

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FIRTINA OBÜSÜNÜN SİLAH SİSTEMİ ÜZERİNDE BULUNAN GAZ  
PAFTASININ KULLANIM ÖMRÜNÜN ARTTIRILMASI**

**MEHMET SAMİR IŞIK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. AYŞEGÜL AKDOĞAN EKER**

**İSTANBUL, 2016**

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FIRTINA OBÜSÜNÜN SİLAH SİSTEMİ ÜZERİNDE BULUNAN GAZ  
PAFTASININ KULLANIM ÖMRÜNÜN ARTTIRILMASI**

Mehmet Samir IŞIK tarafından hazırlanan tez çalışması 11.02.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.


**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER  
Yıldız Teknik Üniversitesi



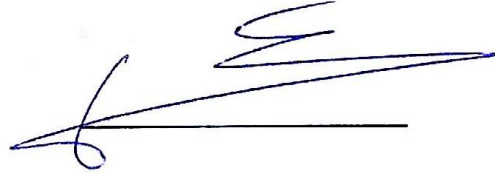
**Eş Danışman**

Yrd. Doç. Dr. Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM  
Yıldız Teknik Üniversitesi



**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Erdinç KALUÇ  
Kocaeli Üniversitesi



Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU  
İstanbul Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Ergün KELEŞOĞLU  
Yıldız Teknik Üniversitesi



## ÖNSÖZ

Dış güçlerin tehditlerine karşı; ülkelerin kendi teknolojilerini üretmeleri ve geliştirmeleri, dışa bağımlılığı azaltmak ve etkin bir caydırıcılık kazanmak adına oldukça önemlidir. Bu kapsamda, 1'inci Ana Bakım Merkez Komutanlığı önderliğinde üretilen T-155 K/M Fırtına Obüsü, Türk Silahlı Kuvvetlerimizin en önemli ateş güçlerinden biridir.

Tez çalışmalarım esnasında; öncelikle ihtiyaç duyduğum her konuda bana tüm desteği ve sabrı gösteren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER'e ve bana her zaman yol gösterici olan Yrd. Doç. Dr. Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM'a teşekkürlerimi sunarım. Bunun yanında, askeri konularda bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Celal EVCI, Dr. Mehmet MACAR, Dr. Ercan DEĞİRMENCİ ve mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca; numunelerimi hazırlamamda yardımcı olan 4'üncü Ana Bakım Merkez Komutanlığı yetkililerine, kaplama öncesi yüzey hazırlıklarını yaptığım Armsan Silah firmasına, kaplama işlemini gerçekleştirdiğim Ionbond-Tinkap firmasına teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bana daima destek olan eşim Burcu IŞIK'a ve bana büyük moral olan kızım Ceren'e teşekkür ederim.

Şubat, 2016

Mehmet Samir IŞIK

## İÇİNDEKİLER

---

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	x
ÖZET .....	xi
ABSTRACT.....	xii
<b>BÖLÜM 1</b>	
<b>GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1    Literatür Özeti .....	2
1.2    Tezin Amacı .....	6
1.3    Hipotez .....	6
<b>BÖLÜM 2</b>	
<b>OBÜSLER .....</b>	<b>8</b>
2.1    K/M Obüslerin Gövde Bölümleri.....	11
2.2    K/M Obüslerin Kule Bölümleri .....	11
2.3    K/M Obüslerin Silah Sistemleri .....	12
2.4    T-155 K/M Fırtına Obüsü .....	14
<b>BÖLÜM 3</b>	
<b>YÜZEY KAPLAMALARI .....</b>	<b>17</b>
3.1.    Uygulama Alanlarına Göre Kaplamalar .....	18
3.2.    Kaplama Malzemesine Göre Kaplamalar .....	18
3.2.1    Metalik Kaplamalar .....	18
3.2.2    Organik Kaplamalar .....	19
3.2.3    İnorganik Kaplamalar .....	19
3.3.    Uygulama Yöntemlerine Göre Kaplamalar .....	19
3.3.1    Akımsız Metal Kaplama .....	20

3.3.2	Elektrolitik Metal Kaplama .....	20
3.3.3	Sıcak Daldırma .....	21
3.3.4	Sıcak Püskürtme .....	22
3.3.5	CVD Kaplama .....	22
3.3.6	PVD Kaplama .....	23
3.3.6.1	Buharlaştırma Teknikleri .....	25
3.3.6.2	Sıçratma Teknikleri.....	31
3.3.6.3	Plazma ile Parçalanma .....	34
3.3.6.4	PVD Yöntemiyle Uygulanan Başlıca Kaplama Malzemeleri .....	35
<b>BÖLÜM 4</b>		
<b>AŞINMA .....</b>		<b>39</b>
4.1	Sürtünme .....	41
4.2	Adezif Aşınma .....	42
4.3	Abrazif Aşınma .....	43
4.4	Korozyon Aşınması.....	44
4.5	Yorulma Aşınması .....	45
<b>BÖLÜM 5</b>		
<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>		<b>46</b>
5.1.	Altlık Çelik Malzemenin Hazırlanması.....	46
5.2.	Kaplama İşlemleri.....	47
5.3.	Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Ölçülmesi .....	50
5.4.	Tuz Püskürtme Deneyi .....	51
5.5.	Aşınma Deneyleri .....	52
<b>BÖLÜM 6</b>		
<b>TARTIŞMA .....</b>		<b>62</b>
6.1	Yüzey Pürüzlülük Değerleri .....	62
6.2	Korozyon Davranışı .....	63
6.3	Sürtünme Katsayısı Değerleri.....	64
6.4	Özgül Aşınma Oranları .....	68
6.5	Yüzey Görüntüleri .....	70
6.5.1	TiN Kaplaması .....	71
6.5.2	CrN Kaplaması.....	72
6.5.3	TiAlN Kaplaması .....	73
6.5.4	TiN/CrN Kaplaması.....	75
6.5.5	CrN/AlTiN Kaplaması .....	79
6.5.6	Sert Krom Kaplaması .....	80

## BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER .....	81
KAYNAKLAR .....	83
ÖZGEÇMİŞ .....	87

## SİMGE LİSTESİ

---

$\mu\text{m}$	Mikrometre
A	Amper
Al	Alüminyum
B	Bor
BG	Beygir
C	Karbon
Cr	Krom
H	Hafniyum
mbar	Milibar
Mo	Molibden
mTorr	miliTorr
N	Nevton
Ni	Nikel
Nb	Niobyum
O	Oksijen
Pa	Paskal
s	Saniye
Ti	Titanyum
V	Vanadyum
V	Voltaj
W	Wolftram
Zr	Zirkonyum

## KISALTMA LİSTESİ

---

AISI	Amerikan Demir Çelik Endüstrisi
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alümina
AlTiN	Alüminyum Titanyum Nitrür
ASTM	Amerikan Malzeme ve Test Derneği
BN	Bor Nitrür
CNC	Bilgisayar Nümerik Kontrol
CrN	Krom Nitrür
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
DLC	Elmas Benzeri (Diamond Like Carbon)
EDS	Enerji Dağılımlı Spektroskopi
HfC	Hafniyum Karbür
HfN	Hafniyum Nitrür
HRC	Rockwell C Sertlik Değeri
HSS	Yüksek Hız Çeliği
HV	Vickers Sertlik Değeri
K/M	Kundağı Motorlu
MKEK	Makine Kimya Endüstri Kurumu
MoN	Molibden Nitrür
NbC	Niobyum Karbür
NbN	Niobyum Nitrür
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
Ra	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
RHA	Haddelenmiş Homojen Çelik Zırh
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SiO <sub>2</sub>	Silisyum Oksit
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrür
TiC	Titanyum Karbür
TiCN	Titanyum Karbo Nitrür
TiN	Titanyum Nitrür
TiO <sub>2</sub>	Titanyum Oksit
VN	Vanadyum Nitrür
WC	Volfram Karbür
ZrC	Zirkonyum Karbür



## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Endirekt silah sistemlerinin atış yörüngeleri ve menzilleri ..... 9
Şekil 2. 2	Kundağı Motorlu Obüs Görünümü ..... 10
Şekil 2. 3	Namlu ve namlu hamili kompleksi..... 13
Şekil 2. 4	Gaz paftasının obüs içerisinde görünümü ..... 13
Şekil 2. 5	Kama mekanizması ..... 14
Şekil 2. 6	T-155 K/M Fırtına Obüsü..... 15
Şekil 3. 1	Plasti dip uygulanmış otomobil jantları ..... 19
Şekil 3. 2	Akımsız nikel kaplama ..... 21
Şekil 3. 3	Sıcak daldırma galvaniz uygulaması..... 21
Şekil 3. 4	Sıcak püskürtme uygulaması..... 22
Şekil 3. 5	PVD yönteminin sınıflandırılması ..... 24
Şekil 3. 6	Aktive edilmiş buharlaştırma tekniğinin şematik gösterimi ..... 26
Şekil 3. 7	İyon kaplama tekniğinin şematik gösterimi ..... 27
Şekil 3. 8	Termiyonik ark kaplama tekniğinin şematik gösterimi..... 28
Şekil 3. 9	Sıcak namlu katot arkı tekniğinin şematik gösterimi ..... 29
Şekil 3. 10	Katodik noktadaki oluşumların aşamaları ..... 30
Şekil 3. 11	Katodik ark tekniğinin şematik gösterimi ..... 31
Şekil 3. 12	Sıçratma tekniği mekanizması şematik gösterimi ..... 32
Şekil 3. 13	Diyot sıçratma tekniği şematik gösterimi ..... 33
Şekil 3. 14	Triyot sıçratma tekniği şematik gösterimi ..... 33
Şekil 3. 15	Manyetik alanda sıçratma tekniği şematik gösterimi..... 34
Şekil 3. 16	Katodik ark yöntemi ile kaplanmış TiN zımbalar ..... 36
Şekil 4.1	Aşınma sistemi elemanları ..... 40
Şekil 4.2	Adezif aşınma ..... 43
Şekil 4.3	Abrazif aşınma..... 44
Şekil 4.4	Yorulma aşınması ..... 45
Şekil 5.1	Katodik ark PVD kaplama makinesi..... 49
Şekil 5.2	Kaplama kalınlığı ölçüm cihazı ..... 49
Şekil 5.3	Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı ..... 50
Şekil 5.4	Numunelerin tuz püskürtme cihazı içindeki yerleşimleri ..... 51
Şekil 5.5	Bilyalı aşınma deney cihazının şematik gösterimi [49] ..... 52
Şekil 5.6	$10^{-4}$ g ölçüm hassasiyetli terazi ..... 53
Şekil 5.7	TiN kaplamalı numuneye ait yüzey görüntüleri..... 56
Şekil 5.8	CrN kaplamalı numuneye ait yüzey görüntüleri ..... 57

Şekil 5.9	TiAlN kaplamalı numuneye ait yüzey görüntüleri.....	58
Şekil 5.10	TiN/CrN kaplamalı numuneye ait yüzey görüntüleri.....	59
Şekil 5.11	CrN/AlTiN kaplamalı numuneye ait yüzey görüntüleri.....	60
Şekil 5.12	Sert Krom kaplamalı numuneye ait yüzey görüntüleri.....	61
Şekil 6.1	Kaplama malzemesine göre yüzey pürüzlülük değerleri .....	63
Şekil 6.2	Kaplama malzemesine göre korozyon hızları .....	64
Şekil 6.3	Kaplamaların yüzey pürüzlülük değerleri ile kararlı hale geçiş mesafelerinin karşılaştırılması .....	65
Şekil 6.4	Oda sıcaklığında elde edilen ortalama sürtünme katsayıları.....	66
Şekil 6.5	600 °C sıcaklıkta elde edilen ortalama sürtünme katsayıları.....	67
Şekil 6.6	TiAlN kaplamasının 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyi sonrası 100x büyütmedeki yüzey görüntüsü .....	67
Şekil 6.7	Oda sıcaklığında elde edilen özgül aşınma oranları.....	69
Şekil 6.8	600 °C sıcaklıkta elde edilen özgül aşınma oranları.....	70
Şekil 6.9	TiN kaplamalı numunelerin, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonrasında farklı bölgelerinden alınan yüzey görüntüleri.....	72
Şekil 6.10	CrN kaplamalı numunelerin, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonrasında farklı bölgelerinden alınan yüzey görüntüleri.....	73
Şekil 6.11	TiAlN kaplamalı numunelerin, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonrasında farklı bölgelerinden alınan yüzey görüntüleri .....	75
Şekil 6.12	TiN/CrN kaplamalı numunelerin, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonrasında farklı bölgelerinden alınan yüzey görüntüleri .....	76
Şekil 6.13	TiN/CrN kaplamalı numuneden, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonucunda alınan yüzey görüntüsü ve görüntü içerisindeki bölümün (001 bölgesi) EDS analizi .....	77
Şekil 6.14	TiN/CrN kaplamalı numuneden, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonucunda alınan yüzey görüntüsü ve görüntü içerisindeki bölümün (002 bölgesi) EDS analizi .....	78
Şekil 6.15	CrN/AlTiN kaplamalı numunelerin, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonrasında farklı bölgelerinden alınan yüzey görüntüleri .....	80
Şekil 6.16	Sert krom kaplamalı numunelerin, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonrasında farklı bölgelerinden alınan yüzey görüntüleri .....	80

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 3. 1 PVD ve CVD kaplama yöntemlerinin karşılaştırılması.....	25
Çizelge 3. 2 TiN kaplamasına ait genel özellikler.....	36
Çizelge 3. 3 CrN kaplamasına ait genel özellikler .....	36
Çizelge 3. 4 TiAlN kaplamasına ait genel özellikler .....	37
Çizelge 3. 5 AlTiN kaplamasına ait genel özellikler .....	38
Çizelge 5.1 AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu.....	47
Çizelge 5.2 Katodik ark PVD kaplama parametreleri .....	48
Çizelge 5.3 Hazırlanmış numunelere ait kaplama kalınlıkları.....	49
Çizelge 5.4 Yüzey pürüzlülük değerleri.....	50
Çizelge 5.5 Tuz püskürtme deneyi sonunda elde edilen korozyon hızları .....	51
Çizelge 5.6 Aşınma deney parametreleri .....	53
Çizelge 5.7 Oda sıcaklığında elde edilen aşınma deneyi sonuçları.....	54
Çizelge 5.8 600 °C sıcaklıkta elde edilen aşınma deneyi sonuçları.....	55
Çizelge 6.1 Sürtünme katsayılarının ilk kararlı duruma geçiş mesafeleri.....	65

---

**FIRTINA OBÜSÜNÜN SİLAH SİSTEMİ ÜZERİNDE BULUNAN GAZ  
PAFTASININ KULLANIM ÖMRÜNÜN ARTTIRILMASI**

Mehmet Samir IŞIK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER

Eş Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM

Orduların vazgeçilmez silah sistemlerinden olan indirekt atış sistemleri içerisinde önemli paylardan birisi de Obüslere aittir. Obüsler; uzun atış menzilleri, zor arazi şartlarında bile üstün hareket kabiliyetleri ve etkili ateş güçleri sayesinde dış tehditlere karşı caydırıcılığı yüksek olan silah sistemleridir. Bu kapsamda, 1'inci Ana Bakım Merkez Komutanlığı'nda üretilen T-155 K/M Fırtına Obüsü de Ordumuzun en önemli ateş gücünü oluşturmuştur.

Bu çalışmada T-155 K/M Fırtına Obüsünün namı grubuna ait olan gaz paftasının ömrünün arttırılması amacıyla, çelik üzerine kaplanan sert krom kaplamasıyla karşılaştırmak üzere; katodik ark PVD yöntemiyle TiN, CrN ve TiAlN tek katman, TiN/CrN ve CrN/AlTiN çift katman kaplamalı numuneler hazırlanmıştır. Numunelerle; yüzey pürüzlülüğü ölçüm deneyi, tuz püskürtme deneyi, oda sıcaklığı ve 600 °C sıcaklıkta aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri sonrasında numunelerin yüzey görüntüleri alınmıştır. Elde edilen veriler yardımıyla kaplamaların; yüzey pürüzlülük değerleri, korozyon davranışı, sürtünme katsayısı değerleri, özgül aşınma oranları ve yüzey görüntüleri karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Sonuç olarak, TiN/CrN kaplaması diğer kaplamalara göre, aşınma direnci açısından daha iyi sonuç verdiği için, gaz paftası üzerine kaplanmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fırtına obüsü, gaz paftası, PVD kaplama, aşınma dayanımı

**IMPROVEMENT THE LIFE CYCLE OF OBTURATOR RING IN THE WEAPON  
ASSEMBLY OF THE TUSPH STORM**

Mehmet Samir IŞIK

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Ayőegöl AKDOĞAN EKER

Co-Adviser: Asst. Prof. Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM

The Indirect Firing Systems, which is one of the essential in military weapon systems, belongs to the Howitzer. The Howitzers have a high deterrence against external threats owing to firing long range, the high mobility even in difficult terrain and weapon systems with through effective firepower. In this context, TuSpH Storm is the most important firepower in our military, that manufactured by 1st Base Maintenance Center Command.

In this study; in order to improve life cycle of obturator ring in the weapon assembly of the TuSpH Storm, prepared specimens coated single layer TiN, CrN, TiAlN and as well as double layer TiN/CrN, CrN/AlTiN deposited on steel to compare with hard chrome coated. Experimental study performed by roughness measurement, salt spray, wear tests at room temperature and 600 ° C temperature with specimens. After the wear test, images were obtained from surface of the specimens. Coatings examined and compared with surface roughness, corrosion behaviors, the coefficients of friction, specific wear rates and surface images by obtained experimental data.

Conclusion; in terms of wear resistance, TiN/CrN coating results are better than other coatings, it is appropriate to deposited on obturator ring.

**Keywords:** TUSpH storm, obturator ring, PVD coating, wear resistance

## BÖLÜM 1

---

### GİRİŞ

Bir ülkenin savunma sanayi alanındaki yerini; o ülkenin imkânları, sanayi altyapısı ve teknolojik düzeyi belirlemektedir. Türk Silahlı Kuvvetleri'nin envanterinde bulunan silah sistemleri, bunların yedek parçaları, malzeme, araç ve gereçler insan hayatına doğrudan etki edebilecek, bir ülkenin kaderini değiştirebilecek oranda önem arz etmektedir.

Savunma sanayi sektörü diğer sektörlerle göre daha yüksek maliyetli ürünlere sahiptir ve bu ürünlerinin büyük çoğunluğu kritiktir, gizlilik gerektirir [1]. Savunma sanayi ürünlerinin tek alıcısı devlettir. Bu alanındaki gelişmelere rağmen, TSK'nin savunma sanayi ürünleri ihtiyacının, ancak yüzde 20'ye yakın bölümünü yurtiçinden sağlanabilmektedir.

Gelişen teknoloji ile birlikte bu oran en kısa zamanda daha üst seviyelere çıkarılıp Türk Silahlı Kuvvetlerimizin dışa bağımlılığı azaltılmak zorundadır. Bu durum, devlet kurumları, üniversite, sanayi ve benzer alanlarda faaliyet gösteren kurum ve kuruluşların hedefi olmalıdır. Bu hedef kapsamında malzemesi, teknolojisi, üretimi yerli olan sistemler ortaya koyarak savunma sanayi geliştirilmek zorundadır.

Savunma sanayi alanında gelişme ancak sistematik bir yaklaşım ve süreç gerçekleştirildiğinde sağlanacaktır. Devlet politikası, bu sistematik yaklaşımın en üstünde yer almaktadır. Bu politika kapsamında Türk Silahlı Kuvvetleri'nin; silah sistemlerinin çeşitleri ve adetlerinden nasıl ve nerelerden temin edileceğine, yeni silah sistemlerinin alınmasından mevcut sistemlerin iyileştirilmesine kadar birçok konu yer almaktadır.

Mevcut sistemlerin iyileştirilmesinde, şüphesiz kullanıcı ve üreticinin işbirliği içerisinde olması, bu sistemlerin avantajları ve dezavantajlarının belirlenmesi ve geliştirilmesi adına her iki tarafın da Ar-Ge projeleri yürütmesi oldukça önemlidir.

T-155 kundağı motorlu (K/M) Fırtına Obüsü bu projelere oldukça güzel bir örnektir. 1'inci Ana Bakım Merkez Komutanlığı tarafından büyük çoğunluğu yerli olarak üretilen Fırtına güncel teknolojiye bağlı olarak her geçen gün geliştirilmektedir.

Fırtına obüsü için geliştirilmeye konu olan parçalarından birisi de gaz paftasıdır. Gaz paftası namli grubunun bir elemanı olup, atış esnasında kama ile namli arasındaki gaz sızdırmazlığını sağlayan elemandır. Mevcut kullanımda namli çeliği üzerine nikel (Ni) kaplanarak kullanılan gaz paftasının ömrü yaklaşık olarak 50 atım olarak belirlenmiştir. Bu atım sayısı paftanın değişim zorluğu, maliyet ve atışın güvenilirliği nedenlerinden dolayı arttırılmak istenmektedir.

Gaz paftasını alt yüklenici olarak üreten Makine Kimya Endüstri Kurumu (MKEK) modernizasyona giderek maraging çeliği üzerine nikel yerine sert krom kaplamayı denemiştir. Bunun sonucunda gaz paftası ömrünün 50 atımdan 200 atıma yükseltilmesi planlanmaktadır.

Bu tezde bahsi geçen tüm yorum ve düşünceler yazara aittir. Türk Silahlı Kuvvetlerinin ya da diğer kamu kurum ve kuruluşlarının görüşlerini yansıtmaz.

## **1.1 Literatür Özeti**

Gül vd. [2] AISI 3343 çeliğinin üzerine PVD yöntemiyle 50 A akım, 350 °C sıcaklık ve 60 dakika kaplama süresi ile CrN kaplayarak aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Aşınma deneylerini 10 N yük, 0,4 m/s hız ve 500 m, 750 m, 1000 m şeklinde 3 farklı toplam sürtünme mesafesinde gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlarda CrN kaplamalı numunenin kaplamasız numuneye oranla daha az aşındığı ortaya çıkmıştır. Toplam sürtünme mesafesi arttıkça kaplamasız numuneye göre avantajın %60'tan %53'e düştüğü hesaplanmıştır. Numunelerin iz genişlikleri incelendiğinde CrN kaplamalı numunede daha dar izlerin oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Ayrıca Kalkan vd. [3] katodik ark PVD yöntemiyle CrN kaplanmış, plazma nitrasyon yapılmış, ısıtılmamış DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin disk üzerine pin ile

aşındırma (pin on disc) cihazı ile aşınma performansını incelemişlerdir. Kaplama parametreleri -200 V bias voltajı, 50 A akım, 350 °C sıcaklık ve  $4 \times 10^{-4}$  mbar basınçtır. Deneyler 0,6 m/s hız, 25 N, 40 N ve 50 N yüklerde kuru sürtünme şartlarında gerçekleştirilmiştir. CrN kaplama yapılmış numunelerde aşınma kaybı ve oranının kaplamasız numunelere göre düşük olduğu tespit edilmiştir. CrN kaplama yapılan numunenin yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinin diğer numunelere göre daha düşük olduğundan aşınma ve yüzey abrazyon kusurlarının daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Bunlara ek olarak Bozyazı vd. [4] yüksek hız çeliği (HSS) üzerine elektrolitik sert krom kaplama ve ark PVD yöntemiyle kaplanmış CrN kaplamanın aşınma performansını incelemişlerdir. Deneyler oda sıcaklığı ve 60 °C sıcaklıkta ve 5 N, 10 N ve 30 N şeklinde üç farklı yük altında gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlarda CrN kaplamanın sert krom kaplamaya göre daha iyi aşınma özelliklerinin olduğu ve artan sıcaklık ile birlikte CrN kaplamanın daha da avantajlı olduğu elde etmişlerdir. Ark PVD yöntemiyle gerçekleştirilen CrN kaplamanın tribolojik özelliklerde iyi sonuç verdiği ispatlanmıştır.

Nordin vd. [5] ise tungsten karbür üzerine uygulanan çok katmanlı TiN/CrN kaplamanın mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Kaplama işlemleri -200 V bias voltajı, 450 °C sıcaklık, TiN ve CrN için sırasıyla  $1,7 \times 10^{-3}$  ve  $3 \times 10^{-3}$  mbar basınç değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyi sonuçlarında TiN/CrN çok katmanlı kaplamanın daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Zhou vd. [6] de TiAlN/VN çok katmanlı kaplamaların yüksek kuru aşınma dayanımı ve düşük sürtünme katsayısı hipotezini araştırmak üzere AISI 304 paslanmaz çelik üzerine katodik ark PVD (Fiziksel buhar biriktirme) yöntemiyle, -75 V bias voltajı ve 450 °C sıcaklık şartlarında TiAlN/VN kaplamışlardır. Kaplama öncesi tüm deney numunelerinin yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerini 0,02 µm den daha az olmasını sağlamışlardır. Kaplanan numuneler; 1N yük, 0,05 m/s hız, 3 farklı sıcaklık (oda sıcaklığı, 300 °C ve 635 °C) ve sırasıyla 1100 m, 550 m, 150 m toplam sürtünme mesafelerinde, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aşındırıcı kullanarak disk üzerine bilyalı (ball-on disc) aşındırma yöntemiyle deneye tabi tutulmuşlardır. Deney sonuçlarında sürtünme katsayısını oda sıcaklığında 0,53, 300 °C'de 1,03 ve 635 °C 'de 0,46 olmak üzere sıcaklığa bağlı değişken olduğu bulmuşlardır. Sıcaklık arttıkça, aşınma miktarının da arttığını gözlemlemişlerdir.



Ayrıca Zhou vd. [7] paslanmaz çelik üzerine uyguladıkları TiAlN/VN ve CrN/NbN çok katmanlı kaplamaların aşınma performanslarını incelemişlerdir. Numuneleri, -75 V bias voltajı,  $2 \times 10^{-3}$  bar basınç ve 450 °C sıcaklık değerlerinde kaplamışlardır. Deneyleyi yüzey üzerine bilyalı aşındırma (ball on flat) yöntemiyle, çevre şartlarında, 5 N yük, 0,1 m/s hız, 500 m toplam sürtünme mesafesi parametrelerinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, WC aşındırıcılar ile ayrı ayrı gerçekleştirmiş ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Deneyleler genellikle düşük sürtünme katsayısı ile başladıkta sonra 50-100 m mesafe sonrasında kararlı hale geçmiştir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve WC aşındırıcılar ile farklı sürtünme katsayıları elde edilmiştir. WC aşındırıcı ile TiAlN/VN kaplaması için sürtünme katsayısını 200 m mesafe sonrasında 0,13-0,14 elde etmelerine rağmen aynı kaplamanın Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aşındırıcı ile sürtünme katsayılarını 0,43-0,57 elde etmişlerdir. Benzer şekilde CrN/NbN kaplamasının sürtünme katsayısı WC ile 0,6-0,7, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile 0,8-0,9 elde edilmiştir. Sürtünme katsayılarının kaplama malzemesine göre değişken olduğu ortaya çıkmıştır. TiAlN/VN kaplamasının sürtünme katsayısı CrN/NbN kaplamasına göre her zaman daha düşük sonuçlanmıştır. Deneyle sonuçlarında TiAlN/VN kaplamasının WC ile marjinal düşük bir aşınma değeri elde edilmesine rağmen CrN/NbN kaplamasında WC ile daha yüksek bir aşınma değeri elde edilmiştir. Bundan yola çıkarak aşınma sonuçlarının aşındırıcı malzeme ile doğrudan güçlü bir bağının olmadığı değerlendirilmiştir.

Bunların dışında Han vd. [8] yüksek hız çeliği (HSS) üzerine katodik ark PVD yöntemiyle TiAlN kaplanmış malzemenin yüksek sıcaklıkta aşınma dayanımını incelemişlerdir. Deneyleleri 4 N yük, 0,3 m/s hız, 2000 m toplam sürtünme mesafesi, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aşındırıcı kullanarak 400 °C, 500 °C ve 600 °C sıcaklıklarında gerçekleştirmiş; 600 °C sıcaklıkta diğer sıcaklıklara göre çok daha yüksek aşınma hacmi değerleri elde etmişlerdir. 400 °C sıcaklıktaki sürtünme katsayısı değerine göre; 500 °C sıcaklıkta önemli derecede artış, 600 °C sıcaklıkta tekrar düşüş olduğunu gözlemlemişlerdir.

Hagarova vd. [9] de takım çeliği üzerine katodik ark PVD yöntemiyle kaplanmış TiAlN ve AlTiN kaplamaların özelliklerini incelemişlerdir. Kaplama parametreleri TiAlN için 480 °C sıcaklık, AlTiN için 450 °C sıcaklık ve her iki kaplama çeşidi için 0,25 Pa (yaklaşık 2 mTorr) basınç şeklindedir. Kaplama öncesi deneyle numunelerinin yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri 0,025 µm iken kaplama sonrası TiAlN kaplamasında 0,40 µm ve AlTiN kaplamasında 0,46 µm değerleri elde etmişlerdir. Kaplamaların yapışma özelliğini

belirlemek amacıyla yaptıkları çizik testinde iki kaplamanında yüzeye iyi yapıştığı sonucunu almışlardır. Sertlik ölçüm deneylerinde ise kaplamasız altlık numune 1830 HV, TiAlN kaplamalı numune 2535 HV, AlTiN kaplamalı numune 2750 HV değerlerini elde etmişlerdir.

Bir başka çalışmada Dobrzanski vd. [10] mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemek üzere X37CrMoV5-1 sıcak iş çeliği üzerine PVD yöntemiyle tek katman CrN, tek katman TiN ve çok katmanlı TiN/TiAlN kaplamaları uygulamışlardır. Aşınma deneylerini oda sıcaklığı ve 500 °C sıcaklıkta disk üzerinde pimli aşındırma (pin on disc) yöntemiyle Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aşındırıcı, 7 N yük, 0,8 m/s hız ve yaklaşık 707 m mesafede gerçekleştirmişlerdir. Mikro yapı incelemelerinde TiN ve TiN/TiAlN kaplamaların sütunsal, CrN kaplamanın alt-mikrokristal (sub-microcrystalline) yapıda olduğu görülmüştür. Kaplama yapışma kalitesini ölçmek adına yaptıkları çizik testinden sonra en yüksek adhezyonu CrN kaplamada en düşüğünü TiN/TiAlN kaplamada görmüşlerdir. Aşınma deneyleri sonrasında en düşük aşınma değerini TiN kaplamasında elde etmişlerdir.

