı kaplamalarda yapılır. Ancak ana kullanım alanı, döndürmeli sert metal kesme plakalarıdır.

6.3. İyon Demeti Destekli Biriktirme

İyon demeti destekli biriktirme tekniği esas olarak, PVD tekniği ile düşük enerjili bir iyon tabancası tarafından yüzeyin bombardıman edilmesinin kombinasyonudur. Bombardıman prosesi kaplamanın alt malzemeye daha kuvvetli bağlarla yapışmasını sağlar [49, 50].

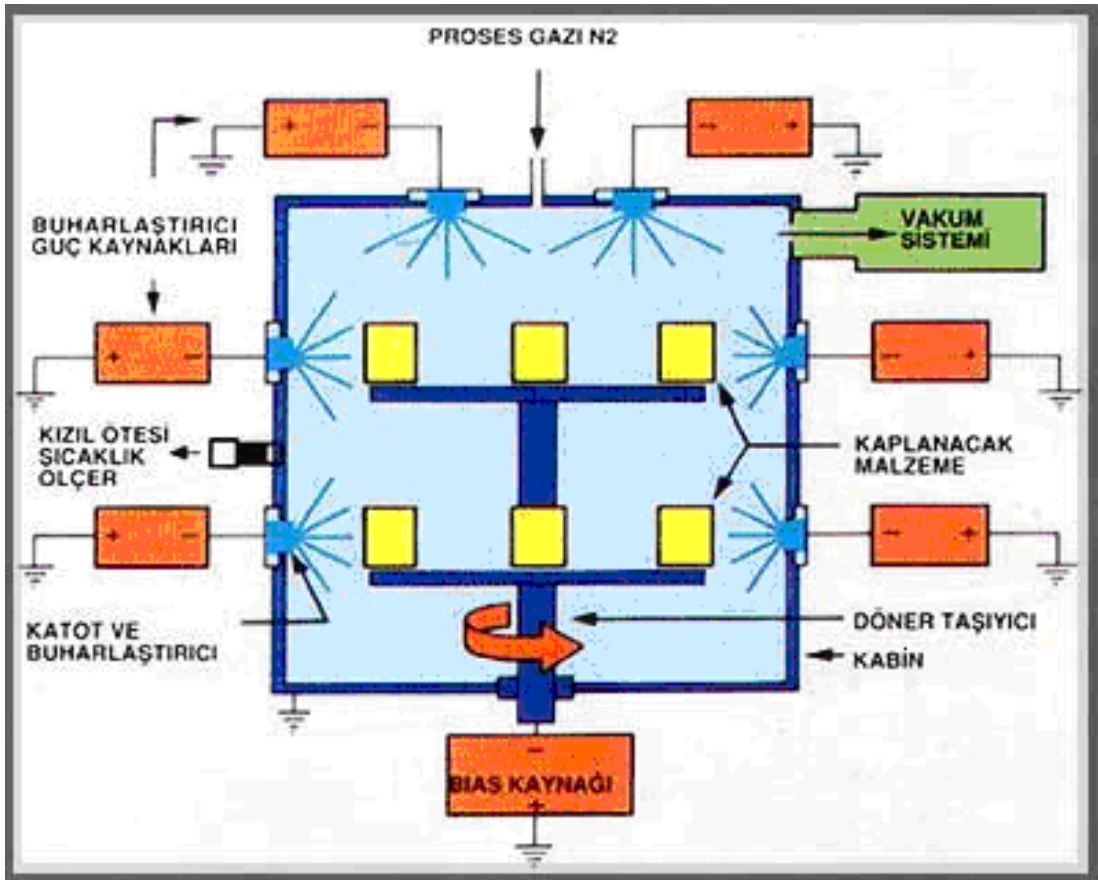


Şekil 6.1. İyon demeti destekli biriktirme yönteminin şematik gösterimi [50]

6.4. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD)

1950'li yılların sonunda üretimlerin artırılması amacıyla hızlı çalışan tezgâhlar üretilmiştir. Bu tezgâhların üretilmesiyle teknik adamların karşısına özellikle sert metal takımların ömrünün nasıl arttırılabileceği sorusu çıkmıştır. Söz konusu takımların ömrünü arttırarak, makine durma sürelerini en aza indirmek için yapılan araştırmalar sonucunda takımların üzerlerine TiN, TiC v.s. gibi sert tabakalar kaplanmaya başlandı. Bu çözüm sert metaller için uygun olmasına karşın ısı işlem görmüş takım çeliklerinde iyi sonuç vermedi. Bunun nedeni CVD (Chemical Vapour Deposition) adı verilen yöntemle yapılan kaplama ancak 1000°C -2000°C değerlerinde mümkün olabildiği için, hassas olarak işlenen, ısı işlem görmüş takım çeliklerinde (soğuk iş çelikleri, sıcak iş çelikleri ve yüksek hız çelikleri), sertlik kaybına ve ölçülerin

değişmesine neden olmaktadır. Alternatif kaplama teknikleri aranırken 1960'lı yılların sonunda Amerika'da ION-PLATING adlı bir PVD metodu geliştirildi. Bu metod 180°C - 600°C arasındaki sıcaklıklarda, ısıl işlem görmüş takım çeliklerini kaplama imkanı sağladı. Fakat tekniğin laboratuvar aşamasından, sanayiye geçerek, teknolojik anlamda kaplama yapılması 1970'li yıllarda ION-BOND metodu ile mümkün oldu. Bu yıllardan sonra, öncelikle kesici takımlara uygulanan kaplamalar geliştirildi. Daha yüksek devirli ve kuru çalışabilen tezgâhlar için AlTiN ve TiCN gibi kaplamalar geliştirilirken, şekil verme kalıpları (Enjeksiyon, Ekstrüzyon, Sıvama, Derin çekme vs) içinde CrN tipi kaplamalar geliştirildi. Modernizasyonlar ve yeni kaplama çeşitleriyle sanayide yüksek verimli, maliyeti düşük ve kaliteli malzeme üretiminde çok büyük aşamalar kaydedildi [46].



Şekil 6.2. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi (PVD) [46]

PVD Kaplamanın özellikleri ve faydaları aşağıda belirtilmiştir;

Özellikleri :

- Isıl işlem görmüş takım çeliklerinin 180°C-600°C arasında kaplanabilmesi ve parçalarda sertlik kaybı olmaması,
- Kaplanan tabakalarda çok yüksek tutunma kuvvetlerinin oluşması ve yüzeyden pul pul dökülmemesi,
- Sık dokulu kristal tabaka yapısının olması,
- Kaplama kalınlığının çok ince (1µm-5µm) olması ve parça toleransının muhafaza edilmesi,
- Kompleks geometrik parçaların döner mekanizmalarla homojen özelliklerde kaplanabilmesi,
- Köşelerin ve keskin uçların keskinliğinin bozulmadan kaplanabilmesi.
- Takımların ve kalıpların bilindikten sonra tekrar kaplanabilmesi,
- Kaplamaların sökülerek tekrar kaplama yapılabilmesi,
- Çalışan yüzeylerde malzeme sarma ve sıvanmasının önüne geçilmesi.

Faydaları :

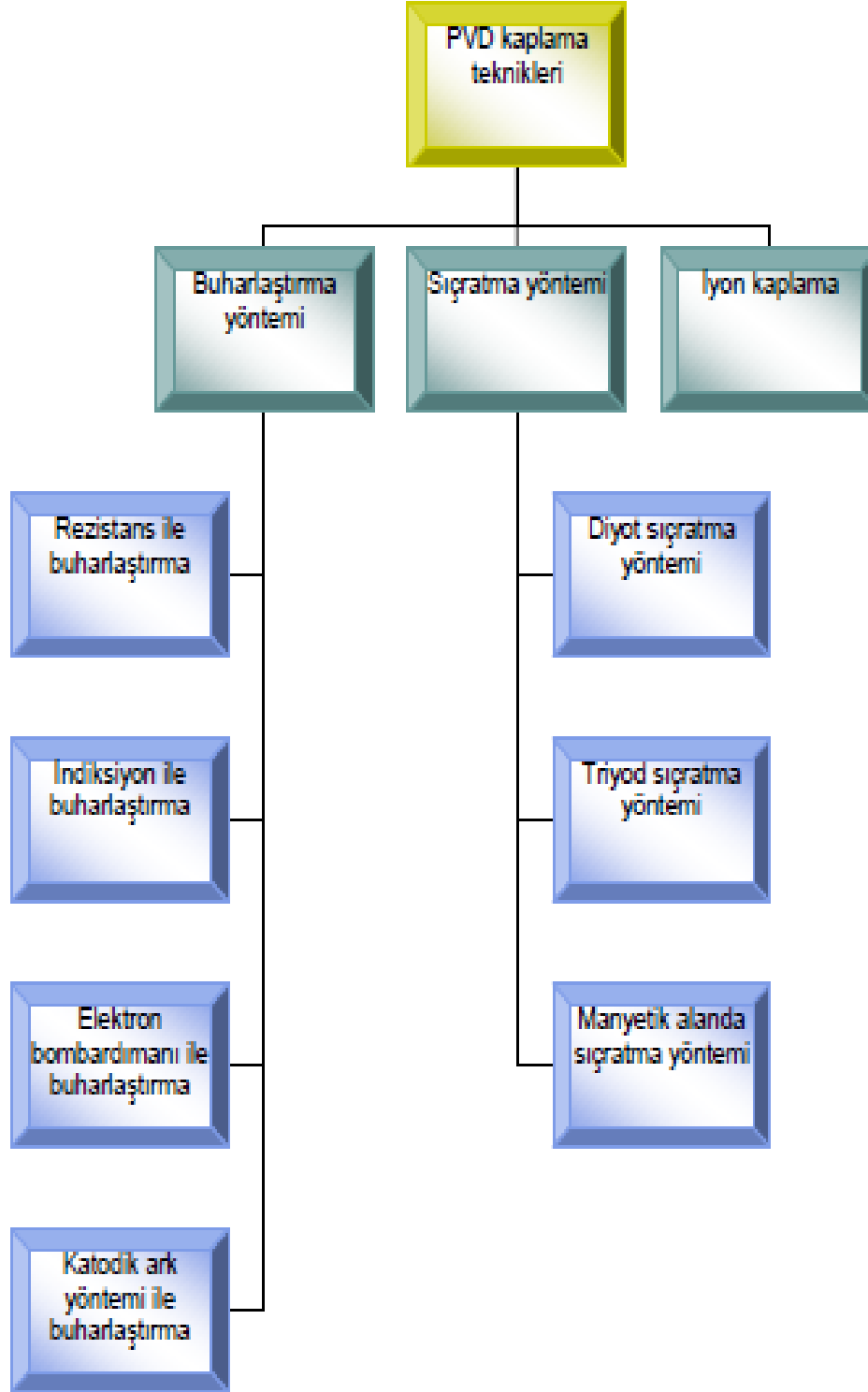
- Uzun ömür,
- Yüksek sertlik,
- Aşınmaya karşı daha dayanıklı yüzey,
- Kimyasal kararlılık,
- Biyolojik ve farmakolojik uygunluk,
- Yüksek kesme hızı,
- Düşük kesim gücü ile çalışma,
- Çapak birikintisinin önlenmesi,
- Kenar keskinliğinin aynı kalması,
- Çalışılan parçalarda yüzey pürüzlüğünün giderilmesi,
- Tekrar bilenebilme sayısının artması,

- Asit ve muhtelif sıcak gazlara karşı yüksek korozyon mukavemeti,
- Parça ve malzemenin kalıba yapışmasını engellemesi,
- Erimiş maddenin hızlı ve muntazam akışı,
- Erimiş malzeme giriş kanalının genişlemesini önlemesi,
- Montaj ve alet değiştirme zamanlarının ve makine durma zamanlarının azalması,
- Tamir, bakım ve yenileme işlerinde azalma,
- Yüksek verimlilik,
- Zaman, enerji, malzeme tasarrufu,
- Üstün kalite,
- Uygun fiyat,
- Kısa sürede teslimat.



Resim 6.1. PVD kaplama örnekleri [46]

6.4.1. PVD kaplama teknikleri



Şekil 6.3. PVD kaplama teknikleri

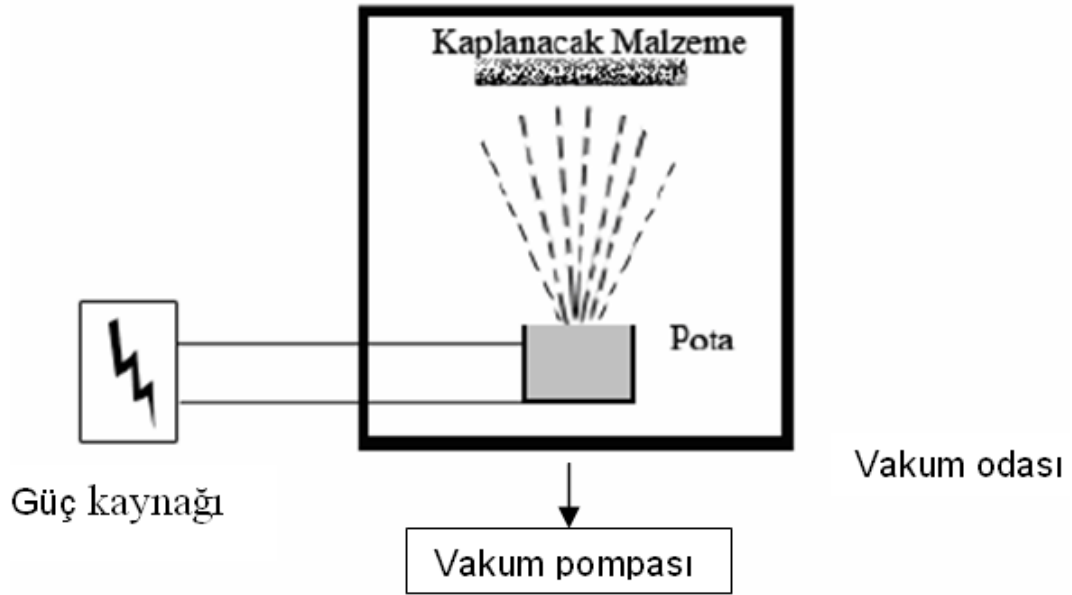
Buharlaştırma yöntemi

Buharlaştırma yönteminde kaplama malzemesi çeşitli şekillerde ısıtılarak buharlaştırılır ve alt malzeme yüzeyinde birikmesi sağlanır. Sistem vakum olduğundan buharlaşan atomlar alt malzemeye doğru enerjilerini kaybetmeden ilerleyebilmektedir ve burada çekirdeğin oluşumu ve çekirdeğin gelişimi safhalarını gerçekleştirerek kaplamayı oluşturmaktadır.

Hedefin sıvı veya katı fazdan buhar fazına geçmesi için gerekli olan ısıtma işlemini gerçekleştiren kaynaklara, buharlaştırma kaynakları adı verilmektedir. Buharlaştırma kaynakları olarak geleneksel katı ve sıvı yakıtların kullanılması teknik açıdan mümkün değildir. Genellikle ısıtma işlemleri ark, direnç, indüksiyon veya elektron bombardımanı yardımıyla sağlanmaktadır [51].

