

**KAPLAMASIZ, PVD TEKNİĞİ İLE TİN VE CrN KAPLANMIŞ DIN 1.2550  
SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ DENEYSEL  
İNCELENMESİ**

**Muhammed İLİVAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2012  
ANKARA**

Muhammed İLİVAN tarafından hazırlanan “ Kaplamasız, PVD Tekniği ile TiN ve CrN Kaplanmış DIN 1.2550 Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi” adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç.Dr. Hasan SERT .....  
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN .....  
Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Hasan SERT .....  
Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Ferhat GÜL .....  
Metal Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Tarih: 15/02/2012

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

Muhammed İLİVAN

**KAPLAMASIZ, PVD TEKNİĞİ İLE TiN VE CrN KAPLANMIŞ DIN 1.2550  
SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ DENEYSEL  
İNCELENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Muhammed İLİVAN**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ŞUBAT 2012**

**ÖZET**

Bu çalışmada, bir çok endüstriyel uygulamada hızla gelişmekte olan PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme) kaplama prosesinin tanıtımı ile kalıp sektöründe kullanılan DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin kaplamasız, PVD tekniği ile TiN ve CrN kaplamalı olanlarıyla karşılaştırılıp, aşınma davranışları incelenmiştir.

Deney numuneleri Ø6x40 mm ebatlarında özdeş olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri ısıtılma işlemi tabi tutulduktan sonra, PVD yöntemiyle TiN ve CrN kaplama işlemi uygulanmıştır. Aşınma testleri pin-on-disk tipi cihazda 2,7 m/s kayma hızında, 10, 20 ve 30 N yükler altında ve 8 m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde aşındırıcı olarak 400, 800 ve 1200 Mesh SiC zımpara kullanılmıştır. Numunelerin mikro sertlik gibi mekanik özellikleri ile SEM ve EDS gibi metalografik incelemeleri yapılmıştır.

Bilim Kodu : 708.3.028  
Anahtar Kelimeler : PVD, DIN 1.2550, Yüzey Kaplamaları, Triboloji,  
Sayfa Adedi : 117  
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hasan SERT

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF WEAR BEHAVIOR WITH  
UNCOATED, TiN-COATED AND CrN-COATED STEELS OF COLD WORK  
TOOL STEEL DIN 1.2550 USED IN CUTTING DIES VIA PVD METHODE.  
(M.Sc. Thesis)**

**Muhammed İLİVAN**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
FEBRUARY 2012**

**ABSTRACT**

In this study, along with the introduction of Physical Vapor Deposition (PVD) coating process which is the rapidly developing in most of the industrial applications DIN 1.2550 cold work steel used in the coating sector has been compared with those with uncoated, TiN and CrN coated by using PVD technique in order to investigate wear behaviors.

The specimens have been prepared identically in the dimension of Ø6x40 mm. The prepared test specimens, after being subjected to thermal treatment, are coated with TiN and CrN by using PVD method. The wear tests have been made by using p,n-on-disk type device with a shear velocity of 2,7 m/s, under the load of 10, 20 and 30 N and at a shifting distance of 8 m. In the testing, 400, 800 and 1200 Mesh SiC emery paper as abrasive. The specimens have been investigated in terms of the mechanical properties such as micro hardness as well as metallographic investigations such as SEM and EDS.

|                      |                                                 |
|----------------------|-------------------------------------------------|
| Science Code         | : 708.3.028                                     |
| Key Words            | : PVD, DIN 1.2550, Surface Coatings, Tribology, |
| Page Number          | : 117                                           |
| Thesis Administrator | : Asst. Prof. Dr. Hasan SERT                    |

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Hasan SERT'e yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Prof. Dr. Ferhat GÜL'e ve Doç. Dr. Onur Alp ULUER'e ayrıca kaplamaları yapan Ionbond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş. çalışanlarına, çalışmalarım boyunca yardımlarını benden esirgemeyen Ayhan AYTAÇ, Uğur ÖZTÜRK, Sinan AKSÖZ'e ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                         |      |
|-------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET.....                                                               | iv   |
| ABSTRACT.....                                                           | v    |
| TEŞEKKÜR.....                                                           | vi   |
| İÇİNDEKİLER.....                                                        | vii  |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                               | x    |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                                                 | xi   |
| RESİMLERİN LİSTESİ.....                                                 | xiii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                                           | xiv  |
| <br>                                                                    |      |
| 1. GİRİŞ.....                                                           | 1    |
| 2. LİTERATÜR TARAMASI.....                                              | 3    |
| 3. TRIBOLOJİ .....                                                      | 15   |
| 3.1. Tribolojinin Esasları .....                                        | 15   |
| 3.2. Aşınma .....                                                       | 17   |
| 3.2.1. Aşınmayı etkileyen faktörler .....                               | 17   |
| 3.2.2. Aşınma mekanizmaları .....                                       | 18   |
| 3.3. Sürtünme.....                                                      | 27   |
| 3.3.1. Sürtünmenin ölçülmesi.....                                       | 31   |
| 4. İNCE NİTRÜR FİLM UYGULAMA ALANLARI .....                             | 33   |
| 4.1. Kesici Takımlar İçin İnce Nitrür Kaplamalar.....                   | 33   |
| 4.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan İnce Nitrür Film Kaplamalar .... | 34   |
| 4.3. Şekillendirme Takımları ve Matkaplar İçin İnce Nitrür Film.....    | 35   |
| Kaplamalar .....                                                        | 35   |
| 4.4. Enjeksiyonla Kalıplama Parçalar İçin İnce Nitrür Film Kaplamalar   | 36   |
| 4.5. Dekoratif Uygulamalar İçin İnce Nitrür Film Kaplamalar .....       | 36   |
| 4.6. Optik Uygulamalar İçin İnce Nitrür Film Kaplamalar .....           | 37   |
| 5. İNCE NİTRÜR FİLM KAPLAMALAR.....                                     | 38   |
| 5.1. TiN Kaplamalar.....                                                | 38   |
| 5.2. CrN Kaplamalar .....                                               | 39   |
| 5.3. TiCN Kaplamalar .....                                              | 41   |

|                                                                        | <b>Sayfa</b> |
|------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 5.4. ZrN Kaplamalar .....                                              | 42           |
| 5.5. AlTiN Kaplamalar .....                                            | 42           |
| 5.6. TiAlN Kaplamalar .....                                            | 43           |
| 5.7. Dominizer Kaplamalar .....                                        | 43           |
| 5.8. Maximizer Kaplamalar .....                                        | 44           |
| 5.9. Super AlTiN Kaplamalar .....                                      | 44           |
| 5.10. DeepDraw Kaplamalar .....                                        | 45           |
| 5.11. UtraCast Kaplamalar .....                                        | 45           |
| 6. İNCE FİLM BİRİKTİRME YÖNTEMLERİ .....                               | 46           |
| 6.1. Nitrasyon Yöntemi .....                                           | 46           |
| 6.2. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) .....                             | 47           |
| 6.3. İyon Demeti Destekli Biriktirme.....                              | 47           |
| 6.4. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) .....                             | 48           |
| 6.4.1. PVD kaplama teknikleri.....                                     | 52           |
| 6.4.2 PVD Kesici takım kaplamaları.....                                | 62           |
| 6.4.3. PVD Şekil verme ve sıvama kalıp kaplamaları.....                | 64           |
| 7. MATERYAL VE METOT .....                                             | 66           |
| 7.1. Amaç .....                                                        | 66           |
| 7.2. Deneyde Kullanılan 1.2550 Soğuk İş Takım Çeliğinin Özellikleri .. | 67           |
| 7.2.1. Kimyasal bileşimi .....                                         | 67           |
| 7.2.2. Özellikleri .....                                               | 67           |
| 7.2.3. Kullanım alanları .....                                         | 67           |
| 7.2.4. Isıl işlemi .....                                               | 68           |
| 7.3. Metot .....                                                       | 69           |
| 7.3.1. Numune hazırlama.....                                           | 70           |
| 7.3.2. Numunelerin sertleştirilmesi.....                               | 71           |
| 7.3.3. Numunelerin TiN Kaplanması .....                                | 71           |
| 7.3.4. Numunelerin CrN kaplanması .....                                | 72           |
| 7.3.5. Numunelerin kodlanması .....                                    | 73           |
| 7.3.6. Numunelerin aşınma deneylerinin yapılışı .....                  | 73           |
| 8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....                                    | 76           |