Bu çalışmalara ilave olarak Hazar ve Öner [11] de tek silindirli bir dizel motorunun silindir yüzeyi, segman ve subablarını katodik ark PVD yöntemiyle CrN kaplayarak termal bariyer özelliği kazandırılmıştır. Kaplama parametreleri -150 V bias voltajı, 90 A akım, 250-300 °C sıcaklık ve 7,5 mTorr basınç, 80 dakika süre şeklinde gerçekleştirilmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız motorları aynı şartlarda çalıştırmış ve CrN kaplamalı olan motorun, termal bariyer özelliğinin etkisi ile çalışma sıcaklığının arttığı sonucunu bulmuşlardır.

Liu vd. [12] de çelik üzerine PVD yöntemiyle ile TiN ve CrN kaplanmış AISI 316L paslanmaz çeliğin korozyon dayanımını incelemişlerdir. Deneylerinde 0,5 N NaCl solüsyonu kullanmış ve çok iyi korozyon dayanımı elde edilmiştir. Bu da CrN kaplamanın yoğun ve sık olmasına dayandırılmıştır. CrN kaplaması TiN kaplaması gibi sütunsal yapıda olmadığından mikro yapısının verdiği avantaj sonucu korozyon miktarı daha az çıkmıştır.

Bunlara ek olarak Feng vd. [13] korozyon dayanımlarını ölçmek üzere AISI 304 paslanmaz çelik üzerine PVD yöntemiyle CrN, TiCN ve DLC kaplamıştır. CrN için kaplama parametreleri -80 V bias voltajı, 12 A akım, 300 °C sıcaklık, 1 mTorr basınç ve

60 dakika süre şeklindedir. CrN kaplama, TiCN kaplamasına göre H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltide korozyona karşı daha iyi sonuç vermiştir ve CrN kaplamanın efektif bir korozyon direnci olduğunu değerlendirmişlerdir.

## **1.2 Tezin Amacı**

Fırtına obüsündeki gaz paftasının çalışma ortamı ve maruz kaldığı etkiler incelendiğinde aşınma ve sıcaklık başlıca olumsuz parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır. Her atış esnasında sevk barut gazlarının oluşturduğu ısı ile gaz paftasının sıcaklığı artmaktadır. Pafta, atış sonrasında da mühimmat yüklemek için açılıp kapanan kama ile sürtündüğünden aşınmaya maruz kalmaktadır. Aynı anda bu iki etkiye birden maruz kalan paftanın ömrü kısalmakta ve zamanla gaz sızdırmazlık özelliğini kaybetmeye başlamaktadır. Namlu arkasından sızan gazlar namlu iç basıncını düşürmekte ve mermiye iletilen gücün azalmısına neden olmaktadır. Dolayısı ile daha düşük bir namlu ağız hızı ile giden merminin menzili azalmakta, rüzgârdan daha fazla etkilenecek hedefte sapması artmakta ve hedefteki isabet yüzdesi azalmaktadır.

Bu çalışmada, gaz paftasının ömrünü arttırmak adına, yüksek sertlikleri ve ısıya karşı dayanımları sebebi ile PVD kaplama yöntemi ile uygulanan seramik kaplamalar seçilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri 0,020 mikrometrenin altında olan AISI 4140 çelik üzerine, 5 farklı seramik malzeme (TiN, CrN, TiAlN, TiN/CrN, CrN/AlTiN) katodik ark PVD yöntemiyle kaplanarak numuneler hazırlanmış, kaplama sonrası yüzey pürüzlülük değerleri tekrar ölçülmüştür. Numuneler daha sonra ASTM G 99 [14]'a uygun şekilde oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklıkta aşınma deneylerine tabi tutulmuştur. Ayrıca ASTM B 117 [15]'ye göre atmosfer şartlarında korozyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Fırtına obüsü üzerindeki gaz paftasına uygulanan sert krom kaplamalı numunelerin sonuçları ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

## **1.3 Hipotez**

Yapılan literatür araştırmasında PVD yöntemiyle gerçekleştirilmiş olan TiN, CrN, TiAlN kaplamalarının uygulandıkları malzemelerin aşınma ve korozyon dayanımını arttırdığı görülmüştür. Bu kapsamda, gaz paftasına katodik ark PVD yöntemiyle TiN, CrN, TiAlN, TiN/CrN, CrN/AlTiN ve elektrolitik yöntemle sert krom malzemeleri kaplanarak

numuneler hazırlanacaktır. Numunelere yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçülmesi, tuz püskürtme deneyi ile korozyon direncinin ölçülmesi ve son olarak disk üzerine bilyalı aşınma deneyi ile aşınma dayanımı ölçüm işlemleri uygulanacaktır. Katodik ark PVD yöntemi ile kaplanmış numunelerin sonuçları, sert krom ile kaplanmış numunelerin sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

PVD yöntemiyle uygulanan kaplama malzemelerinden biri veya birkaçının, halihazırda kaplanması düşünülen sert krom kaplamasına göre korozyon ve aşınma direncinin daha iyi olacağı ve buna bağlı olarak gaz paftasının kullanım ömrünün artacağı düşünülmektedir.

## BÖLÜM 2

---

### OBÜSLER

Obüsleri de içine alan endirekt atış sistemleri yüzey hedeflerine karşı yapılacak atışlar için manevra birliklerinin başlıca ateş destek elemanıdır. Ateş destek elemanları, hedefleri bir öncelik derecesine göre tahrip etmek veya baskı altında tutmak suretiyle sürekli, süratli ve zamanında ateş desteği sağlayarak silahların menzili içindeki bütün düşman topçusu ile muharebe eder, desteklenen birliğin sorumluluk bölgesindeki düşman lojistik tesislerini, ihtiyatlarını, komuta yerlerini, muhabere tesislerini ve diğer hedefleri ateş altına alarak muharebe sahasının derinliğini arttıırırlar [16].

Endirekt atış sistemleri bir bütün halinde kontrollü olarak çalışan, ileri gözetleyici, ateş idare merkezi ve ateş bölüğü olmak üzere üç temel kısımdan oluşurlar. İleri gözetleyici, görmeyerek atış yapan bütün silah sistemlerinin gözü olarak görev yapar. İleri gözetleyicileri; hava gözetleyicileri, ateş destek timleri, muharebe sahasındaki diğer personel, hedef tespit radarları, insansız hava araçları ve uydular oluştururlar.

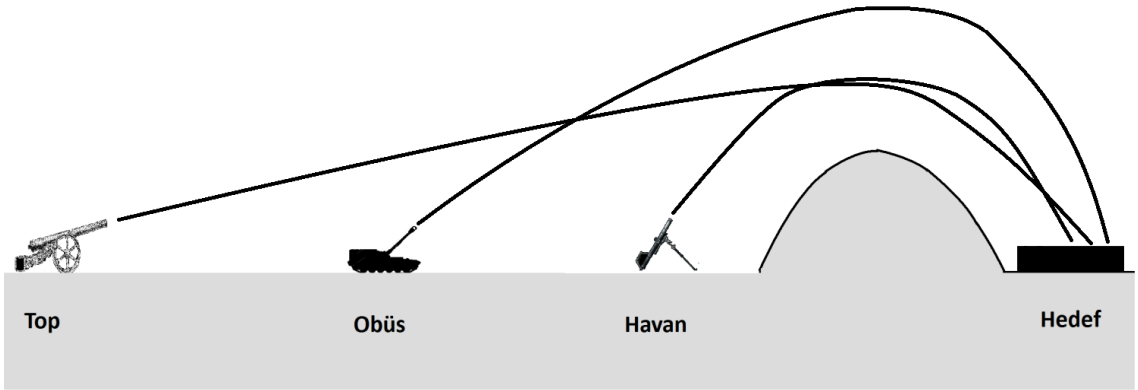
Ateş idare merkezi, görmeyerek atış yapan sistemlerin beyni olarak görev yapar. İleri gözetleyiciden gelen ateş isteğine bağlı olarak elde mevcut bilgiler ile hedefin ateş altına alınabilmesi için gerekli esasları hesaplar, bunları silah ve mühimmat üzerine uygulanacak atış komutlarına dönüştürür ve atış bölüğüne gönderir.

Atış bölüğü ise görmeyerek atış sisteminin vurucu gücüdür. Ateş idare merkezi tarafından oluşturulan atış komutlarını silah ve mühimmat üzerine uygulayarak hedefi ateş altına alır.

Günümüzde endirekt silah sistemleri;

- Toplar,
- Obüsler,
- Havanlar,
- Çok Namlulu Roketatarlar,
- Geri tepmesiz toplar,
- Güdümlü füzeler şeklinde sınıflandırılabilir.

Bu silah sistemleri birçok harekât tarzına uyumlu olması açısından farklı ateş gücüne, farklı yörüngelere ve farklı menzillere sahiptirler. Endirekt silah sistemlerinin bazılarında ait yörünge ve menziller Şekil 2.1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2. 1 Endirekt silah sistemlerinin atış yörüngeleri ve menzilleri

**Havanlar:** Göreceli olarak, en dik mermi yollu, en kısa menzilli ve kısa namlulu bir silahtır.

**Toplar:** Uzun menzilli, yüksek hızlı, alt açı grubu ile atış yapan uzun namlulu silah sistemleridir.

**Çok Namlulu Roketatarlar:** Genellikle hedefi baskı altında tutmak, psikolojik olarak muharebe dışı bırakmak amacıyla kullanılan uzun menzilli silah sistemleridir.

**Obüsler:** Genellikle 45° yukarısı üst aç grubunu kullanan, görmeyerek atış yapan, havanlar ile toplar arasında menzilleri olan silah sistemleridir. Günümüz teknolojisinde obüsler toplara yakın menzillere de ateş yapabilen gelişmiş sistemlerdir.

İlk kullanımları 1'inci Dünya Savaşına dayanmaktadır [17]. O dönemde daha küçük çaplarda kullanımı yoğunlukta iken günümüzde genellikle 105 ve 155 mm arasında iç çapa sahip olanlar tercih edilmektedir.

Görmeyerek atış yapan silahların büyük bir çoğunluğunu obüsler oluşturmaktadır. Obüsler genel olarak çekili ya da kundağı motorlu olarak harekât kabiliyetlerine, namı çaplarına ve sahip oldukları teknolojiye göre sınıflandırılabilirler.

Geçmişte çekili tipleri kullanılmakta iken, günümüzde yüksek manevra gücüne sahip kundağı motorlu ve paletli tipleri de mevcuttur. Son yıllarda mevcut teknolojilerle donatılan kundağı motorlu obüsler 40 km mesafesinin üzerinde atış yapabilmektedirler.

K/M Obüsler (Şekil 2.2) görünüm olarak tanklara çok benzeselerde aslında kullanım amaçları çok farklıdır. Tanklar, muharebe sahasının ön saflarında bulunan ve görerek atış yapan silah sistemleridir. Bu nedenle tanklar obüslere göre daha iyi zırhlandırılmış ve teknolojik açıdan daha üstün donatılmışlardır. K/M Obüsler ise düşman unsurlarına muharebe sahasının çok gerilerinden görmeyerek atış yaparlar. Uzun menzillere atış yapabilme özelliklerinden ötürü K/M Obüslerin namluları daha gelişmiş ve daha uzundur.



Şekil 2. 2 Kundağı Motorlu Obüs Görünümü [17]

Günümüz teknolojisinde silah tespit radarları sayesinde özellikle uzun menzilli mühimmat atan sistemlerin yerleri kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Bu nedenle obüslerin uzun menzillere atış yapmaları kadar çabuk yer değiştirmeleri de oldukça önemlidir. Dolayısıyla artık obüslerin çekili tiplerine nazaran kundağı motorlu olanları daha yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu sayede obüslerin atış için mevzilenme ve atış sonrası mevzi değiştirme süresi azaltılmış ve muharebe alanındaki güvenliği arttırılmıştır.

Modern kundağı motorlu obüsler ateş idare merkezinden alınan atış komutuyla, otomatik olarak namluyu yönlendirebilir ve mühimmatı namluya sürer. Bu sayede ilk atışa hazırlık süresi ve atışlar arası geçen süre önemli oranda kısaltılmış, dakikada yapılabilen atım sayısı arttırılmıştır.

Kundağı motorlu obüsler kule bölümü, gövde bölümü, silah sistemi gibi alt sistemlerden oluşmuştur. Gövde ve kule, ekipman ve personelin zırhlı güvenliğini ve kullanım esnasında yeterli dayanımı sağlamak amacıyla haddelenmiş homojen çelik zırh (RHA) plakalarıyla donatılmıştır.

## **2.1 K/M Obüslerin Gövde Bölümleri**

K/M Obüslerin gövde bölümleri; gövde iskeleti, güç grubu, süspansiyon sistemi ve gövde elektrik donanımından oluşur. Gövde iskeleti üzerindeki zırh ile beraber personele ve içerdeki sistemlere koruma sağlar. Obüsün manevraları, atış kontrol sisteminin çalışması ve diğer bölümler için gerekli enerji güç grubundan sağlanır. Süspansiyon sistemi sayesinde farklı arazilerde hareket ve konfor sağlanır.

## **2.2 K/M Obüslerin Kule Bölümleri**

K/M Obüslerin kule bölümleri; Ana kule, Hidrolik Donanım, Otomatik Mermi Doldurma Sistemi, Ana Silah Sistemi ve çeşitli bileşenlerden oluşur. Ana Kule zırh levhalarının birleştirilmesiyle oluşmuştur. Kapı ve kapaklarla birlikte Ana kule, alt sistem ve mürettebatın korunmasını sağlar. Hidrolik Donanım Sistemi hidrolik güç grubu, kule döndürme sistemi, namlu yükseliş sistemi, kontrol birimi ve ilgili sensörlerden meydana gelir [18]. Hidrolik Kullanım Sistemi, namlu ve kulenin yükseliş ve yana dönüş



işlemlerinin gerçekleştirilmesini sağlar. Kullanım komutu sinyali obüs atış kontrol sisteminden alınır ve sinyal namluyu otomatik olarak yönlendirir. Namlu yükselişi ve kulenin yana dönüşü, elektro-hidrolik servo sistemi tarafından kontrol edilir ve hidrolik güç, hidrolik güç grubu tarafından karşılanır.

Otomatik Mermi Doldurma Sistemi; magazin, transfer kolu ve kontrol biriminden oluşur. Magazin, dört cins mermi magazini ve mühimmat rafından oluşur. Merminin magazine yüklenmesi manuel destekli elektrik gücüyle gerçekleşir. Servo kontrollü transfer kolu mermiyi magazinden mermi doldurma tezkeresine nakleder. Kontrol birimleri mermi taşımayı kontrol eden otomatik test işleviyle donatılmıştır ve obüs atış kontrol sistemini ile veri iletişimi yapar.

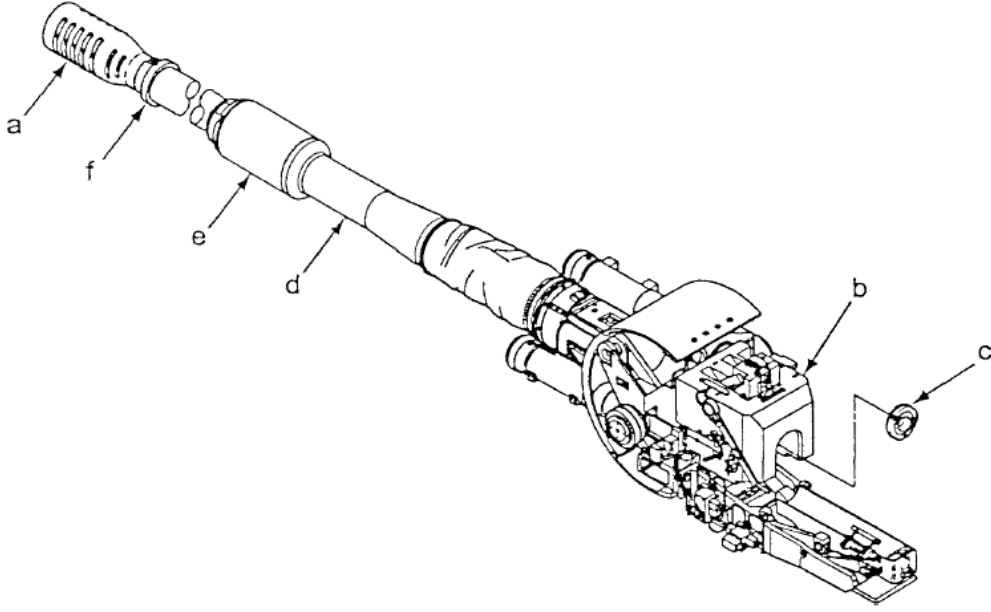
### **2.3 K/M Obüslerin Silah Sistemleri**

Ana silah sistemi; top, kundak ve mermi doldurma sisteminden oluşur. Sistem kule üzerine kundak ile yerleştirilmiştir.

Top; namlu, kama mekanizması, namlu ağız baskısı ve gaz tahliye silindirinden oluşur. Gelişmiş obüslerin namluları 40+ km'lik atış menziline sahiptir. Namlu ağız baskısı çok delikli yapıdadır ve bu yapı atış sesini ve geri tepme kuvvetini büyük ölçüde azaltır [17].

Mermi doldurma tezkeresi, mesnet ve hidrolik/elektriksel kontrol sisteminden oluşur. Mermi iticisi, itici baskı hareketiyle mermiyi namluya hızla yerleştirir. Bu hızlı doldurma Obüs' ün süratli atış yapmasını sağlar.

Temel elemanları Şekil 2.3'de görüldüğü üzere; (a) namlu ağız baskısı, (b) kama mekanizma kompleksi ve geri tepme mekanizması, (c) gaz paftası kompleksi, (d) namlu, (e) gaz tahliye silindiri, (f) namlu ağız baskısı kilididir.



Şekil 2. 3 Namlu ve namlu hamili kompleksi [17]

**Namlu Ağız Baskısı (a):** Geri tepmenin etkisini azaltır ve oluşan gazların kulenin içerisine girmesine engel olur.

**Kama Mekanizması (b):** Mermi ve patlayıcının birlikte işlev görebilmesine yardım eder. Atış esnasında gazların namlu içerisinde kalmasını sağlar ve atıştan sonra patlayıcıyı tahliye etmeye yarar.

**Gaz Paftası (c):** Atış esnasında namlu ile kama arasındaki gaz sızdırmazlığını sağlar. Atıştan sonra kama mekanizması kompleksinin kama bloğu ve namlu arasına sızabilecek gazların atılmasına yardım eder ve barut miktarını istenilen düzeyde tutar. Şekil 2.4'te Fırtına obüsü içinden çekilen gaz paftasının fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 2. 4 Gaz paftasının obüs içerisinden görünümü

**Namlu (d):** Mermi yatağı olarak adlandırılır. Mermi rotasının doğru olmasını sağlar. Kama bileziğinin iç tarafından montelidir. Kesilmiş dişler ve kama bilezik kilidi vasıtasıyla kama bileziği bandını iç tarafından kilitler.

**Gaz Tahliye Silindiri (e):** Atıştan sonra namlu içerisindeki gazların atılmasını sağlar, kulenin içerisinde kirli hava oluşumunu minimuma indirir.

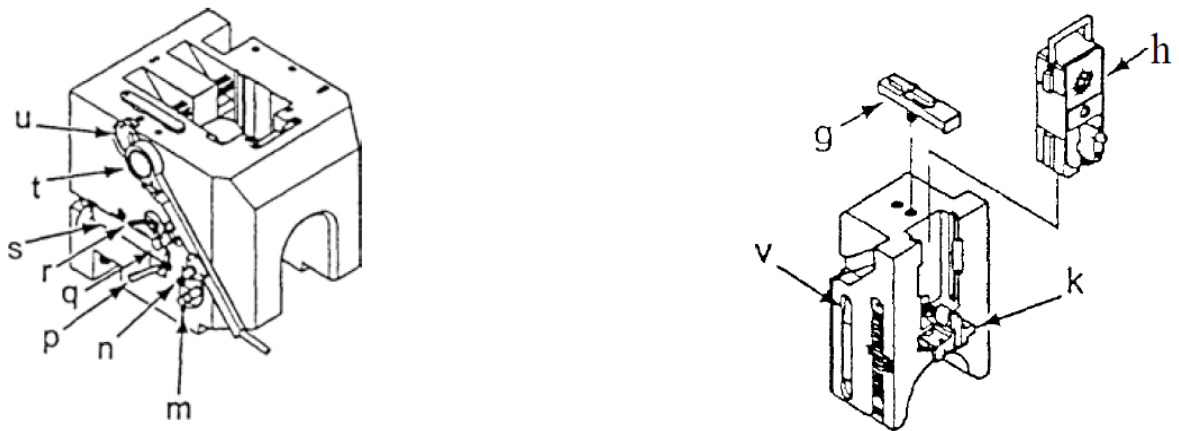
**Namlu Ağız Baskısı Somunu (f):** Namlu ağız baskısı kilidini tutar. Kilit namlu ağız baskısının atıştan sonra dönmesini ve serbest kalmasını önler.

Kama mekanizması Şekil 2.5'te görüldüğü üzere ; (g) Fünne magazin tespiti, (h)

Fünne magazini, (k) Ateşleme mekanizması, (m) Açma kolu sabitleme parçası (n)

Ateşleme iletim kompleksi (p) Ateşleme ipi bağlama parçası (q) Krank şaftı (r) Kama

Payı (s) Kapatma kolu (t) Kapatma sabitlemesi (u) Krank mili ve tansiyon yayı kısımlarından oluşur.



Şekil 2. 5 Kama mekanizması [17]

## 2.4 T-155 K/M Fırtına Obüsü

T-155 K/M FIRTINA Obüsü; uzun mesafeli ateş gücüne, navigasyon sistemine, otomatik atış kontrol sistemine ve mermi doldurma mekanizmasına sahip, yüksek hareket kabiliyeti ve dayanıklılığı olan, zırhlı ve paletli bir savaş aracıdır [18].



Şekil 2. 6 T-155 K/M Fırtına Obüsü [15]

Fırtınanın genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Ateş İdare Merkezinden emir aldıktan sonraki 30 saniye içinde hedefe atış yapabilir, 90 saniye içerisinde de görevini tamamlayarak mevzi değiştirebilir.
- Fırtına Obüsü sahip olduğu özellikler sayesinde ilk üç mermiyi 15 saniye içinde ateşleyebilir.
- $-2,5^{\circ}$  (44,4 milyem) ile  $70^{\circ}$  (1244 milyem) arasındaki yükselişlerde mermiyi otomatik olarak ateşleyebilir.
- Değişik yükseliş açıları ve barut hakkı kullanarak, üç mermiyi birden aynı hedefe, aynı zamanda isabet ettirebilir.
- Görerek ve uzun menzilli atış yapabilme özellikleri sayesinde hem direkt destek, hem de genel destek atış görevlerini yerine getirebilir.
- Atış menzili 40 kilometredir. Namlu; yarı otomatik kama mekanizması, gaz tahliye silindiri ve namlu ağız baskısına sahiptir.
- Otomatik mühimmat doldurma magazini ile çok hızlı ateş edilebilir.
- Fırtına Obüsünün Hidroprnömatik Süspansiyon Sistemi (HSU) atışın darbe etkisini azaltarak hızlı yer değiştirme ve uzaklaşmaya olanak sağlar.

- Gövde ve Kule ana yapısı, 15 ve 20 mm' lik yüksek sertlikteki homojen zırh çeliğinden oluşmaktadır. Mürettebatı ve obüs alt sistemlerini makineli tüfek mermilerinden, parçacıklardan ve mayından koruması için tasarlanmıştır.
- Silahın güvenliği, namlu üzerinde bulunan sıcaklık sensöründen gelen ısı uyarısı ile namlunun yüksek sıcaklıkta atış yapılmasına müsaade etmemektedir.
- Hidrolik Güç Paketi Sistemi ayrı bir bölme içindedir, böylece mürettebatın güvenliği sağlanır.
- Fırtına, 1000 BG' lik dizel motoruyla, yüksek hareket ve ivmelenme kabiliyetine sahiptir.
- Otomatik Transmisyon Sistemi obsn kolay kullanımını ve fren kabiliyetini arttırır.

### YÜZEY KAPLAMALARI

Yüzey, bir maddenin kendi dışındaki ortamla temasta olan kısmı, çevreyle olan sınırı olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle yüzey, maddeyi çevreleyen ve onun geometrisini oluşturan ve yine maddenin kendisinden meydana gelen bir zarf tabakadır. Maddenin çevreyle olan tüm etkileşimi yüzey üzerinden olmaktadır. Bu etkileşimlerin bazılarında malzemenin tümüne mâl olan özellikleri, büyük ölçüde yüzey tarafından belirlenmektedir [19]. Dolayısıyla aşağıda listelenen özellikler sadece malzeme yüzeyinin değiştirilmesi sonucunda belirlenebilmektedir.

- Sürtünme ve aşınma özellikleri
- Korozyon davranışları
- Yüzeye bağlı mekanik özellikleri (yorulma)
- Dış görünüm ve renkleri
- Optik özellikleri (yansıtma katsayısı vb.)
- Fotoelektrik özellikleri (ışığa reaksiyonları)
- Komşu maddeye difüzyon özellikleri
- Yapışma özellikleri
- Elektrik kontak özellikleri
- Isıl elektron emisyon özellikleri

Örnek olarak, dış görünüm ve korozyondan korunma amacıyla metal malzemelerin boyanması verilebilir. Yüzeyde yapılan iyileştirmeler malzemenin tüm kesitinin sadece

çok küçük bir oranını tutmaktadır, oysa elde edilen iyileşmeler malzeme ömrünü 10 - 100 kat arttırabilmektedir. Tüm bu örnekler malzemelerin yüzeylerinin iyileştirilmesinin teknolojik ve ekonomik olarak ne denli önemli olduğunu gözler önüne sermektedir.

Yüzey kaplamaları birçok farklı şekilde sınıflandırılmışlardır. Bunlardan en sık karşılaşılanlar, uygulama alanlarına, kaplama malzemesine ve uygulama yöntemlerine göre yapılan sınıflandırmalardır.

### **3.1. Uygulama Alanlarına Göre Kaplamalar**

Uygulama alanlarına göre kaplamalar; günlük hayatımıza giren kullanım eşyalarının görsel çekiciliğinin arttırılması için yapılan dekoratif kaplamalar ve aşınma direnci, korozyon direnci, ses izolasyonu gibi özelliklerin iyileştirilmesi için yapılan mühendislik kaplamaları şeklinde ikiye ayrılmaktadır.

### **3.2. Kaplama Malzemesine Göre Kaplamalar**

Kaplama malzemesine göre sınıflandırma yapmak gerekirse metalik, organik ve inorganik kaplamalar şeklinde sınıflandırma yapmak mümkündür.

#### **3.2.1 Metalik Kaplamalar**

Metalik kaplamalar çoğunlukla korozyona karşı koruma amaçlı kullanılmalarının yanı sıra, diğer mühendislik özelliklerin geliştirilmesi ve dekoratif görünümü ön plana çıkarmak için de uygulanmaktadır.

Metalik kaplamalar; iyon kaplama, iyon aşılama, vakum kaplama, sıcak daldırma gibi fiziksel teknikler; metal giydirme, sıcak püskürtme gibi mekanik teknikler; kimyasal indirgeme, akımsız kaplama gibi kimyasal teknikler ve elektrolitik kaplama gibi elektrokimyasal teknikler şeklinde dört farklı tipte uygulanabilmektedir.

### 3.2.2 Organik Kaplamalar

Organik kaplamaların en önemli temsilcileri boyalardır. Genel olarak organik kaplamaların sıcaklığa dayanımları iyi değildir. Ancak düşük maliyetleri, kolay uygulanabilir olması ve korozyona karşı iyi dayanımları sebebiyle tercih edilirler.

Organik kaplamaların günümüzde popüler uygulamalarından biri de Şekil 3.1’de görülen Plasti Dip uygulamasıdır. Bu yöntem genel olarak yıpranmış ve deforme olmuş yüzeylerin düşük maliyetle yenilenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Diğer bir kullanım amacı ise renk değişimidir [20].



Şekil 3. 1 Plasti dip uygulanmış otomobil jantları

### 3.2.3 İnorganik Kaplamalar

Kimyasal reaksiyonlar sonucunda metal üst yüzeyinde oluşturulan koruyucu nitelikteki oksit ve tuz tabakaları, emaye kaplamalar ve iyonik kaplama yöntemi ile elde edilen seramik kaplamalar bu sınıfta yer alırlar. İyonik kaplama ile üretilen seramiklerin alt grubu olan ince film sert seramik kaplamalar, yüksek aşınma dirençleri ve iyi sürtünme özelliklerinin yanı sıra yüzeye iyi yapışma ve üretim kolaylıkları gibi özelliklerinden ötürü endüstride kesici ve delici takımlar, enjeksiyon kalıpları gibi aşınmaya çalışan makine parçalarının kaplanmasında ön plana çıkmışlardır.

### 3.3. Uygulama Yöntemlerine Göre Kaplamalar

Literatürde en hakim yüzey kaplamaları sınıflandırma yöntemi uygulama yöntemlerine göre yapılanıdır. Bunlar;



- Akımsız metal kaplama
- Elektrolitik metal kaplama
- Sıcak daldırma
- Sıcak püskürtme
- CVD (Kimyasal buhar biriktirme) kaplama
- PVD (Fiziksel buhar biriktirme) kaplama şeklinde sınıflandırılabilir.

### **3.3.1 Akımsız Metal Kaplama**

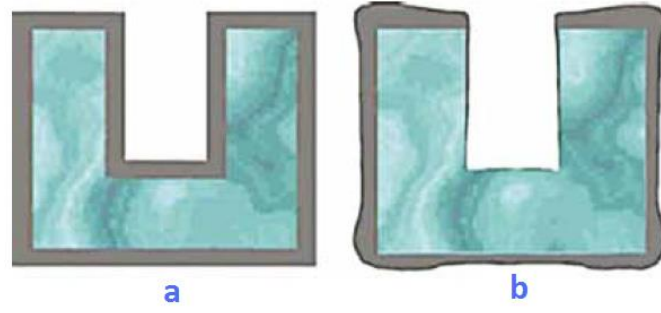
Bu yöntemde kaplanacak metal iyonları ve bir indirgeyici ile çözelti meydana getirilir. Üzerine kaplama yapılacak malzeme, çözeltime daldırıldığında bir indirgenme reaksiyonu meydana gelir ve kaplanan metal hemen hemen her bölgeye eşit kalınlıkta dağılmış olur.