Rezistans ile buharlaştırma

Rezistanslı buharlaştırma tekniğinde; ısı kaynağı üzerinden elektrik akımı geçirilen W, Mo, Ta gibi düşük buharlaşma sıcaklığına sahip metallere yapılmış tel, levha ya da potalardır. Kimi zaman potaların etrafına sarılan tellerle ısıtma yapılırsa sistem ışınım kaynaklı olarak nitelendirilir. 1000°C'nin altındaki sıcaklıklarda bazen Pt, Fe ya da Ni gibi metaller kullanılabilir. Tel ya da levha formları buharlaştırılacak malzeme ve kullanılma yerlerine göre değişiklik gösterir. Sıcaklık kontrolü devreye uygulanan akımın ayarlanmasıyla yapılır [52].



Şekil 6.4. Rezistanslı ısıtıcı sistemli PVD sistemi [63]

İndüksiyon ile buharlaştırma

İndüksiyon ile yapılan ısıtmalarda buharlaştırma pota etrafına su soğutmalı olarak sarılmış bakır tellere uygulanan indüksiyon akımı sonucunda üretilen ısı neticesinde meydana gelir. Ergime sıcaklığı 2100°C'ye kadar olan tüm malzemelere uygulanabilir. Yüksek maliyetlerin söz konusu olması önemli bir dezavantajdır [54].

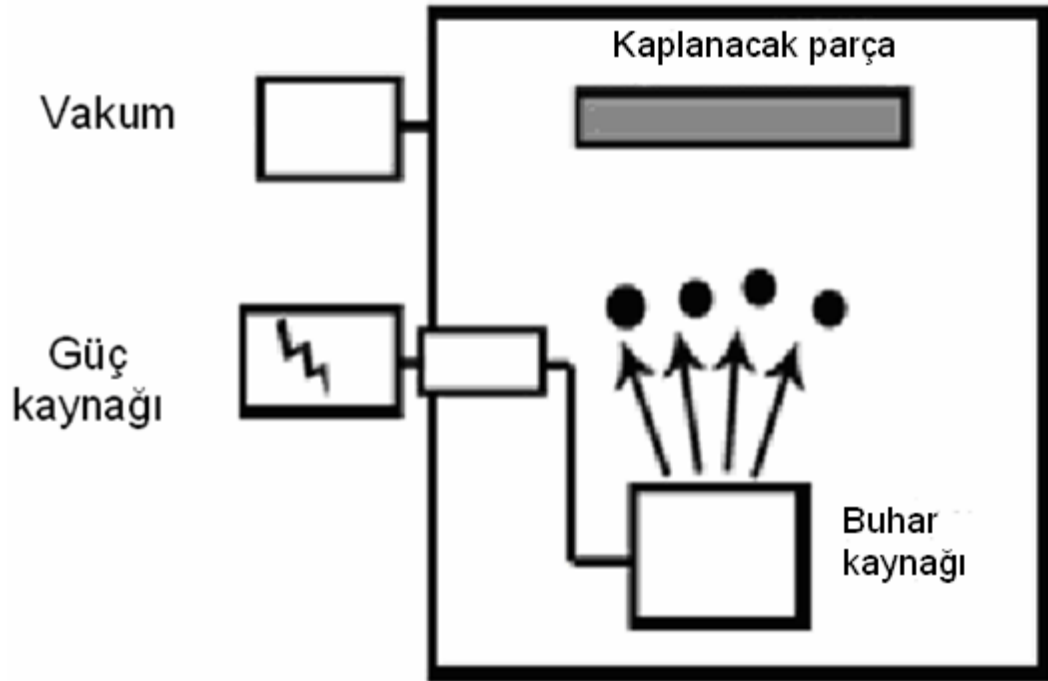
Elektron bombardımanı ile buharlaştırma

Bir elektron kaynağı tarafından sağlanan elektronların, kaplama malzemesi üzerine bombardıman edilmesi yardımıyla buharlaşmanın sağlanması esasına dayanır. Bu yöntemin en büyük avantajı kaplanacak malzemenin ergitme sıcaklığı ne olursa olsun eritip buharlaştırabilme yeteneğine sahip olmasıdır [53, 55].

Elektron demeti ile buharlaştırmada gerekli elektronlar iki şekilde sağlanır;

Elektron tabancası: Flaman tel üzerinden akım geçirilmesi neticesinde, telin ısınması ve elektron yayması sağlanır. Üretilen elektronlar oluşturulan manyetik alan yardımıyla veya kaplanacak malzemeye pozitif potansiyel uygulanması ile yönlendirilir [55].

Oyuk katot: Bu yöntemde oyuk bir silindir içinde inert gazların kullanımı ile oluşturulan plazma sayesinde buharlaşma meydana gelmiş olur (Şekil 6.5) [55].

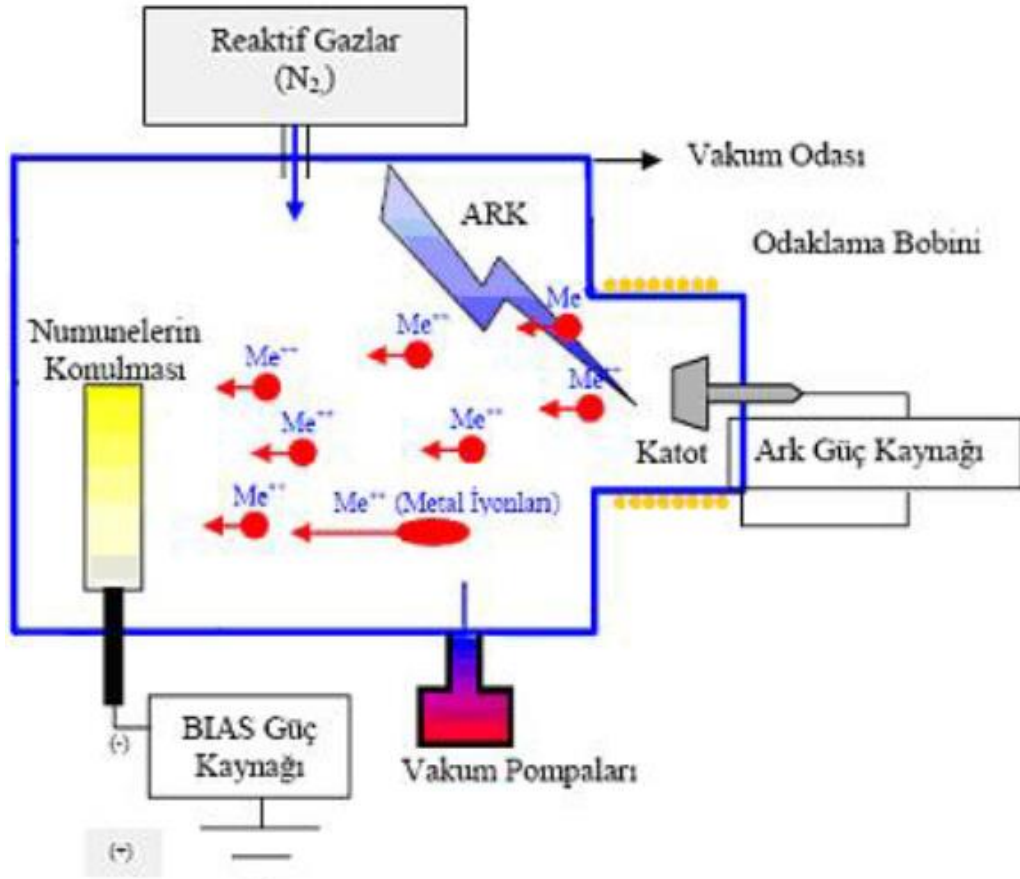


Şekil 6.5. Oyuk katot tabancası kullanan PVD sistemi [53]

Katodik ark yöntemi ile buharlaştırma

Ark PVD malzemenin vakum altında ark etkisi ile buharlaştırılması esasına dayanır. Ark PVD tekniği diğer tekniklere göre daha yeni olan, ancak kullanımı hızla yaygınlaşmakta olan kaplama tekniğidir. En önemli avantajı ark etkisi altında buharlaşan malzemenin oluşan elektriksel alan içerisinde

hemen, yüksek oranda ve yüksek enerjili olarak iyonlaşmasıdır. Dezavantajı ise arka buharlaştırma sırasında oluşan metal damlacıkların kaplanacak yüzeye yapışarak pürüzlülüğünü arttırmasıdır [53].



Şekil 6.6. Katodik ark PVD sistemi [56]

Bu yöntemde kaplama malzemesi vakum odasına katot olarak asılırken, kaplanacak malzemeler de anot olarak asılırlar. Sisteme uygulanan düşük voltajın ve yüksek akımın etkisiyle katot yüzeylerinde ark meydana gelir ve sıcaklığın çok yüksek değerlere ulaşmasıyla ergime ve buharlaşma oluşur. Bu şekilde elde edilen buhar fazı, katot önündeki yüksek elektron yoğunluğu sayesinde iyonize olurlar. Oluşan iyonlar anot üzerine taşınırlar [55].

Sıçratma yöntemi

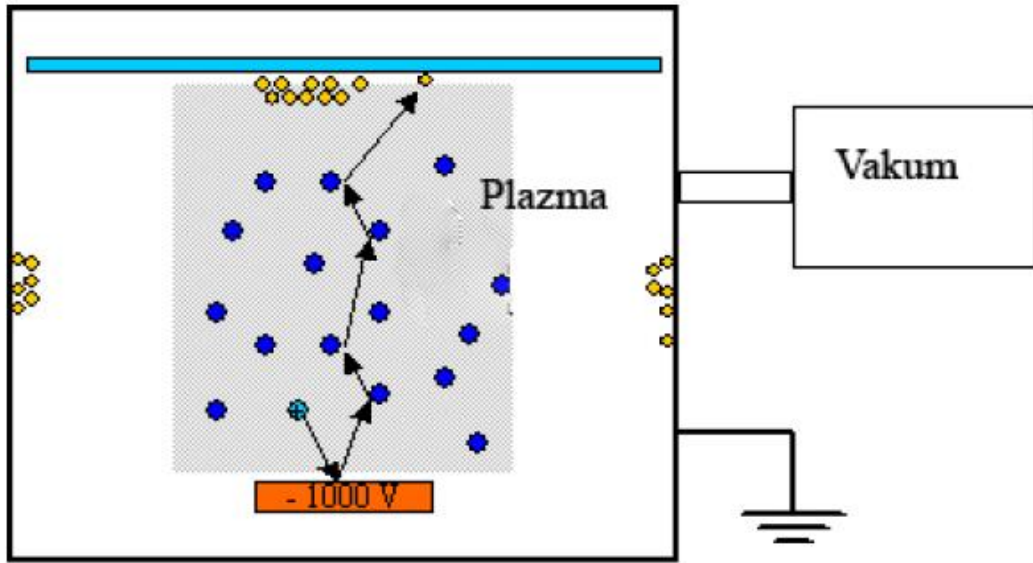
Sıçratma ile kaplama, PVD kaplama yöntemleri arasında sıkça kullanılan yöntemlerden biridir. Sıçratma ile kaplama yönteminde, vakum ortamında kaplama malzemesini yüzeyi yüksek enerjili iyonlarla bombardıman edilerek, atomların yüzeyinden kopartılması sağlanır. Kopartılan bu atomlar oluşan plazma içerisinde buhar fazına geçer ve taban malzeme yüzeyinde biriktirilir. Sıçratma ile kaplanacak taban malzeme yüzeyi istenen bir metalle kaplanabildiği gibi, reaktif kaplama denilen ve buharlaştırılan malzemenin istenilen bir gazla kaplanacak taban malzeme yüzeyinde bileşik oluşturması sağlanabilir. Böylece sert seramik filmler veya bileşik malzemelerden üretilen kaplamalar yapılabilir [57, 58, 59].

Sıçratma yöntemi ile yapılan kaplamalarda iyon kaynağı olarak iyon tabancası ve plazma kullanılmaktadır. Temel olarak sıçratma ile kaplama tekniği kendi içinde üçe ayrılmaktadır:

1. Diyot Sıçratma,
2. Triyot Sıçratma,
3. Manyetik Sıçratma [57, 62].

Diyot sıçratma

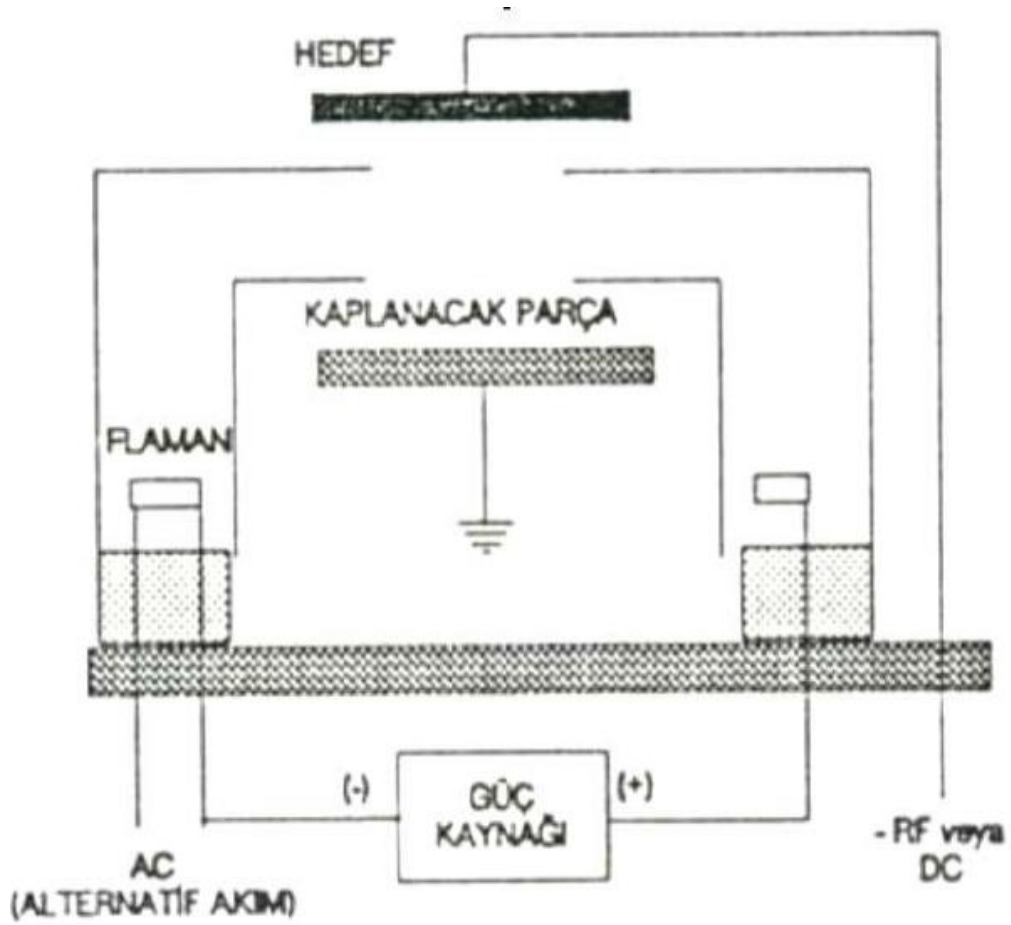
Bu yöntemde sıçratma mekanizmasını oluşturabilmek için, hedef yüzey ile kaplanacak taban yüzey arasına potansiyel uygulanır ve böylece bir elektron akışı elde edilir (Şekil 6.7). Eğer bu ortama yüksek basınçta (4 Pa -15 Pa) inert gaz verilir ise yoğun atom çarpışmaları gerçekleşir. Bu çarpışmalarda iyonlar malzeme yüzeyinden atom kopartır ve böylece sıçratma olayı gerçekleşmiş olur. Diyot sıçratma, sıçratma etkisinin zayıf olması nedeniyle çok kullanılmamaktadır [58, 62].