|                                                         | <b>Sayfa</b> |
|---------------------------------------------------------|--------------|
| 8.1. Aşınma Deneyi Sonuçları .....                      | 76           |
| 8.2. Numunelerin Mikrosertlik Metodu ve Ölçümü .....    | 84           |
| 8.3. Numunelerin Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi ..... | 85           |
| 8.4. SEM görüntüleri ve EDS Analizleri .....            | 89           |
| 8.5. İstatistiksel Çalışmalar .....                     | 99           |
| 9. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                              | 106          |
| 9.1. Sonuçlar .....                                     | 106          |
| 9.2. Öneriler .....                                     | 107          |
| KAYNAKLAR .....                                         | 109          |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                          | 117          |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                                            | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 5.1. CrN kaplamaların özellikleri.....                                                     | 40    |
| Çizelge 6.1. PVD kesici takım kaplamaları kullanım yerleri ve özellikleri.....                     | 62    |
| Çizelge 6.2. PVD Şekil verme ve sıvama kalıp kaplamaları kullanım yerleri ve özellikleri.....      | 64    |
| Çizelge 7.1 Deneyde kullanılan 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi.....              | 67    |
| Çizelge 7.2. TiN Kaplama parametreleri.....                                                        | 72    |
| Çizelge 7.3. CrN Kaplama parametreleri.....                                                        | 72    |
| Çizelge 7.4. Deneyde kullanılan numunelerin kodlanması.....                                        | 73    |
| Çizelge 8.1. Kaplamasız numunenin aşınma miktarı.....                                              | 76    |
| Çizelge 8.2. TiN kaplı numunenin aşınma miktarları.....                                            | 78    |
| Çizelge 8.3. CrN kaplı numunenin aşınma miktarları.....                                            | 80    |
| Çizelge 8.4. Numunelerin mikrosertlik değerleri.....                                               | 84    |
| Çizelge 8.5. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri.....                                           | 86    |
| Çizelge 8.6. Kaplanmamış ve kaplanmış DIN 1.3243 kalite HSS takımlarının yüzey pürüzlülükleri..... | 88    |
| Çizelge 8.7. Aşınmış numunelerin gruplara göre ortalaması.....                                     | 99    |
| Çizelge 8.8. Numunelerin aşınma değerlerinin Ki-Kare testi.....                                    | 99    |
| Çizelge 8.9. Numunelerin çoklu regresyon modeli.....                                               | 100   |
| Çizelge 8.10. Numunelerin çoklu regresyon Anova testi.....                                         | 101   |
| Çizelge 8.11. Numunelerin çoklu regresyon katsayı modeli.....                                      | 102   |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                        | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 3.1. Tribolojinin diğer bilimlerle olan ilişkisi.....                  | 15    |
| Şekil 3.2. Sürtünme ve aşınmayı etkileyen faktörler.....                     | 16    |
| Şekil 3.3. Aşınma mekanizmalarını belirleyen bileşenler.....                 | 19    |
| Şekil 3.4. Adhesiv aşınmada oluşan kaynak bağı.....                          | 21    |
| Şekil 3.5. Abrasiv aşınma.....                                               | 22    |
| Şekil 3.6. Abrasiv aşınma.....                                               | 22    |
| Şekil 3.7. İki yüzeyli ve üç yüzeyli aşınma.....                             | 23    |
| Şekil 3.8. Abrasiv aşınma mekanizmaları.....                                 | 23    |
| Şekil 3.9. Sonsuz dişlideki yorulma aşınması.....                            | 25    |
| Şekil 3.10. Sürtünme esnasındaki gerçek temas noktaları.....                 | 28    |
| Şekil 3.11. Atomik boyutta sürtünme.....                                     | 30    |
| Şekil 3.12. Sürtünmenin çeşitleri.....                                       | 30    |
| Şekil 3.13. Sürtünme kuvveti.....                                            | 31    |
| Şekil 3.14. Sürtünme ölçümü için basit sistem.....                           | 32    |
| Şekil 4.1. CrN kaplanmış kesme bıçağı.....                                   | 34    |
| Şekil 4.2. TiN Kaplanmış kesici takımlar.....                                | 35    |
| Şekil 6.1. İyon demeti destekli biriktirme yönteminin şematik gösterimi..... | 48    |
| Şekil 6.2. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi (PVD).....                      | 49    |
| Şekil 6.3. PVD Kaplama teknikleri.....                                       | 52    |
| Şekil 6.4. Rezistanslı ısıtıcı sistemli PVD sistemi.....                     | 54    |
| Şekil 6.5. Oyuk katot tabancası kullanan PVD sistemi.....                    | 55    |
| Şekil 6.6. Katodik ark PVD sistemi.....                                      | 56    |
| Şekil 6.7. Diyot sıçratma mekanizması.....                                   | 57    |
| Şekil 6.8. Triyot sıçratma.....                                              | 58    |
| Şekil 6.9. Manyetik sıçratma mekanizması.....                                | 59    |
| Şekil 7.1. 1.2550 Soğuk iş takım çeliğinin ısıtım işlem şeması.....          | 68    |
| Şekil 7.2. 1.2550 Soğuk iş takım çeliğinin monevişleme diyagramı.....        | 69    |
| Şekil 7.3. Aşınma cihazının şematik görünümü.....                            | 74    |

| <b>Şekil</b>                                                                                          | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 8.1. 10-20 ve 30 N Yükte kaplamasız numunenin aşınma grafiği.....                               | 77           |
| Şekil 8.2. 10-20 ve 30 N Yükte TiN kaplı numunenin aşınma grafiği.....                                | 79           |
| Şekil 8.3. 10-20 ve 30 N Yükte CrN kaplı numunenin aşınma grafiği.....                                | 81           |
| Şekil 8.4. Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 400 Mesh<br>zımparadaki aşınma grafiği.....   | 82           |
| Şekil 8.5. Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 800 Mesh<br>zımparadaki aşınma grafiği.....   | 82           |
| Şekil 8.6. Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 1200 Mesh<br>zımparadaki aşınma grafiği.....  | 83           |
| Şekil 8.7. Numunelerin mikrosertlik değerleri.....                                                    | 85           |
| Şekil 8.8. Numunelerin yüzey pürüzlülük grafiği.....                                                  | 87           |
| Şekil 8.9. Kaplamasız numune yan yüzeyinden alınan genel EDS analizi...                               | 92           |
| Şekil 8.10. TiN numune yan yüzeyinden alınan genel EDS analizi.....                                   | 94           |
| Şekil 8.11. CrN numune yan yüzeyinden alınan genel EDS analizi.....                                   | 96           |
| Şekil 8.12. TiN kaplamalı numunenin kesitteki kaplama yüzeyinden alınan<br>EDS analizi.....           | 97           |
| Şekil 8.13. CrN kaplamalı numunenin kesitteki kaplama yüzeyinden alınan<br>EDS analizi.....           | 98           |
| Şekil 8.14. Numunelerin ortalama aşınma farkı grafiği.....                                            | 100          |
| Şekil 8.15. Numunelerin yüke bağlı olarak ortalama aşınma farkı grafiği...                            | 103          |
| Şekil 8.16. Numunelerin aşındırıcıya (Mesh) 'ya bağlı olarak ortalama<br>aşınma farkı grafiği.....    | 104          |
| Şekil 8.17. Numunelerin aşındırıcı (Mesh) ve Yük'e bağlı olarak ortalama<br>aşınma farkı grafiği..... | 105          |