Uygulamada nikel, bakır, kobalt, kalay, gümüş akımsız olarak kaplanmaktadır [21]. Endüstride en çok karşımıza çıkan akımsız kaplama türü akımsız nikel kaplamadır. Son zamanlarda dekorasyon için kullanımının yanı sıra, korozyon ve ısı direnç amaçlarıyla da uygulanan bir kaplama sistemidir [22]. Akımsız nikel kaplaması sert krom ile çelik arasında yüzeye yapışma özelliklerini arttırması amacıyla da sıklıkla kullanılmaktadır.

### **3.3.2 Elektrolitik Metal Kaplama**

Yöntemde, kaplama malzemesi olan anot yükseltgenmeye uğrar. Dolayısıyla sıfır değerli metal pozitif yüklü iyonlar halinde çözünür. Kaplanacak iş parçası olan katotda ise bu iyonlar indirgenerek ince bir metal tabaka halinde malzemeye kaplanırlar. Kaplamanın kalitesi ve kalınlığı uygulanan akım yoğunluğuna, kaplama banyosu bileşimine, sıcaklığa ve zamana bağlı olarak değişir [23].

Şekil 3.2'de akımsız nikel kaplaması ile elektrolitik nikel kaplamanın yüzey farklılıkları gösterilmiştir.



Şekil 3. 2 Akımsız nikel kaplama: (a) ve elektrolitik nikel kaplamanın (b) yüzey farkı [24]

### 3.3.3 Sıcak Daldırma

Genellikle çelik ve bakır üzerine, ergime sıcaklığı düşük olan çinko, alüminyum, kurşun ve kalay gibi metallerle uygulanan sıcak daldırma, en yaygın ve en ucuz metal kaplama yöntemlerinden biridir. Üzeri kaplanacak malzeme, sıcak halde bulunan kaplama banyosu içerisine daldırılır. İki yüzey arasında oluşan alaşım tabakaları yüksek fiziksel bir bağlantı sağlarlar.

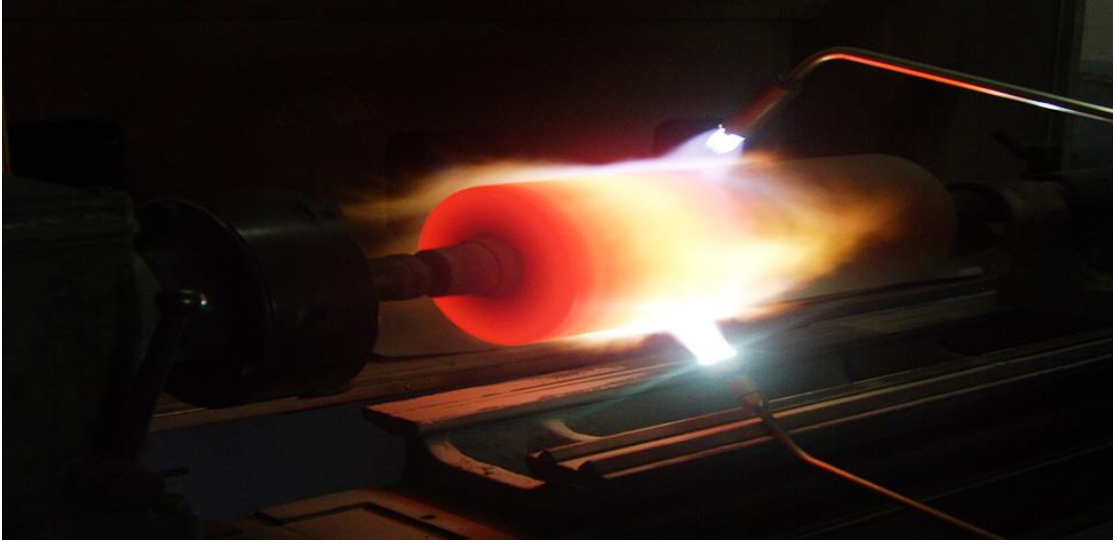
Endüstride en çok karşımıza çıkan sıcak daldırma türü sıcak çinko kaplama diğer adıyla sıcak galvanizlemedir. Çinkonun çelik üzerine kolay kaplanması, iyi yapışma bölgesi oluşturması ve korozyona karşı dayanımı sebepleri bu durumu ortaya çıkarmaktadır. Şekil 3.3'te çeliğe uygulanan çinko kaplama örneği görülmektedir.



Şekil 3. 3 Sıcak daldırma galvaniz uygulaması [25]

### 3.3.4 Sıcak Püskürtme

Önceden yüzeyi temizlenen çelik üzerine kaplanacak metal ergimiş halde püskürtülür. Bu nedenle kaplama malzemesi toz metal veya tel halinde kullanılır. Asıl amaç çeliğin içyapısı değişmeden kaplama malzemesinin eriyerek metalurjik bir bağ oluşturmasıdır. Uygulamada çinko, alüminyum, nikel, krom, kobalt gibi birçok metal toz haline getirilerek püskürtme yöntemiyle kaplanabilir. Şekil 3.4'te örnek bir sıcak püskürtme uygulaması görülmektedir.



Şekil 3. 4 Sıcak püskürtme uygulaması [26]

### 3.3.5 CVD Kaplama

Geniş ölçüde yarı iletken ve kesme takımları endüstrilerinde kendini tam anlamıyla kabul ettirmiş biriktirme tekniğidir. İnce, yoğun, yüksek kalitede 6,5 - 7 mm kalınlıklarına kadar filmleri genellikle PVD tekniklerinden çok daha az maliyetle biriktirme özelliğine sahiptir. Diğer taraftan CVD işlemlerinin sağladığı iyi yapışma özelliği için gerekli olan yüksek sıcaklık (yaklaşık 1000 °C), kaplanabilecek alt malzeme cinsini seramikler, refrakterler ve özel alaşımlar olmak üzere oldukça sınırlandırmaktadır. Bu da PVD yöntemine göre oldukça küçük bir malzeme grubunu ortaya çıkarmaktadır [27]. CVD yöntemi korozyon uygulamaları için de oldukça elverişlidir.

Çoğu durumda çelik, CVD kaplamadan sonra vakum veya korumalı bir atmosferde ısıtılma işlemi gerektirir ve sıkı toleranslar içinde çalışıyorsa boyutsal bir değişimin sonunda yeniden talaşlı işleme ihtiyacı ortaya çıkar. Biriktirmenin yüksek sıcaklığından kaynaklı ortaya çıkan diğer bir kısıtlama ise, alt malzeme ve kaplama arasındaki ısı genleşmeden dolayı oluşan gerilmelerdir.

### 3.3.6 PVD Kaplama

PVD yöntemi ile kaplama işleminin temel prensibi, vakum altında buharlaştırılan bir metalin taşınması ve herhangi bir kimyasal reaksiyon gerçekleşmeden kaplanacak parça üzerine biriktirilmesidir [28]. PVD cihazı; kaplanacak parça, kaplanacak malzemeyi buharlaştıran kaynak ve bu kaynağı içine alan vakum odasından oluşmaktadır. Günümüzde bu teknolojinin geliştirilmesi sayesinde inorganik malzemelerin büyük bir kısmı, metaller, alaşımlar ve bunların karışımları ve hatta bazı organik malzemeler kaplanabilmektedir.

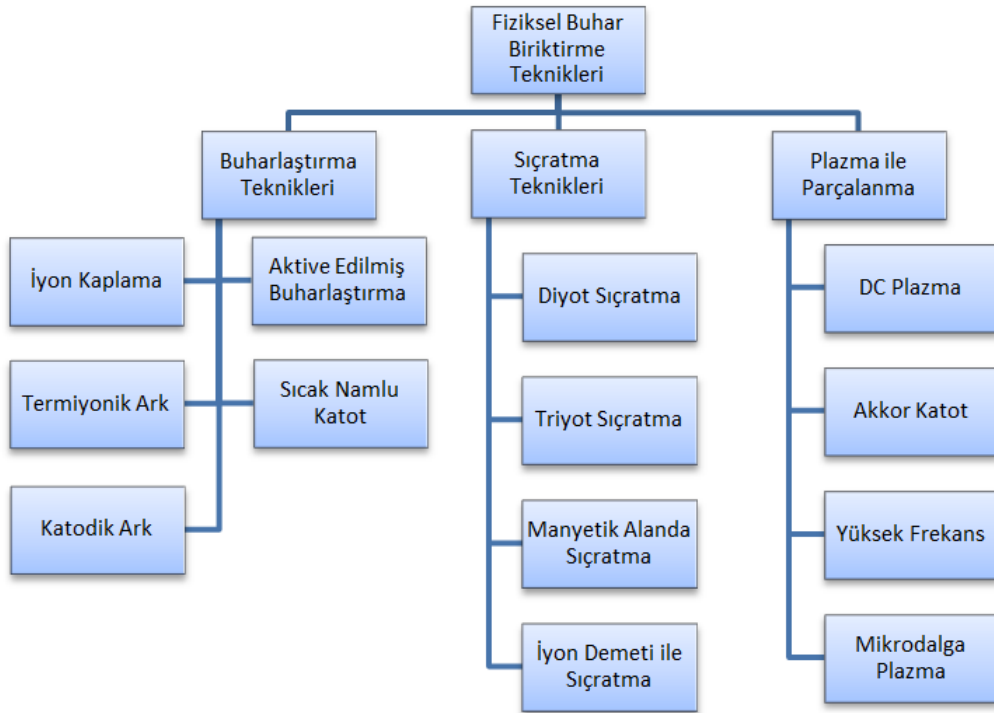
PVD kaplamaların avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Aşınma dayanımı yüksek nitrür, oksit, karbür kaplamalar
- Sürtünme katsayısı düşük kaplamalar
- Korozyon direnci iyi kaplamalar
- Kesici takımların kaplanmasında işlenen parçaların yüzey kalitesinde artış
- Düşük ısı iletkenlik sayesinde kaplanan malzemenin ısıdan korunması
- Aşınmaya çalışan parçaların ömürlerinde artış
- Kaplama yapılması esnasında çok yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmadığından ısıtılma özelliklerinin kaybolmaması
- Düşük kaplama kalınlığı ile boyut toleranslarına daha fazla uyum

PVD yöntemi farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. Bunlardan kaplamanın elde edilmesine göre olanında reaktif ve reaktif olmayan kaplama teknikleri olarak gruplama yapılmaktadır. Reaktif kaplama teknikleri sert kaplamaları oluşturan bileşiklerin eldesi için daha yoğun olarak kullanılmaktadır.

Bir başka sınıflandırma şekli ise buhar fazının elde edilmiş mekanizması önemsenmeden, kaplamanın yoğunlaşması esnasında iyon bombardımanından yararlanılıp yararlanılmamasına bakılarak yapılmaktadır. Genel olarak kaplamanın yoğunlaşmasında iyon bombardımanı için bir reaktif veya asal gazdan yararlanılan yöntemler “iyon kaplama” olarak isimlendirilirler. Bazı uygulamalarda buhar fazının elde edilmiş şekli ve bu isim birleştirilerek gruplama yapılır. “Sıçratmayla iyon kaplama” veya “ark iyon kaplama” bu gruplamaya örnek olarak gösterilebilir.

PVD yöntemlerinin sınıflandırılmasında en çok kullanılanı ise kaynak ya da hedef malzemesinin buhar haline geçiş şekline göre yapılmaktadır. Buna göre yöntemler, buharlaştırma, fiziksel sıçratma ve plazma ile parçalanma olarak üç gruba ayrılmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3. 5 PVD yönteminin sınıflandırılması

İnce film sert seramik kaplamalar için günümüzde sıklıkla kullanılan; fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemlerinin karşılaştırılması Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3. 1 PVD ve CVD kaplama yöntemlerinin karşılaştırılması

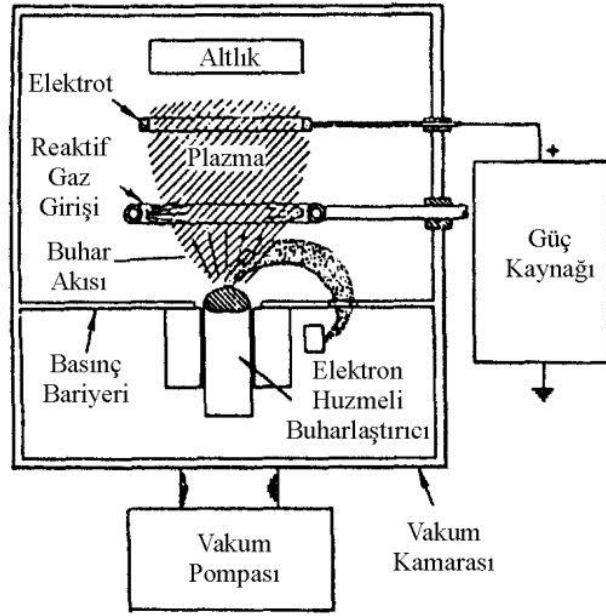
PVD	CVD
Düşük sıcaklıklarda uygulanır. (300 - 600 °C)	Daha yüksek sıcaklıklarda uygulanır. (900 - 1000 °C)
Hemen hemen her malzeme kaplanabilir.	Kaplama yüksek sıcaklıkta gerçekleştiğinden her malzeme altlık olarak kullanılıp kaplanamaz.
Zararlı gazlar için ek donanıma ihtiyaç yoktur.	Zararlı gazlar için ek donanıma ihtiyaç duyulur.
CVD kaplama cihazları kadar nitelikli malzeme ihtiyacı yoktur.	Uygulama yüksek sıcaklıkta gerçekleştirildiğinden dolayı kaplama cihazlarının daha nitelikli malzemeden üretilmesi gerekir.
Yüksek vakumda çalışması gerektiğinden dolayı, daha maliyetli vakum sistemlerine ihtiyaç duyar.	PVD yöntemlerinde olduğu kadar yüksek vakuma gerek yoktur.

### 3.3.6.1 Buharlaştırma Teknikleri

Buharlaştırma yöntemleriyle kaplama dört temel adımda gerçekleşmektedir. Bunlar sırasıyla:

- Kaynağa yerleştirilmiş malzemenin buharlaştırılması,
- Atom, molekül veya iyon haline gelmiş buhar parçacıklarının kaynaktan altlık malzemeye (iş parçasına) gönderilmesi,
- Buhar parçacıklarının altlık malzeme yüzeyinde yoğunlaştırılması,
- Altlık yüzeyinde yoğunlaşan atomların yer değiştirmesi şeklindedir.

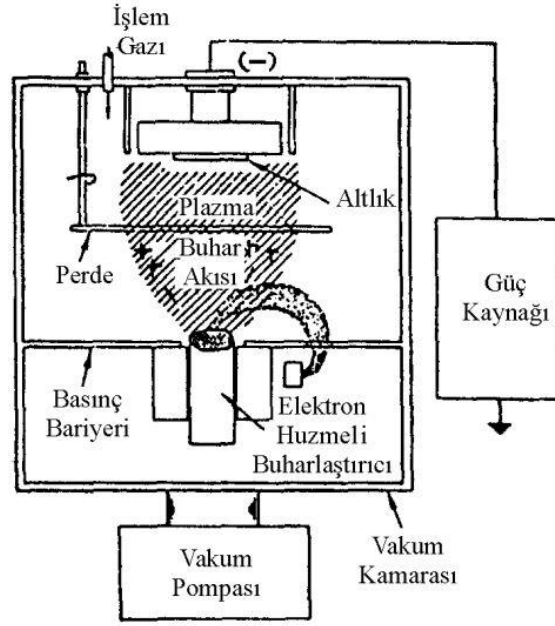
**Aktive Edilmiş Buharlaştırma:** Yöntem temeli, kaplama odası içine yerleştirilen nikel bir boru içerisine reaktif gaz verilerek boru içerisinde ısıtılı boşalma tarzı bir plazma elde edilmesi ve plazmanın boru üzerindeki küçük bir açıklıktan kaplama odasına alınması sonucu oluşan reaksiyonlarla plazmanın aktive edilmesidir (Şekil 3.6). Bu yöntem ilk etapta SiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub> gibi optik oksit kaplamalarda uygulanmıştır. Daha sonra nikel boru kaldırılarak reaktif gaz doğrudan kaplama odasına beslenmiş ve burada iyonize edilmiştir. Bu sayede TiC, TiN, ZrC, VC, NbC, HfC, HfN gibi sert kaplamalar da uygulanabilmektedir.



Şekil 3. 6 Aktive edilmiş buharlaştırma tekniğinin şematik gösterimi [19]

**İyon Kaplama:** Daha iyi bir yapışma ve kaplama morfolojisi elde etmek için altlık malzemesine negatif olarak bias gerilimi uygulanması ile gerçekleşmektedir. Şekil 3.7'de şeması gösterilen yöntem, aktive edilmiş buharlaştırma tekniğine göre daha yüksek basınçlarda çalışmaktadır.

Sisteme reaktif gaz yanında asal bir gaz da beslenerek iyon bombardımanı bu gazın iyonlarıyla sağlanmaktadır. Çalışma basıncı  $10^{-1}$  Pa kadardır. İyon kaplama tekniği aslında kaynak tarafı bir buharlaştırma ünitesi, altlık tarafı ise bir sıçratma ünitesi olarak çalışan bir sistemdir. Sıçratma hızı altlık üzerine bir kaplama yoğunlaşmasını engellemeyecek kadar düşüktür.

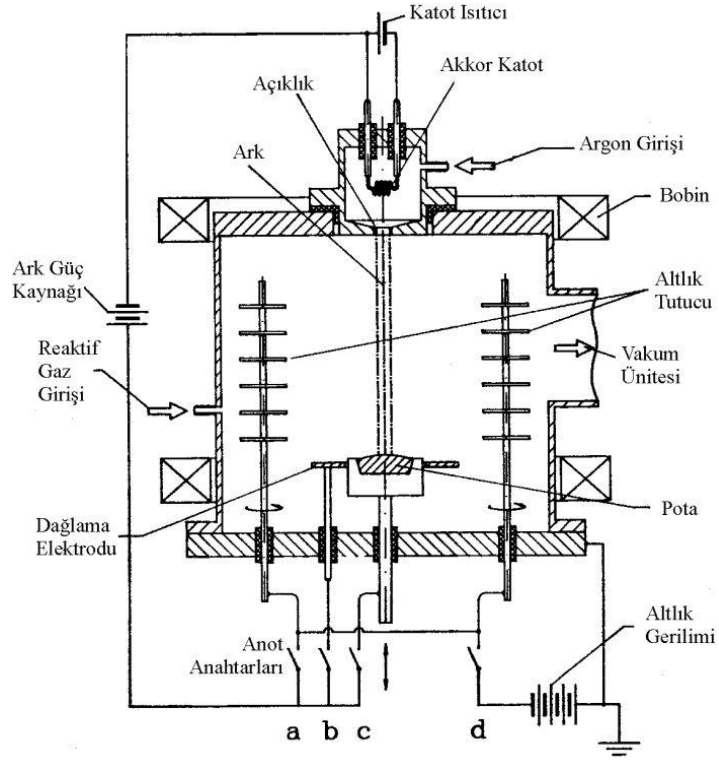


Şekil 3. 7 İyon kaplama tekniğinin şematik gösterimi [19]

**Termiyonik Ark:** Bu yöntem bir akkor katot yardımıyla elde edilen plazmanın ince bir delikten geçirilerek ark haline dönüştürülmesine dayanır. Termiyonik ark yöntemi TiN, ZrN, CrN, CrCN kaplamalarında kullanılabilir. İşlem 0,5-2,5 Pa kaplama odası basıncında yürütülmektedir. Katot odasına argon gazı verilerek basıncı yükseltip kararsız bir plazma elde edilmekte, akkor katottan yayılan elektronların desteğiyle plazma sürdürülmektedir. Bu yüzden “düşük gerilim arkı ile kaplama” adı da kullanılmaktadır.

Şekil 3.8’de gösterilen (a) anahtarı kapatılarak kaplama odasında altlık malzemelerin anot olarak polarize edilmesi sonucu numuneleri ısıtmak mümkündür. (b) anahtarı kapalı konuma getirildiğinde ise vakum odası içine yerleştirilen üçüncü bir elektrodun anot olarak bağlanması ve altlık yüzeylerinin plazmayla dağlanması gerçekleştirilebilir.





Şekil 3. 8 Termiyonik ark kaplama tekniğinin şematik gösterimi [19]

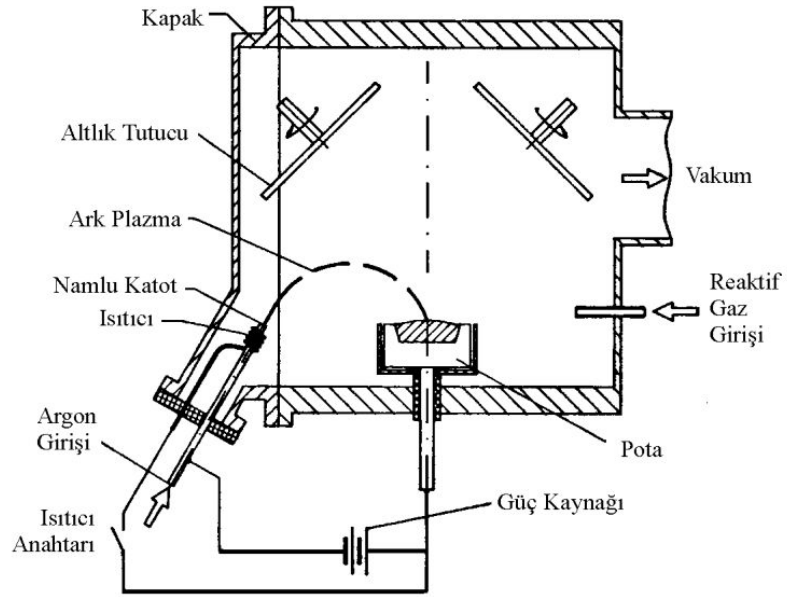
**Sıcak Namlu Katot Arkı:** Buharlaştırma işleminin ark tarzı plazma oluşumuyla gerçekleştirildiği yöntemdir. Sistemin çalışma şekli termiyonik ark düzeneği ile benzerlik göstermektedir.

Bu düzende ark, ısıtılan namlu şeklindeki volfram, tantal gibi yüksek ergime sıcaklığına sahip metallere yapılan içi boş bir katottan elde edilip anoda yönlendirilmektedir. Volfram telden elde edilen borular genellikle namlu olarak kullanılmaktadır. Katot şeklinin namluya benzemesinden dolayı bu isim verilmiştir.

Bu yöntemde elektron emisyonu daha da kuvvetlidir. Sebebi namlu içindeki iyonlaşma sonucu aktive edilen gaz parçacıkları ve fotonlardır. Boru içerisinde oluşan yoğun plazma namlu ucundan kaplama odasının içine doğru genişler. Termiyonik arkten farklı olarak namlu içinde elde edilen plazma kararlıdır ve bir kez ateşlendikten sonra dışarıdan uygulanan ısıtma kesilebilir.

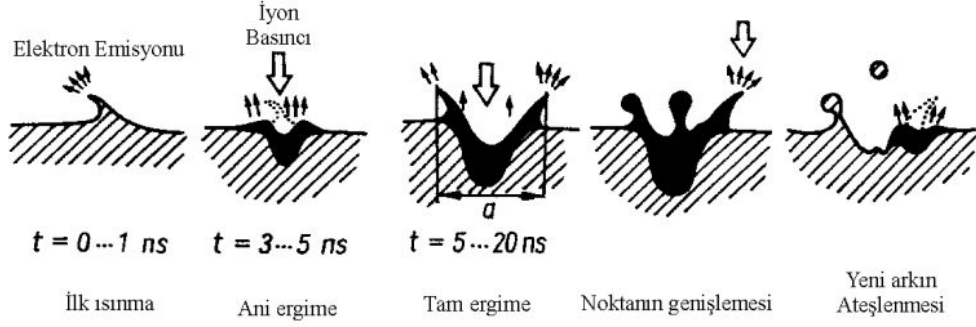
Bu yöntemde ark; namlunun ağzından dışarı doğru üflenen, namludan uzaklaştıkça genişleyen bir alev görünümündedir.

Şekil 3.9'da Namlu Katot aracılığıyla buharlaşmanın sağlandığı bir kaplama ünitesi görülmektedir [19]. Altlık malzeme su ile soğutulan ve anot görevi gören bir pota içerisinde bulunmaktadır. Namlu katot ile 30-50 Volt ark gerilimi ve 100-300 A akım değerleri elde edilir. Kaplama ünitesindeki basınç değeri  $10^{-2}$  ile 1 Pa arasında bulunmaktadır. Reaktif kaplamalar için gerekli gaz kaplama odasına doğrudan, argon gazı ise namlunun içinden beslenmektedir.



Şekil 3. 9 Sıcak namlu katot arkı tekniğinin şematik gösterimi

**Katodik Ark:** Katodik ark yöntemini daha iyi tanımlamak amacıyla katodik noktasal ark şeklinde ifade etmek daha uygundur. Katodik ark çok küçük bir nokta şeklinde başlayıp katottan çıkan bir ağaç şeklindedir. Arkın sebep olduğu katot yüzeyinde meydana gelen ergime ve buharlaşma aşamaları Şekil 3.10'da verilmiştir [19]. Bir noktadaki elektrik boşalması 10-20 ns kadar sürmekte ve hemen ardından yan bölgede yeni bir ark meydana gelmektedir. Noktasal ark bu şekilde gelişi güzel hareket ederek katot yüzeyinde 10-100 m/s hızlarda ilerlemektedir. Buharlaşan hedef malzemesinin iyonize olma oranı yüksektir. Bu oran ergime sıcaklığı ile orantılı olarak %20-%100 aralığında değişmektedir. Örneğin ergime sıcaklığı  $1668^{\circ}\text{C}$  olan titanyum hedef malzemede %90'a varan iyonlaşma oranı elde edilmektedir. Hedef üzerinde ergiyen noktaların çapları 1-20  $\mu\text{m}$  kadardır.



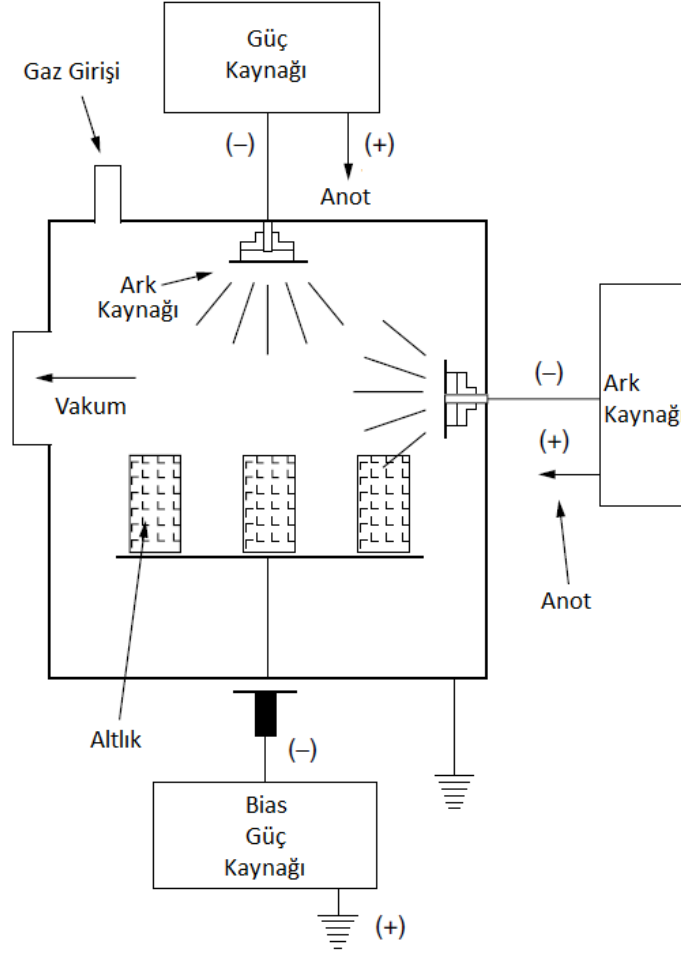
Şekil 3. 10 Katodik noktadaki oluşumların aşamaları

Hedef malzemedan küçük bir nokta kaldırılması, bu yöntemde nispeten küçük boyutlarda hedef kullanılabilmesini sağlamaktadır. Bu esneklik sayesinde kaplama odasının daha farklı bir şekilde tasarlanması mümkün olmaktadır. Katodik ark tekniği, endüstriyel uygulamalarda genelde  $10^{-4}$  Pa basınçta uygulanmaktadır. Reaktif kaplamalarda ise bu basınç  $10^{-2}$ -10 Pa arası değişmektedir.

Basit bir kaplama ünitesi; vakum odası, katot, ark güç kaynağı, ark tetikleyici, anot ve altlık bias güç kaynağından oluşmaktadır (Şekil 3.11) [29].

Bu yöntem ile TiN gibi sert ve aşınmaya dirençli kaplamalar başarılı bir şekilde elde edilmektedir. Katodik ark tekniğinin diğer yöntemlere avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

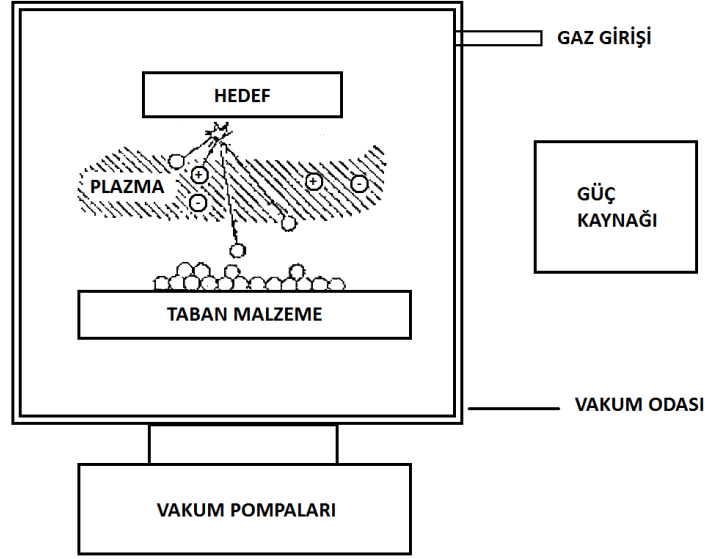
- Kaplama malzemesinin yüksek oranda iyonize edilebilmesi
- Farklı geometrik şekillere sahip parçaların yeterli homojenlikte kaplanabilmesi
- Ergitilmiş bir banyo oluşmayacağı için, buharlaştırma kabınınin tavan dâhil herhangi bir bölüme yerleştirilebilmesi
- Konstrüksiyon ve güç kaynak ünitelerinin basitliği
- Katotun uzun süre kullanılabilmesi
- Metallerin, alaşımların ve bileşiklerin yüksek kaplama hızlarında biriktirilebilmesi
- Altlığın yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmasının zorunlu olmaması
- TiAlN gibi bileşik filmlerin daha kolay elde edilmesi



Şekil 3. 11 Katodik ark tekniğinin şematik gösterimi

### 3.3.6.2 Sıçratma Teknikleri

Genel olarak sıçratma tekniklerinde, buhar fazının elde edileceği hedef malzeme, Şekil 3.12'de gösterildiği gibi pozitif iyonlar ile bombardımana tutulurlar. Bu bombardıman sonucunda hedef malzeme yüzeyinden atom veya atom grupları kopar [30]. Hedef malzemedan kopan atom veya atom grupları oluşan plazma içerisinde buhar fazına geçip alt malzeme yüzeyinde birikerek kaplama işlemini gerçekleştirirler. Sıçratma tekniği yüzey dağlaması için de kullanılabilir.