Şekil 6.7. Diyot sıçratma mekanizması [60]

Triyot sıçratma

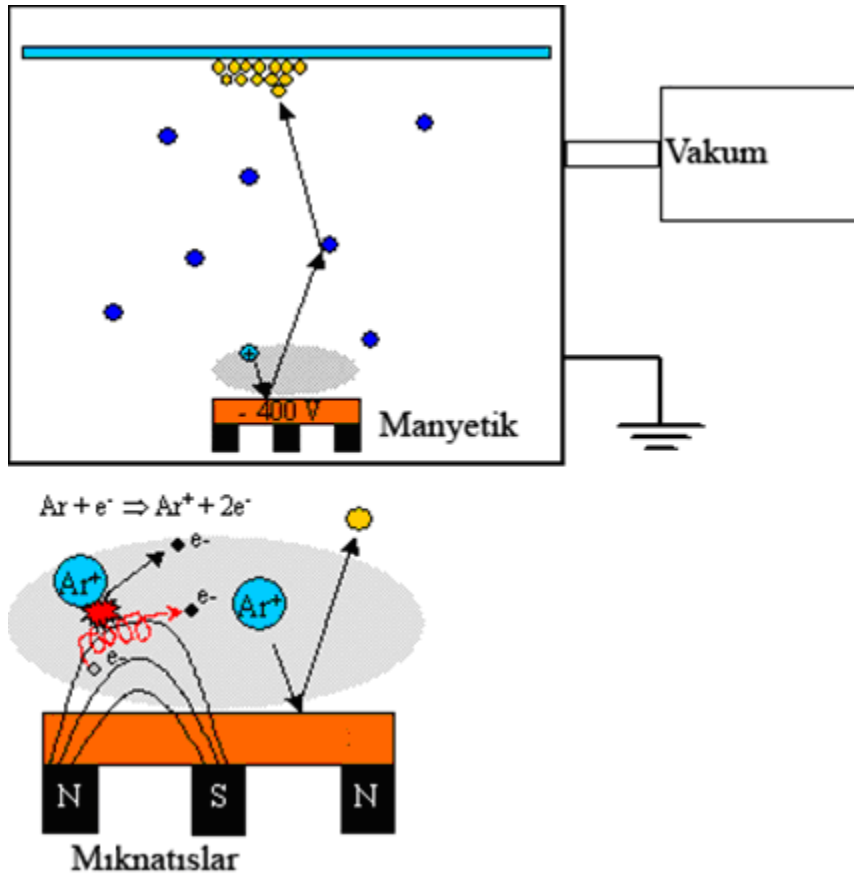
Triyot sıçratma yönteminde ise, diyot sıçratma sisteminden farklı olarak anot ve katot arasına elektron yayan bir flaman ve elektron toplayıcı ilave edilmiştir (Şekil 6.8). Bu sayede plazmanın iyon akım yoğunluğu artırılmış başka bir deyişle plazma empedansı düşmüştür. Bu sayede sistemdeki elektron miktarı ile doğru orantılı olan uygulama potansiyeli de düşürülebilmektedir. Bu düzeneğin bir diğer avantajı da uygulama potansiyelinin düşürülmesi sayesinde kaplamadaki radyasyondan kaynaklanan hasarlar azaltılmıştır [62].



Şekil 6.8. Triyot sıştırma [62]

Manyetik alanda sıştırma

Bu yöntemde hedef malzeme, su soğutmalı mıknatıs veya elektromıknatıslardan oluşan tutucunun üzerine yerleştirilmiştir. Hedefin merkez eksenini, mıknatısın bir kutbunu oluşturur. Zıt kutbu ise, hedefin kenarlarına yerleştirilen mıknatıslar tarafından halka şeklinde oluşturulur. Mıknatısların bu şekilde düzenlenmesi sonucunda oluşan manyetik alan, iyon bombardımanı ile katot yüzeyinden yayılan ikincil elektronların, bu bölgede özellikle tutularak iyonizasyonun artmasına ve plazmanın daha yoğun olmasına neden olur [58].



Şekil 6.9. Manyetik sıçratma mekanizması [60]

İyon kaplama

1964 yılından bu yana uygulanan bu yöntemle kaplama malzemesi buharlaştırılır. Plazma kullanılarak buhar fazındaki atomların enerjileri yükseltilir ve iyonizasyon sağlanır. Kaplanacak ana malzemeye uygulanan temel (bias) gerilim sayesinde ortamdaki iyonlar parçaya doğru yönlendirilir ve hızlandırılır. Kaplamaların özellikleri ve yapışma kalitesi ana malzeme yüzey sıcaklığının artırılmasıyla geliştirilebilir. Ancak ana malzemenin özelliğinden dolayı istenilen kaplama özelliği elde etmek için yeterince yüksek sıcaklıkta çalışma imkânını engellediği durumlarda vardır. Bu sorunu çözmek için yapılacak işlem ana malzemenin kaplanmasından önce ve kaplama sırasında enerjik parçacıklarla bombardımana tabi tutulmasıdır. Bu işlem ana

malzeme sıcaklığının artırılmasına eşdeğer bir etkiye sahiptir. Bu nedenle ana malzemeyi yüksek sıcaklıklarda ısıtmaya gerek duyulmaz [2].

Kaplama öncesi uygulanan yüksek temel gerilim (negatif potansiyel) ile ana malzemenin yüzeyi temizlenir. Hem de parça ısıtılır. Isıtma özellikle ana malzeme yüzeyine yapışma özelliğini geliştirir. İyon kaplama yöntemi PVD teknikleri arasında en yüksek enerjili parçacıkların kullanıldığı en hızlı ve en yoğun kaplama tabakasının elde edilebildiği bir yöntemdir. Yüksek enerjili elektronlar 70V-80V ile elde edilir [61].

İyon kaplama yönteminin avantajları [2].

- Düşük sıcaklıklarda daha iyi bir yapışma,
- Karmaşık şekilli parçaları üniform bir kalınlıkta kaplayabilme,
- Parçanın ilave bir ısıtıcı kaynakla bütün olarak ısıtılmasına ihtiyaç duyulmaması,
- Düşük sıcaklıklarda bile daha iyi bir yapışma yapısı ve buna bağlı olarak gelişen özellikler,
- Kaplama malzemesinin parça yüzeyine yayılması sonucunda kaplamanın yapışma özelliğinin artması,
- Bombardıman koşullarının kontrolü yanında artan film gerilimi ve yoğunluğunun kontrolü ile film özelliklerine yeni bir biçim ve esneklik verilebilmesi,
- Yüksek enerjili atomlar sayesinde kaplama yapısı daha yoğun hale gelmektedir.

İyon kaplamanın dezavantajları [2].

- Yüksek basınçlarında çalışmak gerekmektedir,
- Birçok işlem parametresi kontrol edilmek zorundadır,

- Plazma içinde harekete geçirilen ve yüzeyden serbest bırakılan iyonlar buharlaşabilir,
- Karmaşık türdeki yüzeylerin kaplanması üniform bombardımanın elde edilmesine bağlıdır,
- Ana malzeme yüzeyinde film biriktirilmesi gazın cinsine bağlıdır,
- Ana malzemeyi aşırı ısıtmak gerekir,
- Maskelemek zordur,
- Biriktirme enerjileri çok geniş bir aralıkta değişmektedir. Kontrolü zordur,
- Tüp içlerini kaplamak için uygun değildir,
- Elde edilen filmde yüksek derecede gerilim artışları olabilir.

6.4.2. PVD kesici takım kaplamaları

Çizelge 6.1. PVD kesici takım kaplamaları kullanım yerleri ve özellikleri [45]

KAPLAMA	Kullanım yeri	Kaplama Kalınlığı μm	Sertlik (HV)	Oksidasyon sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Sürtünme katsayısı	Kaplama rengi
IonBond TiN	Genel amaçlı; döküm, çelik döküm ve çelik malzemelerin talaşlı işleminde kullanılan matkap ucu, azdırma ve kılavuzlarda, medikal uygulamalarda	1-3	2800-3200	500	0.65	Altın sarısı
IonBond TiCN	Düşük karbonlu çelik ve paslanmaz çeliklerin kesik talaşlı işlemlerinde, kaba talaş frezelerde ve azdırma frezelerde	1-2	3300-3600	400	0.45	Gri-Mavi
IonBond TiAlN	Titanyum, Nikel alaşımı, paslanmaz çeliklerin seri üretim talaş kaldırma işlemlerinde	1-4	3000-3400	900	0.70	Bakır-Bronz
IonBond AlTiN	Bütün talaş kaldırma işlemlerinde, kuru kesmede, kaba ve kalın paso işlemlerinde	1-3	3800-4200	1100	0.60	Siyah-Mor

Çizelge 6.1. (Devam) PVD kesici takım kaplamaları kullanım yerleri ve özellikleri [45]

KAPLAMA	Kullanım yeri	Kaplama Kalınlığı μm	Sertlik (HV)	Oksidasyon sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Sürtünme katsayısı	Kaplama rengi
IonBond ZrN	Demir dışı malzemelerin talaşlı işlemlerinde; Alüminyum, Bakır Pirinç ve plastik vb.	1-4	3200	450	0.40	Açık sarı
IonBond Maximizer	Bütün talaş kaldırma işlemlerinde, kuru kesmede, kaba ve kalın paso işlemlerinde, derin delik matkaplarında, düşük karbonlu malzemeye vida açan kılavuzlarda başarıyla uygulanır. Tok ve ısıya karşı dirençli bir kapladır.	1-3	3000-3200	1100	0.40	Siyah-Mor
IonBond Dominizer	Paslanmaz çelik, döküm ve dökme demir, 30-45 HRC sertlikteki çeliklerin işlenmesinde orta hızlarda ve yüksek ilerleme ile çalışan azdima freze, fellow, gleason ve bıçakların talaş kaldırma operasyonlarında	2-4	3000	900	0.30	Siyah-Mor
IonBond Super AlTiN	Özellikle derin delik delme, matkap ve finiş operasyonları için geliştirilmiştir.	1-3	3300	900	0.30	Gri-Menekşe

6.4.3. PVD şekil verme ve sıvama kalıp kaplamaları

Çizelge 6.2. PVD şekil verme ve sıvama kalıp kaplamaları kullanım yerleri ve özellikleri [45]

KAPLAMA	Kullanım yeri	Kaplama kalınlığı μm	Sertlik (HV)	Oksidasyon sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Sürtünme katsayısı	Kaplama rengi
IonBond TiN	Genel amaçlı soğuk şekillendirme operasyonlarında, 35 mm'den ince St37saç delme zımbalarında, ya da mekanik dayanımı yüksek saç delme zımbalarında, tel kıvrıma ve HM derin çekme ve sıvama kalıplarında	1-3	2800-3200	500	0.65	Altın sansı
IonBond TiCN	Kaba delik genişletmelerde, paslanmaz çelik şekillendirmelerinde	1-2	3300-3600	450	0.45	Gri-Mavi
IonBond CrN	Paslanmaz çelik şekillendirme işlemlerinde, metal sıvama kalıplarında ve soğuk form verme işlemlerinde, metal enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıp ve maçalarında 3.5 mm'den kalın St 37 saç malzemelerin delme zımbalarında	1-4	2400-2600	700	0.40	Gümüş
IonBond DeepDraw-C	Derin sıvama ve soğuk şekillendirme kalıplarında, metal ve plastik enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplarında yüksek dayanımlı saçların delme zımbalarında	8-10	2200-2500	700	0.50	Gümüş

Çizelge 6.2. (Devam) PVD şekil verme ve sıvama kalıp kaplamaları kullanım yerleri ve özellikleri [45]

KAPLAMA	Kullanım yeri	Kaplama Kalınlığı μm	Sertlik (HV)	Oksidasyon sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Sürtünme katsayısı	Kaplama rengi
IonBond DeepDraw-T	Derin sıvama ve soğuk şekillendirme kalıplarında, yüksek dayanımlı saçların delme zımbalarında	6-8	2500-2800	500	0.60	Sarı
IonBond Ultracast	Metal enjeksiyon kalıplarında kullanılır.	4-6	2800-3200	800	0.55	Siyah-Mor

7. MATERYAL VE METOT

7.1. Amaç

Talaşlı imalat sektöründe parçaların birbirleriyle çalışırken aşınmaya maruz kalması üretimde iş ve zaman kaybına neden olan sorunları ortaya çıkarmaktadır. İş ve zaman kaybı doğrudan imalatı etkilediğinden kaçınılmaz olarak maliyet kayıpları da sorun olarak meydana gelmektedir. Kaplama yöntemleri ile şekil verilmek istenen parçanın yüzey kalitesinin geliştirilmesi, sıvanma ve yapışmaların ortadan kaldırılması, şekil verme işlemlerinde ortaya çıkan iş parçası yüzeyinde çizik ve çatlak sorunlarının ortadan kaldırılması kalıp masraflarını düşürmede büyük avantajlar sağlamaktadır.

Amaç ortaya çıkan bu sorunları, kesme kalıplarında kullanılan DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğine PVD tekniği ile TiN ve AlTiN kaplayarak aşınmayı minimum seviyeye indirmektir.