## RESİMLERİN LİSTESİ

| Resim                                                                                                                                              | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Resim 5.1. TiN kaplamalı kesici takım örnekleri.....                                                                                               | 38    |
| Resim 5.2. CrN kaplama örnekleri.....                                                                                                              | 40    |
| Resim 5.3. TiCN kaplamalı kesici takım örnekleri.....                                                                                              | 41    |
| Resim 5.4. AlTiN kaplamalı kesici takım örnekleri.....                                                                                             | 42    |
| Resim 5.5. TiAlN kaplamalı kesici takım örnekleri.....                                                                                             | 43    |
| Resim 6.1. PVD kaplama örnekleri.....                                                                                                              | 51    |
| Resim 7.1. IONBOND PVD kaplama cihazı.....                                                                                                         | 70    |
| Resim 7.2. a) Kaplamasız deney numunesi b) TiN kaplamalı deney numunesi c) CrN kaplamalı deney numunesi.....                                       | 71    |
| Resim 7.3. Aşınma deneyinde kullanılan devir dönüştürücü.....                                                                                      | 75    |
| Resim 7.4. 0,1 mg hassasiyetindeki terazi.....                                                                                                     | 75    |
| Resim 8.1. Mikrosertlik ölçüm cihazı.....                                                                                                          | 84    |
| Resim 8.2. Yüzey pürüzlülük cihazı.....                                                                                                            | 86    |
| Resim 8.3. SEM (Scanning Electron Microscope) cihazı.....                                                                                          | 89    |
| Resim 8.4. Kaplamasız numunelerin 20 N yük altında a) 400 Mesh b) 800 Mesh c) 1200 Mesh SiC zımparada aşınmış yüzeylerinin SEM Görüntüleri.....    | 90    |
| Resim 8.5. TiN kaplamalı numunelerin 20 N yük altında a) 400 Mesh b) 800 Mesh c) 1200 Mesh SiC zımparada aşınmış yüzeylerinin SEM Görüntüleri..... | 90    |
| Resim 8.6. CrN kaplamalı numunelerin 20 N yük altında a) 400 Mesh b) 800 Mesh c) 1200 Mesh SiC zımparada aşınmış yüzeylerinin SEM Görüntüleri..... | 90    |
| Resim 8.7. Kaplamasız numunenin yan yüzeyden alınan SEM görüntüsü...                                                                               | 91    |
| Resim 8.8. TiN Kaplamalı numunenin yan yüzeyden alınan SEM görüntüsü.....                                                                          | 93    |
| Resim 8.9. CrN Kaplamalı numunenin yan yüzeyden alınan SEM görüntüsü.....                                                                          | 95    |
| Resim 8.10. TiN Kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü.....                                                                             | 97    |
| Resim 8.11. CrN Kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü.....                                                                             | 98    |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| Simgeler | Açıklama                                                             |
|----------|----------------------------------------------------------------------|
| °A       | Angstrom ( $1^{\circ}\text{A}=10^{-10}\text{m}=10^{-4}\mu\text{m}$ ) |
| A        | Amper                                                                |
| °C       | Santigrad derece                                                     |
| kV       | Kilo volt                                                            |
| MPa      | Mega paskal                                                          |
| T        | Sıcaklık                                                             |
| V        | Volt                                                                 |

| Kısaltmalar | Açıklama                                   |
|-------------|--------------------------------------------|
| AISI        | Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü          |
| CVD         | Kimyasal Buhar Biriktirme                  |
| DVD         | Doğrudan Buhar Biriktirme                  |
| EDS         | Enerji Dağılımlı X Işınları Spektrometresi |
| PVD         | Fiziksel Buhar Biriktirme                  |
| SEM         | Taramalı Elektron Mikroskobu               |

| <b>Kısaltmalar</b> | <b>Açıklama</b>    |
|--------------------|--------------------|
| <b>C</b>           | Karbon             |
| <b>Cr</b>          | Krom               |
| <b>CrN</b>         | Krom Nitrür        |
| <b>Fe</b>          | Demir              |
| <b>Mn</b>          | Manganez           |
| <b>Mo</b>          | Molibden           |
| <b>Ni</b>          | Nikel              |
| <b>P</b>           | Fosfor             |
| <b>S</b>           | Kükürt             |
| <b>Si</b>          | Silisyum           |
| <b>Ti</b>          | Titanyum Nitrür    |
| <b>V</b>           | Vanadyum           |
| <b>W</b>           | Wolfram (Tungsten) |

## 1. GİRİŞ

İmalat sanayinin her alanında görülen, hızlı ve kaliteli malzeme üretiminin önündeki en büyük engellerden biri de hiç şüphe yok ki karşılaşılan aşınma sorunlarıdır. Gerek talaşlı imalat, gerek diğer imalat yöntemleri olsun üretimin çeşitli safhalarında karşılaşılan üretim araçlarında oluşan aşınma, firma üretiminin en hareketli olduğu zamanlarda çeşitli sebeplerden dolayı iş kalıbında aşınma oluşması durumunda kalıbın sökülmesi yedeğinin takılması ayarlanması diğer taraftan var olan kalıbın yeniden taşlama, parlatma ya da benzer işlemler ile tekrar üretime hazır hale getirilmesinde;

- İş gücü kaybı,
- Zaman kaybı,
- Firmanın zamanında ürün yetiştirememesi gibi sorunların karşımıza çıkması muhtemeldir.

Bu çalışmadaki amaç, ortaya çıkan bu sorunları, kesme kalıplarında kullanılan DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğine PVD tekniği ile TiN ve CrN kaplayarak aşınma davranışlarını inceleyerek minimum seviyeye indirmektir.

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

Bu alışmada; Kaplamasız, PVD – Katodik Ark metodu ile TiN, CrN kaplanmış, DIN 1.2550 Soğuk İř Takım eliğinin aşınma performansları pin-on disk aşınma test cihazında abrasiv aşınma şartlarında araştırılmıştır.

Çalışmada, deneyler esnasında üç farklı yük ve aşındırıcı disk olarak kullanılan üç farklı tane iriliğine sahip SiC (Silisyum Karbür) zımpara kullanılmıştır.

Günümüzde teknoloji hızlı bir şekilde gelişme göstermektedir ve buna bağlı olarak da gerek malzeme üretimi gerekse malzemelerin uzun süreler kullanılabilmelerini sağlayabilmek için yeni yöntemlerde ortaya çıkmaktadır. İmalat sanayinde kullanılan makine ekipmanlarının aşınması veya kırılması gibi durumlar imalatı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu gibi olumsuzlukları en aza indirmek için; malzeme seçimi, yüzey pürüzlölükleri ve ısıt işlemlerinde farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu durumlar karşısında malzemelerin dayanımlarının, sertliklerinin ve yüzey kalitelerinin artırılması için ince sert kaplamalar yapılmaktadır.

Yüzey kaplamaları, malzemeye hem görünüş güzelliğı kazandırmak hem de malzemeyi daha dayanıklı hale getirmek amacıyla yapılmaktadırlar. Yüzey kaplamaları elik yüzeylerin kaplanmasında yaygın bir şekilde kullanılan bir kaplama malzemesi olup, PVD tekniğı ile başarıyla uygulanabilmektedir.

Modern kaplama yöntemleri son yıllarda büyük aşama katetmiştir. Bunlar; PVD (Physical Vapour Deposition-Fiziksel Buhar Biriktirme) ve CVD (Chemical Vapour Deposition- Kimyasal Buhar Biriktirme) en önemli örnekleridir.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Endüstride, kesme kalıplarında kullanılan soğuk iş takım çeliklerinin kaplamasız olarak aşınma sonucu ömürleri, toplam maliyet üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kalıplarının kaplanarak kullanılması işlem verimliliğini artırmakta olup maliyetini de önemli ölçüde azaltmaktadır.