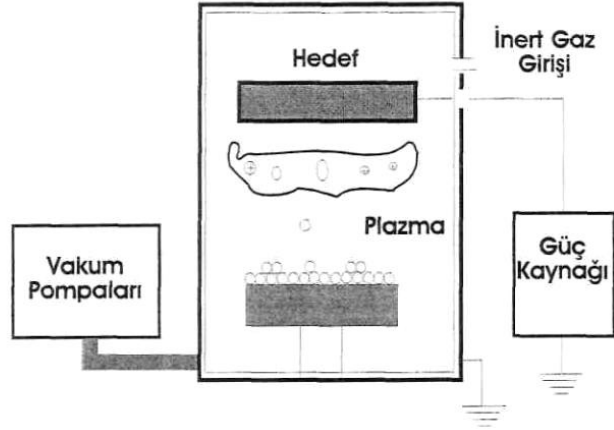


Şekil 3. 12 Sıçratma tekniği mekanizması şematik gösterimi

Sıçratma yönteminin en önemli avantajı, farklı buhar basınçlarına ve farklı buharlaşma hızlarına sahip bileşenlerin, içeriği değişmeden başarıyla biriktirilebilmesidir [31]. Ayrıca korozyon mukavemetini azaltan makropartiküllerin film yapısına girme olasılığı düşüktür. Kaplamaların altlığa yapışma özellikleri iyidir. Sonuç olarak sıçratma tekniği ile kaplanmış malzemelerin yapısı, homojenliği ve kalitesi çok iyidir. Ancak bu yöntem kaplama kalınlığı açısından limitli ve yüksek maliyetlidir.

Sıçratma tekniği kullanılan PVD sistemleri uygulanabilirlik açısından çok geniş kullanım alanı bulmuştur [32]. Bu yöntemler kullanılarak manyetik ve optik kayıt üniteleri, kompakt disk, çok katlı elektronik kaplamalar, ayna ve filtreler için çok katlı optik kaplamalar, reflekte kaplamalar, güneş ve radyasyon filtreleri, güneş pilleri, ışığa duyarlı yarıiletkenler, elmas benzeri kaplamalar, saydam iletken kaplamalar, amorf optik filmler, performans arttırıcı kaplamalar ve dekoratif kaplamalar imal edilebilir.

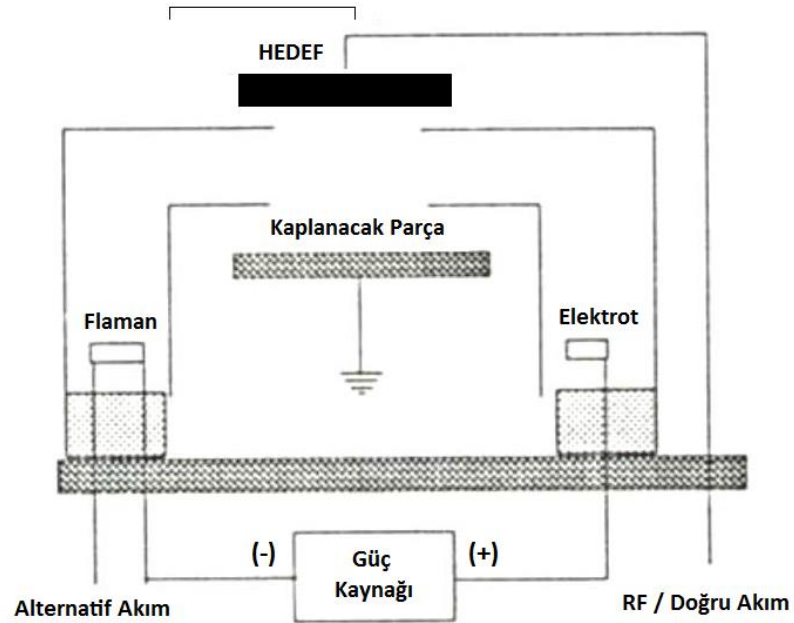
**Diyot Sıçratma:** Kullanılan hedef düz yüzeylidir ve hedef ile vakum odası arasına 1-5 kV'luk bir potansiyel uygulanmaktadır [33]. Kaplama hızı diğer yöntemlere göre daha düşüktür. İnce kompleks kaplamalar ve küçük boyutlu laboratuvar tipi uygulamalar için uygundur. En büyük avantajı basit bir sisteme sahip olmasıdır (Şekil 3.13).



Şekil 3. 13 Diyot sıçratma tekniği şematik gösterimi [32]

**Triyot Sıçratma:** Diyot sıçratma sistemine ilave olarak anot ve katot arasında elektron yayan ısıtıcı flaman ve pozitif potansiyel farklı bir elektrot vardır (Şekil 3.14). Isıtıcı ve elektrot, gaz iyonlaşma oranını arttırmaları. Buda kaplama kalitesini ve verimi artırır.

Triyot sıçratma düzeneğinin diğer bir avantajı da uygulama potansiyelinin düşürülmesi sayesinde kaplamadaki radyasyondan kaynaklanan hasarlar azaltılmasıdır [34].

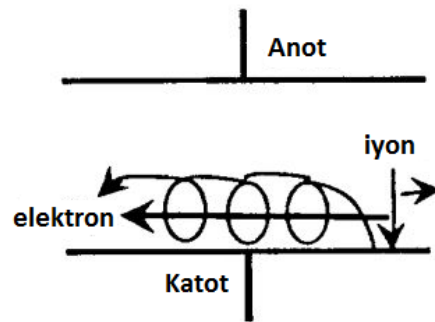


Şekil 3. 14 Triyot sıçratma tekniği şematik gösterimi

**Manyetik Alanda Sıçratma:** Bu yöntem, diyot sıçratma sistemine benzemektedir. Bu sistemde ek olarak hedefin hemen arkasına bir mıknatıs yerleştirilmiştir. Mıknatısın

manyetik alan çizgileri; hedef malzemesi yüzeyine paralel, elektrik alan çizgilerine dik konumdadır. Bundan dolayı bu yöntem “mıknatıslı hedef” olarak da anılmaktadır.

Mıknatısın yerleştirilme konumu sebebiyle, yüzeyden yayılan ikincil elektronlar katot yüzeyi önünde spiral tarzı bir yörüngede hareket ederler (Şekil 3.15). Spiral yörünge yolu uzatacağından elektronların çarpışma ihtimali artacak ve iyonlaşma oranı yükselmiş olacaktır. Bu yüksek iyonlaşma hedef yüzeyin hemen önündeki bölümün sıçratma hızını oldukça yükseltecektir. Diyot sistemiyle karşılaştırıldığında manyetik alanda sıçratma düzeneğinde elde edilecek sıçratma hızları elli kat kadar daha yüksek olabilmektedir [19]. Sıçratma işleminin teknik uygulamalarda çok yaygın olarak kullanılması manyetik alan düzeneğinin kullanılmasıyla mümkün olabilmektedir.



Şekil 3. 15 Manyetik alanda sıçratma tekniği şematik gösterimi

### 3.3.6.3 Plazma ile Parçalanma

Plazma ile parçalanma yöntemi PVD ve CVD teknikleri arasında bir yere sahiptir. Yüzeyle kaplanmak istenen bileşenlerin kimyasal yöntemler gibi gaz halinde bulunması ve buhar kaynağı veya hedef olarak katı madde içermemesi CVD yöntemine, yoğunlaşma mekanizmaları açısından PVD yöntemine benzemektedir.

**DC Plazma:** Bu yöntem 2-5 kV bir gerilim altında, etilen argon karışımı bir ortam kullanarak plazmayı ateşlemekte ve soğuk katot üzerine karbon kaplama yapmaktadır.

**Akkor Katot:** Akkor katotla kararsız bir plazma benzer atmosferinde düşük basınç kullanılarak oluşturulmaktadır. Katodun hemen önüne ızgara şeklindeki anot yerleştirilmekte ve iyonlar ivmelendirilmektedir. İvmelendirilen iyonlar negatif potansiyelle altlığa doğru yönlendirilmektedir. Bu yöntem nispeten küçük yüzeyli altlık malzemelerin yüksek hızlarda kaplanabilmesine olanak sağlamaktadır.

**Yüksek Frekans:** İki adet elektrod kullanılmaktadır. Bunlardan biri topraklanmakta, diğereine 13,5 MHz mertebelerinde yüksek frekans verilmektedir. Her iki elektrotta suyla soğutulmaktadır. Altlık tutucu görevini yüksek frekansa bağlı olan elektrot gerçekleştirilmektedir. İyonlar elektrotlar arasına uygulanan güce bağlı olarak, kendiliğinden negatif olarak yüklenen altlıklar tarafından çekilmektedir. Bu yöntemin çalışma ortamı genellikle metan gazıdır.

**Mikrodalga Plazma:** Özel bir dalga iletici ile vakum odasına iletilen yüksek frekanslı (2,45 GHz) elektromanyetik dalgalar, bir mıknatıs tarafından oluşturulmaktadır. Bu yöntemin en büyük avantajı, plazma bölgesinde saflığı bozan elektrotların bulunmamasıdır. Bu yöntemle yüksek iyonlaşma derecelerine, dolayısıyla yüksek kaplama hızlarına ulaşılabilmektedir.

#### **3.3.6.4 PVD Yöntemiyle Uygulanan Başlıca Kaplama Malzemeleri**

Uygulama kolaylığı, altlık malzeme çeşitliliği, iyi aşınma ve korozyon direnci veren kaplamalar sunduğu için, PVD kaplamalar endüstride sıklıkla kullanılmakta ve her geçen gün popülaritesi artmaktadır.

Özellikle aşınmaya dayanıklı kaplama üretimi için sert malzemelerin yüzeye biriktirilmesi gerekmektedir [19]. Bunları elektrokimyasal yollarla üretmek mümkün değildir. Bu yüzden PVD yöntemleri daha da önem kazanmaktadır.

Endüstride kullanılan başlıca kaplama malzemeleri TiN, CrN, ZrN, MoN, NbN, BN, AlTiN, TiAlN ve bunlar arasından uygulanan dubleks kaplamalar şeklinde sıralanabilir.

**Titanyum Nitrür (TiN):** Kaplamaların sertlikleri yüksek (~2100 HV), aşınma oranları düşük ve görünüşleri altına benzer şekilde parlaktır. Bu özelliklerinden ötürü aşınma önleme amaçlı kullanılmaktadır. Endüstride kesici takımların, enjeksiyon kalıplarının ve yatak malzemesinin kaplama uygulamalarında karşımıza çıkmaktadır. Şekil 3.16'da örneği gösterilen TiN kaplaması, parlak sarı rengi sayesinde dekoratif amaçlı uygulamalarda da tercih edilmektedir.

TiN kaplamaların diğere sert kaplamalara göre dezavantajı nispeten daha düşük sıcaklıklarda oksidasyona (~600 °C) uğramasıdır. TiN kaplamasına ait genel özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Çizelge 3. 2 TiN kaplamasına ait genel özellikler [19, 35, 36]

Yoğunluk [g/cm <sup>3</sup> ]	Ergime Sıcaklığı [°C]	Sertlik [HV]	Oksidasyon Sıcaklığı [°C]	Sürtünme Katsayısı	Renk
5,40	2950	2100-2800	450-600	0,6-0,65	Sarı



Şekil 3. 16 Katodik ark yöntemi ile kaplanmış TiN zimbalar [35]

**Krom Nitrür (CrN):** Yüksek sertlik, iyi oksidasyon direnci ve düşük sürtünme katsayısı ile metaller için uygun bir ince film nitrür kaplamadır. CrN 'ün korozyon direnci TiN' den daha iyidir. Bu sebeple özellikle sulu çözeltilerde kullanılacak ilk kaplama türlerindedir. Sürtünme özellikleri filmlerdeki yapının ve kristallerin yerleşimine bağlıdır. Tüm PVD kaplamaları gibi krom nitrürün de korozyon dayanımı kaplamanın yoğunluğuna ve kaplamada bulunan gözeneklere bağlıdır. Krom nitrürün rengi metalik gümüşe benzemektedir. CrN kaplamasına ait genel özellikler Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3. 3 CrN kaplamasına ait genel özellikler [19, 36, 37]

Yoğunluk [g/cm <sup>3</sup> ]	Ergime Sıcaklığı [°C]	Sertlik [HV]	Oksidasyon Sıcaklığı [°C]	Sürtünme Katsayısı	Renk
6,12	1050	2000-2400	650-750	0,4-0,45	Gümüş

**Niobyum Nitrür (NbN):** Yoğunluğu 8,43 g/cm<sup>3</sup> olan NbN, yüksek sertliği (1400 HV), iyi aşınma direnci, yüksek ergime noktası (2204 °C) ve süper iletkenlik özelliklerine sahip

bir kaplama malzemesidir. NbN malzemesine ilgi, mekanik özelliklerinden ziyade süperiletkenlik özelliklerinden dolayıdır.

**Titanyum Alüminyum Nitrür (TiAlN):** Birçok uygulamada TiAlN kaplamalar TiN kaplama yerine tercih edilmektedir. Renkleri bakır rengine yakın bronz şeklindedir.

TiAlN metaller için farklı uygulamalarda çok geniş bir spektrumda TiN e göre üstün performans gösterir. Bunun sebebi çalışma sıcaklığının 600 °C tan 900 °C civarlarına çıkmasıdır. TiAlN kaplamasının bir miktar ısınmasıyla birlikte kaplama yüzeyinde ince bir oksit filmi oluşmakta ve korozyon önlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu diğer kaplamalara göre yüksek sıcaklıkta bile daha yüksek sertlik özelliğini beraberinde getirmektedir. TiAlN kaplamasına ait genel özellikler Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3. 4 TiAlN kaplamasına ait genel özellikler [36, 38]

Yoğunluk [g/cm <sup>3</sup> ]	Sertlik [HV]	Oksidasyon Sıcaklığı [°C]	Sürtünme Katsayısı	Renk
5,1	3000-3400	800-900	0,7-0,8	Bronz

**Alüminyum Titanyum Nitrür (AlTiN):** Uygulama kolaylığı, altlık malzeme çeşitliliği, iyi aşınma ve korozyon direnci veren Alüminyum içeriği yüksek olan, siyaha yakın mor renkteki AlTiN kaplamalar, çok yüksek sertliğe ve iyi tokluğa sahiptirler. AlTiN' ün aynı zamanda oksidasyon sıcaklığında nispeten yüksektir. Isı kalkanı etkisi ile yüksek sıcaklığın olduğu çalışma ortamlarında başarılı sonuçlar vermektedir. Çalışma esnasında AlTiN kaplamaların yüzeyinde meydana gelen alümina tabakası korozyon direncini ve ısıl direnci arttırmaktadır. AlTiN kaplamasına ait genel özellikler Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3. 5 AlTiN kaplamasına ait genel özellikler [36, 38]

Sertlik [HV]	Oksidasyon Sıcaklığı [°C]	Sürtünme Katsayısı	Renk
3800-4200	900-1100	0,6	Siyah/Mor

**Dubleks Kaplamalar:** Dupleks kaplama yöntemleri (TiN/CrN, CrN/TiN, CrN/AlTiN vb.) belirlenen malzeme üzerine en az iki katman kaplanarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem sayesinde kaplama kalınlıkları, tek katmanlı kaplamalara göre daha yüksek değerlere çıkabilmektedir. Kaplamanın diğer ince film kaplamalara göre avantajları, daha kalın bir film tabakası oluşturulması sonucu kullanılan malzeme ömrünün daha fazla arttırılabilmesi, farklı amaçlara uygun kaplama elde edilebilmesi, ara katmanlar ile yüzeye daha iyi yapışma elde edilebilmesi şeklinde sıralanabilir.

## BÖLÜM 4

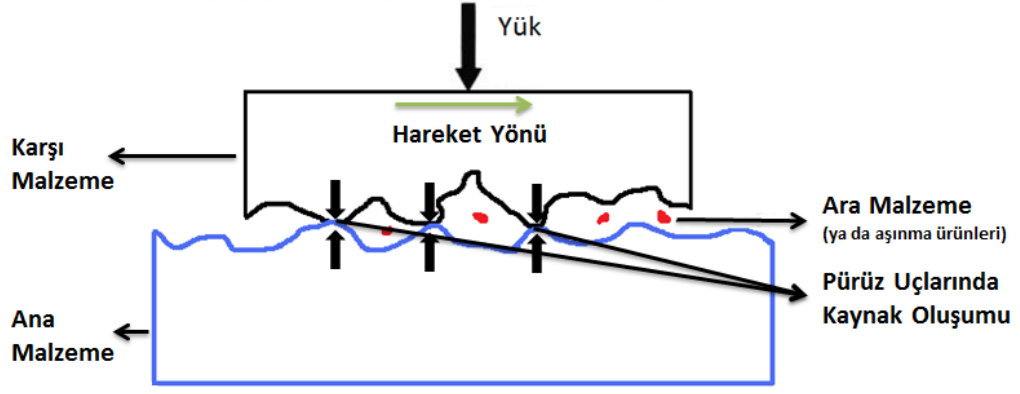
---

### AŞINMA

Aşınma; birbirlerine göre bağıl hareket eden ve temas eden yüzeylerde, mekanik ve kimyasal etkenlerden dolayı oluşan malzeme kaybıdır. Makine parçalarının ömürlerine büyük oranda etki etmektedir. Sürtünerek çalışan makine parçalarında aşınma kaçınılmaz hale gelmekte ve malzeme kaybının yanında enerji kaybına da yol açmaktadır.

Aşınmaya uğrayacak bir parçanın; malzemesinin değiştirilmesi yerine, parça yüzeyinin aşınma özellikleri geliştirilerek ekonomik ve pratik açıdan avantaj sağlanabilir. Bu alanda, PVD yöntemleriyle üretilen sert seramik ince film kaplamalar ile son yıllarda büyük aşamalar sağlanmıştır [39]. PVD kaplamalar genel olarak, düşük sürtünme katsayıları, yüksek sertlikleri, düşük ısı iletkenlikleri, yüksek kimyasal kararlılıkları, ana malzeme yüzeyine iyi yapışmaları ve kaplama kalınlıklarının homojen olması gibi avantajlarıyla aşınmaya karşı dayanım istenilen sistemlerde tercih edilirler.

Bir aşınma sistemi (Şekil 4.1) temel olarak ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük ve hareketten meydana gelmektedir. Bu sistem genelde tribolojik sistem olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 4.1 Aşınma sistemi elemanları

Katı yüzeyler, oksit filmleri ve sınır tabaka yağlayıcıları ile korunsalar bile, mekanik yük sonucunda oksit filmin parçalanması ve aktif sınır tabaka yağlayıcısının zayıflaması sonucunda yer yer malzemeler arasında temas olduğundan aşınma engellenemez.

Temel olarak, sürtünme sonucunda meydana gelen aşınmayı etkileyen faktörler; ana malzemeye, karşı malzemeye, ortam şartlarına ve çalışma şartlarına göre dört farklı grupta toplanabilir.

Ana malzemeye bağlı faktörler aşağıdaki gibidir:

- Malzemenin kristal yapısı
- Sertliği
- Elastisite modülü
- Deformasyon davranışı
- Yüzey pürüzlülüğü
- Boyutları

Ortamın şartlarına bağlı faktörler aşağıdaki gibidir:

- Sıcaklık
- Nem
- Atmosfer

Çalışma şartlarına bağlı faktörler aşağıdaki gibidir:

- Basınç
- Hız
- Sürtünme (Kayma) mesafesi şeklindedir.

Aşınma türleri birçok farklı başlık altında sınıflandırılabilir. Oluşum mekanizmalarına göre aşınma türleri adezif aşınma, abrazif aşınma, korozyon aşınması ve yorulma aşınması şeklinde sınıflandırılmaktadır.

#### 4.1 Sürtünme

Sürtünme, DIN 50281'de "Birbiri üzerinde kayan, yuvarlanan ve kaymalı yuvarlanan elemanların izafi hareketlerini yavaşlatan (dinamik sürtünme) veya engelleyen (statik sürtünme) mekanik direnç" şeklinde tanımlanmaktadır. Bu olay sonucunda cisimlerin hareketlerine ters yönde meydana gelen kuvvete de sürtünme kuvveti denmektedir. Sürtünme kuvveti, temas eden malzeme ikilisine bağlıdır ve temas bölgesindeki normal kuvvetle doğrusal olarak değişmektedir. Sürtünme kuvvetinin, normal kuvvete oranına sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) denmektedir.

Sürtünme; kavramalar, frenleme sistemi gibi sürtünme ile çalışan sistemler dışında istenmeyen bir durumdur. Pratikte sürtünme tamamen ortadan kaldırılamaz ancak azaltılabilir. Sistemlerde sürtünme artışı sonucunda ısı artışı da meydana gelmektedir. Isı artışı aşınmayı daha da tetiklemektedir.

Sürtünme çeşitleri hareketin türüne, hareketin meydana gelişine ve yağlama türüne göre üç farklı şekilde sınıflandırılabilir. Bunlar:

Hareketin türüne göre sürtünme sınıflandırılması,

- Kayma sürtünmesi
- Yuvarlanma sürtünmesi
- Kayma + yuvarlanma sürtünmesi

Hareketin meydana gelişine göre sürtünme sınıflandırılması,

- Statik sürtünme

- Dinamik sürtünme
- Titreşim sürtünmesi

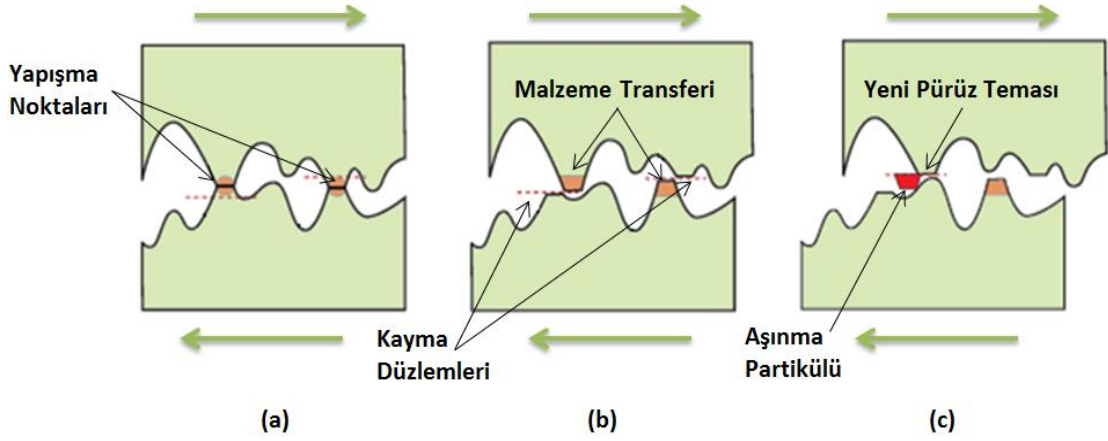
Yağlama türüne göre sürtünme sınıflandırılması,

- Kuru sürtünme
- Sıvı sürtünmesi
- Sınır sürtünmesi şeklindedir.

Malzeme yüzeylerindeki pürüzlülük ne kadar fazla ise sürtünme ve dolayısıyla aşınma oranı artmaktadır. Yüzeyin daha pürüzsüz hale getirilmesi sonucunda aşınma azaltılabilecektir. Metal malzeme yüzeylerinin çok hassas işlenmesi ve ya parlatılması durumunda bile, yüzeydeki pürüzler tamamen giderilemez [40]. İki yüzeyin teması esnasında, gerçek temas alanı pürüzlerin birbirine dokunduğu noktalardan oluşur. Bu durumda yüzeye uygulanan yük, yalnızca temas noktalarından desteklenir ve yüzey alanının çok küçük bir kısmına etki eder.

#### **4.2 Adezif Aşınma**

Birbiri üzerinde kayma sürtünmesi yapan metal-metal malzeme çiftinde pürüz uçlarında meydana gelen yapışma olayının bir sonucudur. Pürüz uçlarındaki gerçek temas alanı, malzemede görülen yüzey alanının yaklaşık onbinde biri kadardır [41]. Bu yüzeylerdeki gerilmeler küçük yüklerde bile akma gerilmesi sınırına erişip geçebilirler. Bunun sonucunda, temas noktalarında yapışma kuvvetleri oluşur ve bir parçadan diğerine malzeme geçişi soğuk kaynama şeklinde gerçekleşir. Parçaların hareketlerinden dolayı, yeni pürüz yüzeyine temas esnasında küçük parçaların kopması neticesinde malzeme kaybı meydana gelir. Adezif aşınma mekanizmasının şematik gösterimi Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Adezif aşınma

Kısaca adezif aşınma bir metal yüzeyinin başka bir metal yüzeyindeki bağıl hareketi sırasında birbirlerine kaynamış veya yapışmış yüzeylerdeki pürüzlerin kırılması sonucu ortaya çıkar [42]. Adezif aşınma, en sık rastlanan aşınma türü olmasına karşın, genellikle aşınma kaynaklı hasarı hızlandırıcı etkisi yoktur.

Aşınma sistemindeki iki metalin aynı sertlikte olması durumunda, aşınma her iki yüzeyde de meydana gelir. Metaller arasında yağlama yapılması, yüzeylere etki eden yükün azaltılması ve malzeme sertliğinin artırılması ile adezif aşınma azaltılabilir.

### 4.3 Abrazif Aşınma

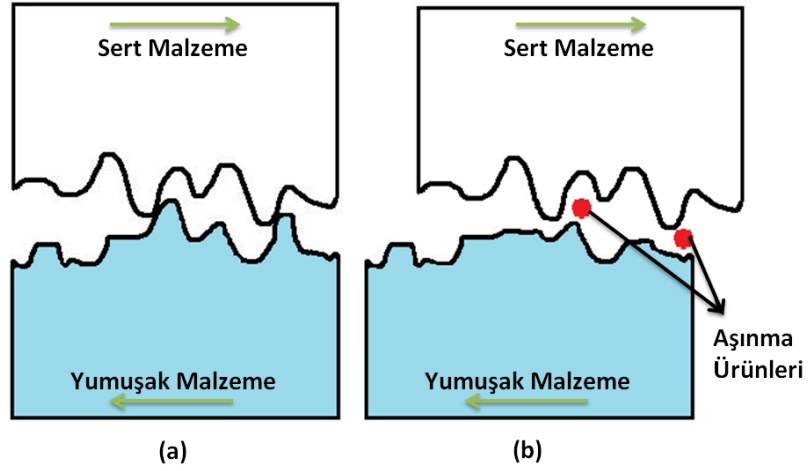
Aşınma sisteminde, kayma hareketi yapan malzemelerden birinin diğerine göre daha sert ve pürüzlü olması sonucunda meydana gelen aşınma türüdür (Şekil 4.3). Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilmektedir. Abrazif aşınma, sistemlerde hızlı hasara sebep olan önemli bir aşınma türüdür.

Ana metalden daha sert olan parçacıkların sisteme girmesi de abrasif aşınmaya sebep olabilmektedir. Malzemelerin arasında giren toz parçacıkları ya da bir motorda yanma sonucu oluşan ürünlerin sebep olduğu aşınmalar buna örnek olarak verilebilir.

Abrazif aşınma, sistemindeki ana malzemenin daha sert bir malzeme ile değiştirilmesi ile azaltılabilir. Veya malzeme değişikliğine gitmeden malzeme yüzeyine etki eden yükün düşürülmesi ile parçacıkların yüzeye daha az batması sonucunda daha dar ve sığ izler oluşması sağlanarak azaltılabilir. Malzemenin özellikleri değiştirilerek aşınmayı azaltmak için ise, ısıtma işlemiyle malzeme sertliğini artırılabilir, malzeme yüzeyi daha sert



bir yapı ile kaplanabilir ve karbon ya da azot emdirme işlemleri ile malzeme yüzeyi sertleştirilebilir.



Şekil 4.3 Abrazif aşınma

Metal-metal sürtünmelerinde aşınma; ara malzeme olmadan adeziv veya abrazif olarak başlar, tozların, mineral tanelerinin, parçalanmış oksitlerin, yüzeyden kopan partiküllerin aşınma sistemine girmesi ile ara malzemeli abrazif aşınma olarak devam eder.

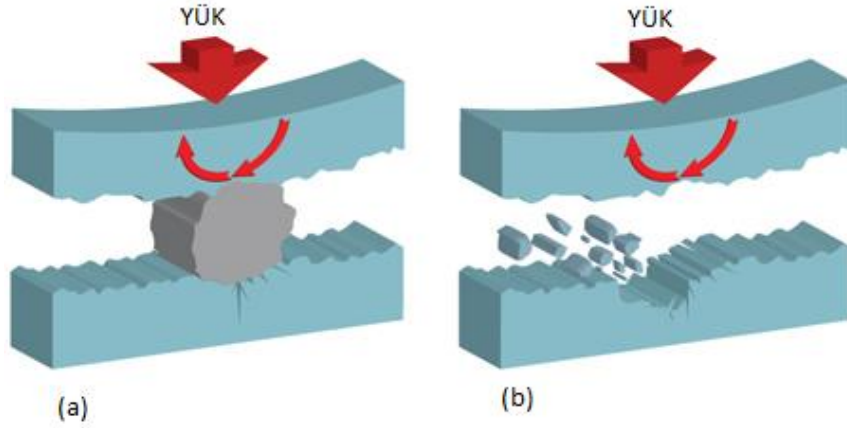
#### 4.4 Korozyon Aşınması

Bu aşınma çeşidi kaymanın korozif bir ortam içinde olması durumunda gerçekleşir. Korozif ortam malzeme yüzeyinde bir film tabakası oluşturur. Bu film genellikle ana malzemeye göre daha gevrek olduğundan kırılma olasılığı yüksektir. Kayma etkisi ile gevrek olan korozyon ürünü kırılıp, malzeme yüzeyinden uzaklaştırılmış ve yeni malzeme yüzeyi ortamdaki korozif etkiye maruz bırakılmış olur. Böylece devamlı bir şekilde malzeme kaybı gerçekleşir.