7.2. Deneyde Kullanılan 1.2379 Soğuk İş Takım Çeliğinin Özellikleri

7.2.1. Kimyasal bileşimi

Çizelge 7.1. Deneyde kullanılan 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
1.2379	1.55	0.35	0.40	0.0015	0,0015	12.00	0.85	0.85

7.2.2. Kullanım alanları

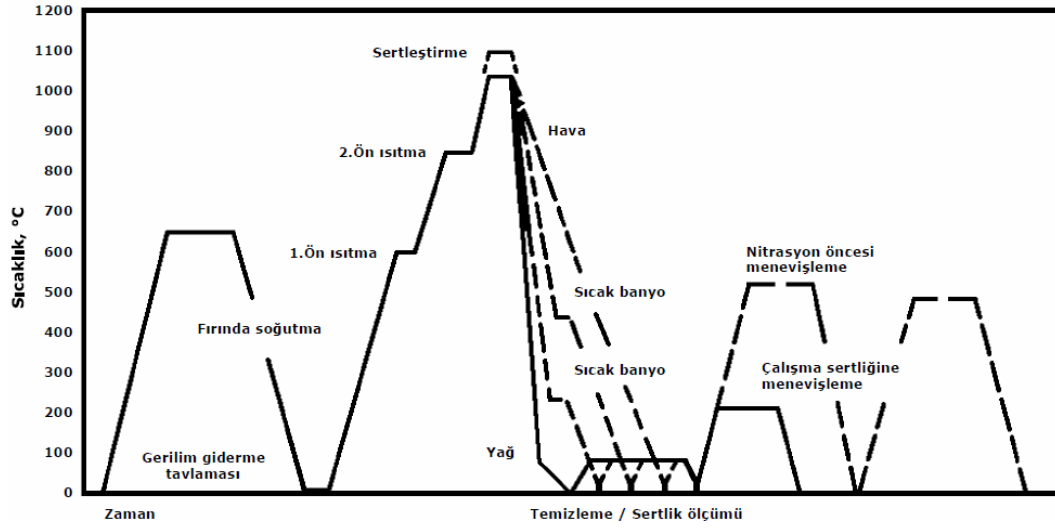
Kalınlığı 6 mm'ye kadar her türlü soğuk sac kesme kalıpları, delme, zımbalama, kıvrıma, bükme, ezme, şişirme, şekillendirme kalıpları, boru ve profil haddeleme makaraları, soğuk haddeleme haddeleri, kağıt, karton, plastik ve sac kesme makinelerinin kesici bıçakları, ağaç işleme takımları, vida, civata, perçin, somun gibi bağlantı elemanlarının soğuk şekil verme ve diş çekme kalıpları, çapak alma kalıpları, derin çekme kalıpları, ilaç, seramik sanayinde kullanılan aşındırıcı tozların sıkıştırma kalıpları, plastik enjeksiyon kalıpları ve hamilleri, tel çekme haddeleri ve soğuk ekstrüzyon takımları, hassas kesme kalıpları, dilme bıçakları, kabartma takımlarında kullanılmaktadır [63].

7.2.3. Isıl işlem

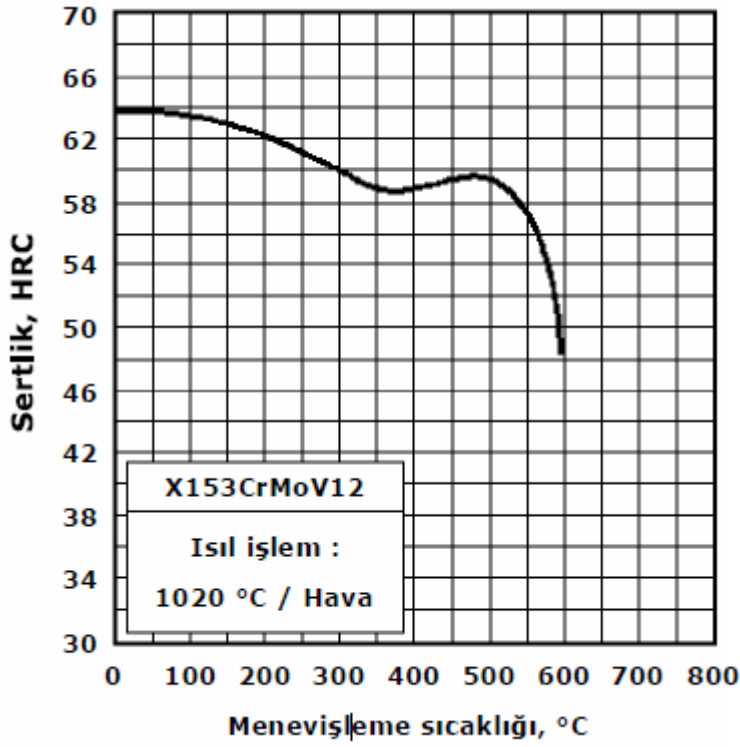
Malzemeye ısıtıl işlem uygulanırken yumuşatma tavlaması 800°C-850°C, tavlama sonrası sertlik en fazla 250 HB, gerilim giderme tavlaması 650°C-700°C, Sıcak şekil verme 1050°C-850 °C, sertleştirme 1020°C-1080°C, sertleştirme ortamı yağ, sıcak banyo (220°C-250°C veya 500°C-550°C) kullanılmıştır. Daha sonra hava veya basınçlı hava uygulanarak sertleştirme sonrası sertlik 63HRC-65 HRC ölçülmüştür.

Menevişleme sonrası sertlik:

100°C	200°C	300°C	400°C
64 HRC	61HRC	59HRC	58HRC



Şekil 7.1. 1.2379 Soğuk iş takım çeliğinin ısı işleme şeması [63]



Şekil 7.2. 1.2379 Soğuk iş takım çeliğinin menevişleme diyagramı [63]

7.2.4. Mekanik özellikleri

Yüksek karbon ve krom içeren, mikro yapısında yüksek miktarda karbür mükemmel aşınma direncine ve tokluğa sahip, basınca dayanıklı, derinlemesine sertleşebilen, yüksek sıcaklarda sertliğini kaybetmeye karşı yüksek dirence sahip ve ısıtılma işlemi esnasında oldukça iyi boyutsal kararlılık gösteren Ledeburitik yapıya sahip soğuk iş takım çeliğidir. Tel erezyon kesimi, paslanmaz sac kesimi, nitrasyon yapılmaya ve darbeli işlerde kullanılmaya uygundur [63].

7.3. Metot

Deneyel çalışmada Çizelge 7.1'de kimyasal bileşimi verilen DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliği Ø40x5 mm ebatlarında özdeş olarak CNC torna tezgahında işlenmiştir. Daha sonra özdeş olarak üretilen deney numuneleri gerekli ısıtılma işlemi tabii tutulduktan sonra ısıtılma işleminden kaynaklanan çarpılmaları gidermek için numuneler puntasız taşlama işlemine tabii tutulmuştur.

Deney numuneleri, İstanbul'da faaliyet gösteren IONBOND Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş.'de bulunan katodik ark PVD yöntemiyle TiN ve AlTiN kaplanmıştır (Resim 7.1).

Soğuk iş takım çeliğinden hazırlanan numunelerin aşınma testleri ileri geri aşındırma cihazında yapılmıştır. Aşınma testi yapılan deney numunelerinin mikro sertlik deneyleri, SEM görüntüleri, EDS analizleri ve yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir.

Hazırlanan kaplamasız deney numuneleri, deney öncesinde ağırlıkları 1 mg hassasiyete sahip dijital terazide ölçülmüştür. Daha sonra ileri geri aşınma cihazında belirlenen yol ve yük altında aşınma işlemi gerçekleştirildikten

sonra numuneler tekrar hassas dijital terazide ölçülerek aşınmadan dolayı meydana gelen ağırlık kayıpları tespit edilmiştir.

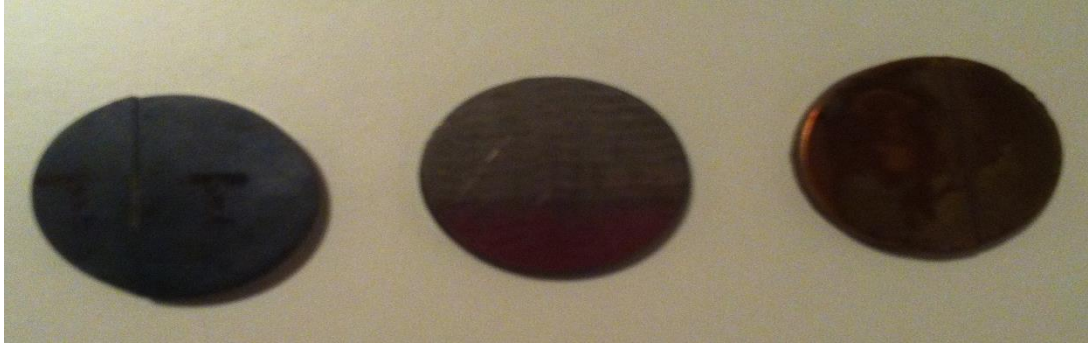


Resim 7.1. IONBOND PVD kaplama cihazı

7.3.1. Numune hazırlama

Deneylerde kullanılacak numuneler, ileri geri aşınma test cihazına ve Malzeme Eğitimi Bölümünde bulunan SEM cihazına uygun olacak biçimde $\text{Ø}40 \times 5$ mm (Resim 7.2) ebatlarında özdeş olarak CNC torna ve taşlama tezgahlarında hazırlanmıştır.

Deney numuneleri, İstanbul'da faaliyet gösteren IONBOND Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş.'de bulunan katodik ark PVD yöntemiyle TiN ve AlTiN kaplanmıştır.



Resim 7.2. a) AlTiN kaplamalı deney numunesi, b) Kaplamasız deney numunesi, c) TiN kaplamalı deney numunesi

7.3.2. Numunelerin sertleştirilmesi

Deney numunelerinin sertleştirilme işlemi Önerler Isıl İşlem Mak. Çel. San. Ve Tic. Ltd. Şti. yapılmıştır. Hazırlanan numuneler ilk önce 600°C'de ön ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Sıcaklık değeri 1100°C'ye getirilerek yağda su verilme işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numunelere 500°C-600°C arasında nitrasyona tabi tutulmuş 500°C 1 saat menevişleme ısıl işlemi yapılarak 64 HRC sertlik elde edilmiştir.

7.3.3. Numunelerin TiN kaplanması

Ionbond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş.'de yapılan TiN kaplama işleminde kullanılan parametreler Çizelge 7.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 7.2. TiN kaplama parametreleri

Numune	Bias Voltajı (V)	Ark akımı (A)	Süre (dk)	Sıcaklık (C°)	Azot kısmi basıncı (Torr)	Katot sayısı	Kalınlık (µm)
1.2379	-200	55	70	200-220	$6,5 \times 10^{-3}$	3	3

Numunelerin parlatma işlemi tamamlandıktan sonra numunelere 2 adet alkali (bazik) deterjan kullanılarak ultrasonik kimyasal temizlik yapılmıştır. Sonrasında temiz su ile durularak ve en son demineralize sudan geçirilmiş numuneler sıcak hava ile kurutma işlemi yapıldıktan sonra kaplama kabineye yerleştirilmiştir. Numunelere yerleştirildikten sonra vakum alma işlemi uygulanmış ve daha sonra Çizelge 7.2'de belirtilen parametrelerde kaplama işlemine geçilmiştir. Kaplama sonrasında vakumda soğutma ve kabinden alınarak Al₂O₃ fırça ile yüzeydeki sıvı damlacıkları temizlenmekte ve fırçalanıp koruyucu yağ ile yağlanarak kaplama işlemi tamamlanmıştır.

7.3.4. Numunelerin AlTiN kaplanması

AlTiN kaplama işleminde kullanılan parametreler Çizelge 7.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 7.3. AlTiN kaplama parametreleri

Numune	Bias Voltajı (V)	Ark akımı (A)	Süre (dak)	Sıcaklık (°C)	Azot kısmi basıncı (torr)	Katot sayısı	Kalınlık (µm)
2379	-110	55	70	200-220	6,5x10 ⁻³	3	3

AlTiN kaplanacak numunelerin polisaj işlemi tamamlandıktan sonra numunelere 2 adet alkali (bazik) deterjan kullanılarak ultrasonik kimyasal temizlik yapılmıştır. Sonrasında temiz su ile durularak en son demineralize sudan geçirilmiş numuneler sıcak hava ile kurutma işlemi yapıldıktan sonra kaplama kabineye yerleştirilmiştir. Numuneler yerleştirildikten sonra vakum alma işlemi uygulanmış ve daha sonra Çizelge 7.3'de belirtilen parametrelerde kaplama işlemine geçilmiştir. Kaplama sonrasında vakumda soğutma ve kabinden alınarak Al₂O₃ fırça ile yüzeydeki sıvı damlacıkları

temizlenmekte ve fırçalanıp koruyucu yağ ile yağlanarak AlTiN kaplama işlemi tamamlanmıştır.

7.3.5. Numunelerin kodlanması

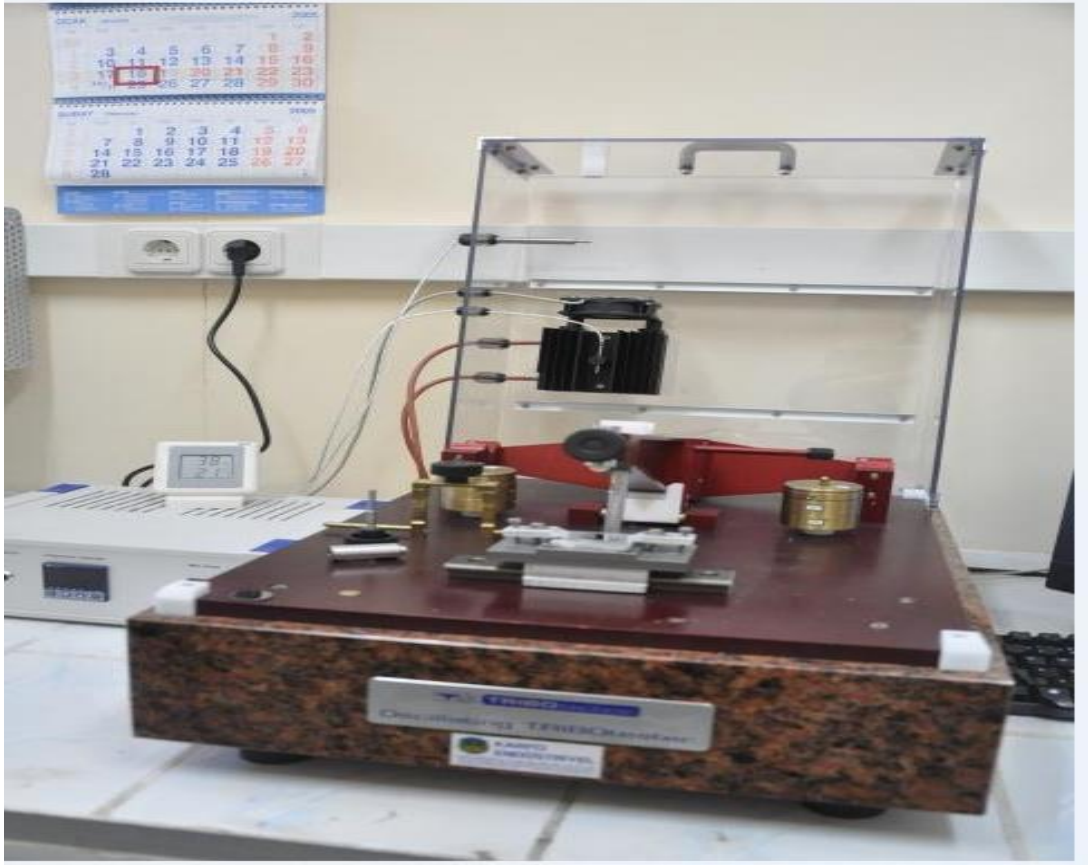
Deneyisel çalışmada kullanılan numunelerin kodlanması üç isim altında toplanmıştır. Çizelge 7.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Deneyde kullanılan numunelerin kodlanması

Numune	Kodlama		
Kaplamasız	1-a	1-b	1-c
TiN Kaplamalı	1-a	1-b	1-c
AlTiN Kaplamalı	1-a	1-b	1-c

7.3.6. Numunelerin aşınma deneylerinin yapılışı

Numunelerin aşınma deneyleri İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalürji ve Malzeme Fakültesi’nde ileri geri aşınma deney cihazında yapılmıştır (Resim 7.2). Test cihazında doğrusal hareketi yapan plaka elektrik motoru ile (1.5 kw, 1390 nominal devri, 220 V) tahrik edilmektedir. Elektrik motoru miline kama ile bağlanan flanş ile hareketli plaka iki tarafı küresel mafsallı bir kol ile sağlanmaktadır. Farklı hızlarda testler yapmak için elektrik motorunun devri, frekans değiştirici ile değiştirilerek yaklaşık 50 dev/dak ile 1200 dev/dak arasında ayarlanabilmektedir. Dolayısıyla pim ile temasta olan plakanın hızı 120 m/s ile 2890 m/s arasında farklı hızlar elde etmek mümkün olmaktadır. Test cihazında pim numunesi kare prizma olarak tasarlanmıştır. Sürtünme alanı 4mm²-6mm² arasında değişen pim numuneler kullanılabilir. Küresel, vb. yüzeylerinde test edilebilmesi planlanabilir. Test sisteminde sabit yük uygulanmaktadır. Yük büyüklüğü ise 500N’a kadar çıkabilmektedir.