Geliştirilen yüzey kaplamalardan beklenen özellikler; yüksek sertlik, iş parçasına düşük, ancak takım malzemesine yüksek yapışma, yüksek aşınma direnci, yüksek kimyasal kararlılık ve tokluk, yüksek yük taşıma kapasitesi, düşük kesme kuvvetleri, düşük ısıl yayınma katsayısı sıralanabilir. Bu özellikleri sağlamak için öncelikli olarak kullanılan başlıca kaplama türleri ise TiN, TiAlN, TiCN, CrN'dür [1].

Gerek kesici takımlarda gerekse iş kalıpları ve ekstrüzyon kalıplarında oluşan dinamik yükler ve zorlamalar malzemeler üzerinde çok farklı aşınma davranışı ile ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, malzemelerin sınır, yüzey ve iç bölgelerinde farklı davranış ve özellikler görülmektedir. Yüzey kısmının pek çok kullanım amacı için hız çeliklerinde ve soğuk, sıcak iş çeliklerinde martenzitik olması yeterlidir. Ancak, korozyon ve aşınma etkilerinin beklendiği hallerde, ayrıca parçaların aşırı ısı etkilerine maruz kaldığı yüksek sıcaklık ortamlarında, sürtünme katsayılarının azaltılmasını sağlayacak bir yüzey yapısına ulaşmak zorunluluğu ortaya çıkmaktadır [2].

Kaplama yöntemlerinden PVD, CVD, plazma ve termal püskürtme yöntemleri ön plandadır. Bu yöntemlerle geliştirilmeye çalışılan tribolojik özellikler sayesinde parçaların kullanma ömürlerinin 2–10 kat arttığı bilinmektedir [3,4].

Günümüzde kullanılan makine elemanlarının ve sert metallerin ömürlerini artırmanın üretime çok önemli katkısı olabilmektedir. Bu ömür artışları metaller üzerinde bir takım işlemlerle elde edilebilir. Makinelerdeki durma

sürelerini en aza indirmek, dolayısıyla sistemin ya da üretimin durmasına engel olabilmek, üretim kayıplarını en aza indirmek maliyeti düşürmek, iş parçalarının birim üretim fiyatlarını aşağıya çekmek, stok ve yedek parça miktarlarını azaltmak vb. gibi olumlu etkiler hep nitelikli makine elemanları sayesinde olmaktadır [5].

Makine elemanları üzerine yapılacak bu küçük işlemlerle nasıl bu kadar fayda sağlanacaktır, ya da bu operasyonlar nasıl olmalıdır? Bilim adamları hep bu sorulara cevap arayarak kuşaktan kuşağa aktardıkları bilgi birikimleri neticesinde metallerin iyileştirilmesi çalışmalarını artırarak bugünkü noktaya gelmişlerdir [5].

Sert, H., “PVD ile TiN kaplanmış alüminyum ekstrüzyon kalıplarının yüzey özellikleri ve aşınma performanslarının deneysel incelenmesi” adlı doktora tezinde, TiN kaplı alüminyum ekstrüzyon kalıplarının, kaplamasız kalıplara göre daha az aşındığını tespit etmiştir. Kaplamasız kalıplarda aşınma üstel olarak, TiN kaplı kalıplarda lineer olarak arttığını belirlemiştir. Bu da aşınmanın geciktirilmesi ve yavaşlatılması anlamına geldiğinden kalıp performansının arttığını öngörmüştür [5].

Toprak,H. Yaptığı çalışmada, otomotiv sektörünün vazgeçilmez makine elemanı olan kam millerinin, aşınma dirençlerinin artırılması amaçlanmıştır. Çelik dövme yöntemi ile üretilmiş yüzeyi indüksiyonla sertleştirilmiş Ck 45 çeliğinden üretilen kam millerinin yerine KGDD’ den dökülerek üretilmiş, borlanmış ve borlanıp yüzeyi PVD ile TiN kaplanmıştır. Ck 45 çeliğinden elde edilmiş kam milleri numuneleri ile ana malzemesi KGDD’ den yapılmış 5 değişik işlem görmüş (ısıtılmış, TiN kaplanmış, borlanmış, borlanıp TiN kaplanmış, ısıtılmış, TiN kaplanmış) kam mili numuneleri aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Aşınma deneylerinde borlanmış ve TiN kaplanmış KGDD hem diğer küresel grafitli dökme demir numunelere kıyasla hem de Ck 45 çelik dövme kam millerine kıyasla üstün bir aşınma direnci göstermiştir [6].

Bu çalışmada, bir dizel motorun silindir yüzeyi gibi CrN (Krom Nitrür) ile kaplanarak aşınma davranışları incelenmiştir. Yapılan deneylerde dört zamanlı bir dizel motorunun silindir yüzeyi katodik ark PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme) yöntemi kullanılarak seramik bir malzeme olan (CrN) ile kaplanmıştır. Önce CrN kaplanmış test motoru farklı devir ve yüklerde test edilmiştir. Daha sonra aynı motor standart (kaplamasız) aynı şartlarda test edilmiştir. Yapılan deneyler sonrasında silindirlerin aşınma karakteristiklerini araştırmak için mikrosertlik, SEM (Scannig Electron Microscopy), EDS (Enerjy Dispersive Spectrograph) ve yüzey pürüzlülüğü analizleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre CrN kaplanmış silindir yüzeyi üzerinde, normal silindire göre daha az aşınma ve çiziklerin olduğu tespit edilmiştir [7].

Çeliklerdeki kaplamalarda sürtünen ve aşınan parçaların çeşitli tipleri ve kaplamalara etkileri gözden geçirilmiştir. Kaplamalar, Elektrokimyasal kaplama, Termokimyasal işlemler, Kimyasal buhar kaplama (CVD), Fiziksel buhar kaplama (PVD) ve plazma spreyleme teknikleri ile oluşturulmuştur. Faz kompozisyonu ve karışımı, kalınlık, sertlik, katılık gibi kalıcılık şartları ve kaplamaların özellikleri anlatılmıştır. Yapışabilme testlerinde, katı kaplamaların sertliğinin, sürtünmedeki deney parçası malzemelerinin ve yıpranma özelliklerinin büyük ölçüde etkileştiğini göstermiştir. Aşınmalar için, kaplamaların sertliği ile aşındırmanın sertliği arasındaki ilişki çok önemlidir. Tablolaştırarak derlenmiş tüm test sonuçları çeşitli kaplamaların avantajlarını ve dezavantajlarını göz önüne sermiştir [8].

Deney tasarımı teknikleri mühendislik çalışmalarına önemli avantajlar getirmektedirler. Çalışmada bu yaklaşımın detayları, ince sert seramik kaplı (TiAlN ve TiN) matkap uçlarının performans optimizasyonuörneği ele alınarak incelenmiştir. Hedeflenen optimum noktaya ulaşabilmek için endüstriyel ortamda en önemli faktörler olan kaplama türü, kesme hızı ve ilerleme hızının etkileri Taguchi Deney Tasarımı tekniği yardımı ile incelenmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde varyans analizi ve sinyal/gürültü oranı

kullanılmış, deneyler ise Taguchi  $L_9$  dik düzenine göre yapılarak, Tam Faktöriyel Deney Tasarımında gereken deney sayısının sadece üçte biri ile (27 yerine 9 deney) hedeflenen sonuçların elde edilmesi mümkün olmuştur. Bu çalışmada, kesme kuvvetinin değerlendirmede kullanılabilecek bir kriter olduğu ortaya konmuştur. Böylece hem deney tasarımının kullanılması ile, hem de değerlendirmenin kesme kuvvetleri üzerinden yapılması ile sonuçlara ulaşmak ve optimizasyonu gerçekleştirebilmek için gerekli süre ve maliyetler son derece azalmıştır. [9].

Seramik filmlerin kullanıldığı bir uygulama alanı, kesici takımların ömrünü arttırması ve maliyetini azaltması yönünde büyük avantajlar sağladığı bilinmektedir. Yapılan bu çalışmada, TiN kaplamalı AISI 304 çelikleri ile kaplamasız olanlar karşılaştırılmış ve TiN kaplı çelikler kaplamasız olanlara göre daha az aşındığı tespit edilmiştir [10].