Korozyon aşınması, mekanik etkenler ile çevrenin kimyasal etkileri ile ortaya çıkar. Sürtünen yüzeylerde oluşan korozyon ürününün sert parçacıklar halinde kopması sonucunda şiddetli aşınma görülür [43].

#### 4.5 Yorulma Aşınması

Birbiri üzerinde yuvarlanan malzemelerde yüzey yorulması gözlemlenir. Bu malzemelerin temas halindeki yüzeylerinde plastik deformasyon sonucu pekleşme meydana gelir. Yorulma aşınmasının adımları Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 Yorulma aşınması: a) parça teması, yüzeyin çukurlanması ve çatlak başlangıcı, b) N çevrim sonra çatlağın yayılması, yüzeyden malzeme kopması ve uzaklaşması [43]

Pikleşme oluşan bölgeler daha gevrek olacağından, üzerinden geçen tekrarlı kuvvet etkisiyle çatlaklar. Metal malzemelerde bu çatlama, yüzeyden 0,2-0,3 mm derinlikte başlar. Bu çatlaklar zamanla yayılır ve yüzeyden pul şeklinde malzeme kopar. Bu tür yüzey yorulmasını önlemek için yüzeylerin sertleştirilmesi gerekir [44].

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada; korozyon dayanımı ve aşınma performansının iyileştirilebilmesi için sert krom kaplamasıyla karşılaştırmak amacıyla, AISI 4140 çelik altlık üzerine 5 farklı seramik malzeme (TiN, CrN, TiAlN, TiN/CrN, CrN/AlTiN) katodik ark PVD yöntemiyle kaplanmak üzere numuneler hazırlanmıştır. Tüm numuneler, aynı kaplama şartlarında homojen bir kaplama sağlanabilmesi için, kaplama öncesi pürüzlülük değerleri 0,020 mikrometrenin altında olacak şekilde hazırlanmıştır ve numunelerin kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür.

Atmosferik korozyon direncini ölçmek amacıyla kaplanmış numunelere, ASTM B 117 [15]'ye uygun olarak tuz püskürtme deneyi yapılmıştır. Ayrıca, ASTM G 99 [14]'a uygun şekilde, oda sıcaklığında ve anlık yüksek sıcaklıkta aşınma deneyleri uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar birbirleriyle karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

#### 5.1. Altlık Çelik Malzemenin Hazırlanması

Deneylerde kullanılmak üzere Çizelge 5.1'de kimyasal kompozisyonu verilen AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. AISI 4140 çeliği ıslah edilmiş ve kaplama öncesi sertlik değeri 52 HRc (yaklaşık olarak 545 Vickers) olarak ölçülmüştür. Bu çelikten 2 farklı geometride numune hazırlanmıştır.

Birinci geometriye sahip numuneler, tuz püskürtme deneylerinde kullanılmak üzere, gaz paftasının 1:2 ölçeğinde, 4'üncü Ana Bakım Merkez Komutanlığında TTC 630 model (Taksan, Türkiye) C eksenli CNC torna tezgahında işlenmiş ve yüzey kaplamaya hazır hale getirilmiştir.

Aşınma deneylerinde kullanılacak ikinci geometriye sahip numuneler ise, 4 mm kalınlığında ve 40 mm çapında disk üzerinde bilyalı aşındırma (ball on disc) deney cihazına uygun olarak, SN 50 model (Tezsan, Türkiye) universal torna tezgahı yardımıyla işlenmiştir. Zhou vd.'nin [6] yaptıkları çalışmadaki kaplama öncesi yüzey pürüzlülük değeri referans alınarak kaplanacak numunelere polisaj uygulaması yapılmış ve pürüzlülük değerleri (Ra) 0,02 mikrometrenin altına düşürülmüştür.

Çizelge 5.1 AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu

Karbon (C)	Krom (Cr)	Mangan (Mn)	Molibden (Mo)	Silisyum (Si)	Fosfor (P)	Kükürt (S)
0,38-0,43	0,8-1,1	0,75-1	0,15-0,25	0,15-0,3	≤ 0,035	≤ 0,04

## 5.2. Kaplama İşlemleri

Kaplama malzemesi olarak; yüksek sertlik, yüksek sıcaklık dayanımları ve yüksek aşınma dirençleri göz önüne alınarak aşağıda verilen 5 farklı kaplama çeşidi seçilmiştir:

- TiN
- CrN
- TiAlN
- TiN/CrN
- CrN/AlTiN

Kaplama tekniği olarak; kaplama malzemesinin yüksek oranda iyonize edilebilmesi, farklı geometrik şekillere sahip parçaların yeterli homojenlikte kaplanabilmesi, metal ve alaşımlarının yüksek kaplama hızlarında biriktirilebilmesi, altlığın yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmasının zorunlu olmaması gibi avantajlarından dolayı katodik ark PVD yöntemi seçilmiştir. Nordin vd.[5] yaptıkları çalışmada, TiN ve CrN kaplamaları için -200 V bias voltajı, sırasıyla  $1,7 \times 10^{-3}$  ve  $3 \times 10^{-3}$  mbar basınç, 60 ve 160 dakika kaplama süresi değerlerini kullanmışlardır. Benzer bir çalışmada, Oskouei ve İbrahim [45] TiN kaplaması için  $1 \times 10^{-5}$  mbar basınç, 450 °C sıcaklık ve 40 dakika kaplama süresi değerlerini seçmişlerdir. Farklı olarak Hua vd. [46] TiN kaplaması için -180 V bias voltajı,

$2 \times 10^{-5}$  mbar basınç, 400-450 °C sıcaklık ve 60 A akım değerlerinde çalışmışlardır. Bozyazı vd. [4] CrN kaplaması için -150 V bias voltajı,  $7,5 \times 10^{-3}$  Torr basınç, 250-300 °C sıcaklık, 90 A akım ve 80 dakika kaplama süresi değerlerini kullanmışlardır. Wuhrer ve Yeung [47] TiAlN kaplaması için -100 V bias voltajı ve 2,4 mTorr basınç değerleri ile çalışmışlardır. Zhou vd. [7] ise TiAlN/VN kaplamasında, TiAlN kaplamasının parametreleri olarak -75 V bias voltajı,  $2 \times 10^{-3}$  mbar basınç ve 450 °C sıcaklık değerlerini kullanmışlardır. AlTiN için ise Birol [48] yaptığı çalışmada -100 V bias voltajı,  $1 \times 10^{-3}$  Pa basınç, 400-500 °C sıcaklık ve 60-75 A akım değerlerini kullanarak kaplamayı gerçekleştirmiştir.

Yapılan literatür araştırmasında optimum sonuçların elde edildiği parametreler seçilmiş ve Çizelge 5.2’de verilmiştir. Çok katmanlı kaplamalarda ise işlemler, aynı parametreler kullanılarak ardarda gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.2 Katodik ark PVD kaplama parametreleri

Kaplama Parametreleri	Kaplama Malzemesi			
	TiN	CrN	TiAlN	AlTiN
Bias Voltajı (V)	-200	-110	-180	-100
Vakum Basıncı (mTorr)	3	6,5	3	3
Altılık Sıcaklığı (°C)	450	300	450	450
Katot Akımı (A)	55	60	60	60
Kaplama Süresi (dakika)	60	80	60	60

Hazırlanmış AISI 4140 çeliklerin seçilen malzemeler ile kaplanması Ionbond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş. firmasında, Şekil 5.1’de fotoğrafı görülen NVT 11 model (Novatech, Rusya) katodik ark PVD kaplama makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sert krom kaplama işlemleri 4’üncü Ana Bakım Merkez Komutanlığı’nda elektrolitik kaplama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.1 Katodik ark PVD kaplama makinesi

Kaplama kalınlıklarını belirlemek amacıyla manyetik indüksiyon metoduyla çalışan, demir esaslı malzemelerin üzerindeki kaplama kalınlığını ölçen Sonacoat F model (Sonatest, İngiltere) kaplama kalınlığı ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.2). Ölçüm yapılmadan önce numuneler temizlenip kurutulmuş, kaplamasız kalibrasyon bloğu ve kaplama gibi algılanan kalibrasyon kağıtları ile cihaz kalibre edilmiş ve her numune için 3'er ölçüm alınmıştır (Çizelge 5.3).



Şekil 5.2 Kaplama kalınlığı ölçüm cihazı

Çizelge 5.3 Hazırlanmış numunelere ait kaplama kalınlıkları

Kaplama Çeşidi	TiN	CrN	TiAlN	TiN/CrN	CrN/AlTiN	Sert Krom
Kaplama Kalınlığı( $\mu\text{m}$ )	$2,9\pm 0,2$	$2,7\pm 0,3$	$2,8\pm 0,2$	$5,9\pm 0,3$	$5,6\pm 0,2$	$20,1\pm 0,4$

### 5.3. Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Ölçülmesi

Kaplaması yapılan numunelerin ölçümleri oda sıcaklığında, Time marka TR220 model yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı (Şekil 5.3) ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm parametreleri olarak; 4L değerlendirme uzunluğu (evaluation length), 0,8 mm kesme (cut off) değerleri kullanılmıştır. Her kaplama çeşidi için 5 ölçüm gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4' te verilmiştir.

Çizelge 5.4 Yüzey pürüzlülük değerleri

Kaplama Malzemesi	Yüzey Pürüzlülük Değerleri : Ra ( $\mu\text{m}$ )						
	1	2	3	4	5	Ortalama	Std.Sapma
TiN	0,092	0,111	0,123	0,128	0,132	0,117	$\pm 0,025$
CrN	0,036	0,045	0,055	0,058	0,059	0,051	$\pm 0,015$
TiAlN	0,050	0,054	0,084	0,142	0,159	0,098	$\pm 0,061$
TiN/CrN	0,067	0,075	0,089	0,092	0,103	0,085	$\pm 0,018$
CrN/AlTiN	0,043	0,052	0,055	0,061	0,076	0,057	$\pm 0,019$
Sert Krom	0,022	0,024	0,025	0,027	0,029	0,025	$\pm 0,004$



Şekil 5.3 Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

#### 5.4. Tuz Püskürtme Deneyi

Tuz püskürtme deneyi için hazırlanmış numuneler  $10^{-4}$  g hassasiyetli terazi ile ağırlıkları ölçülmüştür. Ardından numuneler, ASTM B 117 [15]'ye uygun olarak Siemens marka tuz püskürtme cihazında %5'lik tuz çözeltisi, 35 °C kabin ve 50 °C doyum kulesi sıcaklığı koşullarında korozyon dayanımı deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 5.4). Deney esnasında numuneler sürekli gözlenmiş, 16 saatlik deney süresinin sonunda gözle görülür bir hasar meydana gelmiştir. Numuneler cihaz kabininden çıkarılmış, temizlenip kurulandıktan sonra ağırlıkları tekrar ölçülmüştür. Elde edilen değerlere göre hesaplanan korozyon hızları Çizelge 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.4 Numunelerin tuz püskürtme cihazı içindeki yerleşimleri

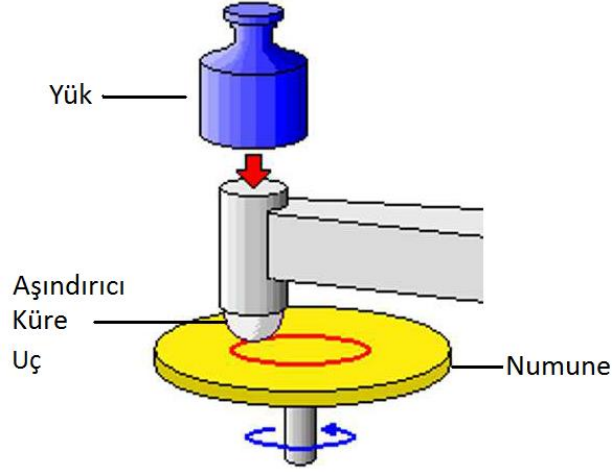
Çizelge 5.5 Tuz püskürtme deneyi sonunda elde edilen korozyon hızları

Kaplama Çeşidi	TiN	CrN	TiAlN	TiN/CrN	CrN/AlTiN	Sert Krom
Korozyon Hızı (mg/h)	1,8	1,54	1,5	1,44	1,38	0,82



## 5.5. Aşınma Deneyleeri

Kaplamaların aşınma performanslarını incelemek üzere Tribotester model Pin On Disk deney cihazı (Tribotechnic, Fransa) ile ASTM G-99 [14] standardına uygun olarak aşınma deneyleri yapılmıştır. (Şekil 5.5). Ayrıca, aşınma deneyi öncesi ve sonrası ağırlık ölçümleri alınarak numunelerin özgül aşınma oranları hesaplanmıştır.



Şekil 5.5 Bilyalı aşınma deney cihazının şematik gösterimi [49]

Zhou vd. [6] da yaptıkları çalışmada oda sıcaklığı, 300 °C ve 635 °C sıcaklıklarda  $Al_2O_3$  aşındırıcı, 1 N yük, 0,05 m/s çevresel hız ve sırasıyla 1100 m, 550 m ve 150 m toplam sürtünme mesafesi değerleri kullanılmıştır. Zhou vd. [7] farklı bir çalışmayı oda sıcaklığında  $Al_2O_3$  aşındırıcı, 5N yük, 0,1 m/s çevresel hız ve 500 m toplam sürtünme mesafesi değerleri ile gerçekleştirilmiştir. Benzer bir deney de Badisch vd. [50] tarafından, oda sıcaklığında  $Al_2O_3$  aşındırıcı, 10 N yük, 0,1 m/s çevresel hız ve 1000 m toplam sürtünme mesafesi değerlerini, 500 °C sıcaklığa kadar olan yüksek sıcaklıklarda ise  $Al_2O_3$  aşındırıcı 10 N yük, 0,1 m/s çevresel hız ve 200 m toplam sürtünme mesafesi değerlerini kullanarak yapılmıştır. Ayrıca, Han vd. [8] çalışmasında 400-600 °C sıcaklık aralığında  $Al_2O_3$  aşındırıcı, 4 N yük, 0,3 m/s çevresel hız ve 2000 m sürtünme mesafesi değerleri kullanılmıştır.

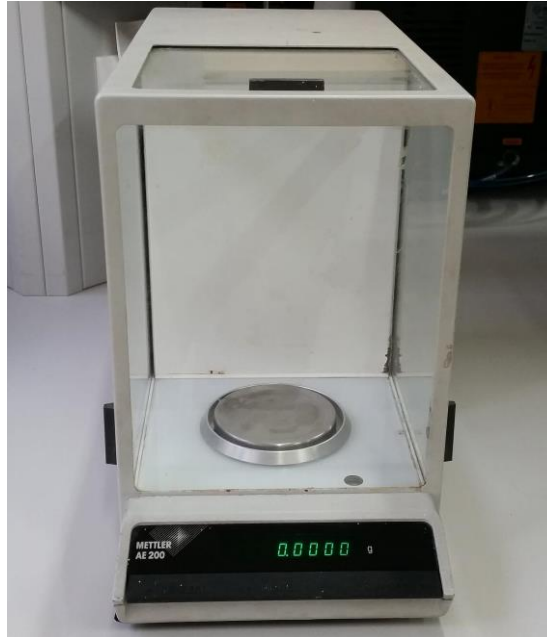
Literatürdeki değerler de dikkate alınarak, tüm kaplamalarda ortak kullanılabilcek aşınma deney parametreleri belirlenmiş olup 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 Aşınma deney parametreleri

Sıcaklık	Aşındırıcı	Yük	Hız	Mesafe
Oda Sıcaklığı	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4 N	0,2 m/s	1000 m
600 °C <sup>1</sup>				200 m

Aşınma deneyi öncesinde, numuneler alkol ile temizlenmiş, kurutulmuş ve 10<sup>-4</sup> g ölçüm hassasiyetli terazide (Şekil 5.6) ağırlıkları ölçülmüştür.

Deneyle her kaplama çeşidi için, oda sıcaklığı ve 600 °C başlama sıcaklıkları olmak üzere iki farklı sıcaklık ve % 65-70 nem oranında Çizelge 5.6'da verilen parametrelerle ikişer kez gerçekleştirilmiştir. Deney sonrasında numuneler tekrar alkol ile temizlenmiş, kurutulmuş ve 10<sup>-4</sup> g ölçüm hassasiyetli terazide ağırlıkları ölçülerek, ağırlık kayıpları ve özgül aşınma oranları hesaplanmıştır. Elde edilen ve hesaplanan değerler Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.6 10<sup>-4</sup> g ölçüm hassasiyetli terazi

---

<sup>1</sup> Yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen deneylere, elektrikli hava tipi fırında 600 °C sıcaklığa getirilen numuneler ile başlanmıştır.

Çizelge 5.7 Oda sıcaklığında elde edilen aşınma deneyi sonuçları

S. Nu.	Kaplama	Sürtünme Katsayısı	Ortalama Sürtünme Katsayısı	Malzeme Kaybı ( $10^{-4}$ g)	Ortalama Malzeme Kaybı ( $10^{-4}$ g)	Özgül Aşınma Oranı ( $10^{-5}$ mg/N.m)
1	TiN	0,591	0,567	2	2	5
2		0,543		2		
3	CrN	0,4	0,36	1	1,5	3,75
4		0,32		2		
5	TiAlN	0,811	0,8175	6	5,5	13,75
6		0,824		5		
7	TiN/CrN	0,314	0,3375	1	1,5	3,75
8		0,361		2		
9	CrN/AlTiN	0,504	0,551	4	4,5	11,25
10		0,598		5		
11	Sert Krom	0,487	0,4835	10	9,5	23,75
12		0,48		9		

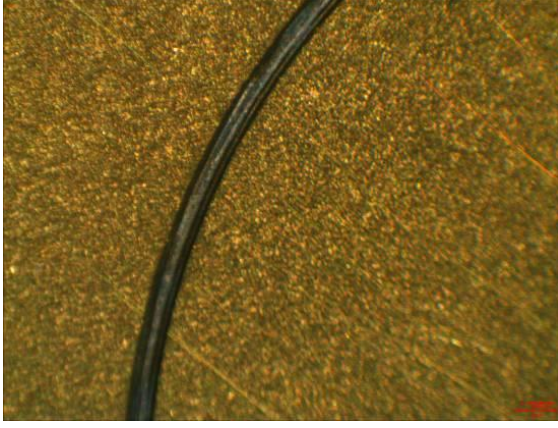
600 °C sıcaklıkta yapılacak aşınma deneyleri için numuneler, elektrikli hava tipi fırında ısıtılmış ve çekirdeğe kadar tüm yapının ısınması için fırın sıcaklığı 600 °C'a ulaştıktan sonra 25 dakika bekletilmiştir. Fırından çıkarılan numuneler, 35 ±10 s süre içerisinde aşınma deney cihazına yerleştirilerek deneylere başlanmıştır.

Çizelge 5.8 600 °C sıcaklıkta elde edilen aşınma deneyi sonuçları

S. Nu.	Kaplama	Sürtünme Katsayısı	Ortalama Sürtünme Katsayısı	Malzeme Kaybı ( $10^{-4}$ g)	Ortalama Malzeme Kaybı ( $10^{-4}$ g)	Özgül Aşınma Oranı ( $10^{-5}$ mg/N.m)
1	TiN	0,636	0,6775	31	33	412,5
2		0,719		35		
3	CrN	0,553	0,5715	29	31	387,5
4		0,59		33		
5	TiAlN	0,724	0,698	34	43,5	543,75
6		0,672		53		
7	TiN/CrN	0,595	0,5635	15	13,5	168,75
8		0,532		12		
9	CrN/AlTiN	0,734	0,672	45	45	562,5
10		0,61		- <sup>1</sup>		
11	Sert Krom	0,749	0,7455	107	119	1487,5
12		0,742		131		

Aşınma deneyleri sonrası tüm numunelerin makro görüntüleri 10X, 100x ve 400x büyütmede ışık metal mikroskobu ile alınmıştır (Şekil 5.7 – Şekil 5.12).

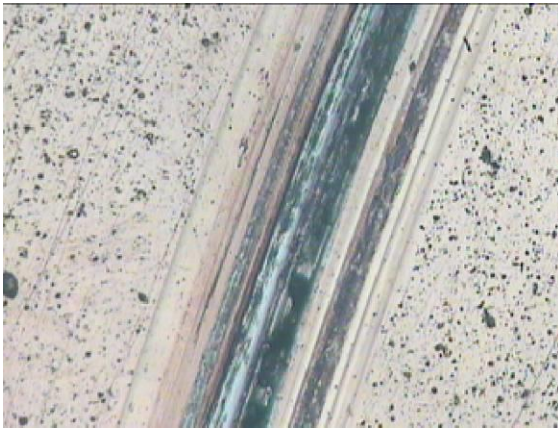
<sup>1</sup> CrN/AlTiN kaplamalı ikinci numuneden ağırlık kaybı ölçülememiştir.



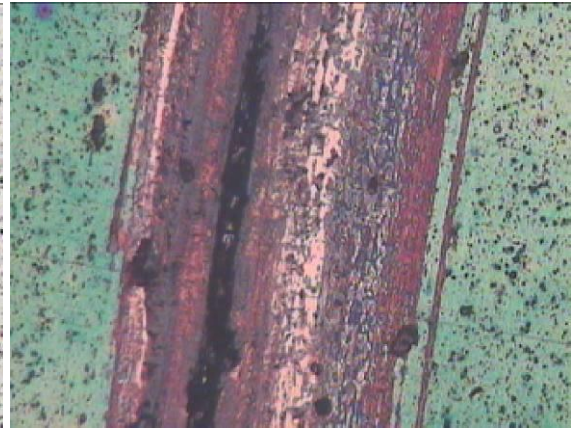
(a) Oda sıcaklığı 10X



(b) 600°C sıcaklık 10X



(c) Oda sıcaklığı 100X



(d) 600°C sıcaklık 100X



(e) Oda sıcaklığı 400X



(f) 600°C sıcaklık 400X

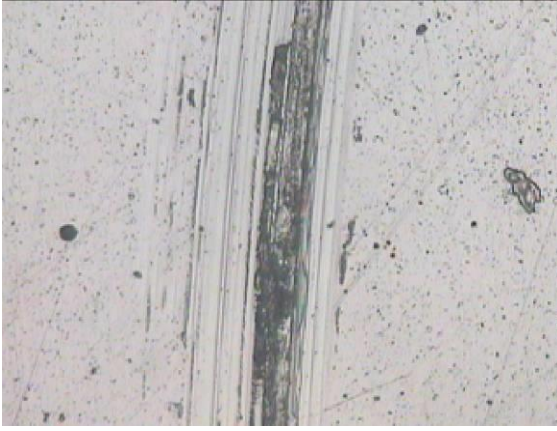
Şekil 5.7 TiN kaplamalı numuneye ait yüzey görüntüleri



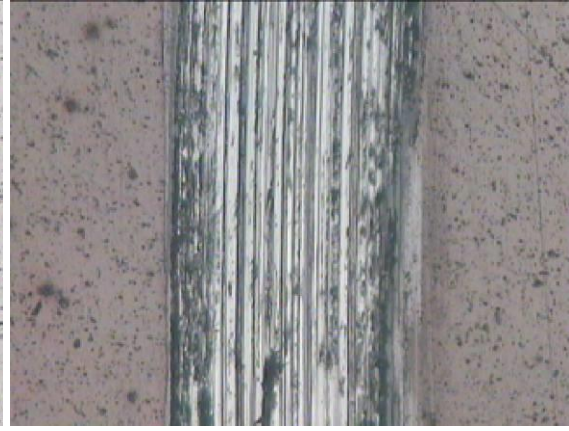
(a) Oda sıcaklığı 10X



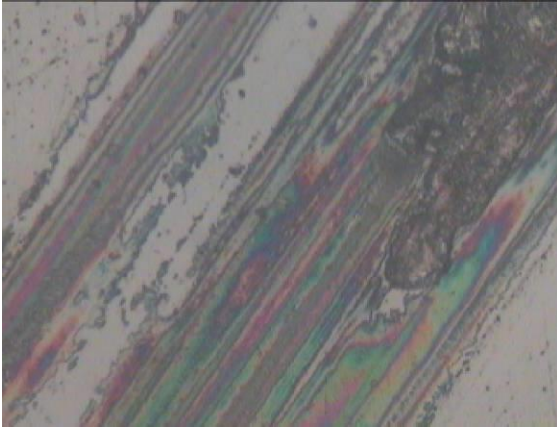
(b) 600°C sıcaklık 10X



(c) Oda sıcaklığı 100X



(d) 600°C sıcaklık 100X



(e) Oda sıcaklığı 400X



(f) 600°C sıcaklık 400X

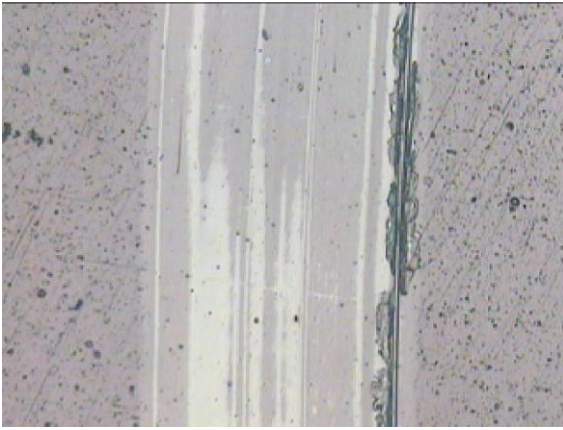
Şekil 5.8 CrN kaplamalı numuneye ait yüzey görüntüleri



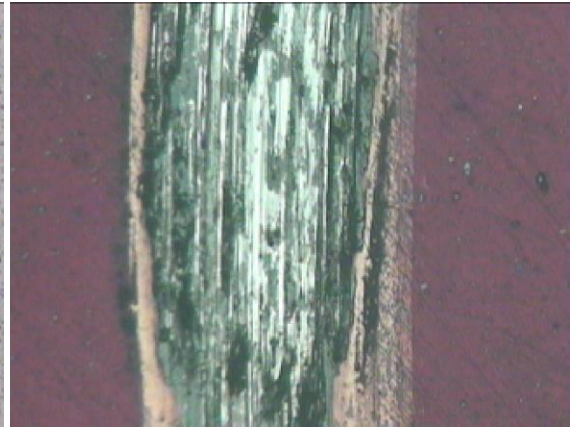
(a) Oda sıcaklığı 10X



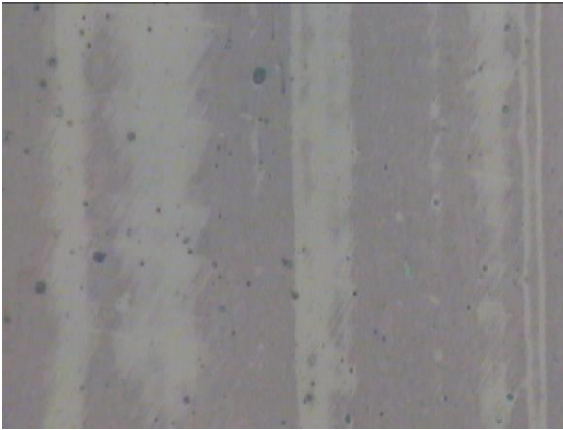
(b) 600°C sıcaklık 10X



(c) Oda sıcaklığı 100X



(d) 600°C sıcaklık 100X



(e) Oda sıcaklığı 400X



(f) 600°C sıcaklık 400X

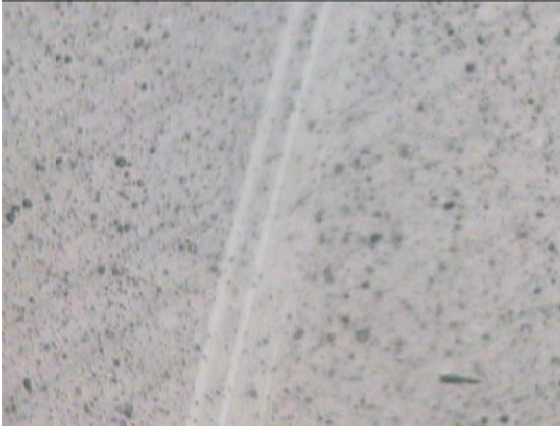
Şekil 5.9 TiAlN kaplamalı numuneye ait yüzey görüntüleri