Resim 7.3. İleri geri aşınma test cihazı

Aşınma deneyleri oda sıcaklığında ve normal şartlar altında kuru sürtünme olarak yapılmıştır. Numuneler 0,5m/sn kayma hızında, 5000 çevrim, 10000 çevrim ve 15000 çevrim yol olarak 5N,10N ve 15N yük (aşındırma kuvveti) altında aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Aşınma deneylerinde numuneler aşınma cihazının üzerine yerleştirildikten sonra 10mm pin şeklindeki malzemenin içine 6mm çapında alümina top yerleştirilmiştir. Top malzemeye sabitleştirilerek deneylerin sağlıklı gerçekleşmesi için deney numunesi ve alümina top (aşındırıcı) asetonla temizlenmiştir. Alümina topun bağlı olduğu malzeme üzerine istenilen yük konularak numuneye baskı yapması sağlanmıştır. Diskin dönmesiyle numune üzerinde çizgisel yörüngede aşınma izleri meydana gelir. Her numune için hem alümina top, hem de numunenin üzeri asetonla temizlenerek deney için tekrar hazırlanmıştır.

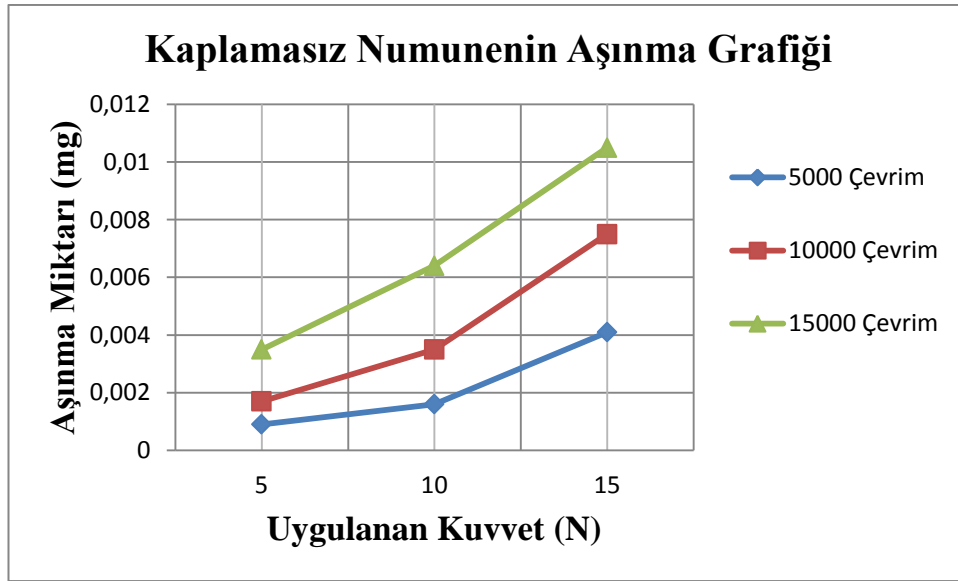
TiN kaplama, AlTiN kaplama ve kaplamasız numuneler için ayrı ayrı alümina top kullanılmıştır. Her bir deney parametresi için üç test deney yapıp, 1 mg hassasiyetindeki Resim 7.4'de gösterilen terazide aşınma kayıpları bulunarak ortalamaları alınmıştır.



Resim 7.4. 1mg hassasiyetindeki terazi

Bu işlem kaplamasız, TiN kaplamalı ve AlTiN kaplamalı numuneler için aynı şartlarda yapılmıştır ve aşınma miktarları Çizelge 8.2'de ve Çizelge 8.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.1'de aşınma değerleri verilen 5N-10N ve 15N yükte kaplamasız numunenin aşınma grafiği Şekil 8.1'de gösterilmektedir.



Şekil 8.1. 5N, 10N ve 15 N Yükte kaplamasız numunenin aşınma grafiği

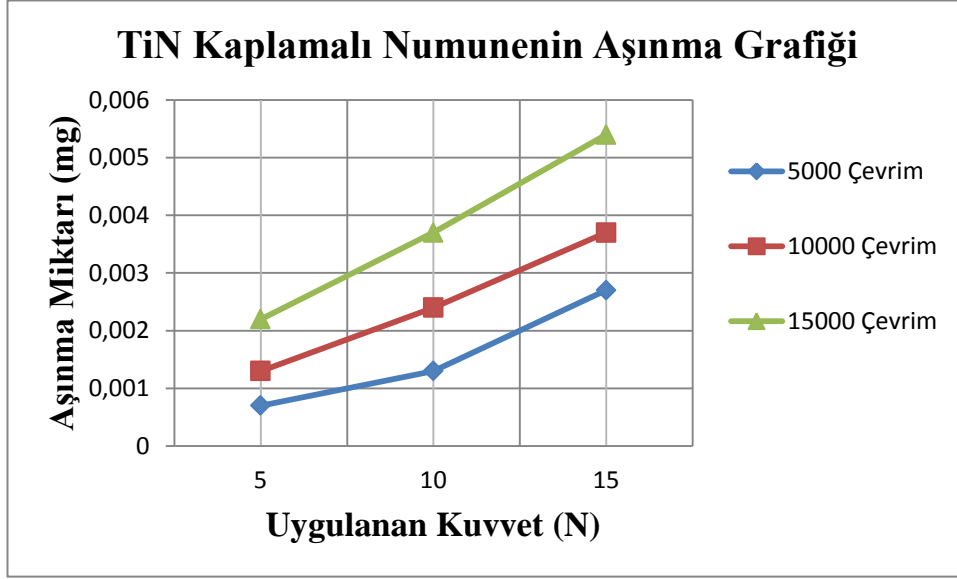
Şekil 8.1'deki grafik incelediğinde kaplamasız numunenin aşınma miktarı uygulanan kuvvetle doğru orantılı olarak artmıştır. Çevrim süresi aşınma ile doğru orantılıdır. Çevrim süresi arttıkça aşınma artığı, çevrim süresi azaldıkça aşınmanın azaldığı gözlemlenmektedir.

Aşınma deneyi yapılan TiN kaplamalı numunelerin deney öncesi ölçüm (D.Ö.Ö), deney sonrası ölçüm (D.S.Ö) ve deney sonucunda aşınma miktarları Çizelge 8.2.'de açıklanmıştır.

Çizelge 8.2. TiN Kaplamalı numunenin aşınma miktarları

ALINAN YOL 120 METRE, KAYMA HIZI 0,5 M/S										
Uygulanan Yük		5N			10N			15N		
Çevrim		5000	10000	15000	5000	10000	15000	5000	10000	15000
TİN KAPLANMIŞ NUMUNE	1a)	30,7463	30,7494	30,7634	30,7481	30,7475	30,7614	30,7365	30,7517	30,7527
	D.Ö.Ö	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
	D.S.Ö	30,7457	30,7482	30,7614	30,7470	30,7452	30,7584	30,7340	30,7447	30,7477
		mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
	Aşınma Miktarı	0,0006	0,0012	0,0020	0,0011	0,0023	0,0030	0,0025	0,0040	0,0045
		mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
	1b) D.Ö.Ö	30,7383	30,8432	30,8690	30,8457	30,8449	30,8689	30,8092	30,8457	30,8430
		mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
	D.S.Ö	30,7375	30,8419	30,8670	30,8442	30,8424	30,8603	30,8067	30,8425	30,8386
		mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
Aşınma Miktarı	0,0008	0,0013	0,0020	0,0015	0,0025	0,0036	0,0025	0,0035	0,0050	
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	
1c) D.Ö.Ö	30,8355	30,8404	30,8512	30,8260	30,8261	30,8488	30,8098	30,8292	30,8532	
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	
D.S.Ö	30,8348	30,8390	30,8488	30,8248	30,8238	30,8448	30,8068	30,8252	30,8472	
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	
Aşınma Miktarı	0,0007	0,0014	0,0024	0,0012	0,0023	0,0040	0,0030	0,0040	0,0060	
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	
Ortalama	0,0007	0,0013	0,0022	0,0013	0,0024	0,0037	0,0027	0,0037	0,0054	
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	

Kaplamasız numunelerde olduğu gibi TiN kaplı numunelerinde, deney öncesinde ağırlıkları hassasiyeti 1mg olan hassas dijital terazide ölçülmüştür. Daha sonra ileri geri aşınma cihazında belirlenen yol ve yük altında aşınma işlemi gerçekleştirildikten sonra numuneler tekrar hassas dijital terazide ölçülerek aşınmadan dolayı meydana gelen ağırlık kayıpları tespit edilmiştir.



Şekil 8.2. 5N, 10N ve 15 N Yükte TiN kaplı numunenin aşınma grafiği

Şekil 8.2'deki grafik incelediğinde TiN kaplamalı numunenin aşınma miktarı uygulanan kuvvetle doğru orantılı olarak artmıştır. Çevrim süresi aşınma ile doğru orantılıdır. Çevrim süresi arttıkça aşınmanın arttığı, çevrim süresi azaldıkça aşınmanın azaldığı gözlemlenmektedir.

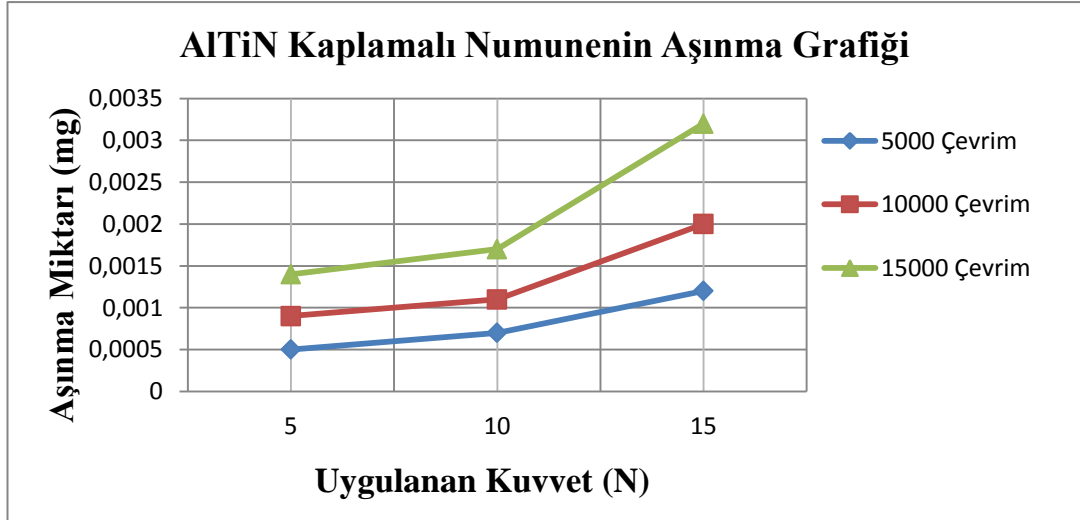
Aşınma deneyi yapılan AlTiN kaplamalı numunelerin deney öncesi ölçüm (D.Ö.Ö), deney sonrası ölçüm (D.S.Ö) ve deney sonucunda aşınma miktarları Çizelge 8.3.'de açıklanmıştır.

Çizelge 8.3. AlTiN Kaplamalı numunenin aşınma miktarları

ALINAN YOL 120 METRE, KAYMAHIZI 0,5 M/S										
Uygulanan Yük		5N			10N			15N		
Çevrim		5000	10000	15000	5000	10000	15000	5000	10000	15000
AlTiN KAPLAMALI NUMUNE	1a)	30,6463	30,6494	30,6634	30,6481	30,6475	30,6614	30,6365	30,6517	30,6527
	D.Ö.Ö	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
	D.S.Ö	30,6460	30,6489	30,6624	30,6477	30,6469	30,6604	30,6359	30,6507	30,6509
		mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
	Aşınma Miktarı	0,0003	0,0005	0,0010	0,0004	0,0006	0,0010	0,0006	0,0010	0,0018
		mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
	1b)	30,6380	30,6428	30,6584	30,6349	30,6335	30,6521	30,6179	30,6335	30,6484
	D.Ö.Ö	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
	D.S.Ö	30,6375	30,6419	30,6570	30,642	30,6324	30,6503	30,6167	30,6315	30,6346
		mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
	Aşınma Miktarı	0,0005	0,0009	0,0014	0,0007	0,0011	0,0018	0,0012	0,0020	0,0028
		mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
1c) D.Ö.Ö	30,7345	30,7503	30,7608	30,7358	30,7346	30,7580	30,7180	30,7382	30,7572	
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	
D.S.Ö	30,7338	30,7490	30,7590	30,7348	30,7330	30,7557	30,7162	30,7352	30,7522	
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	
Aşınma Miktarı	0,0007	0,0013	0,0018	0,0010	0,0016	0,0023	0,0018	0,0030	0,0050	
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	
Ortalama	0,0005	0,0009	0,0014	0,0007	0,0011	0,0017	0,0012	0,0020	0,0032	
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	

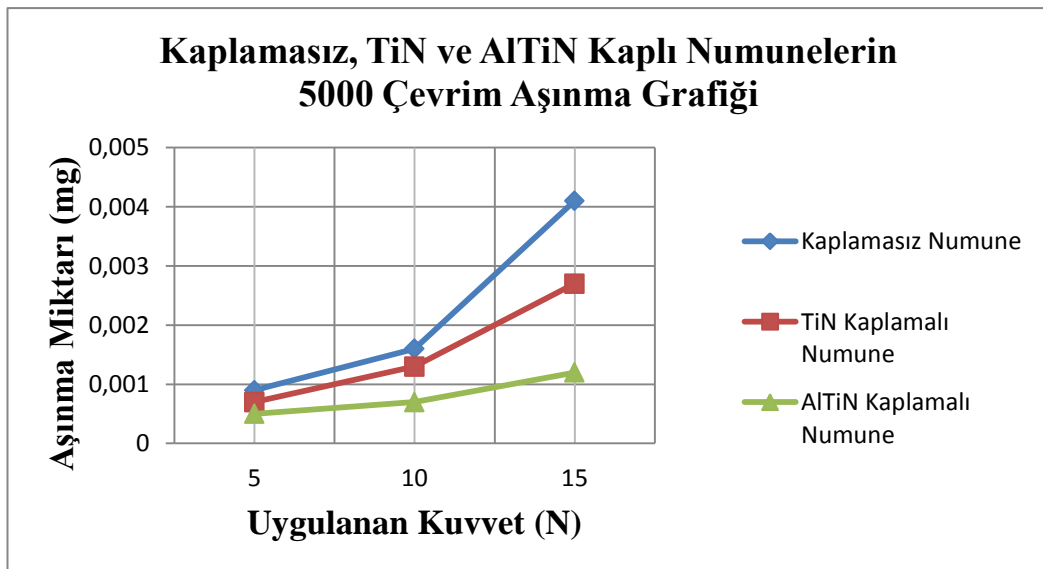
Kaplamasız ve TiN kaplı numunelerde olduğu gibi AlTiN kaplı numunelerinde, deney öncesinde ağırlıkları hassasiyeti 1mg olan hassas dijital terazide ölçülmüştür. Daha sonra ileri geri aşınma cihazında belirlenen yol ve kuvvette aşınma işlemi gerçekleştirildikten sonra numuneler tekrar

hassas dijital terazide ölçülerek aşınmadan dolayı meydana gelen ağırlık kayıpları tespit edilmiştir.