Park ve Kim tarafından yapılan çalışmalarda çelik ana malzeme üzerine TiN temelli TiN, TiAlN ve TiSiN gibi kaplama malzemesi kullanılarak CVD yöntemiyle yapılan sert kaplamaların, mikro sertlikleri, mikro yapıları ve oksidasyon davranışları deneysel olarak araştırılmıştır [11].

Errico ve Guglielmi PVD tekniği ile kaplanmış sermet takma uçların, takım ömürlerinin karşılaştırmalarını yapmıştır. PVD ile tekli ve çoklu katman olarak sermet üzerine, TiN,  $Ti_2N$ , TiCN, TiAlN, TiCN+TiCN, TiCN+ $Ti_2N$  ve TiN+TiCN tabakalarını oluşturmuştur. Sonuç olarak TiN ve TiAlN kaplı sermet uçların kaplamasız sermet uçlara nazaran % 119-121 daha fazla kesici takım ömrüne sahip olduğunu bildirmiştir [12].

Prengel, Jindal ve Wendt tarafından yapılan çalışmalarda sert metal üzerine PVD yöntemiyle tek katlı TiN, TiAlN,  $TiB_2$  ve çok katlı TiAlN kaplamalı takımların kesme işlemlerinde aşınma davranışları ve takım ömürleri incelenmiştir [13].

Myung, ark iyon kaplama metoduyla frezeleme işleminde yüksek hızlı işlemede kaplama tipinin takım ömrüne ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini deneysel olarak incelemiştir. Kaplamasız takımların aşınma hızının kaplamalı takımlara oranla daha hızlı olduğunu ve yüzey pürüzlülüğünün buna bağlı olarak daha hızlı arttığını bildirmiştir [14].

Ranea, ince sert kaplamaların aşınma hızları ile ilgili deneysel çalışmada yüksek hız çelikleri üzerine TiC, TiCN, TiAlN ve TiN kaplama yaparak pin - on - disk üzerinde kuru sürtünme ortamında aşınma hızlarını tespit etmiştir. En düşük aşınma hızını TiAlN kaplı numunelerden elde etmiştir [15].

Özsas'ın AISI 5140, AISI 4140, St37 malzemeleri kullanarak yaptığı deneysel çalışmalarda, malzemenin karbon miktarına bağlı olarak değişen sertlik ve mekanik özelliklerin yüzey pürüzlülüğünü etkilediği görülmüştür. İşleme parametreleri olarak kesme hızının artırılması durumunda takım aşınmasının hızlandığı dolayısı ile takım ömrünün azaldığı anlaşılmıştır [16].

Yalçın ve Yılmaz, ark PVD tekniği ile TiN sert film tabakasıyla kaplanan matkap yüzey sertliklerinin normal takımlara göre, iki kat daha fazla sertlikte olduğunu gözlemlemişlerdir. Yapılan delme deneylerinde ise, aynı delme koşullarında ölçülen aşınma miktarlarına göre; TiN'le kaplamalı matkapların, kaplamasız takımlara nazaran 5-8 kat daha fazla çalışma ömrüne sahip olduğunu elde etmişlerdir. TiN ile kaplı sert seramik matkapta, delik delme sırasında tabaka kalınlığı birkaç mikron mertebesinde olduğundan dolayı, ana malzemenin tokluğu TiN tabakaya da kazandırılmıştır. Bu sayede, takım yüzeyinde pul pul dökülmeler ve çatlaklıklar gözlemlenmediğini ortaya koymuşlardır [17].

Gökkaya ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, kesici takım kaplama malzemeleri ve işleme parametrelerinden kesme hızı ile ilerleme hızının iş parçası yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kaplama malzemesi, ilerleme ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde farklı

etkilere sahip parametrelerin olduğu belirtilmektedir. Yapmış oldukları çalışmada, en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğünü, en üstte TiN kaplı kesici takımla elde etmişlerdir. İlerleme miktarının % 80 azaltılmasıyla yüzey pürüzlülüğünde %176 iyileşme sağlamışlar, kesme hızının % 200 artırılması ile de yüzey pürüzlülüğünde %13 iyileşme elde etmişlerdir [18].

Tay ve arkadaşları, filtreli katodik vakum ark tekniği ile silisyum ana malzemeler üzerine üretilen TiN filmlerinin mekanik ve yapısal özellikleri üzerine, azot akış oranı, yığma oranı ve ana malzeme biasının etkilerini araştırmışlardır. Azot akış oranındaki bir yükselmenin, sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve tane boyutunda bir artış ile sonuçlandığını ve yüksek miktardaki azot iyonundan dolayı artan iyon bombardımanının, film çekirdeklenmesini daha yoğun yönelmesine sevk ettiğini bulmuşlardır. Ayrıca, yığma oranındaki bir artışın, gerilme, sertlik ve yüzey pürüzlülüğünü artırdığı, bunun da momentum transferindeki artıştan kaynaklandığını, negatif ana malzeme biasının artması ise, hem film gerilmesi hem de sertliğini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, iyon akış enerjisinin film özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır [19].

Makine yapımında kullanılan bütün malzemelerin uzun bir süre görevlerini aksatmadan yerine getirmeleri beklenir. Sürtünerek çalışan bütün makine elemanları zamanla aşınır ve bulunduğu sistemin fonksiyonunu yerine getirmesinde aksamalar olur. Bu gibi elemanların yüzey özellikleri çalışma şartlarına ve yapıldığı malzemenin cinsine göre termal veya termokimyasal yollarla iyileştirilir. Ancak bazı makine elemanlarını bahsedilen yollarla yüzey performanslarının artırılması mümkün olmayabilir. Bu çerçevede yüzey kaplamaları gündeme gelir. Bahsedildiği gibi çalışma ve malzeme şartlarına göre yüzeylerin kaplanması 25-30 yıldır uygulanmaktadır [20].

Ezugwu ve Okeke, yaptığı çalışmada işleme operasyonunda ortalama güç tüketimiyle yüzey hassasiyetini elde etmek için, sağ vida çekme takımlarına

TiN kaplamışlardır. Sonuçta, iş parçası kalitesini ve takım ömrünü artırmak için, kesici takımların sert seramik filmlerle kaplanmasını önermişlerdir [21].

PVD ile yapılan yüzey kaplama uygulamalarında bazı farklılıklara rağmen birçok ortak ve dikkate değer nitelikte paralellikler gözlenebilmektedir. Bunlardan en önemlileri ise PVD yöntemlerinin bölgesel ve kesin sınırlı yüzeysel işlemleri uygulayabilme imkânı sağlamaları ve ortamındaki 4-6 saatlik ısı etki nedeni ile parça boyutlarında değişiklik olmamasıdır [22].

Totik ve arkadaşları, HSS-M2 üzerine kaplanmış (TiAlN) seramik filmin, ısı işlem öncesi ve sonrası XRD, SEM, EDS ve mikrosertlik incelemelerinde; ısı işleminden önce yüksek olan sertlik değerlerinin, ısı işlem ile azaldığını tespit etmişlerdir. Sıcaklığa bağlı olarak sertlikteki azalmanın sebebi yapı içinde bulunan gerilmelerin azalması, tane boyutunun büyümesi, kafes parametrelerinin azalması ve yapı içinde bulunan  $Ti_2N$  fazının ısı işlem ile yapı içindeki çözünmesi olarak yorumlamışlardır. Bu değişikliğin sebebi ise yapı içinde bulunan elementlerin ısı işlem ile  $\alpha$ -Fe içinde çözünmesi ve fazların değişmesi, kaplama ve taban malzeme arasındaki difüzyonu artırdığını gözlemlemişlerdir [23].