(a) Oda sıcaklığı 10X



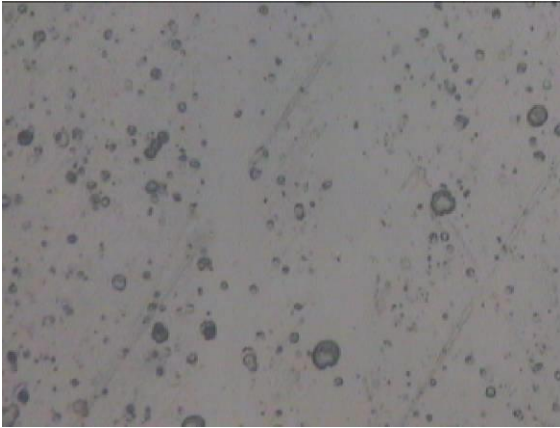
(b) 600°C sıcaklık 10X



(c) Oda sıcaklığı 100X



(d) 600°C sıcaklık 100X



(e) Oda sıcaklığı 400X



(f) 600°C sıcaklık 400X

Şekil 5.10 TiN/CrN kaplamalı numuneye ait yüzey görüntüleri

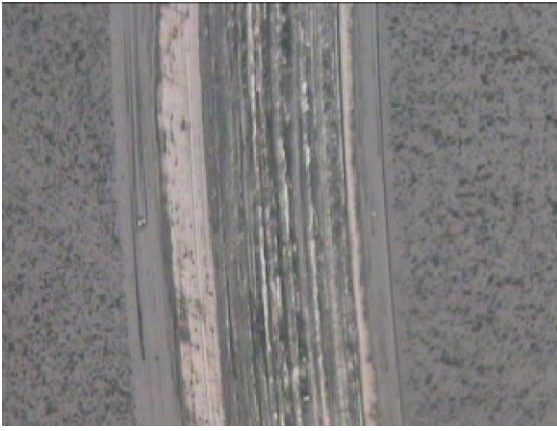




(a) Oda sıcaklığı 10X



(b) 600°C sıcaklık 10X



(c) Oda sıcaklığı 100X



(d) 600°C sıcaklık 100X

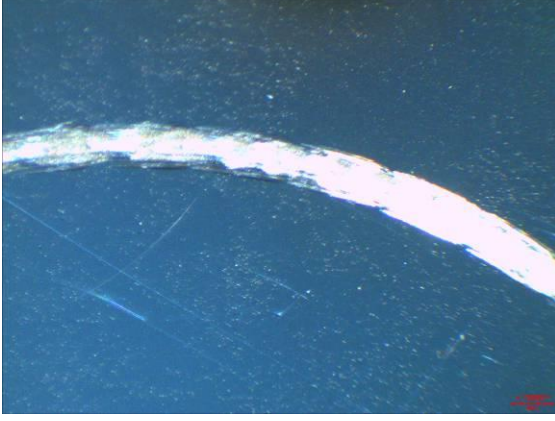


(e) Oda sıcaklığı 400X

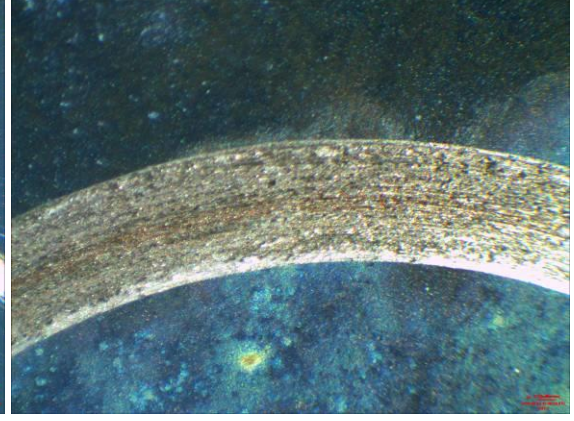


(f) 600°C sıcaklık 400X

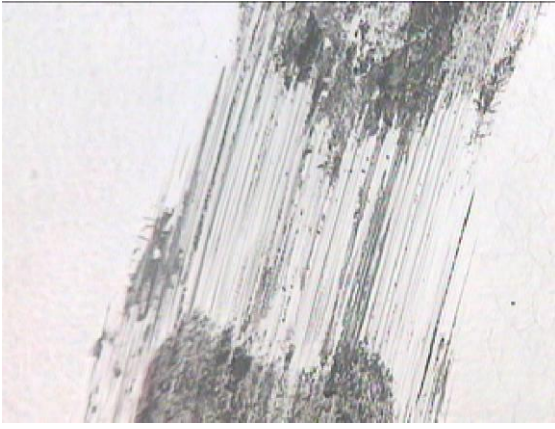
Şekil 5.11 CrN/AlTiN kaplamalı numuneye ait yüzey görüntüleri



(a) Oda sıcaklığı 10X



(b) 600°C sıcaklık 10X



(c) Oda sıcaklığı 100X



(d) 600°C sıcaklık 100X



(e) Oda sıcaklığı 400X

Şekil 5.12 Sert Krom kaplamalı numuneye ait yüzey görüntüleri

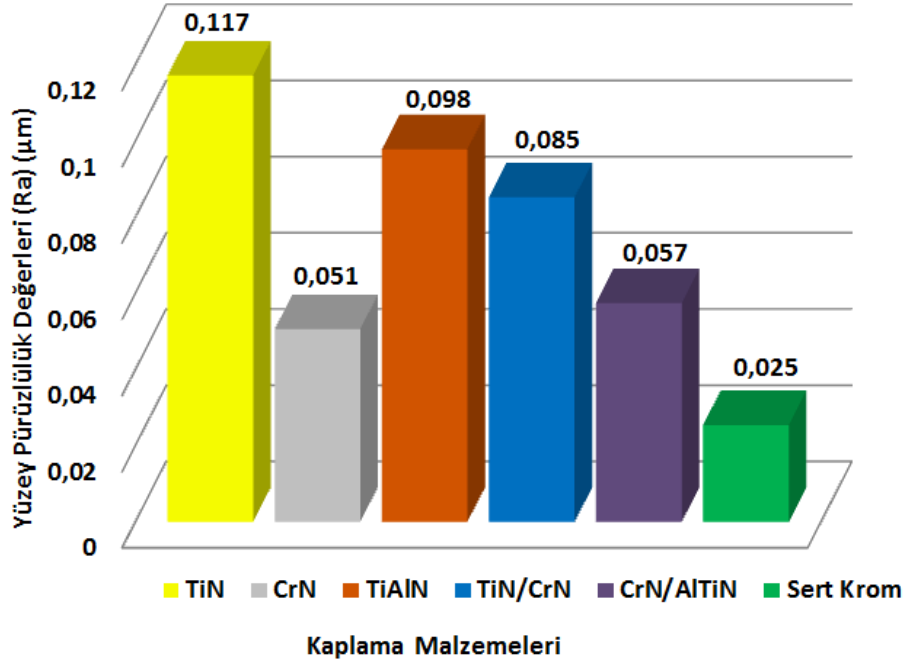
### TARTIŞMA

AISI 4140 çelik altlık üzerine sert krom ve katodik ark PVD yöntemiyle uygulanan farklı seramik kaplamaların aşınma performansları ve korozyon dirençlerini ölçmek amacıyla uygulanan deneylerden elde edilen sonuçlar, karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır.

#### 6.1 Yüzey Pürüzlülük Değerleri

Kaplanmış numunelere ait yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 6.1' de verilmiştir. Ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin (Ra); TiN kaplamasında 0,117  $\mu\text{m}$ , CrN kaplamasında 0,051  $\mu\text{m}$ , TiAlN kaplamasında 0,098  $\mu\text{m}$ , TiN/CrN kaplamasında 0,085  $\mu\text{m}$ , CrN/AlTiN kaplamasında 0,057  $\mu\text{m}$ , sert krom kaplamasında 0,025  $\mu\text{m}$  olduğu görülmektedir.

Elde edilen değerler incelendiğinde; en pürüzsüz yüzeylerin sert krom ve CrN kaplanmış numunelerde, en pürüzlü yüzeyin ise TiN kaplanmış numunede elde edildiği belirlenmiştir. Kaplama öncesi numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerinin 0,020  $\mu\text{m}$  değerinin altında tutulduğu ve kaplama işlem parametreleri dikkate alındığında; TiN kaplamasının yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı, buna karşın Cr esaslı kaplamaların yüzey pürüzlülüğünü daha az etkilediği söylenebilir. Bu durum; kaplama malzemelerinin yüzeye tutunma karakteristiklerinin farklılığı ile açıklanabilir.



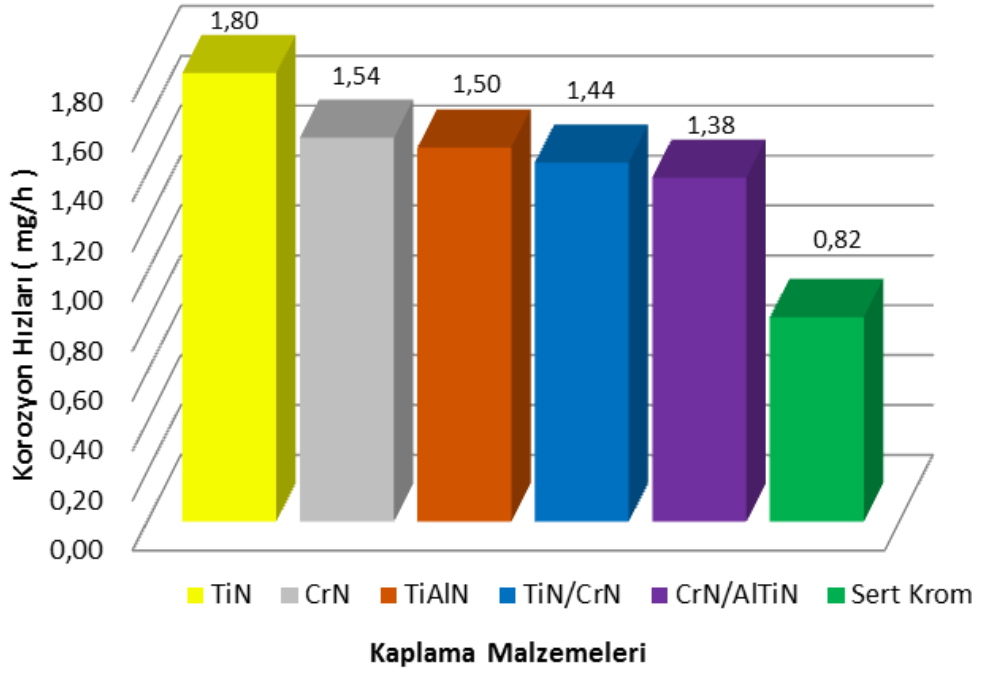
Şekil 6.1 Kaplama malzemesine göre yüzey pürüzlülük değerleri

## 6.2 Korozyon Davranışı

Tuz püskürtme deneyi sonucunda elde edilen korozyon hızlarına bakıldığında (Şekil 6.2); TiN kaplamasında 1,8 mg/h, CrN kaplamasında 1,54 mg/h, TiAlN kaplamasında 1,50 mg/h, TiN/CrN kaplamasında 1,44 mg/h, sert krom kaplamasında 0,82 mg/h olduğu görülmektedir.

Tuz püskürtme deneyi sonucunda elde edilen değerler ışığında en düşük korozyon hızı, belirgin farkla sert krom kaplama uygulanmış numunelerde olduğu saptanmıştır. Ancak, sert krom kaplama kalınlığının 20 µm olması bu sonucun elde edilmesine sebep olmuştur.

En düşük korozyon hızları; tek katmanlı kaplamalarda TiAlN, çift katmanlı kaplamalarda ise CrN/AlTiN kaplamasında elde edilmiştir. Hem TiAlN hem de CrN/AlTiN kaplamalarda; alüminyumun yüzeyinde oluşan doğal koruyucu alümina ( $Al_2O_3$ ) tabakası korozyona karşı direnci arttırmıştır.



Şekil 6.2 Kaplama malzemesine göre korozyon hızları

### 6.3 Sürtünme Katsayısı Değerleri

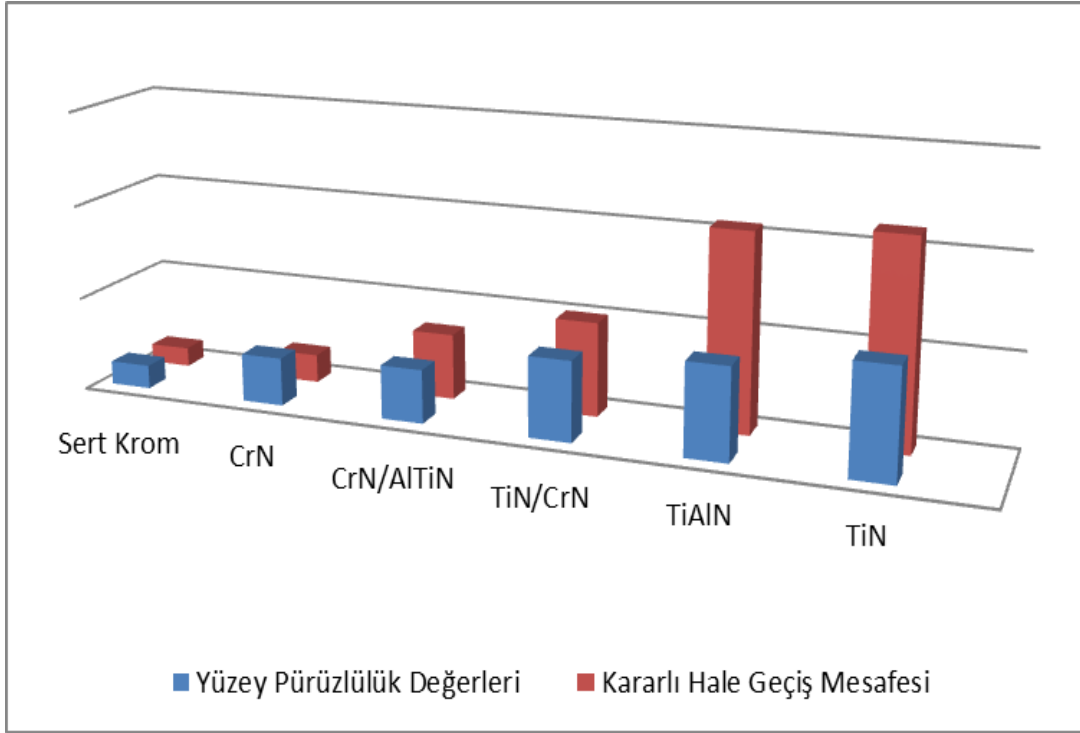
Aşınma deneyleri sonucunda elde edilmiş sürtünme katsayıları incelendiğinde; tüm kaplama malzemelerinin, deney başlangıcında düşük sürtünme katsayısı gösterdikleri, belli bir aşınma mesafesi sonrasında kaplama malzemesi ve yüzey pürüzlülükleriyle ilişkili olarak kararlı hale geçiş yaptıkları gözlemlenmiştir.

Yüzeydeki pürüzlerin aşınma esnasında kırılması ve temas alanının artması ile sürtünme katsayısı grafiğinde belirgin yükselmeler olmakta ve belirli bir mesafe sonrasında kararlı hale ulaşmaktadır.

Oda sıcaklığında gerçekleştirilen deneylerde, sürtünme katsayılarının kararlı hale geçtikleri ilk mesafeler Çizelge 6.1' de verilmiş ve elde edilen değerlerin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri ile karşılaştırıldıkları bir grafik Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Sürtünme katsayılarının kararlı hale geçtikleri mesafeler ile, ortalama yüzey pürüzlülükleri arasında bir benzerlik gözlemlenmiştir (Şekil 6.3). Yüzey pürüzlülük değeri daha yüksek olan kaplamalarda, belirtilen temas alanına ulaşılması daha uzun mesafede gerçekleştiğinden, buna bağlı olarak sürtünme katsayısının kararlı hale geçiş mesafesi de artmıştır.

Çizelge 6.1 Sürtünme katsayılarının ilk kararlı duruma geçiş mesafeleri

Kaplama Çeşidi		TiN	CrN	TiAlN	TiN/ CrN	CrN/ AlTiN	Sert Krom
İlk Kararlı Duruma Geçiş Mesafesi [m]	Numune 1	100	12	60	25	20	7
	Numune 2	120	18	150	75	50	13
	Ortalama	110	15	105	50	35	10

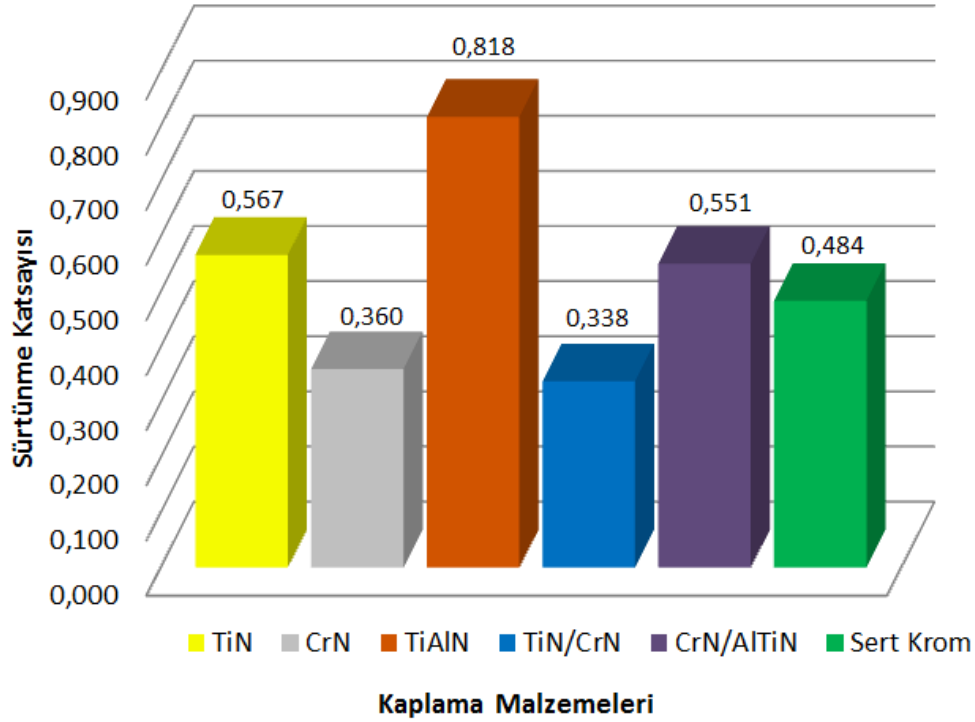


Şekil 6.3 Kaplamaların yüzey pürüzlülük değerleri ile kararlı hale geçiş mesafelerinin karşılaştırılması

600 °C sıcaklıkta başlanan deneylerde ise, kararlı sürtünme katsayılarına geçiş mesafelerinin çok daha kısa olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklıkta aşınma hızının artması ile açıklanmaktadır.

Sert krom ve katodik ark PVD yöntemiyle kaplanmış numunelerin, oda sıcaklığında gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonrası elde edilen ortalama sürtünme katsayıları Şekil 6.4' te verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde, en düşük sürtünme katsayısı 0,338

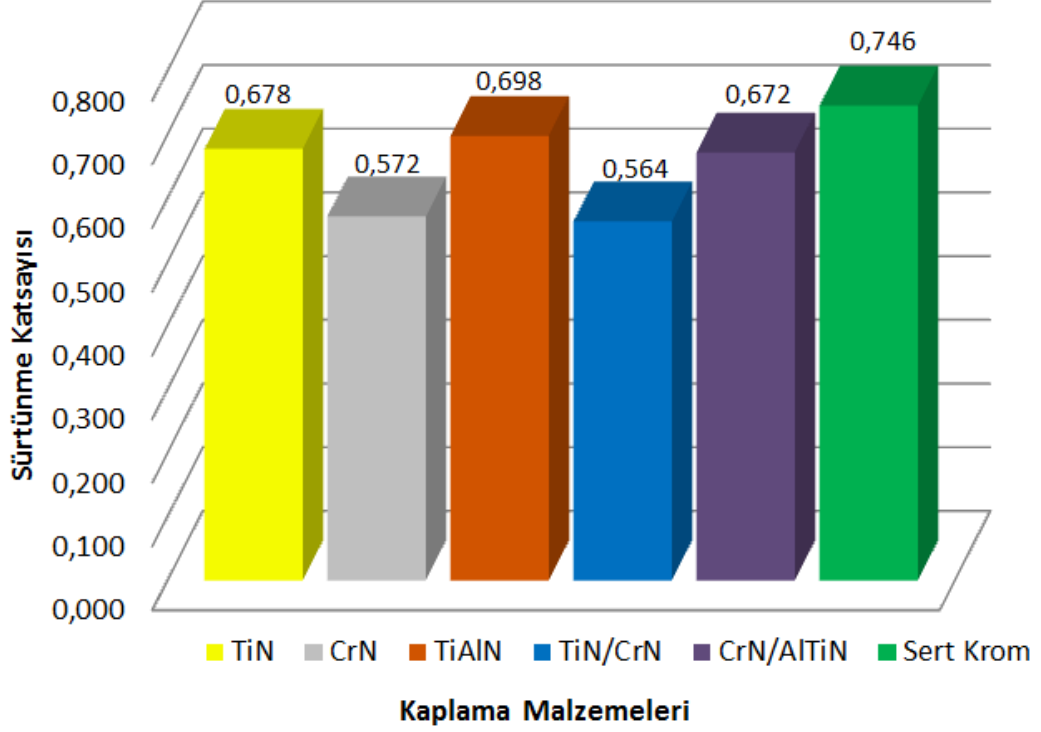
$\mu\text{m}$  ile TiN/CrN kaplamasında elde edilmiş, bu kaplamayı sırasıyla 0,36  $\mu\text{m}$  ile CrN, 0,484  $\mu\text{m}$  ile sert krom, 0,551  $\mu\text{m}$  ile CrN/TiAlN, 0,567  $\mu\text{m}$  ile TiN, 0,818  $\mu\text{m}$  ile TiAlN kaplamaları takip etmiştir. Sürtünme katsayısındaki farklılıklar; malzemelerin yüzey durumu, yüzeylerinin birbirine olan uygunluğu, yüzey sertlikleri, yüzey pürüzlülük değerleri, anlık oksidasyondan kaynaklı kimyasal yapının değişmesi gibi faktörlere bağlıdır[48].



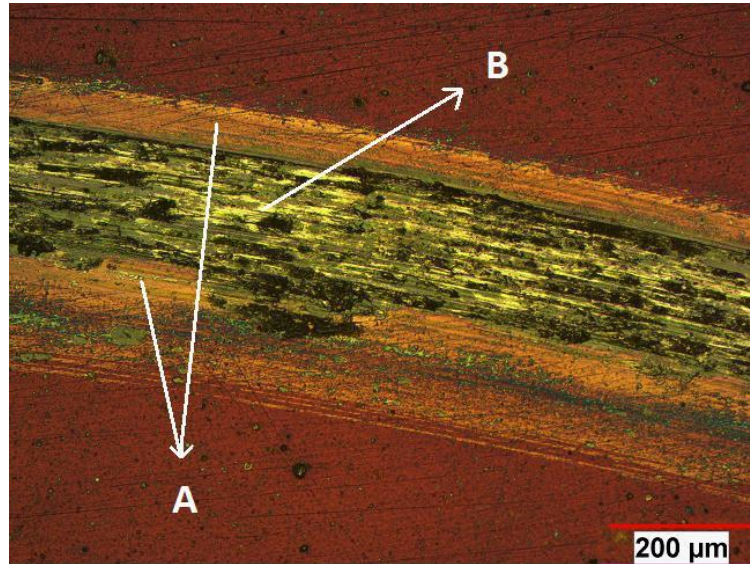
Şekil 6.4 Oda sıcaklığında elde edilen ortalama sürtünme katsayıları

600 °C sıcaklıkta başlanan aşınma deneyleri sonrası elde edilen sürtünme katsayıları da Şekil 6.5' te sunulmuştur. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen veriler ile, 600 °C sıcaklıkta başlanan deneylerden elde edilen veriler karşılaştırıldıklarında; sıcaklık artışı ile birlikte TiAlN kaplaması haricindeki tüm kaplamalarda sürtünme katsayısı artış gösterirken, TiAlN kaplamasında düşme gözlemlenmiştir. 600 °C sıcaklıkta TiAlN kaplaması ile altlık çelik malzeme arasındaki adezyon bağının zayıflaması sonucu aşındırıcı tarafından daha kolay sıvanması bu düşüşe neden olmuştur. TiAlN kaplamasına ait Şekil 6.6'da verilen mikroskop görüntüsü incelendiğinde; aşınmanın orta bölümlerde (Şekil 6.6 B bölgesi) yoğunlaştığı, kenar bölgelerde (Şekil 6.6 A bölgesi) ise TiAlN kaplamanın varlığını sürdürdüğü görülmektedir. Han vd.'nin [8] TiAlN kaplamalı numuneler ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  aşındırıcı ile

yaptıkları çalışmada; 600 °C sıcaklıkta gerçekleştirdikleri deneyde elde ettikleri sürtünme katsayısının, 400 °C ve 500 °C sıcaklıkta elde ettikleri değerlere göre belirgin şekilde düşüş göstermesi elde ettiğimiz sonuçlarla benzerlik göstermektedir.



Şekil 6.5 600 °C sıcaklıkta elde edilen ortalama sürtünme katsayıları



Şekil 6.6 TiAlN kaplamasının 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyi sonrası 100x büyütmedeki yüzey görüntüsü: A) Dış bölgede devam eden TiAlN tabakası, B) Orta bölgede yoğunlaşmış aşınma kanalı



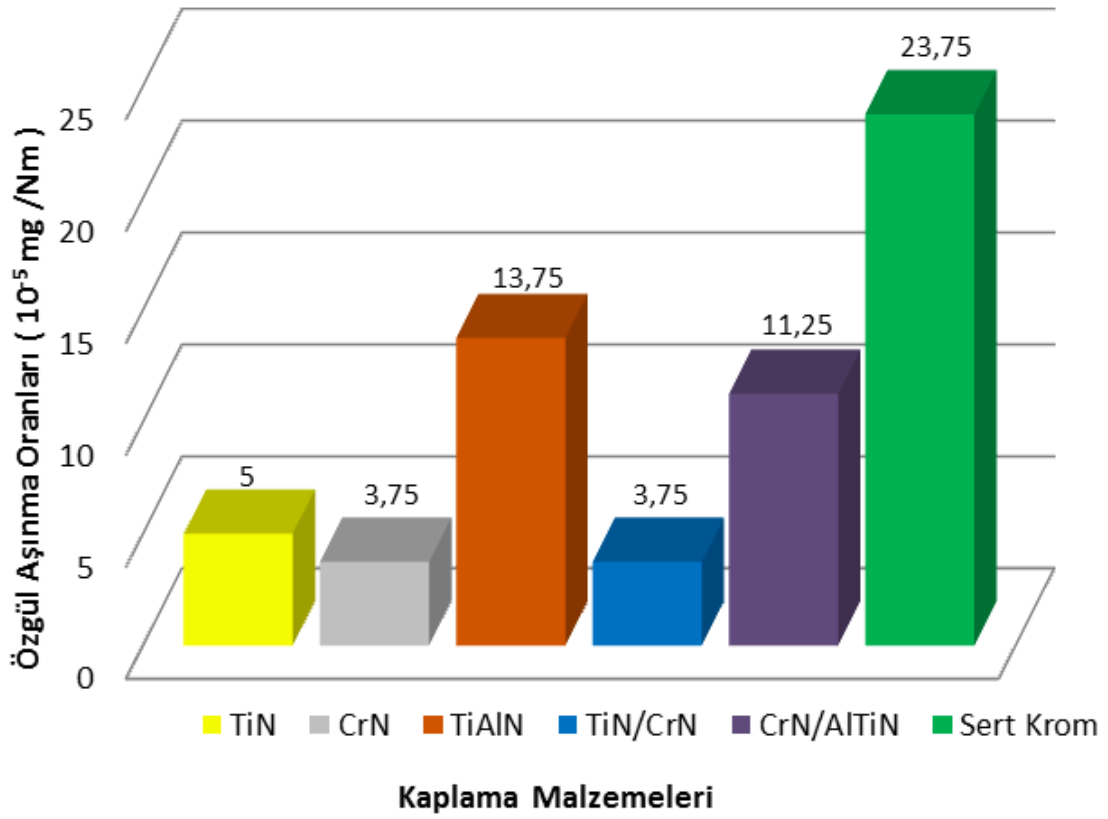
Oda sıcaklığı ve 600 °C sıcaklıkta yapılan aşınma deneylerinde, en düşük sürtünme katsayısı TiN/CrN kaplamasında elde edilmiştir. Sürtünme katsayısının düşük olması, çift katman olarak gerçekleştirilen bu kaplamanın, AISI 4140 çeliği ve kendi aralarındaki yüzey uyumluluğunun bir sonucu olarak ortaya çıktığı değerlendirilmiştir.

#### **6.4 Özgül Aşınma Oranları**

Oda sıcaklığı ve 600 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen aşınma deneylerinden elde edilen veriler yardımıyla hesaplanan özgül aşınma oranları sırasıyla, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8' de verilmiştir.

Şekil 6.7 incelendiğinde; en düşük özgül aşınma oranı  $3,75 \times 10^{-5}$  mg/Nm ile CrN ve TiN/CrN kaplamalarında elde edilirken, en yüksek özgül aşınma oranı  $23,75 \times 10^{-5}$  mg/Nm ile sert krom kaplamasında elde edilmiştir. TiN/CrN kaplamasında; aşınmaya maruz kalan ilk bölgenin CrN olduğu ve CrN tabakasının aşılıp TiN tabakasına geçilmemesine bağlı olarak, özgül aşınma oranının CrN tek katman kaplaması ile aynı olduğu saptanmıştır.