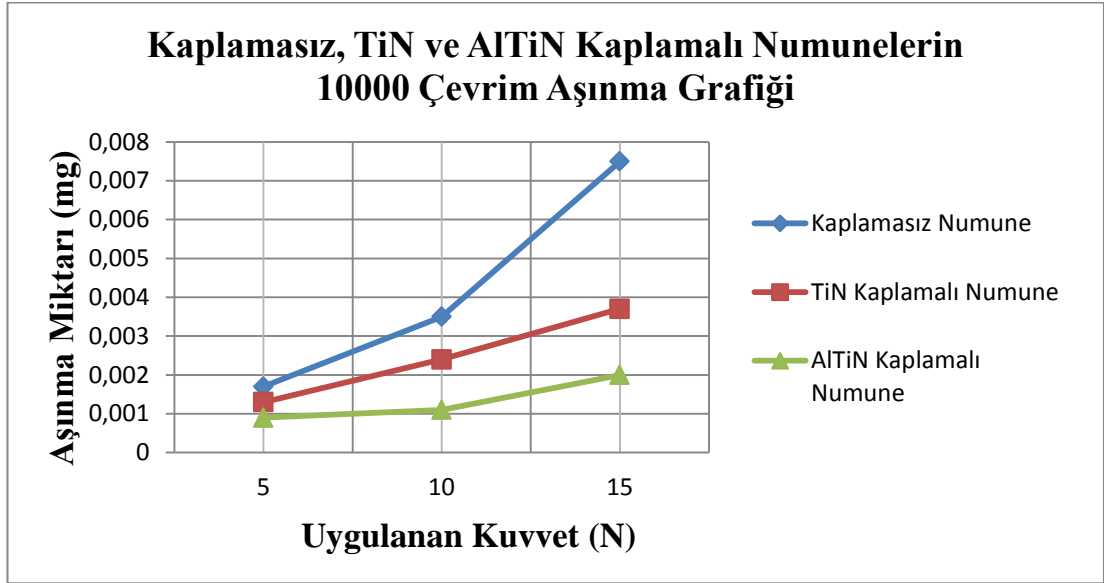


Şekil 8.3. 5N, 10N ve 15 N Yükte AlTiN kaplı numunenin aşınma grafiği

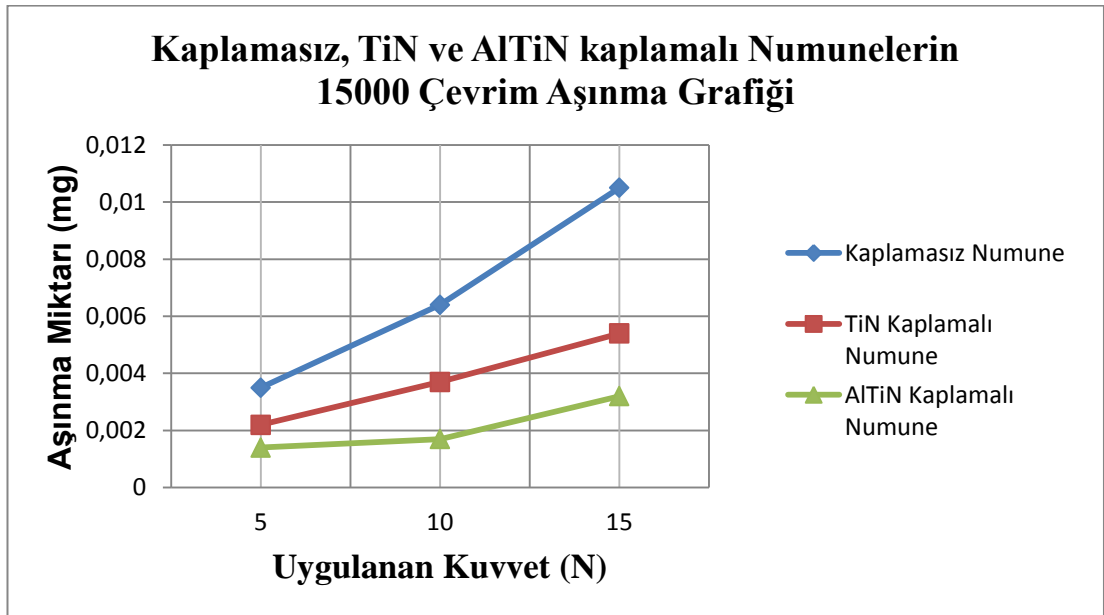
Şekil 8.3'deki grafik incelediğinde AlTiN kaplı numunenin aşınma miktarı uygulanan kuvvetle doğru orantılı olarak artmıştır. Çevrim süresi aşınma ile doğru orantılıdır. Çevrim süresi arttıkça aşınmanın arttığı, Çevrim süresi azaldıkça aşınmanın azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 8.4. Kaplamasız, TiN ve AlTiN kaplamalı numunelerin 5000 çevrim aşınma grafiği



Şekil 8.5. Kaplamasız, TiN ve AlTiN kaplamalı numunelerin 10000 çevrim aşınma grafiği



Şekil 8.6. Kaplamasız, TiN ve AlTiN kaplamalı numunelerin 15000 çevrim aşınma grafiği

Şekil 8.4 – Şekil 8.5 ve Şekil 8.6 incelendiğinde uygulanan kuvvete bağlı olarak en fazla aşınmanın kaplamasız numunede olduğu, en az aşınmanın ise AlTiN kaplı numunede olduğu görülmektedir. AlTiN kaplı numunelerin TiN kaplı ve kaplamasız numunelere göre daha az aşınması kimyasal

stabilitesine, sertliğine ve düşük sürtünme katsayısına bağlı olduğu düşünülmektedir.

8.2. Numunelerin Mikrosertlik Metodu ve Ölçümü

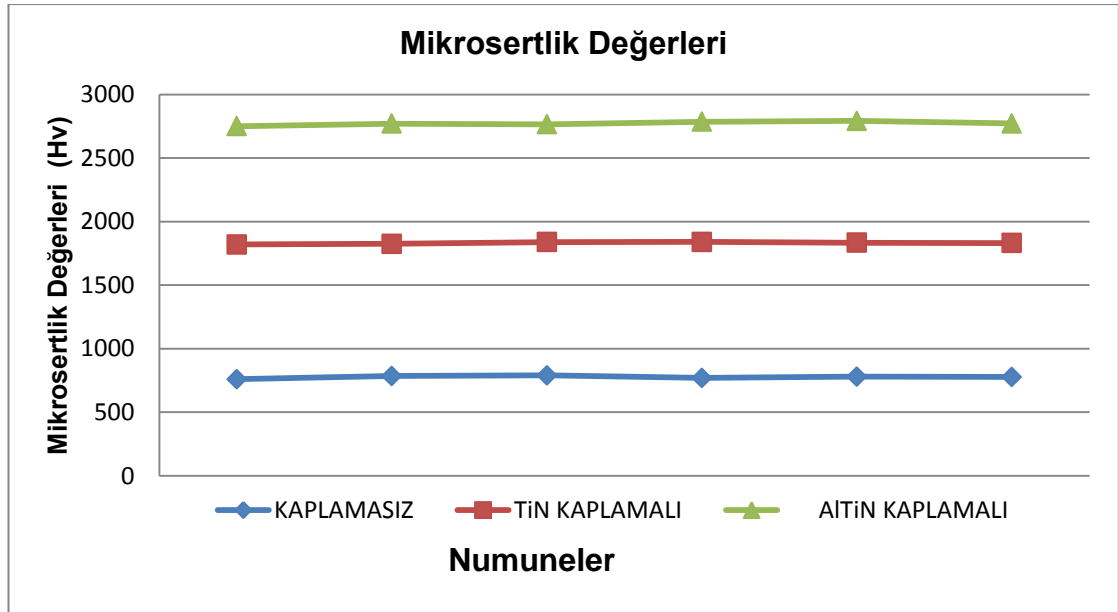
Kaplamasız, TiN kaplamalı ve AlTiN kaplamalı numunelerin mikrosertlik testleri İnönü Endüstri ve Meslek Lisesi Metal İşleri Bölümünde bulunan MHT 2 marka mikro sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır (Resim 8.1). Numunenin yüzeyinden yapılan mikrosertlik testi verileri Çizelge 8.4'de gösterilmektedir.



Resim 8.1. Mikrosertlik ölçüm cihazı

Çizelge 8.4. Numunelerin mikrosertlik değerleri

NUMUNE	1. Ölçüm (Hv)	2. Ölçüm (Hv)	3. Ölçüm (Hv)	4. Ölçüm (Hv)	5. Ölçüm (Hv)	ORTALAMA (Hv)
KAPLAMASIZ	760	785	790	770	780	777
TiN KAPLAMALI	1820	1825	1838	1840	1834	1831
AITiN KAPLAMALI	2750	2770	2765	2785	2792	2772



Şekil 8.7. Numunelerin mikrosertlik grafiği

Kaplamasız, TiN kaplamalı ve AITiN kaplamalı numunelerin yüzeyinden 100 gr ağırlığında yük uygulanarak numune üzerinde beş ayrı noktadan sertlik ölçümleri yapılmış olup bunların ortalamaları Çizelge 8.4'de görüldüğü gibidir. AITiN kaplamalı numunelerin ortalama 2772 Hv sertlikte olup diğer numunelere göre en fazla sertliğe sahip numune olduğu görülmektedir. Numunelerin sertliğinde, uygulanan bias voltajı, kaplama kalınlığı ve kaplama sıcaklığının etkili olduğu düşünülmektedir. Taban malzemede sertlik kaybının

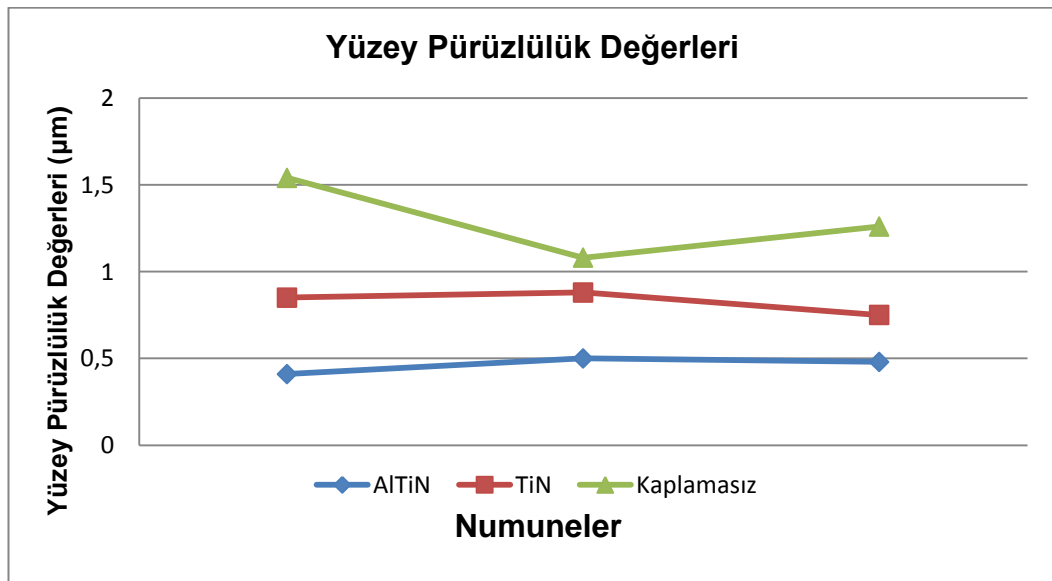
yaşanmaması için kaplama parametreleri taban malzemeye uygun seçilmiştir.

8.3. Numunelerin Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi

Numunelerin yüzey pürüzlülükleri İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi'nde Profilmetre yüzey pürüzlülüğü cihazıyla ölçülmüştür. Deney numuneleri aşınmaya maruz kaldıktan sonra profilmetrede numunenin üzerinde karşılıklı dört noktadan profilleri alınarak yüzey pürüzlülükleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 8.5. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri

Numune	1. Ölçüm (µm)	2. Ölçüm (µm)	3. Ölçüm (µm)	Ortalama (µm)
AlTiN	0,41	0,50	0,48	0,46
TiN	0,85	0,88	0,75	0,82
Kaplamasız	1,54	1,08	1,26	1,29



Şekil 8.8. Numunelerin yüzey pürüzlülük grafiği

Şekil 8.8'deki numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde en pürüzsüz yüzeyin AlTiN kaplamalı numunede olduğu görülmektedir. TiN kaplamalı numunenin kaplamasız numuneden daha pürüzlü bir yüzeye sahip olmasının sebebi TiN kaplamasının numune yüzeyine düzgün bir şekilde dağılmamasından ve soğuk iş takım çeliğinin parlatılabilirlik özelliğinin iyi olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

8.4. SEM Görüntüleri ve EDS Analizleri

Numunelerin kesitten ve yüzeyden sem görüntüsü KOSGEB ikitelli metal kalite kontrol test laboratuvarında taramalı elektron mikroskobu (SEM) HITACHI cihazında alınmıştır. Kaplama tabakasıyla malzeme arasındaki analizler yine aynı cihazda Enerji Dağılımlı X Işınları Spektrometresi (EDS) ile gerçekleştirilmiştir.