Türküz, katodik ark buharlaştırma metodu ile TiN kaplanmış ve kaplanmamış yüksek hız çeliği kesici takımların ömürlerini GG-25 dökme demir iş parçasının işlenmesi ile araştırmış ve sonuçlarını karşılaştırmıştır. Çalışmasında, 0,4 mm serbest yüzey aşınma şerit genişliğine ulaşıncaya kadar takımın katettiği toplam kesme mesafesini aşınma direnci kriteri olarak kabul etmiştir. Sonuç olarak, TiN kaplanmış DIN 1.3243 takımların, kaplanmamış DIN 1.3243 ve DIN 1.3343 takımlardan daha yüksek takım ömrüne sahip oldukları, daha düşük taban malzemesi yüzey pürüzlülüğü, kaplama kalınlığı, daha yüksek kaplama sertliği ve taban malzemesine yapışma mukavemetiyle de bu oranın arttırılabileceğini tespit etmiştir [24].

Sert ve Meriç, yaptıkları çalışmalarda kaplama metodunun kullanılma amacına göre ince sert kaplamaların kalın kaplamalara bir alternatif olduğunu göstermişlerdir. Her iki metodun ayrı ayrı kullanım şartları mevcut olup yağlamanın olması istenilen yerlerde kalın kaplamanın avantajlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca korozyona, darbeye, aşınmaya dayanımlı yerlerde kalın kaplamaların iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Yine kalın kaplamaların çekme dayanımları incelenirken kaplamanın ana malzemenin üzerinden yüksük şeklinde ayrıldığı ve döküldüğü gözlemlemişlerdir. Daha nitelikli ve daha sert malzemeler yine yüzey kaplamayla elde edilebilmekte olduğunu vurgulamışlardır [25].

Sert ve Karamış, yüksek mukavemetli çelik ya da sementit karbürden yapılan kesici takımların, metalin metal ile temasından oluşan mikro kaynaktan korumak için takımların, refrakter malzeme olan TiC, TiN,  $Al_2O_3$  ile kaplanması gerektiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada kesme kuvvetindeki azalmaya rağmen takım ömürlerinde % 300–800 oranında bir gelişme sağlamışlardır. TiC, TiN,  $Al_2O_3$  gibi kaplamaların, kaplama yapılmamış aletlere göre 2 ile 8 kat daha fazla bir gelişme sağladığını gözlemlemişlerdir [26].

Paldey tarafından yapılan çalışmalarda, PVD yöntemiyle TiC, TiN, TiAlN,  $Al_2O_3$  kaplı uçların yüksek sıcaklık sertliklerini, oksidasyon hızlarını, aşınma özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Janoss tarafından yapılan çalışmalarda kaplama yöntemi ve kaplama malzemesinin, yüzeyi mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi incelenerek belirtilen sertlik, sürtünme katsayısı, oksidasyon sıcaklığı, korozyon dayanımı gibi özellikleri karşılaştırılmıştır [27].

Toprak, borlanmış ve PVD yöntemiyle TiN kaplanmış KGDD kam milleri ile kaplamasız ve setleştirilmiş dövme kam millerinin çalışma performansını incelemiştir. Aşınma deneyleri sonucunda bor ve TiN kaplanmış numunelerin diğer numunelere göre daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmiştir. Aşındırma işlemi sonunda numunelerin yüzeyinde oksitlenmelerin olduğunu

gözlemlenmiştir. Küresel grafitli dökme demirlere TiN kaplamaların yapılabileceği sonucuna varılmıştır [6].

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

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

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

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

İkinci prensip ise ana malzemenin yüzeyine çeşitli yöntemlerle ince film kaplanmasıdır [31].

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

Prengel ve arkadaşları, karbür kesici takımlar üzerinde, katodik ark ve magnetron sıçratma metodları ile ürettikleri TiN TiAlN, TiB<sub>2</sub> tek tabaka ve TiN, TiCN, TiAlN esasına dayanan multi tabaka kaplamaların kesme performansı ve takım ömrüne etkilerini incelemişlerdir. TiAlN multi tabaka kaplamanın kır dökme demirin kuru frezelenmesinde, TiAlN tek tabaka kaplamanın ise soğutucu sıvı ile işlenmesinde en yüksek performansı gösterdiği gözlemiştir. Inconel 718'in tornalanmasında TiAlN multi tabaka kaplamanın TiAlN tek kaplamadan özellikle yüksek hızlarda daha iyi performans gösterdiği, en sert kaplama olan TiN/TiCN/TiAlN multi tabaka kaplamanın yüksek iç gerilme ve erken bağ bozulmasından dolayı en kısa ömre sahip olduğunu gözlemiştir. A390 alüminyum alaşımının tornalanmasında TiB<sub>2</sub> kaplamanın yüksek sertliğinden dolayı TiN ve TiAlN kaplamalardan daha iyi abrasif aşınma direnci sağladığı yönünde sonuçlar elde etmişlerdir [33].

Zhengyang ve arkadaşları, katodik ark yöntemi ile yüksek hız çeliği malzemeleri üzerinde üretilen TiN kaplamaların özelliklerine DC biası üzerine uygulanan puls biasının etkilerini araştırmışlardır. Bunun için, puls piki voltajı, frekans ve görev çevrimi puls güç kaynağı faktörlerini ve basınç, ark akımı ve DC bias voltajını değiştirmişlerdir. Kaplamaların yüzey pürüzlülüğü, kalınlık ve mikrosertlik değişimlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak DC+puls bias

voltajı kullanılarak üretilen filmlerin makro partikül yoğunluğu ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, film yapışması ve üniformaluluğunun ise arttığını tespit etmişlerdir [34].

Sert ve Can, kesici takım kaplama malzemesi ve kaplama yöntemine bağlı olarak değişen yüzey pürüzlülüğü değerleri yorumlandığında kaplamasız takımlardan sermet ile diğer TiAlN ve TiN kaplı kesici uca oranla daha düşük yüzey pürüzlülüğü sağladığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi kaplamasız sermet kesici takımın diğer iki takıma oranla daha düşük sürtünme katsayısına sahip olması ve kaplamasız olmasından dolayı daha keskin bir kesici köşeye sahip olmasına atfetmişlerdir. TiAlN kaplı kesici uç TiN kaplı kesici uca oranla daha düşük yüzey pürüzlülüğü sağlaması yine sürtünme katsayısına atfedileceği gibi CVD ile TiN kaplı kesici uca nazaran PVD yöntemiyle 3-4  $\mu\text{m}$  kalınlığında TiN kaplamasının çok ince olarak kaplanmasından dolayı, keskin bir kesici köşeye sahip olmasından kaynaklandığını tespit etmişlerdir [35].