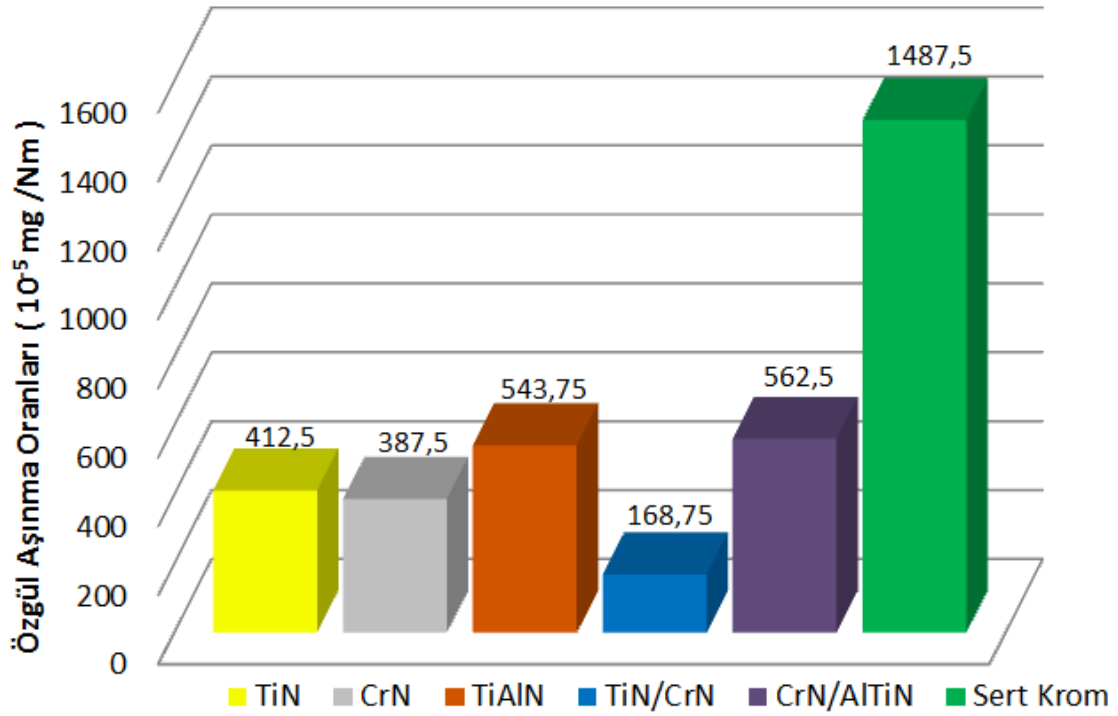
Katodik ark PVD yöntemiyle uygulanan seramik kaplamalar incelendiğinde, bileşiminde Alüminyum içeren TiAlN ve CrN/AlTiN kaplamalarının, diğer kaplamalara göre özgül aşınma oranlarının fazla olduğu görülmüştür. Beklendiği üzere, katodik ark PVD yöntemiyle uygulanan kaplamaların, sert krom kaplamasına göre aşınma direncinin daha iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 6.7 Oda sıcaklığında elde edilen özgül aşınma oranları

Şekil 6.8 incelendiğinde; en düşük özgül aşınma oranı  $168,75 \times 10^{-5}$  mg/Nm ile TiN/CrN kaplamasında elde edilmiştir. Bu kaplamayı sırasıyla;  $387,5 \times 10^{-5}$  mg/Nm ile CrN,  $412,5 \times 10^{-5}$  mg/Nm ile TiN,  $543,75 \times 10^{-5}$  mg/Nm ile TiAlN,  $562,5 \times 10^{-5}$  mg/Nm ile CrN/AlTiN,  $1487,5 \times 10^{-5}$  mg/Nm ile sert krom takip etmiştir. TiN/CrN kaplamasının mikroskop incelemelerinde bu kaplamadaki adeziv aşınmanın, diğer kaplamalara göre daha seyrek olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6.12). Hem kaplamanın yüzey uyumunun, hem de sürtünme katsayısının düşük olmasının bir sonucu olarak TiN/CrN kaplamasında özgül aşınma oranı en düşük çıkmıştır.

Kaplamaların sürtünme katsayıları ve özgül aşınma oranları birlikte değerlendirildiğinde; düşük sürtünme katsayısına sahip kaplamaların özgül aşınma oranlarının düşük çıktığı gözlemlenmiştir.



### Kaplama Malzemeleri

Şekil 6.8 600 °C sıcaklıkta elde edilen özgül aşınma oranları

Şekil 6.7 ve Şekil 6.8 karşılaştırıldıklarına; sıcaklık artışı ile birlikte tüm kaplamaların özgül aşınma oranlarında da artış olduğu görülmüştür. Bu farklar incelendiğinde; en az fark yaklaşık olarak 40 kat ile TiAlN kaplamasında, en yüksek fark ise 103 kat ile CrN kaplamalarında tespit edilmiştir. TiAlN kaplamasının oda sıcaklığındaki aşınma miktarı zaten yüksek olduğundan, sıcaklık ile çok yüksek oranlarda artış göstermemiştir.

Oda sıcaklığı ve 600 °C sıcaklıkta da katodik ark PVD yöntemiyle uygulanan tüm kaplamalar, sert krom kaplamasına göre daha iyi sonuç vermiştir. Sert krom kaplamanın aksine, her iki sıcaklıkta da TiN/CrN uygulaması en iyi sonuçları vermiştir.

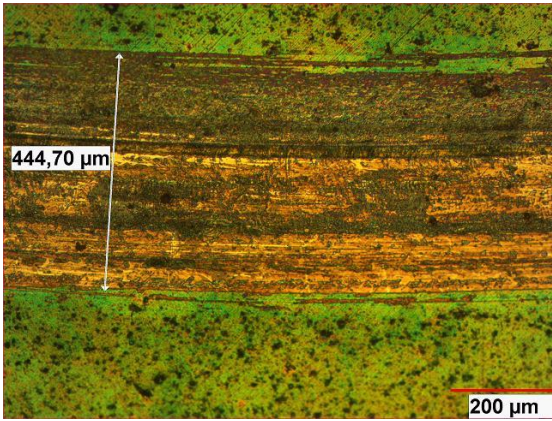
### 6.5 Yüzey Görüntüleri

Sert krom ve katodik ark PVD yöntemiyle kaplanan tüm numunelerin, 600 °C sıcaklıkta yapılan aşınma deneyleri sonrası MA200 ışık mikroskobu (Nikon, Japonya) yardımıyla alınmış yüzey görüntüleri ve önem arz eden kaplamaların JCM 6000 Neoscope-II model (Jeol, Japonya) tarama elektron mikroskobu yardımıyla gerçekleştirilen EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) analizleri Şekil 6.9 ile Şekil 6.16 arasında verilmiştir.

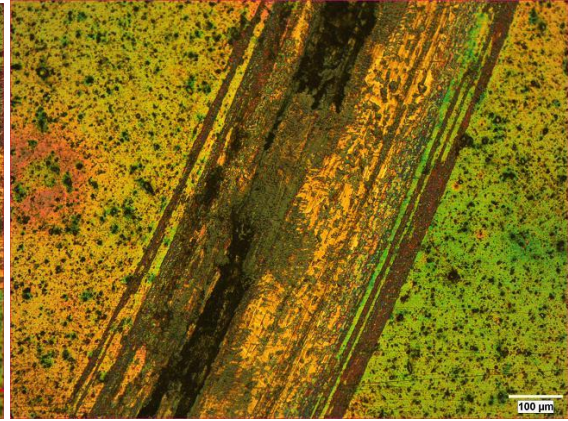
### 6.5.1 TiN Kaplaması

TiN kaplaması uygulanmış numunelerde, farklı bölgelerden alınan yüzey görüntüleri Şekil 6.9 'da verilmiş olup, aşınma kanal genişliği yaklaşık olarak 445  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Görüntüler incelendiğinde; adezif (Şekil 6.9 (e) – B bölgesi) ve abrazyif (Şekil 6.9 (e) – A bölgesi) aşınma mekanizmalarının her ikisinin birden gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Adezif aşınma, kaplama ile altlık malzemesi olan çelik arasındaki bağın zayıf olmasından kaynaklanmaktadır. TiN kaplamasındaki adezif aşınma bölümleri sebebiyle bölgesel olarak kopmalar gerçekleşmiş ve bu kopmalar kaplamanın aşınma performansını olumsuz olarak etkilemiştir. Şekil 6.9 – e 'de dikdörtgen içerisine alınmış C bölgesi, 200 X büyütmede daha detaylı olarak Şekil 6.9 – f 'de gösterilmiştir.

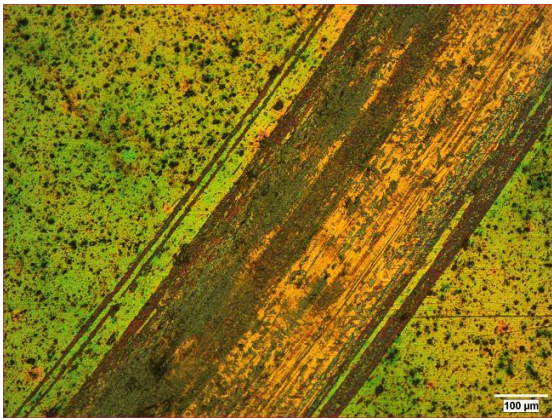
TiN kaplamasının 550  $^{\circ}\text{C}$  civarında oksidasyona uğradığı belirtilmektedir[35]. Kaplı numuneler deneyleri gerçekleştirmek için 600  $^{\circ}\text{C}$  'ye ısıtıldığından, kaplama yüzeyinde oksidasyona bağlı olarak renk değişimi ve çukurcuklar gözlemlenmiştir.



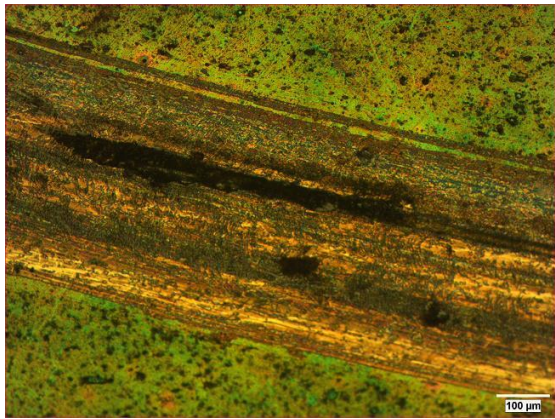
(a) 100X büyütme



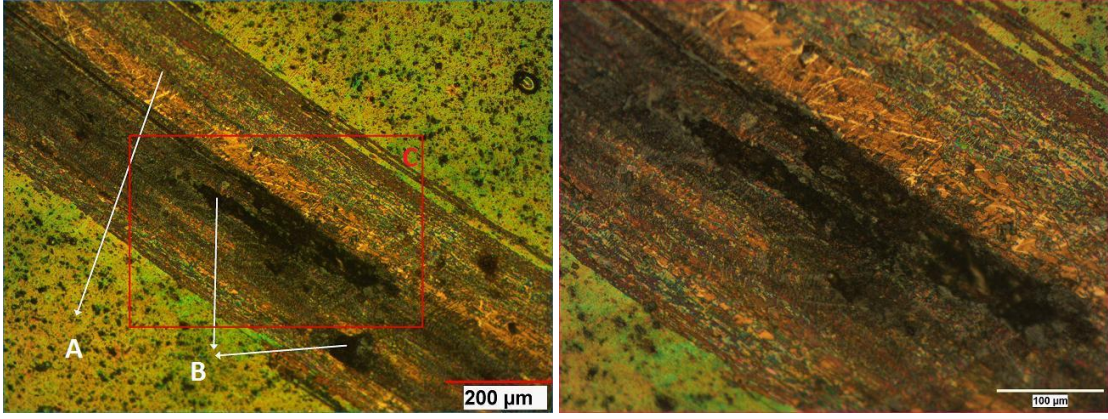
(b) 100X büyütme



(c) 100X büyütme



(d) 100X büyütme



(e) 100X büyütme

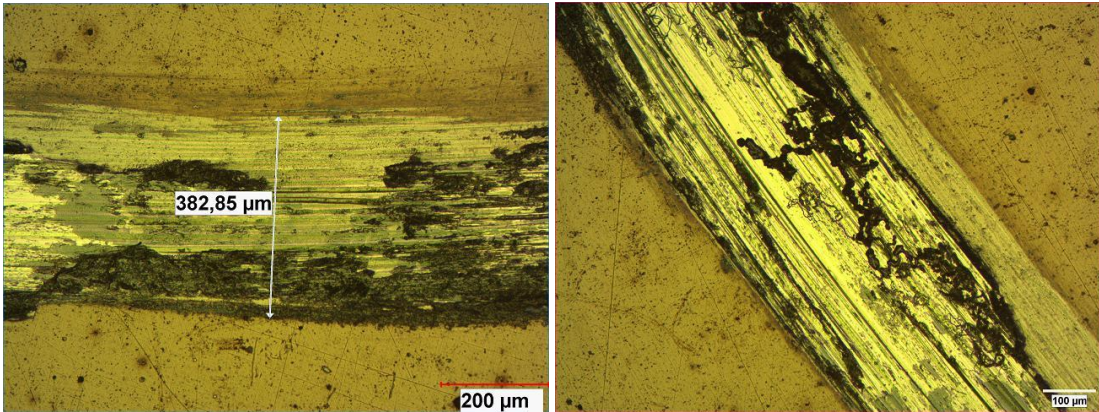
(f) 200X büyütme

Şekil 6.9 TiN kaplamalı numunelerin, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonrasında farklı bölgelerinden alınan yüzey görüntüleri

### 6.5.2 CrN Kaplaması

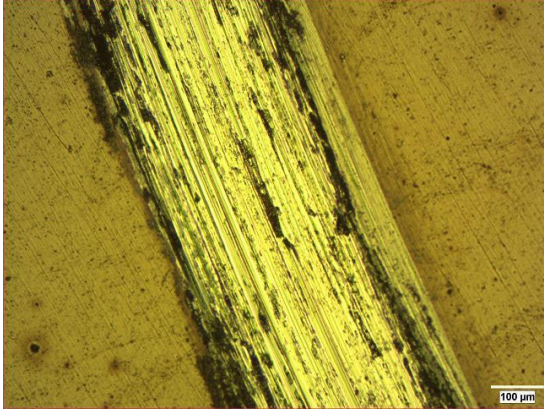
CrN kaplaması uygulanmış numunelerde, farklı bölgelerden alınan yüzey görüntüleri Şekil 6.10 'da verilmiştir. CrN kaplamasında aşınma kanal genişliği yaklaşık olarak 380 µm olarak ölçülmüştür. Görüntüler incelendiğinde TiN kaplamasına benzer şekilde; adezif (Şekil 6.10 (e) – B bölgesi) ve abrazyif (Şekil 6.10 (e) – A bölgesi) aşınma mekanizmalarının her ikisinin birden gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 6.10 – e 'de dikdörtgen içerisine alınmış bölüm (C bölgesi), 200 X büyütme daha detaylı olarak Şekil 6.10 – f 'de gösterilmiştir.

CrN kaplamasında adezif bölge yoğunluğunun, TiN kaplamasına göre daha az olduğu söylenebilir. Ancak CrN kaplamasında adezif bölgelerin daha belirgin kırıklarla ayrıldığı görülmektedir (Şekil 6.10 – b).

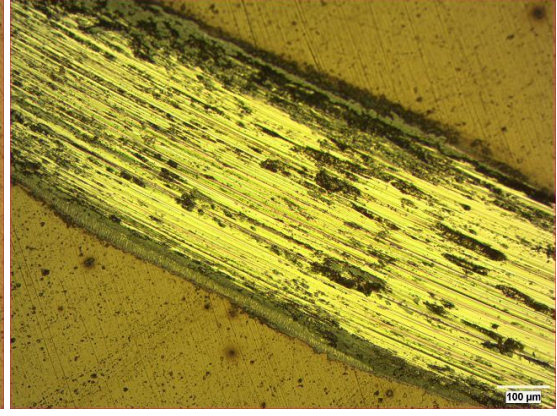


(a) 100X büyütme

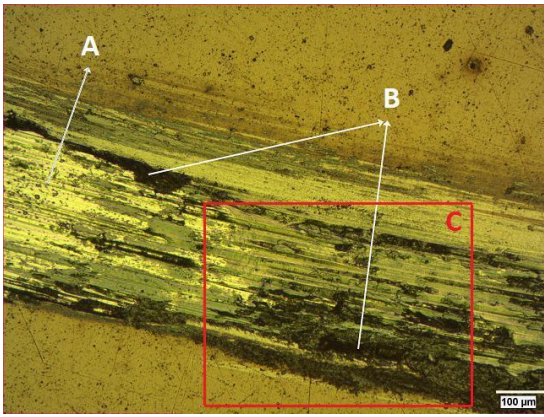
(b) 100X büyütme



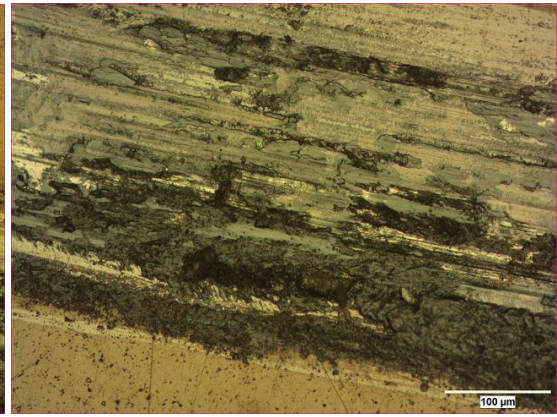
(c) 100X büyütme



(d) 100X büyütme



(e) 100X büyütme



(f) 200X büyütme

Şekil 6.10 CrN kaplamalı numunelerin, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonrasında farklı bölgelerinden alınan yüzey görüntüleri

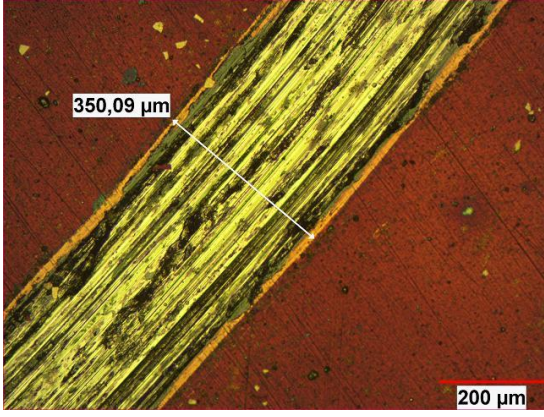
### 6.5.3 TiAlN Kaplaması

TiAlN kaplamasında aşınma kanal genişliği yaklaşık olarak 350 µm olarak ölçülmüş, bu kaplamaya ait farklı bölgelerden 100x büyütmedeki görüntüler Şekil 6.11 a-e' de verilmiştir. Şekil 6.11 – e' de diktörge içerisine alınmış bölge 200x büyütme ile Şekil 6.11 – f ' de ayrıca verilmiştir. TiAlN kaplamasında da adeziv ve abrazif aşınma mekanizmalarının herikisine birden raslanmıştır. Şekil 6.11 – f 'de; A bölümü abrazif aşınma bölümlerini, B bölümü adeziv aşınma bölümlerini, C bölümü ise aşınma esnasında yüzeyden tam olarak kalkmayan TiAlN kaplama bölümlerini göstermektedir.

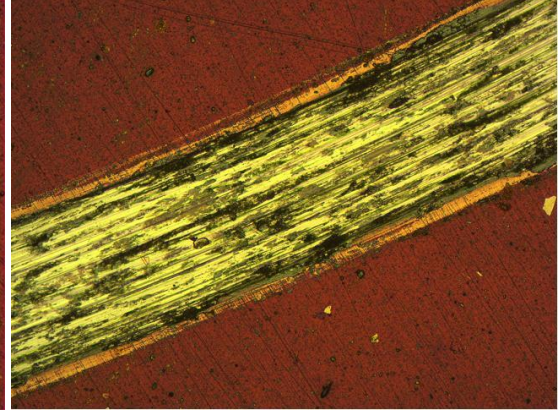
TiAlN kaplaması, katodik ark PVD yöntemiyle uygulanan kaplamalar arasında hem oda hem de 600 °C sıcaklıklarında en yüksek özgül aşınma oranını veren kaplama olmuştur. 600 °C sıcaklıkta TiAlN kaplaması ile altlık çelik malzeme arasındaki adezyon bağının

zayıflaması sonucunda sürtünme katsayısı değeri azalma göstermiştir. Bu da kaplamanın bu sıcaklıkta daha kolay kalktığını ve özgül aşınma oranını arttırdığını göstermektedir.

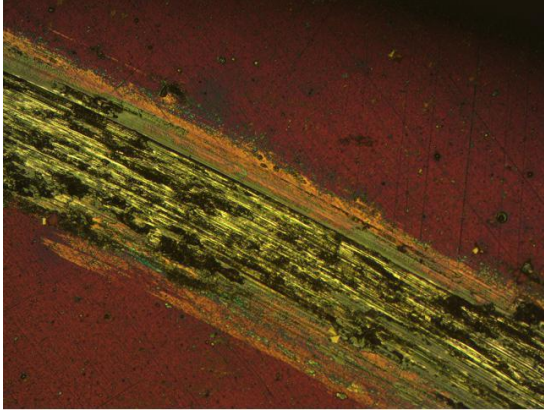
Katodik ark PVD yönemiyle uygulanan kaplamalar arasında TiAlN kaplamasının; özgül aşınma oranı yüksek olmasına rağmen, aşınma kanal genişliğinin diğer kaplamalara göre düşük olması, aşınma esnasında kaplamanın kenarlara doğru genişlemek yerine derinleşerek ilerlediğini göstermektedir.



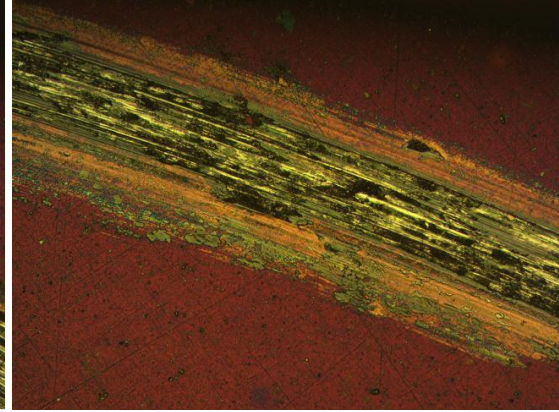
(a) 100X büyütme



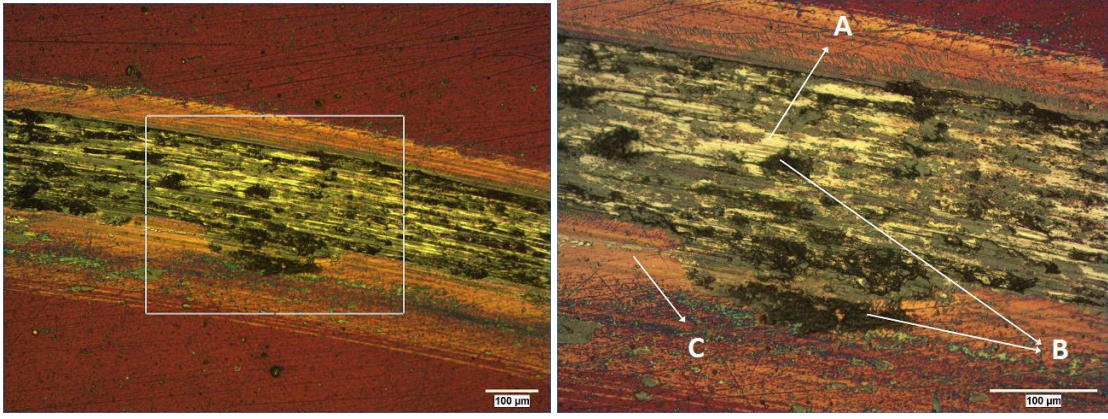
(b) 100X büyütme



(c) 100X büyütme



(d) 100X büyütme



(e) 100X büyütme

(f) 200X büyütme

Şekil 6.11 TiAlN kaplamalı numunelerin, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonrasında farklı bölgelerinden alınan yüzey görüntüleri

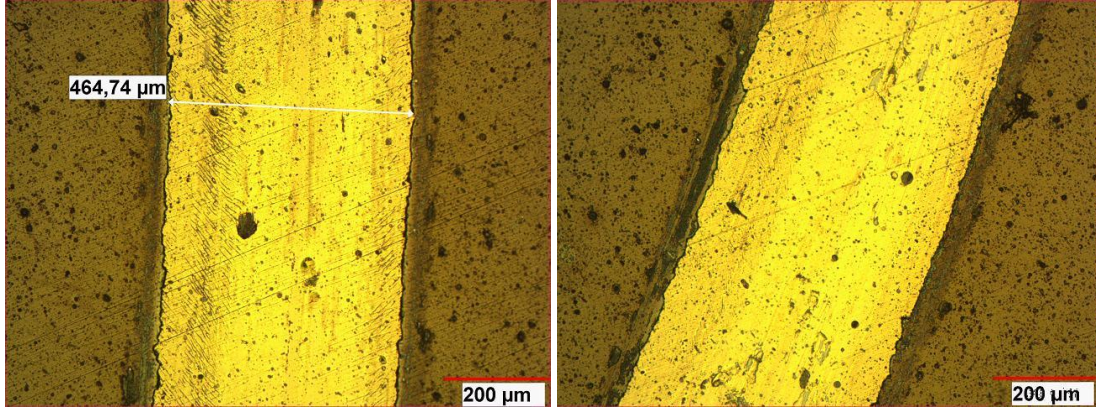
#### 6.5.4 TiN/CrN Kaplaması

TiN/CrN kaplamasında aşınma kanal genişliği yaklaşık olarak 465 µm olarak ölçülmüştür. Kaplamanın farklı bölgelerinden alınan görüntüler Şekil 6.12’de verilmiştir. Yüzey görüntüleri incelendiğinde, diğer kaplamalardan farklı olarak adezif aşınma bölümlerinin neredeyse yok denecek kadar az olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 6.12 – a, Şekil 6.12 – b ve Şekil 6.12 – d’ de görülen parlak sarı renkli bölümler, üst katmandaki CrN kaplamasının kalkması sonucu çelik altlık yüzeyindeki ilk katman olan TiN kaplamasına aittir. Numunelerin belli bölümlerinde var olan CrN kaplamaya ait (Şekil 6.12 – c) görüntüler ve EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) analizleri JCM 6000 Neoscope-II model (Jeol, Japonya) tarama elektron mikroskobu yardımıyla alınmış, Şekil 6.13 ve 6.14’te verilmiştir.

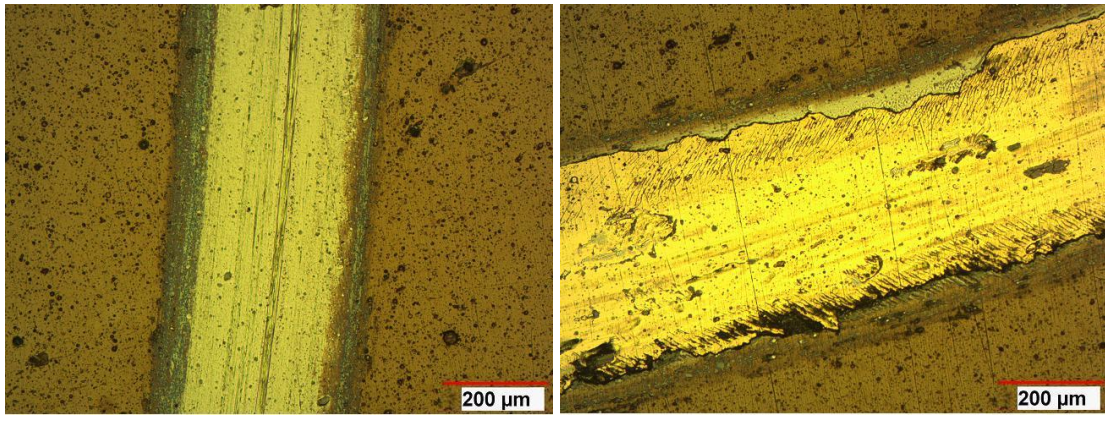
Şekil 6.12 – e ve Şekil 6.12 – f görüntülerinde; A bölgesi TiN kaplamasını, B bölgesi adezif aşınma bölümlerini, C bölgesi ise CrN kaplamasını göstermekte olduğu Şekil 6.13 ve 6.14’te verilen EDS analizleriyle de doğrulanmıştır. Adezif aşınmanın hem çelik altlık üzerindeki TiN kaplamasında, hem de TiN üzerindeki CrN kaplamasında daha az miktarda gerçekleştiği saptanmıştır. Adezif aşınma yoğunluğunun az olması, kaplamanın yüzeye tutunma özelliğinin iyi olduğunu göstermektedir. TiN/CrN kaplamada elde edilen düşük özgül aşınma oranı, yüzey görüntüleri ile uyumluluk sergilemektedir.