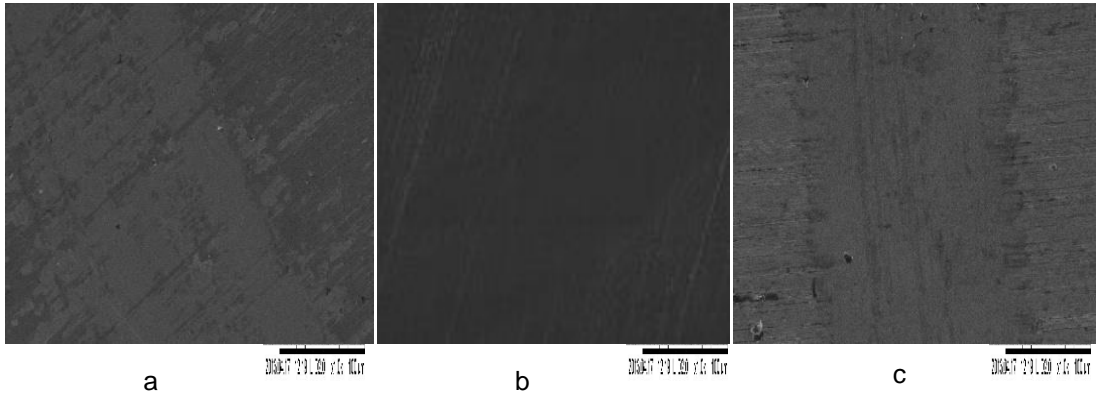


Resim 8.2. SEM (Scanning Electron Microscope) cihazı

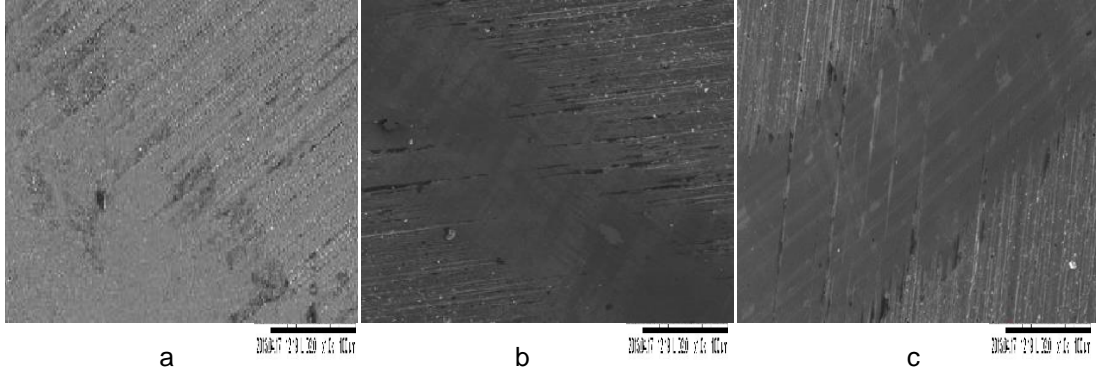
SEM (Scanning Electron Microscope), kondansatör objektif, orta mercek ve projektör gibi çeşitli elektromanyetik merceklerden oluşur. Tungsten telden yapılmış flamana 10kV-100kV arasında değişen bir gerilim uygulaması sonucu koparılan elektronlar kondansatör mercek tarafından numune üzerine odaklanarak görüntü alınır.

Bu çalışmada alınan görüntülerde flamana 30 kV gerilim uygulanmış olup bu görüntüler metalografik amaçlı değil derinliği göstermek amaçlı görüntülenmiştir.

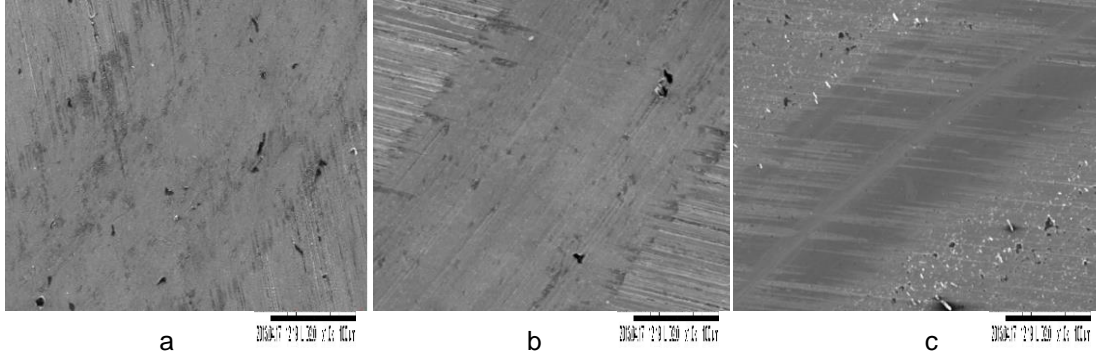
SEM görüntüleri ve EDS (Energy Dispersive Spectrum) analizleri elementlerin atom ağırlıklarına bağlı olarak inceleme bölgesinde ne kadar olduklarını grafiksel ve yüzde olarak belirtmektedir. Resim 8.3'de-Resim 8.5'de numunelerin 6000 büyültmedeki SEM görüntüleri verilmiştir.



Resim 8.3. Kaplamasız numunelerin 10 N yük altında a) 5000 çevrim, b)10000 çevrim, c) 15000 Çevrim alümina top ile aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri



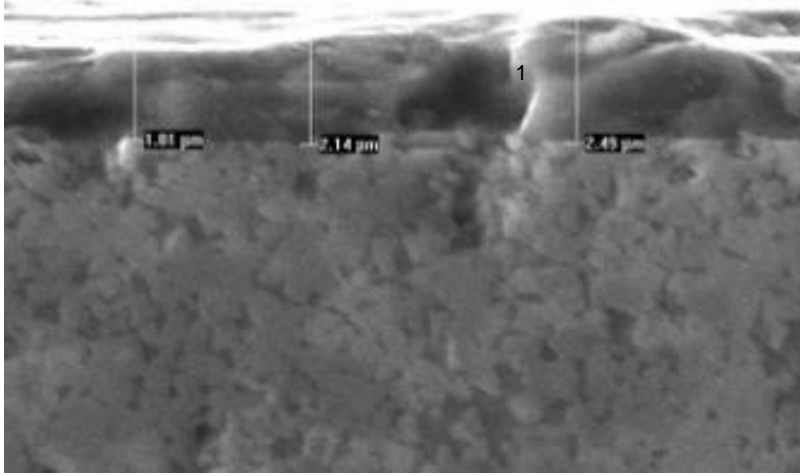
Resim 8.4. TiN kaplamalı numunelerin 10 N yük altında a) 5000 çevrim, b)10000 çevrim, c) 15000 Çevrim alümina top ile aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri



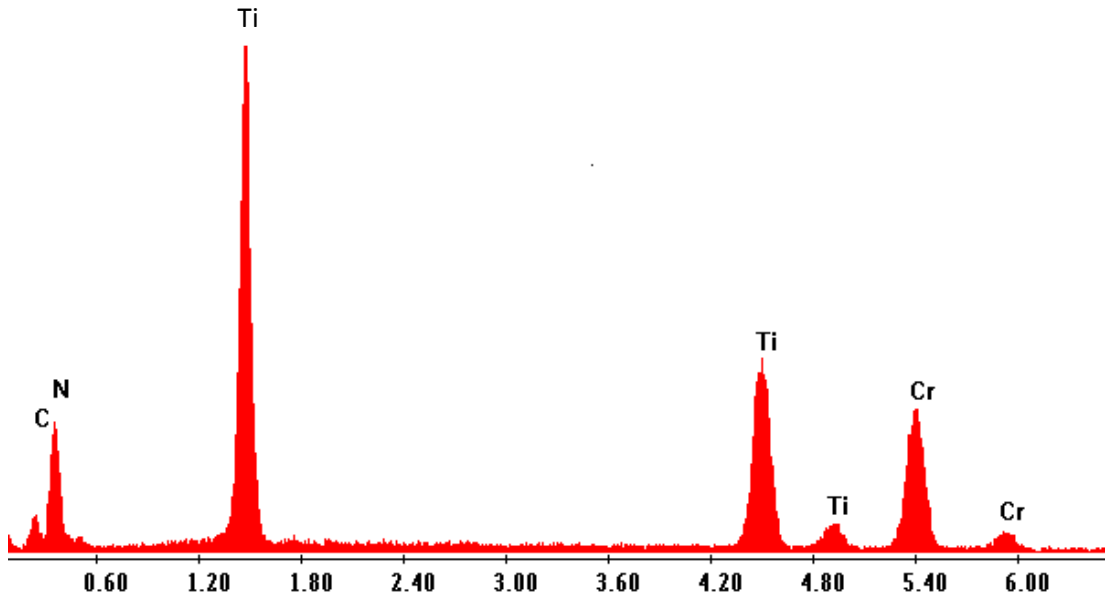
Resim 8.5. AlTiN kaplamalı numunelerin 10 N yük altında a) 5000 çevrim, b)10000 çevrim, c) 15000 Çevrim alümina top ile aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri

Resim 8.3, Resim 8.4 ve Resim 8.5.'deki numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, aynı yükte aşındırıcı alümina top boyutunun azalması ile aşınma kanallarının ve derinliğinin azaldığı, aşınma kanallarının daha da daraldığı görülmektedir.

Kaplamanın yüzey bölgesinden alınan SEM görüntüsünde yüzeyde pürüzlülüğün çok olduğu, aşınma doğrultusunda küçük parçacıkların olduğu tipik bir aşınma olduğu gözlemlenmektedir.



Resim 8.6. TiN Kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü



Şekil 8.9. TiN kaplamalı numunenin kesitteki kaplama yüzeyinden alınan EDS analizi

Acquisition Time : 12:20:30 Date : 17-Apr-2013

EDAX ZAF Quantification (Standardless)

Elem Wt % At %

C K 11.12 22.51

N K 19.21 33.35

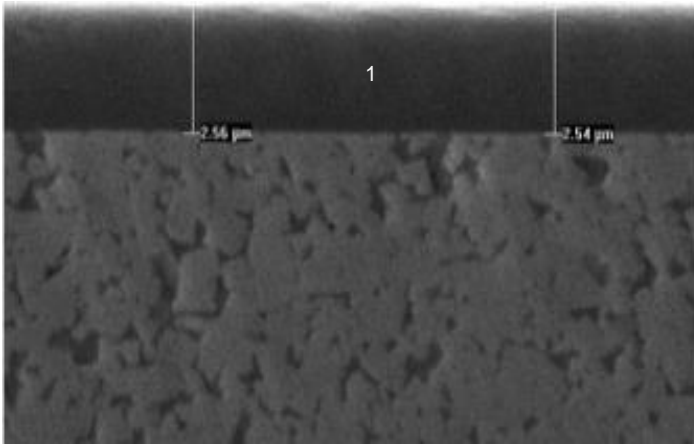
TiK 55.57 10.44

CrK 24.32 11.37

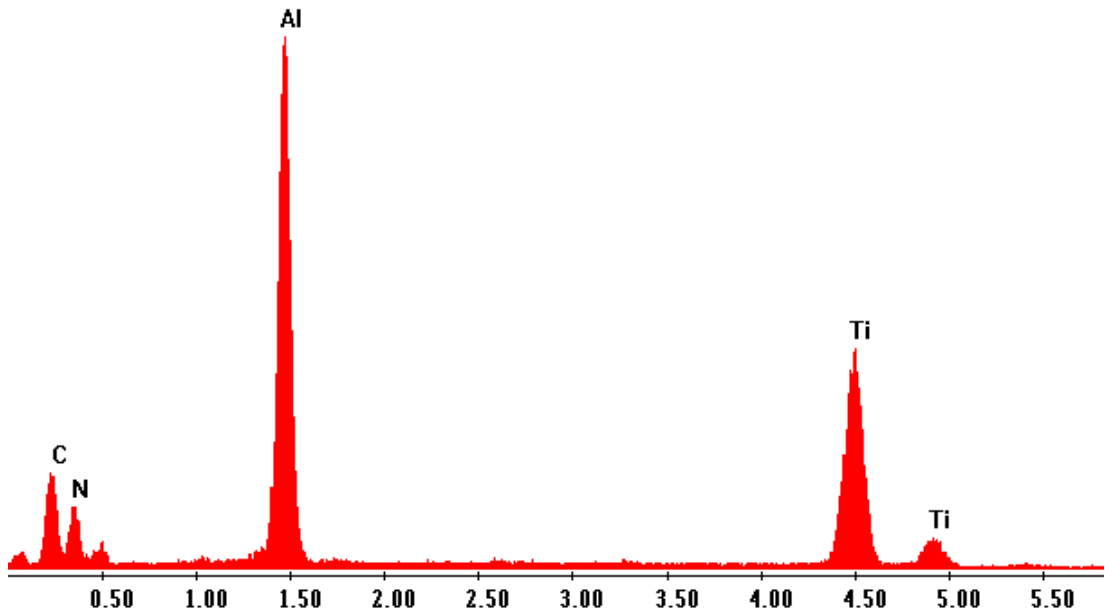
Total 100.00 100.00

Resim 8.6'da TiN kaplamalı numunenin kesitten SEM görüntüsü incelendiğinde, kaplamanın numune üzerinde sürekli ve homojen olduğu, kaplamanın ana malzemeye difüze etmediği gözlemlenmektedir. Kaplama kalınlığı yaklaşık olarak 2,14 μm ölçülmüştür.

Resim 8.6'daki "1" numaralı bölgeden EDS analizi yapıldığında (Şekil 8.9), Ti elementinin yoğun miktarda olduğu görülmektedir.



Resim 8.7. AlTiN Kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü



Şekil 8.10. AlTiN kaplamalı numunenin kesitteki kaplama yüzeyinden alınan EDS analizi

Acquisition Time : 12:22:57
Date : 17-Apr-2013
EDAX ZAF Quantification (Standardless)
Elem Wt % At %
C K 13.86 41.00
N K 8.94 23.49
AlK 61.69 21.94
TiK 15.50 13.57
Total 100.00 100.00

Resim 8.7'de AlTiN kaplamalı numunenin kesitten SEM görüntüsü incelendiğinde, kaplamanın numune üzerinde sürekli ve homojen olduğu, kaplamanın ana malzemeye difüze etmediği gözlemlenmektedir. Kaplama kalınlığı yaklaşık olarak 2,55 μm ölçülmüştür. Resim 8.7'deki "1" numaralı bölgeden EDS analizine bakıldığında (Şekil 8.10), C elementinin yoğun miktarda olduğu görülmektedir.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

9.1. Sonuçlar

Malzemeye kaplama yapılma suretiyle kaplamasız, TiN ve AlTiN kaplamalı numuneler kullanılarak kuru sürtünme ve oda sıcaklığı ortamında yapılan çalışmada, alınan yol ve yükün değişken parametreler kullanılarak ileri geri aşınma test cihazı deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. PVD yöntemiyle DIN 1.2379 çeliklerinde TiN ve AlTiN tabakası başarıyla oluşturulabilmektedir.
2. Kaplamasız deney numunesi ile TiN ve AlTiN kaplı deney numunelerini aşınma dirençleri karşılaştırıldığında 5N,10N ve 15N yükte kaplamasız numunelerin AlTiN kaplamalı numunelerden %200 fazla,TiN kaplamalı numunelerden de %100 daha fazla aşındığı gözlemlenmiştir.TiN kaplamalı numunelerin de AlTiN kaplamalı numunelerden %100 daha fazla aşındığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç ile, kaplamalı numunelerin aşınma dirençlerinin daha fazla olduğu görülmüştür.
3. En fazla sürtünmenin kaplamasız, en az sürtünmenin ise AlTiN kaplamalı numunelerde gerçekleştiği görülmektedir.
4. Deney numunelerinin yapılan mikrosertlik deneylerinde en yüksek değer AlTiN kaplı numunelerde görülmüştür. Aşınma deneyleri verilerinden de anlaşıldığı gibi aşınmaya karşı en fazla direnci AlTiN kaplı numune göstermiştir.
5. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerine bakıldığında en pürüzsüz yüzeyin AlTiN kaplı numunede olduğu tespit edilmiştir.