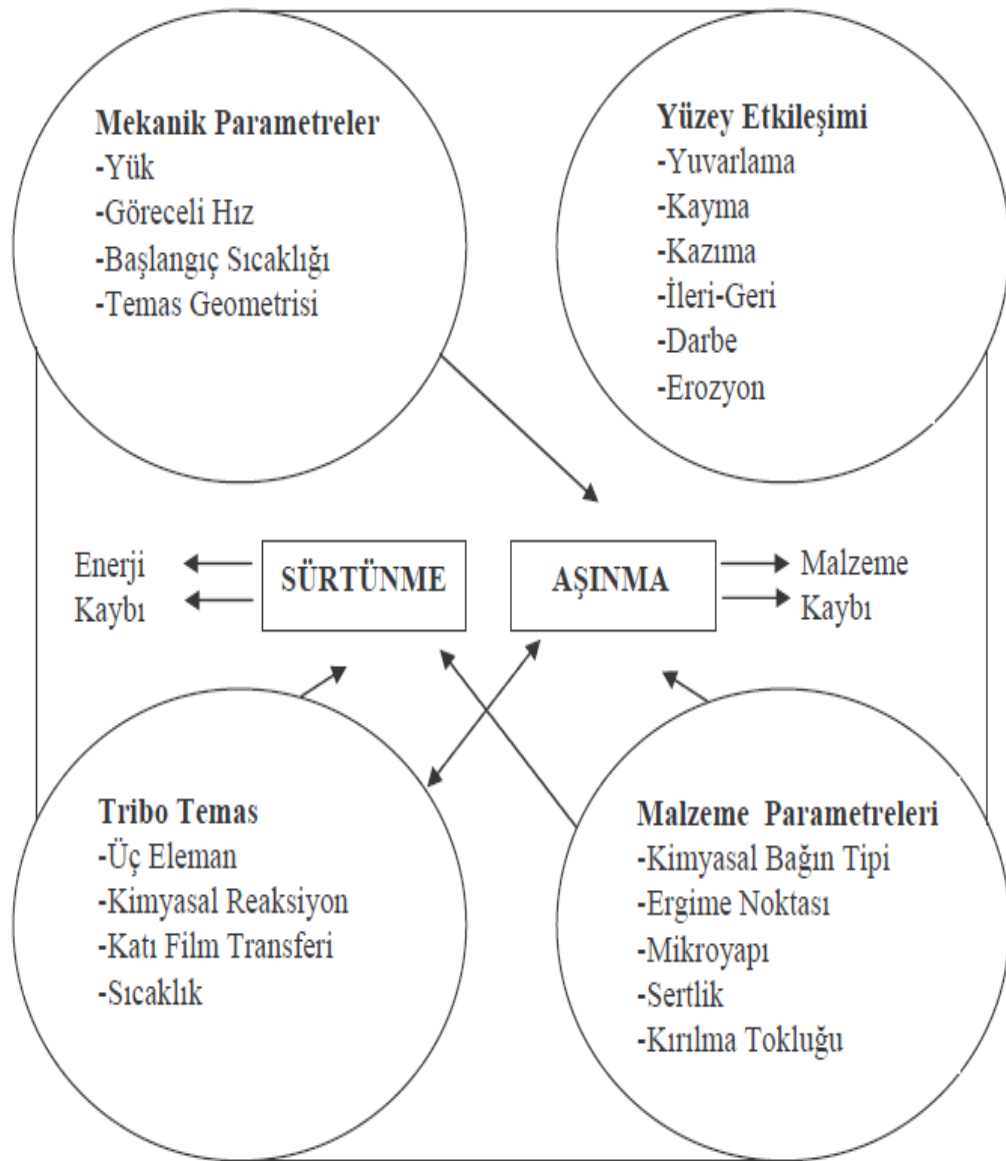
Kothari ve Kale, katodik ark metodu ile yüksek hız çeliği ana malzemeler üzerinde üretilen TiN, m-TiCN, (Ti,AlN) ve m-(Ti,AlN) kaplamaların (m; multi tabaka) özelliklerini incelemişler, (Ti,Al)N'nin en yüksek TiN'nin ise en düşük aşınma, oksidasyon ve korozyon direncine sahip olduğunu tespit etmişlerdir [36].

Mustapha ve Howson, katodik ark buharlaştırma ile üretilen TiN ve ZrN ince filmlerinin renk değişimini, azot ile geçiş metalleri arasındaki atomik oran ve oksijen kirliliğine göre incelemişlerdir. Azotun geçiş metallerine atomik oranının artmasının altın tarzı renk yansıtıcılığının azalmasına ve sarılığın artmasına sebep olduğunu, önemsenmeye değer bir renk değişimi olmaksızın stokiometri değişiminin TiN için ZrN den daha büyük olduğunu ve oksijen içeriğindeki değişimin azotunki ile aynı yönde renk değişimi ile sonuçlandığını tespit etmişlerdir [37].

Bu çalışmada, kaplama prosesinin tanıtımı ile kalıp sektöründe yoğun olarak kullanılan AISI 3343 çeliğinin kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı olanlarıyla karşılaştırılıp, aşınma davranışları incelenmiştir. Deney numuneleri Ø34x5mm ebatlarında özdeş olarak işlenmiş ve PVD yöntemiyle TiN ve CrN kaplama işlemi uygulanmıştır. Aşınma için Pin On Disk yöntemi kullanılmış olup, numunelerin aşınma, mikrosertlik gibi mekanik özellikleri ile SEM ve EDS gibi metalografik incelemeleri yapılmıştır. CrN kaplamalı numunelerin aynı şartlarda diğer numunelere oranla daha az aşındığı görülmüştür [38].



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



Şekil 3.2. Sürtünme ve aşınmayı etkileyen faktörler [39]

### 3.2. Aşınma

Aşınma, katı yüzeylerde mekanik etkinin (rölatif hareketin) bir sonucu olarak, malzeme kaybı ya da yer değiştirme olarak tanımlanabilir. Aşınma sürecinin bir özelliği olarak malzeme kaybı oldukça küçüktür. Bu yüzden, sıradan muayene ile aşınma pek incelenemez. [40].

Sürtünerek çalışan bütün makine parçalarında görülen ve fakat giderilmesi mümkün olmayan aşınma, teknolojinin ilerlemesiyle önemini gittikçe artıran bir olaydır. Bu bakımdan üzerinde araştırmalar yapılması ve minimuma indirme çalışmalarının yoğunlaşması, bu konuda yapılacak araştırmaların teşvik ve desteklenmesi gerekmektedir [31].

Aşınma olgusu, yakından ilişkili olduğu sürtünme ve yağlama kavramları ile beraber triboloji bilimini oluşturmaktadır. Her ne kadar, tribolojik bir deney için kullanılan bir cihaz sık sık bir deney için kullanılabilse de, sürtünme, aşınma ve yağlama ayrı olaylardır. Sonuçta, deney yöntemleri ve yorumları farklıdır [41].

Bir aşınma sisteminde: ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük ve hareket aşınmanın temel unsurlarını oluşturur. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem teknikte “Tribolojik Sistem” olarak adlandırılır [41].

#### 3.2.1. Aşınmayı etkileyen faktörler

Aşınmaya etki eden değişkenler aşağıda verilmiştir:

- Malzemenin cinsi ve kimyasal bileşimi,
- Malzemelerin mikro yapısı,
- Malzemelerin kristal yapısı,
- Malzemelerin sertliği,

- Isıl işlem,
- Kayma çifti,
- Ortama bağlı faktörler,
- Yük ve hız,
- Sıcaklık.

Farklı yüzey basıncı ve çalışma hızlarında yürütülen deneyler neticesinde yüzey basıncının artması ile aşınmanın hızlandığı aynı yükte çalışma hızının artması ile aşınmanın da arttığı tespit edilmiştir. Basınç artışına paralel olarak çalışma hızının da artması aşınmayı hızlandırmaktadır. Ayrıca sürtünmeyi artıran yük aşınmanın artmasına neden olmaktadır [31, 42].