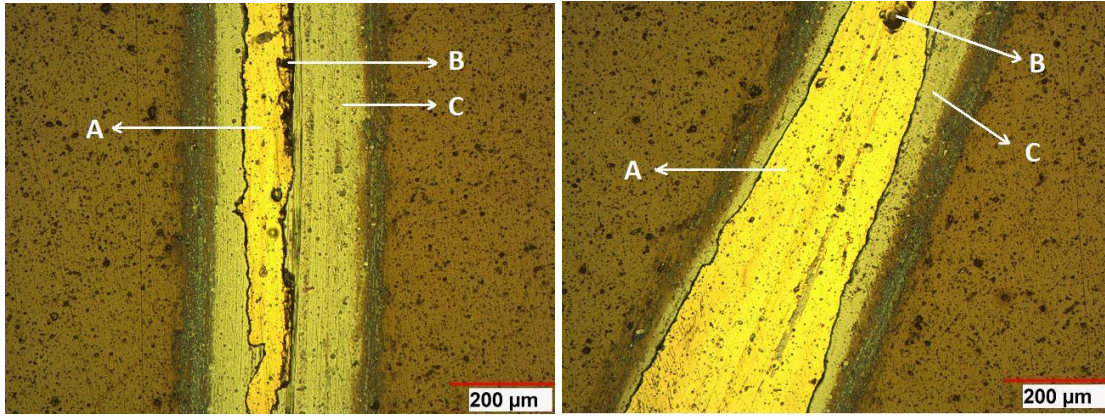
(a) 100X büyütme

(b) 100X büyütme



(c) 100X büyütme

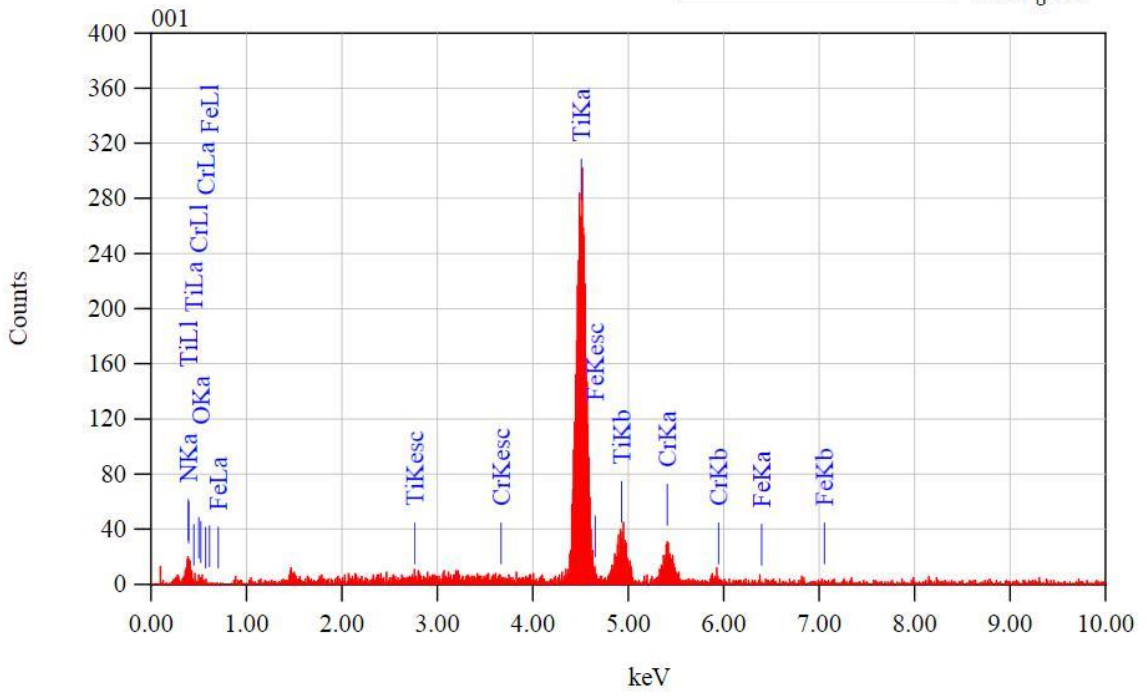
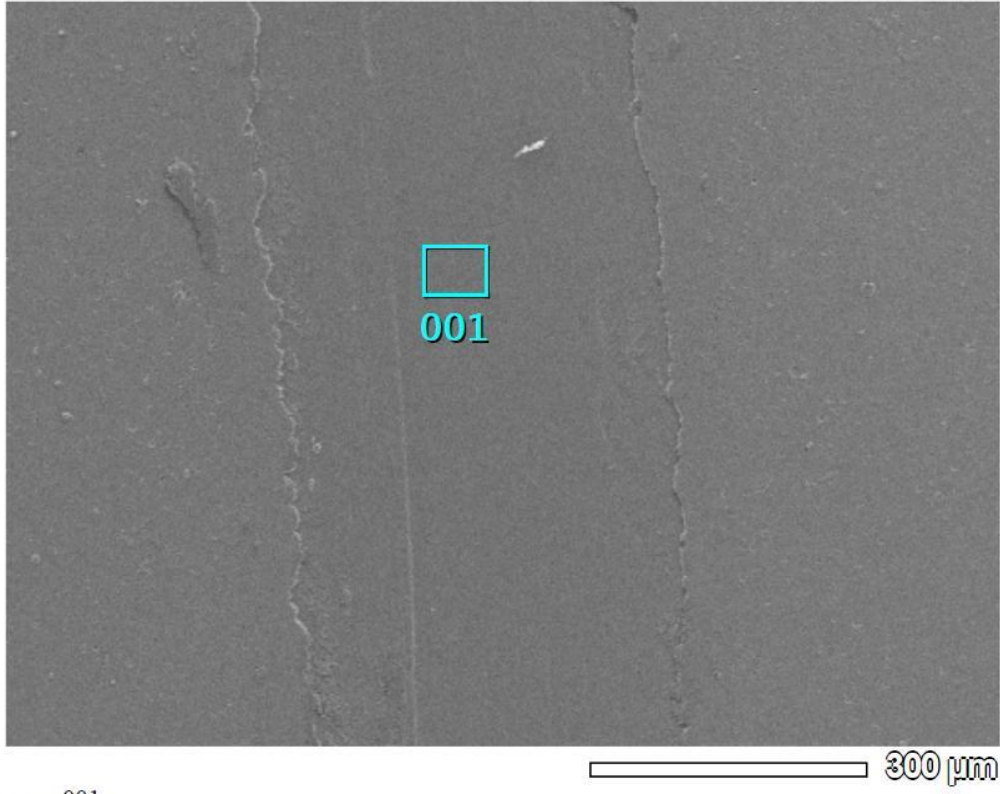
(d) 100X büyütme



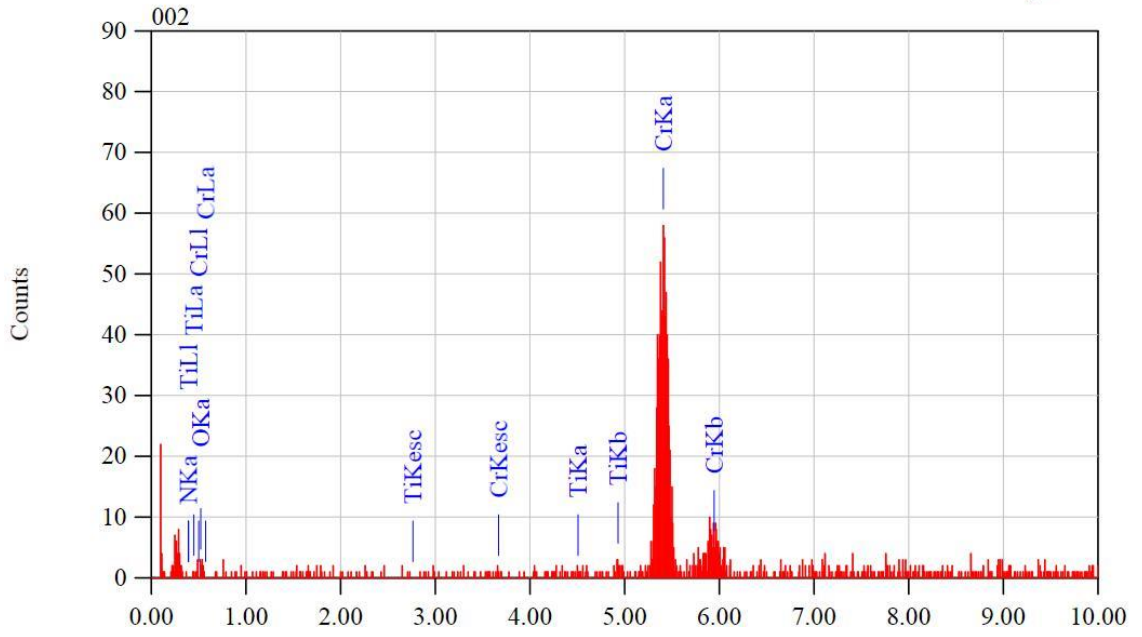
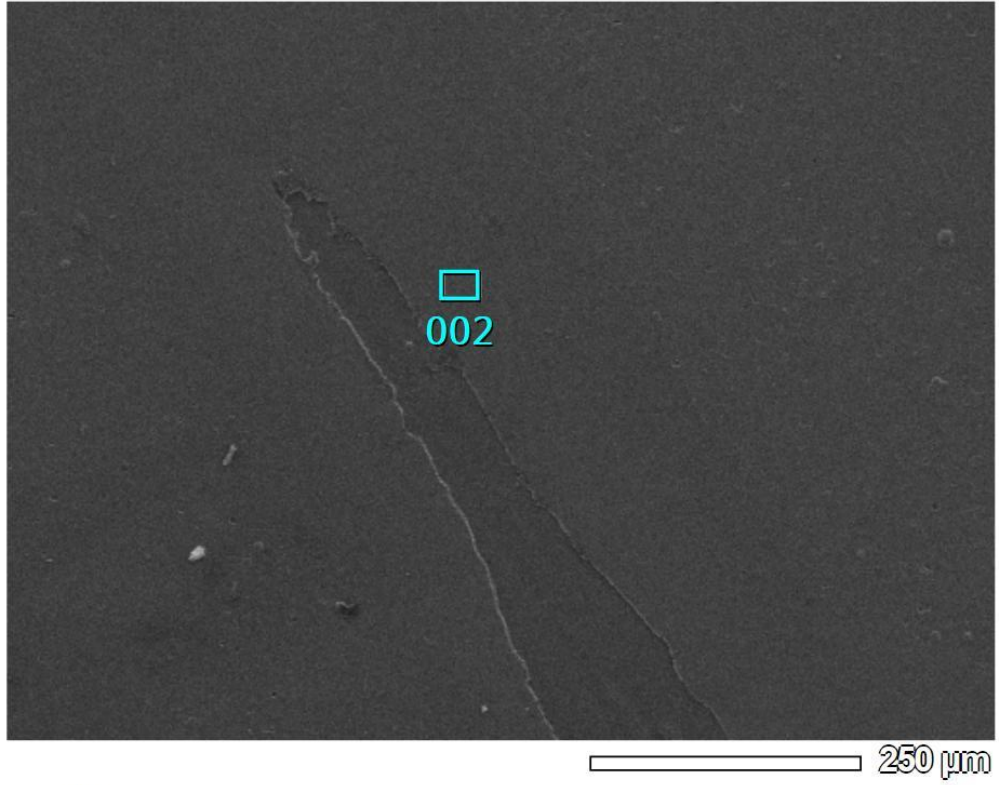
(e) 100X büyütme

(f) 100X büyütme

Şekil 6.12 TiN/CrN kaplamalı numunelerin, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonrasında farklı bölgelerinden alınan yüzey görüntüleri



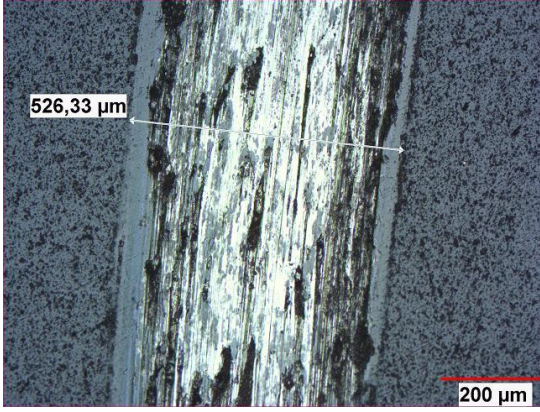
Şekil 6.13 TiN/CrN kaplamalı numuneden, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonucunda alınan yüzey görüntüsü ve görüntü içerisindeki bölümün (001 bölgesi) EDS analizi



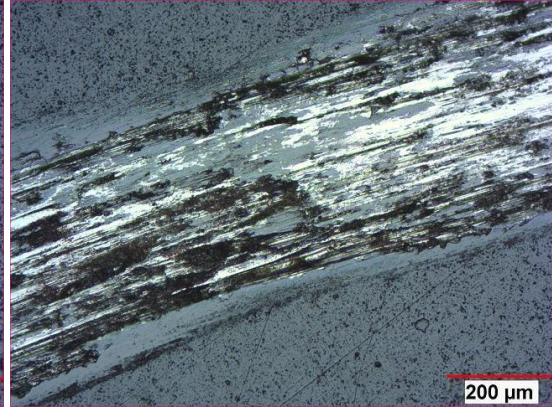
Şekil 6.14 TiN/CrN kaplamalı numuneden, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonucunda alınan yüzey görüntüsü ve görüntü içerisindeki bölümün (002 bölgesi) EDS analizi

### 6.5.5 CrN/AlTiN Kaplaması

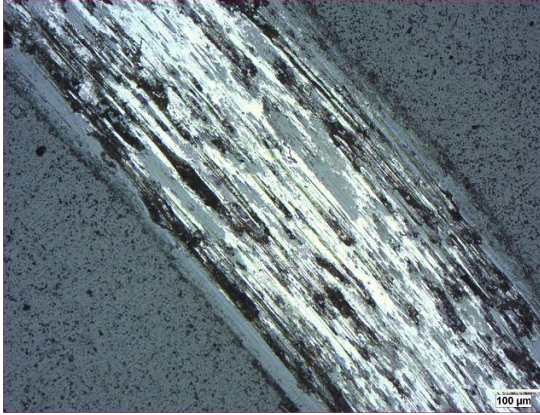
CrN/AlTiN kaplamasındaki aşınma bant genişliği yaklaşık olarak 525  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. CrN/AlTiN kaplamasına ait farklı bölgelerden görüntüler Şekil 6.15'te; Şekil 6.15 – e' de diktörjen içerisine alınmış bölge ise 200x büyütme ile Şekil 6.15 – f' de verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde Şekil 6.15 – f, A bölgesinde görülen abrazyif aşınma bölümlerinin B bölgesinde görülen adezif aşınma bölümlerine göre daha yoğun olduğu saptanmıştır.



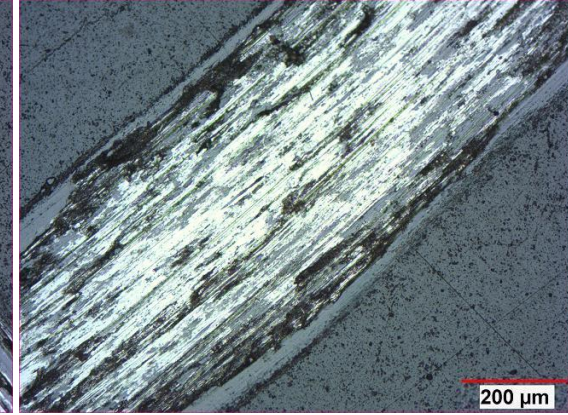
(a) 100X büyütme



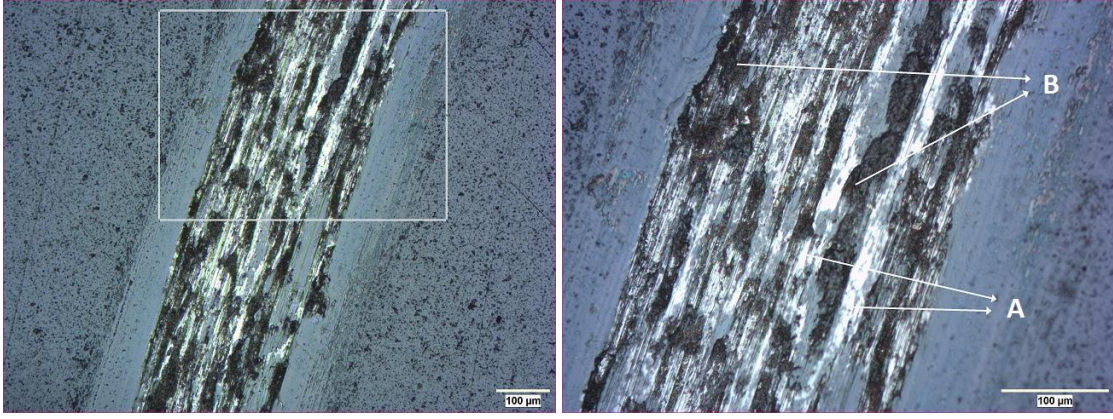
(b) 100X büyütme



(c) 100X büyütme



(d) 100X büyütme



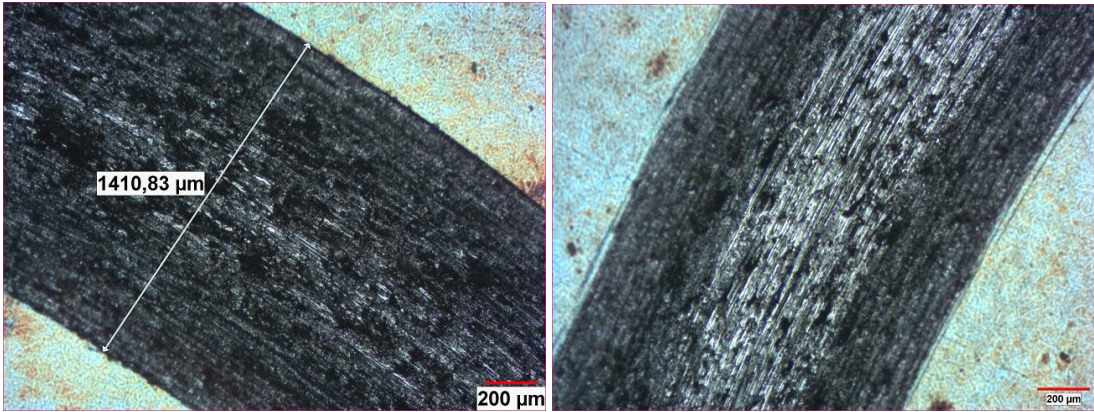
(e) 100X büyütme

(f) 200X büyütme

Şekil 6.15 CrN/AlTiN kaplamalı numunelerin, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonrasında farklı bölgelerinden alınan yüzey görüntüleri

### 6.5.6 Sert Krom Kaplaması

Sert krom kaplamasında aşınma kanal genişliği yaklaşık olarak 1410 µm olarak ölçülmüş, kaplamanın 50x büyütmedeki görüntüleri Şekil 6.16' da verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde aşınma bantlarının belirgin bir abrazif aşınma gösterdiği ve katodik ark PVD yöntemiyle kaplanan seramik kaplamalara göre çok daha geniş olduğu görülmektedir.



(c) 50X büyütme

(d) 50X büyütme

Şekil 6.16 Sert krom kaplamalı numunelerin, 600 °C sıcaklıktaki aşınma deneyleri sonrasında farklı bölgelerinden alınan yüzey görüntüleri

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, Fırtına obüsünün silah sistemi üzerinde bulunan gaz paftasının ömrünü arttırmak amacıyla, AISI 4140 çeliği üzerine katodik ark PVD yöntemiyle kaplanan TiN, CrN, TiAlN, TiN/CrN ve CrN/AlTiN malzemelerine yüzey pürüzlülüğü deneyi, tuz püskürtme deneyi ve kuru sürtünme ortamında, oda sıcaklığı ve 600 °C sıcaklıkta disk üzerine bilyalı aşındırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tüm bu deneylerden elde edilen değerler, gaz paftası üzerine uygulanan sert krom kaplaması ile karşılaştırılarak varılan sonuç ve öneriler aşağıda sunulmuştur.

#### Sonuçlar:

- 1) AISI 4140 çeliği üzerine TiN, CrN, TiAlN, TiN/CrN, CrN/AlTiN kaplamalar katodik ark PVD yöntemiyle başarılı bir şekilde uygulanmıştır.
- 2) Yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) kıyaslandığında; en pürüzsüz yüzey 0,025 µm ile sert krom kaplamasında, ardından 0,051 µm ile CrN kaplamasında elde edilirken, en pürüzlü yüzey 0,117 µm ile TiN kaplamasında elde edilmiştir. TiN kaplaması yüzey pürüzlülüğünü arttırmış, buna karşın Cr esaslı kaplamalar yüzey pürüzlülüğünü daha az etkilemiştir.
- 3) Tuz püskürtme deneyi sonucunda hesaplanan korozyon hızları irdelendiğinde; en yüksek korozyon hızının 1,8 mg/h ile TiN kaplamasında, en düşük korozyon hızının ise 0,82 mg/h ile sert krom kaplamasında olduğu saptanmıştır. Kaplama kalınlığına bağlı olarak sert krom kaplamasında daha yüksek korozyon direnci elde edilmiştir.

- 4) Katodik ark PVD yöntemiyle uygulanan kaplamalar arasında, TiAlN ve CrN/AlTiN kaplamalarında daha yüksek korozyon direnci saptanmıştır.
- 5) Oda sıcaklığında gerçekleştirilen aşınma deneylerinde; yüzey pürüzlülüğü daha yüksek olan kaplamalarda kararlı sürtünme katsayısına geçiş mesafesi daha uzun olduğu belirlenmiştir.
- 6) Oda sıcaklığı ve 600 °C sıcaklıkta yapılan aşınma deneylerinde en düşük sürtünme katsayısı TiN/CrN kaplamasında ölçülmüştür.
- 7) Aşınma deneyleri sonucunda hesaplanan özgül aşınma oranlarına göre; oda sıcaklığında en az kayıp CrN ve TiN/CrN kaplamalarında, 600 °C sıcaklıkta en az kayıp ise TiN/CrN kaplamasında elde edilmiştir.
- 8) Aşınma deneyleri sonrasında alınan mikroskop görüntülerinde, TiN/CrN kaplamasında adeziv aşınmanın az olduğu, katodik ark PVD yöntemiyle uygulanan diğer kaplamalarda ise adeziv aşınmanın daha yoğun olduğu gözlemlenmiştir. TiN/CrN kaplamasında; adeziv aşınma daha az görüldüğü ve aşınma bandının geniş ancak sığ olduğu belirlendiğinden kaplamanın tutunma mukavemetinin daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

#### **Öneriler:**

- 1) Aşınma deneyleri sonrasında katodik ark PVD yöntemiyle uygulanan çift katmanlı TiN/CrN kaplamasının, diğer kaplamalara göre daha iyi sonuç verdiği için, gaz paftası üzerine uygulanması önerilir.
- 2) TiN/CrN kaplamasının korozyon direnci sert krom kaplamasına göre daha düşüktür. Ancak, gaz paftalarının TiN/CrN kaplanması durumunda malzeme saklama depolarının koşullarının uygun hale getirilmesi ile kullanılabilirliği sağlanabilir.
- 3) Hem korozyon direncini hem de aşınma dayanımını arttırmak için, gaz paftası üzerine önce sert krom, ardından katodik ark PVD yöntemiyle seramik kaplama çalışılması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Gök, Ş., (2006). Dış Balistik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- [2] Gül, F., Sert, H. ve Öztürk, U., (2011). "AISI 3343 Çeliğinden Üretilen Kalıp Zımbalarının Aşınma Davranışı Üzerinde CrN Kaplamanın Etkisi", Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15(2):105-112.
- [3] Kalkan, N., Düzcükoğlu, H. ve Akkuş, H., (2012). "PVD yöntemi ile CrN kaplanmış, Plazma Nitrasyon Yapılmış ve Isıl İşlem Yapılmamış Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Performanslarının Deneysel İncelenmesi", International Iron & Steel Symposium, 02-04 Nisan 2012, Karabük.
- [4] Bozyazı, E., Ürgen, M. ve Çakır, A.F., (2003). "Comparison of Reciprocating Wear Behaviour of Electrolytic Hard Chrome and Arc-PVD CrN Coatings", Wear, 256:832-839.
- [5] Nordin, M., Larsson, M. ve Hogmark, S., (1999). "Mechanical and Tribological Properties of Multilayered PVD TiN/CrN", Wear, 232:221-225.
- [6] Zhou, Z., Rainforth, W.M., Luo, Q., Hovsepian, P.Eh., Ojeda, J.J. ve Romero-Gonzales, M.E., (2010). "Wear and Friction of TiAlN/VN Coatings Against Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in Air at Room and Elevated Temperatures", Acta Materialia, 58:2912-2925.
- [7] Zhou, Z., Rainforth, W.M., Tan, C.C., Zeng, P., Ojeda, J.J., Romero-Gonzales, M.E. ve Hovsepian, P.Eh., (2007). "The Role of The Tribofilm and Roll-like Debris in The Wear of Nanoscale Nitride PVD Coatings", Wear, 263:1328-1334.
- [8] Han, J.G., Yoon, J.S., Kim, H.J. ve Song, K., (1996). "High Temperature Wear Resistance of (TiAl)N Films Synthesized by Cathodic Arc Plasma Deposition", Surface and Coatings Technology, 86(87):82-87.
- [9] Hagarova, M., Jakubeczyova, D. ve Vojtko, M., (2007). "PVD Coatings Applied on The Tool Steels", Journal of Metals, Materials and Minerals, 17(1):29-33.
- [10] Dobrzanski, L. A., Polok, M. ve Adamiak, M., (2005). "Structure and Properties of Wear Resistance PVD Coatings Deposited Onto X37CrMoV5-1 Type Hot Work Steel", Journal of Materials Processing Technology, 164(165):843-849.



- [11] Hazar, H. ve Öner, C., (2007). "CrN Kaplamanın Bir Dizel Motoru Üzerine Etkileri", Mühendis ve Makina, 48(574):22-26.
- [12] Liu, C., B., Q., Leyland, A. ve Matthews, A., (2003). "An Electrochemical Impedance Spectroscopy Study of The Corrosion Behaviour of PVD Coated Steels in 0.5 N NaCl Aqueous Solution", Corrosion Science, 45:1257-1273.
- [13] Feng, H.P., Hsu, C.H., Lu, J.K. ve Shy, Y.H., (2003). "Effects of PVD Sputtered Coatings on The Corrosion Resistance of AISI 304 Stainless Steel", Materials Science and Engineering, A347:123-129.
- [14] ASTM G99, (2004). Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, ASTM, 04, West Conshohocken.
- [15] ASTM B117, (2003). Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus, ASTM, 03, West Conshohocken.
- [16] Alper İ., (2006). Silah Sistemleri ve Balistik, Kara Harp Okulu Basımevi, Ankara.
- [17] Vikipedi Ansiklopedisi, Obüsler Listesi, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Ob%C3%BCsler\\_listesi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Ob%C3%BCsler_listesi), 10 Şubat 2015.
- [18] T-155 K/M Fırtına Obüsü Tanıtım Kitapçığı, (2007)., Sakarya.
- [19] Keleşoğlu, E., (2011). Sert Kaplamalar Üretim Teknikleri ve Özellikleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik Kitabı, İstanbul.
- [20] Plasti Dip, Plasti Dip Uygulaması Yapılmış Araç Jantları, <http://www.plastidip.com/performix-plastidip-nedir.html>, 2 Şubat 2015.
- [21] Korozyondan Korunma Temel İlkeleri Ders Notları, Akımsız Metal Kaplama, <http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt309-051.pdf>, 20 Aralık 2014.
- [22] Yaşar, H.,(1995). Metaller İçin Yüzey İşlemleri, KOSGEB Eğitim Merkezi Yayını, Ankara.
- [23] Köktürk, U., (1994). Makine Mühendisliği El Kitabı Cilt 2, MMO Yayınları, Ankara.
- [24] Industrial Paint and Surface, Akımsız Nikel Kaplama ile Akımlı Nikel Kaplamanın Arasındaki Homojenlik Farkı, <http://www.ippcm.com/Haber/Akimsiz-Nikel-Fosfor-Ni-P-Kaplama-ve-Isil-Islem.html>, 2 Şubat 2015.
- [25] Demir Çelik Store, Sıcak Daldırma Galvaniz Uygulaması, <http://www.demircelikstore.com/-1-6913-turkiyenin-en-buyuk-galvanizleme-havuzuna-sahip-marmara-siegener-galvaniz-asmn-yeni-yatirimi-avrupaya.html>, 20 Haziran 2014.
- [26] Metser Kaplama, Sıcak Püskürtme Uygulaması, <http://www.metserkaplama.com/Images/SliderImages/200420152001311.jpg>, 10 Nisan 2015.
- [27] Çalışkan, M., (2005). Katodik Ark PVD Yöntemiyle ZrN ve Zr/ZrN Biriktirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [28] Demirler, U., (2003). Fiziksel Buhar Biriktirilmiş TiN, CrN ve ZrN Kaplamalarında Proses Parametreleri ve Taban Malzemesinin Kalıntı Gerilme Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] Coatings Technology Handbook, (2006). Coating and Processing Techniques, Third Edition, CRC Press, USA.
- [30] Mattox, D.M., (2010). Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing, Second Edition, Elsevier, Oxford.
- [31] ASM Metals HandBook, (1987). Corrosion, ASM International, USA.
- [32] İnçal, E., (2007). PVD Yöntemiyle Kaplanan HSS Takım Çeliklerinin Karakterizasyonu ve Aşınma Dayanımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [33] Candemir, L., (1995). Katodik Ark PVD Yöntemi ile Üretilmiş TiAlN ve TiN Kaplamaların Korozyon Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [34] Eryılmaz, O.L., (1996). ZrN-ZrBN Çok Katlı Kaplamaların Korozyon Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [35] Vikipedi Ansiklopedisi, Titanyum Nitrit, [http://tr.wikipedia.org/wiki/Titanyum\\_nitrit](http://tr.wikipedia.org/wiki/Titanyum_nitrit), 10 Ekim 2015.
- [36] İonbond-Tinkap, PVD Kaplamaların Özellikleri, <http://www.ionbond-tinkap.com>, 05 Şubat 2015.
- [37] Vikipedi Ansiklopedisi, Krom Nitrit, [http://tr.wikipedia.org/wiki/Krom\\_nitrit](http://tr.wikipedia.org/wiki/Krom_nitrit), 15 Eylül 2014.
- [38] Yaylacı, E., (2010), (PVD) Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi, <http://eyupyaylaci.com/pvdfiziksel-buhar-biriktirme-yontemi/>, 10 Haziran 2014.
- [39] Tokmanoğlu, K., (1992). "PVD - Ark Teknik ile Yapılan Kaplamalarının Özellikleri ve Üretim Üzerindeki Katkıları", Makine ve Metal Teknolojisi, 36-39.
- [40] Çimenoğlu, H. ve Kayalı, E. S., (1991). Malzemelerin Yapısı ve Mekanik Davranışları, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- [41] Budinski, K.G., (1988). Surface Engineering for Wear Resistance, Prentice Hall, New Jersey.
- [42] Metalik Malzemelerde Aşınma, Adezif Aşınma, <http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DUY-042.pdf>, 01 Mart 2015.
- [43] Pall Corporation, Fatigue Wear, [http://www.pall.com/images/Industrial-Manufacturing/Fatigue\\_wear.jpg](http://www.pall.com/images/Industrial-Manufacturing/Fatigue_wear.jpg), 03 Mart 2015.
- [44] Onaran, K., (2003). Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- [45] Oskouei, R.H. ve İbrahim, R.N., (2011). "Restoring The Tensile Properties of PVD-TiN Coated Al 7075-T6 Using a Post Heat Treatment", Surface & Coatings Technology, 205:3967-3973.

- [46] Hua, M., Tam, H.Y., Ma, H.Y. ve Mok, C.K., (2006). "Patterned PVD TiN Spot Coatings on M2 Steel: Tribological Behaviors Under Different Sliding Speeds", *Wear*, 260:1153-1165.
- [47] Wuhner, R. ve Yeung, W.Y., (2004). "A Comparative Study of Magnetron Co-Sputtered Nanocrystalline Titanium Aluminium and Chromium Aluminium Nitride Coatings", *Scripta Materialia*, 50:1461-1466.
- [48] Birol, Y., (2013). "Sliding Wear of CrN, AlCrN and AlTiN Coated AISI H13 Hot Work Tool Steels in Aluminium Extrusion", *Tribology International*, 57:101-106.
- [49] TriboTechnic, Tribotester Tanıtım Kitapçığı, <http://www.karfo-endustriyel.com.tr/files/prod/zko1PjABmL.TRIBOTECHNIC-PIN-ON-DISC-TRIBOTESTER.PDF>, Clichy.
- [50] Badisch, E., Fontalvo, G.A., Stoiber, M. ve Mitterer, C., (2003). "Tribological Behavior of PACVD TiN Coatings in The Temperature Range Up to 500 °C", *Surface and Coatings Technology*, 163(164):585-590.
- [51] Triboloji Prensipleri ve Uygulama Örnekleri Kısmi Ders Notları, Sürtünme, <http://www.yildiz.edu.tr/~kaleli/TribolojiPrensipleriveUygulamalar.pdf>, 20 Aralık 2015.

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Mehmet Samir IŞIK  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 22 Mart 1984 / Siirt  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : msisik@kho.edu.tr

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	İsmail Rüştü Olcay (YDA) Lisesi	2002

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	Kara Harp Okulu	Öğretim Görevlisi
2009	Armsan Silah San.Tic.A.Ş.	Kalite Kontrol Mühendisi