6. Deney numunelerinin SEM görüntüleri incelendiğinde parlamış kaplama bölgesinde oksit tabakalarının oluştuğu, aşınmanın yüzeyde abrasiv karakterde olduğu ve tabaka halinde olmadığı gözlenmiştir. Bu sonuç kaplamanın yapışma mukavemetinin yüksek olduğunu göstermektedir.

9.2. Öneriler

Bu çalışmada DIN1.2379 çeliklerinde aşınmanın zamana ve yüke bağlı olarak incelenmesinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Literatür araştırmasına bakıldığında farklı parametreler uygulanarak aşınma olayının değerlendirildiği görülmektedir.

Yapılan çalışmada imkânların kısıtlı olması nedeniyle çok farklı parametre kullanılamamıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda kaplama kalınlığının ve farklı yüklerin bu malzeme üzerinde aşınmaya etkisi incelenebileceği değerlendirilmektedir.

Bu çalışma her ne kadar TiN ve AlTiN kaplamaların aşınma davranışlarına yönelik olsa da, PVD metoduyla üretilen ince sert kaplamaların tribolojik özelliklerini kısmen yansıttığı söylenebilir. Bu çalışma, bundan sonra kaplamalarla ilgili yapılacak çalışmalarda fikir verici bir kaynak olarak kullanılabilir.

Deneylerde kullanılan taban malzemenin aşınmaya maruz bırakılmış bir uygulama alanına sahip olduğu düşünülen kalıp zımbalarından hareketle yüksek hız çeliği seçilmiştir. Kalıp zımbalarının kullanıldığı deneysel çalışmalarımızda çeşitli kaplama ve yük parametreleri kullanılmıştır. Araştırmacılar yapacakları çalışmalarda farklı kaplama yöntemleri, taban malzemeleri veya farklı şartların etkilerini inceleyebilir ve karşılaştırılabilirler.

Bu çalışmada 0,5 m/s kayma hızında ve 120 m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Kayma hızı ve kayma mesafesi değiştirilerek aşınma deneyleri yapılabilir. Ayrıca yağlı ortamda da aşınma incelenebilir.

Aşınma deneyi belirli zaman aralıklarında durdurulup zamana bağımlı aşınma miktarı veya alınan yola bağlı aşınma miktarı belirlenebilir.

Bu alışmada DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin abrasiv aşınma davranışları incelenmiştir. Başka bir çalışmada adhesiv aşınma davranışları incelenebilir.

Çalışmada kullanılan kaplamanın yöntemi olan PVD değiştirilebilir (CVD,DVD gibi), ayrıca yapılan kaplama eşidi TiN ve AlTiN yerine TiC, TiCN, CrN, TiAlN, ZrN, Dominizer, Maximizer, Super AlTiN, DeepDraw ve UltraCast gibi değişik kaplamalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Dearnley, P. A., "Thin Hard Coating For Tribological Protection", **Heat Treatm.Met.**, 83–91 (1987).
2. Sert, H., "PVD ile TiN Kaplanmış Alüminyum Ekstürüzyon Kalıplarının Yüzey Özellikleri ve Aşınma Performanslarının Deneysel İncelenmesi", Doktora Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 1-47 (1997).
3. Tsao, C., "Prediction of flank wear of different coated drills for JIS SUS 304 stainless steel using neural network", **Journal of Material Processing Technology**, 5618: 1-7 (2002).
4. Solak, A., İşbir, A., "Elektro biriktirme ile metal kaplama teknolojisi", **Standard**, 470: 67-68 (2001).
5. Eryılmaz, O. L., "ZrB-ZrBN çok katlı kaplamaların korozyon davranışı", **Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul Teknik Ün. Fen BİL Ens., İstanbul, 6-32 (1996).
6. Tönshoff, H., Karpuschewski, B. Mohlfeld, A. Seegers, H., "Influence of stress distribution on adhesion strength of sputtered hard coatings", **Thin Solid Films**, 332: 146-150 (1998).
7. Sert, H., Karamış, M. B. "PVD ile TiN kaplı ve Kaplamasız H13 Çeliğinin XRD ve XRS Çalışmaları" **Makine Tasarım Teorisi ve Modern İmalat Yöntemleri Konferansı**, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1-10 (1997).
8. Scoles, G. E., "Atomic and Molecular Beam Methods", **Oxford University Press**, 1: New York, (1988).
9. Reichelt, K., Jiang, X., "The preparation of TiN films by physical vapour deposition methods", **Thin Solid Films**, 91-92, 110-125 (1990).
10. Sert, H., Meriç, C., "Aşınan metallerin hayata kazandırılmasında yeni bir yöntem; çelik toz püskürtme mekanik testleri", **5. Ulusal Makine Tasarımı ve İmalat Kongresi**, ODTÜ, Ankara (1992).
11. Miao, Q., Pan, D., "CrN–TiN multilayer coating on magnesium alloy AZ91 by arc-glow plasma depositing process", **Surface & Coatings Technology**, 5077-5080 (2007).

12. Baragetti, S., "Fatigue resistance of steel and titanium PVD coated spur gears", *International Journal of Fatigue*, 1893–1903 (2007).
13. Park, W., Kim, H., "Coatings Material of TiN, TiAlN and TiSiN by Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition For Mechanical Applications", *Journal Of Material Processing Technology*, 130: 254-259 (1998).
14. Özses, B., "Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgahlarında Değişik İşleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *G.Ü. Makine Mühendisliği Bölümü*, Ankara, 1-36 Ocak (2002).
15. Yalçın, B., Yılmaz, N., "Ark PVD Yüzey Kaplama Metoduyla Titanyum nitrid (TiN) Kaplanmış Matkap Takımlarında Takım Aşınmasının Deneysel olarak incelenmesi", *Yüzey İşlemleri Dergisi*, 300-304 (2000).
16. Gökkaya, H., Sur, G., Dilipak, H., "PVD ve CVD Kaplamalı Sementit Karbür Kesici Takımların İşleme Parametrelerine Bağlı Olarak İncelenmesi", *Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi*, 4 (7): 473-478 (2004).
17. Tay, B., Shi, X., Yang, H., Chua, D., Teo, S., "The Effect of Deposition Conditions on the Properties of TiN Thin Films Prepared by Filtered Cathodic Vacuum-Arc Technique", *Surface and Coatings Technology*, 229-233 (1999).
18. Sert, H., Can, A., "AISI 5140 çeliğinin tornalanmasında kesme ve kaplama değişkenlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi" *II. Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi*, Konya, 125-135 (2003).
19. Padley, S., Devi, C., "Single Layer and Multilayer Wear resistant coatings of Ti, Al, N a review", *Material Science and Engineering*, 342, 58-79 (2003).
20. Gökkaya, H., Nalbant, M., "Kaplama Çeşidi ve İşleme Parametrelerine Bağlı Olarak Takım-Talaş Ara Yüzey Sıcaklığı ve Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişim", *5.Uluslararası İleri Teknolojileri Sempozyumu (IATS'09)*, 1-8 (2009).

21. Totik, Y., Efeoğlu, İ., Gavgalı, M., Sadeler, R., "Isıl İşlem Görmüş (TiAl)N Seramik Filmin Yapısal özelliklerinin Araştırılması", **Umtik2000_87**, 1-6 (2000).
22. Martin, J., Bendavid, A., "The Filtered Arc Process and Materials Deposition", **Surface and Coating Technology**, 142-144 (2001).
23. Öztürk, A., Ezirmik, V., Eryılmaz, O., Erdemir, A., "Comparative tribological behaviors of TiN-, CrN- and MoN-Cu nanocomposite coatings", **Tribology International** 41-49, 49-59 (2008).
24. Özgür, A. E., Yalçın, B., Koru, M., "Investigation of the wear performance and thermal diffusivity properties of M41 tools steel coated with various film coatings", **Materials and Design** (2008).
25. Paulitscha, J., Mayrhofer, P., "Structure and mechanical properties of CrN/TiN multilayer coatings prepared by a combined HIPIMS/UBMS deposition technique", **Thin Solid Films**, (2008).
26. Prengel, H., Jindal, P. C., Wendt, "New Class of High Performance PVD Coatings for Carbide Cutting Tools", **Surface and Coatings Technology**, 25-34 (2001).
27. Ranea. C., "Wear Resistance of Thin Coatings Based on Titanium", **Balkanrib**, Kayseri, 783-788 (2002).
28. Başman, G., "GGG 40sınıfı küresel grafitli dökme demirlerin yorulma davranışlarına TiN kaplamanın etkisi", Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-34 (1998).
29. Tuck, J. R., Korsunsky, A. M., Bhat, D., " Indentation Harness Evaluation of Cathodic Arc Deposited Thin Hard Coatings", **Surface and Coatings Technology**, 63-74 (2001).
30. Çınar, O., "TiAlN, TiN Tek ve Çok Katlı Kaplamaların Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 1-50 (1998).
31. Karamış, M. B., "Abresiv Aşınma Mekanizmasında Yüzey Basıncın Aşınmaya Etkisi" **2. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi**, 493-500 (1986).

32. Tanaka, Y., Ichimiya, N., Onishi, Y., Yamada Y., "Structure and Properties of Al-Ti-Si-N Coatings Prepared by the Cathodic Arc Ion Plating Method for High Speed Cutting Applications", ***Surface and Coatings Technology***, 146-147, 215-221 (2001).
33. Zhengyang, L., Wubiao, Z., Yong, Z., Guiying, L., Eryan, C., "Effects of Superimposed Pulsed Bias on TiN Coating in Cathodic Arc Deposition", ***Surface and Coatings Technology***, 131, 158-161 (2000).
34. Mustapha, N. M., Howson, R. P., "Reactive Filtered Arc Evaporation", ***Vacuum***, 60, 361-368 (2001).
35. Sert, H., Karamış, M. B., "PVD ve CVD yöntemleriyle yüzey kaplama ve kaplama özellikleri", ***5. Denizli Malzeme Sempozyumu***, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 572-575 (1993).
36. Öztürk, U., "AISI 3343 Çeliği Kalıp Zimbalarının Kaplamasız, PVD Tekniği ile TiN ve CrN Kaplayarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi" , Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-93 (2010).
37. İlivan, M., "Kaplamasız, Pvd Tekniği ile TiN ve CrN Kaplanmış DIN 1.2550 Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-100 (2012).
38. Çetin M., "Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışının geliştirilmesi", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-246 (2005).
39. İnternet: Yaman "Sürtünme Kuvveti", <http://w3.gazi.edu.tr/web/syaman/hareket9.html> (2008).
40. Babalık, F. C., "Makine Elemanları Ve Konstrüksiyon Örnekleri", ***Vipaş A.Ş.***, Uludağ Üniversitesi, Bursa, (2000).
41. Kato, K., Adachi, K., "Wear mechanisms", in Modern Tribology Handbook, B.Bhushan, ***CRC Press***, Florida, (2001).
42. İnternet: Belice T.Bilim ve Teknik Dergisi "Sürtünme" http://www.biltek.tubitak.gov.tr/merak_etikleriniz/index.php?kategori_d=4&soru_id=2695 (2002).

43. İnternet: IonBond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic A.Ş “İnce Sert Kaplamalar”
<http://www.pvd-coatings.com/home/default.asp> (2005).
44. Çalışkan, M. “ Katodik Ark PVD Yöntemiyle ZrN ve Zr/ZrN Kaplamaların Biriktirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2005).
45. IonBond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic A.Ş. “**Döküman ve Teknik Bilgi Broşürleri**”, Ümraniye/İstanbul, (2011).
46. Titanit Ultra Sert Kaplamalar San. ve Tic. Ltd. Şti., “**PVD Kaplama**” Zeytinburnu/İstanbul, (2009).
47. Çelik A., Alsarın A., Karakan M., “Plazma İle Termokimyasal Yüzey İşlemleri”, **Mühendis ve Makine**, (2002).
48. Özdemir, U., Erten, M., “Plazma (İyon) Nitrürleme Yöntemi Ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi”, **Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, 41-48 (2003).
49. İnternet: Wikipedia, “PVD İyon Demeti”
<http://en.wikipedia.org/wiki/IBAD> (2008).
50. İnternet: Foster H., IBAD, “PVD İyon Demeti Biriktirme”
<http://cim.aamu.edu/Activities/ibad.html> (2007).
51. ASM Handbook, “ASM International-USA, CVD/PVD Coatings **Corrosion**, 13: 456-457 (1992).
52. İnçal E., “PVD Yöntemi İle Kaplanan Hss Takım Çeliklerinin Karakterizasyonu Ve Aşınma Dayanımının İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2007).
53. Avuncan, G., “Talaş Kaldırma Ekonomisi Ve Kesici Takımlar”, **Makine Takım Endüstrisi A.Ş.**, Gebze, (1998).
54. Türküz, C., “Ark PVD Yöntemi ile TiN Kaplanmış Kesici Takımların Karakterizasyonu ve Performanslarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, (1997).

55. Holmberg, K., Matthews, A., "Coating Tribology", *Elsevier*, 11-21, 172-189, 351-371 (1994).
56. Gündüz O., Oktar F., Salman S., "Effect Of Pulse Bias Voltage On ZrN Coatings By Cathodic Vacuum Arc", *Journal Of Engineering And Natural Sciences Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi*, (2005).
57. Alpdoruk D., "Kesici Takımlar Üzerine Yapılan Tin Sert Seramik Film Kaplamanın Kesici Takım Ömrüne Etkisi", *İTÜ Fen Bilimleri Ens.*, İstanbul (1996).
58. Cansever, N., "Manyetik Alanda Sıçratma Yönteminde Son Gelişmeler", *Mühendis Ve Makine Dergisi*, (2001).
59. Bunshah, R. F., "High Rate Physical Vapor Deposition Processes", Agard Lecture Series No: 106 – *Materials Coating Techniques*, Harford House- London, P 21-26 (1980).
60. İnternet: Lermeps, "PVD Diyot Sıçratma"
[http://www.lermeps.com/PHP/HTML/textes.php?ref=process_depot %20pase%20vapeur.xls](http://www.lermeps.com/PHP/HTML/textes.php?ref=process_depot%20pase%20vapeur.xls) (2007).
61. Dağ, M., "PVD yöntemi ile TiN kaplanmış AISI 304 Çeliğinin Aşınma Deneyleri ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara 1-93 (2002).
62. Eryılmaz, L. O., 1996, "ZrB,ZrBN Çok Katlı Kaplamaların Korozyon Davranışı", Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (1996).
63. İnternet: ÖZ ÇELİK TİCARET LTD. ŞTİ., "PVD Rezidans ile Buharlaştırma"
<http://ozct.com.tr/tr/urunler.asp?sno=7>, İstanbul (2012).

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

Soyadı, adı :BÜLBÜL, Emrah Ali
Uyruğu :T.C.
Doğum tarihi ve yeri :03.09.1986 / BURSA
Medeni hali :Evli
Telefon :0(506) 911 64 07
e-mail :a.emrahbulbul@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümü	2008
Lise	Tophane E.M.L	2003

Yabancı Dil

İngilizce