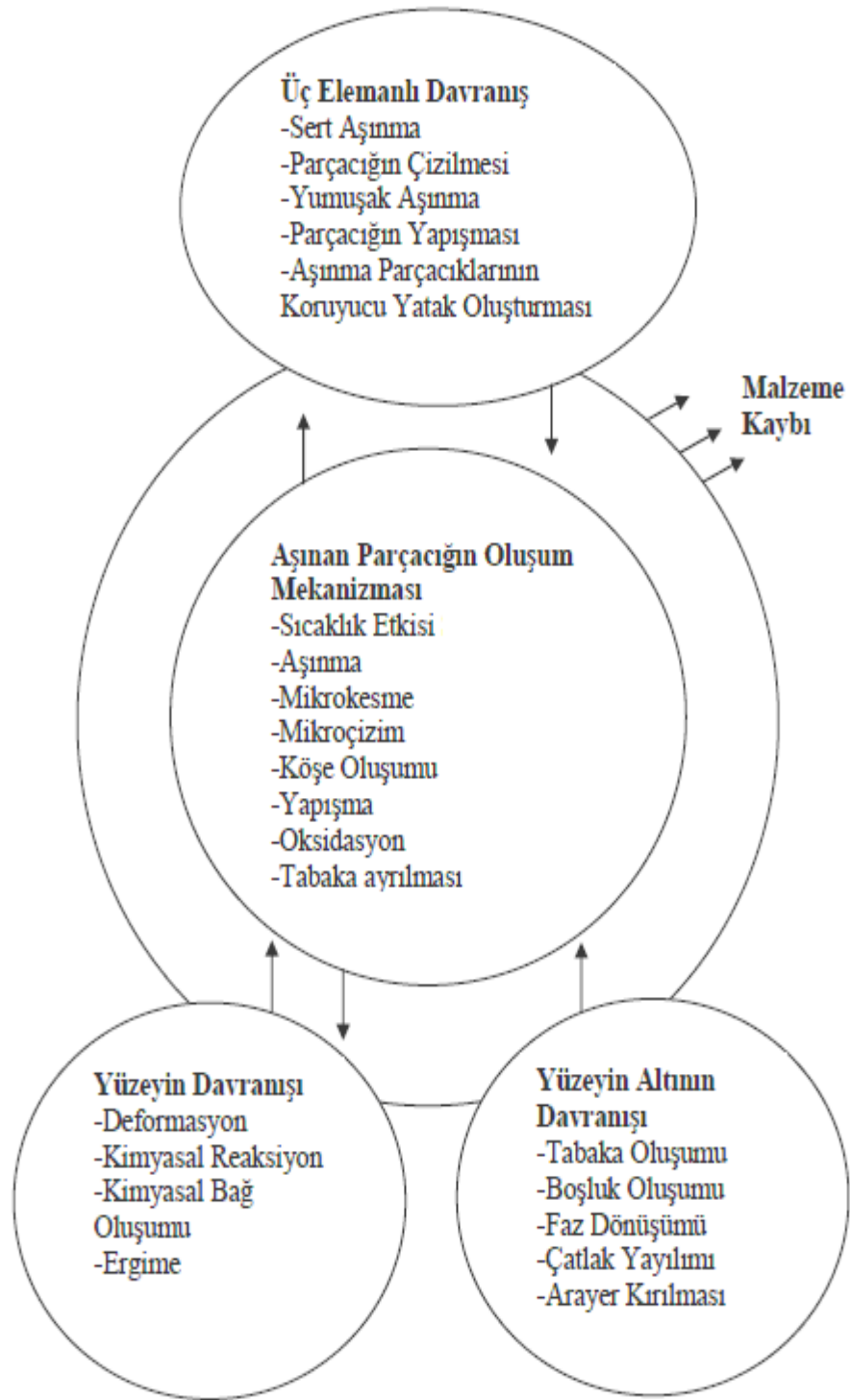
### **3.2.2. Aşınma mekanizmaları**

Aşınmanın meydana gelmesi ve sürekliliği için gerekli faktörlerin tribolojik sistem içerisinde yaptığı fiziksel ve kimyasal etkilerin iletilmesine göre yedi çeşit aşınma mekanizması vardır [40,43].

Bunlar:

1. Adhesiv aşınma,
2. Abrasiv aşınma,
3. Yorulma aşınması,
4. Difüzyon aşınması,
5. Tribo-oksidasyon aşınması,
6. Erozyon ve Kaviteasyon aşınması,
7. Yenme aşınması.

Aşınmanın meydana gelmesi ve sürekliliği için parametrelerin tribolojik sistem içerisinde yaptığı fiziksel ve kimyasal etkilerin iletilmesine göre, aşınma mekanizmalarını belirleyen bileşenler Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



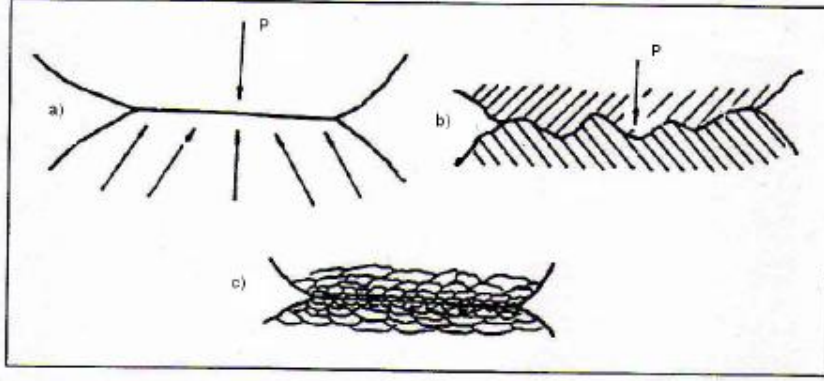
Şekil 3.3. Aşınma mekanizmalarını belirleyen bileşenler [39].

### Adhesiv aşınma

Temas halinde olan iki yüzeyin üzerinde bulunan pürüzlerin bir araya gelmesi durumunda bu pürüzlülükler birbirlerine kuvvetlice bağlanmakta ve kaynaklanmaktadır. Adhesiv aşınma deneyleri özellikle vakum altında yapılmaktadır. Çünkü temas yüzeylerinde oluşan tabii birikintiler ve oksidasyon ürünleri aşınmanın karakterini etkilemektedir. Vakum altında yapılan deneylerde borlanmış çeliklerin nitrülenmiş ve sertleştirilmiş olanlara kıyasla daha fazla adhesiv aşınmaya maruz kaldıkları gözlenmiştir [44].

Aşınmanın en yaygın türü olan adhesiv aşınma, bir katı malzemenin diğeri üzerinde kaydığında ya da ona karşı baskı yaptığında meydana çıkar. Her ne kadar malzeme kaybı diğeri yüzeye transfer olmuş partiküller şeklinde olursa da, bu partiküller şekillerini kaybedebilirler. Bazen adhesiv aşınma terimi yerine kayma aşınması terimi daha genel bir terimdir. Yapıca farklı aşınma türleri arasında ayırt edici kesin bir çizgi de yoktur [41].

Adhesiv aşınma en çok, benzer kristal kafes yapılı malzemelerde görülür. Benzer kristal kafes yapısına sahip metallerin hareket ve sürtünmeleri nedeniyle sıcaklığın artmasıyla birlikte yüzeylerinde kaynama daha kolaydır. Buradaki kaynamadan maksat malzemelerin yüksek sıcaklıktan dolayı birbirleriyle bağ oluşturmalarıdır. Şekil 3.4'de adhesiv aşınmadaki kaynak bağının oluşumu görülmektedir [45].

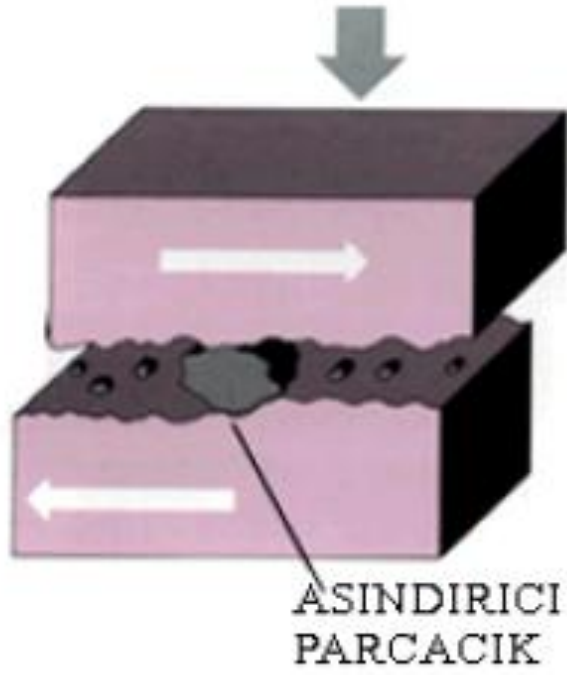


Şekil 3.4. Adhesiv aşınmada oluşan kaynak bağı [46]. a) Temas etme, b) Plastik deformasyon, c) Kaynama

#### Abrasiv aşınma

Abrasiv aşınma, çok hızlı bir şekilde gelişerek çok yüksek aşınma hızına sahip olan ve sistemin hasarına sebep olacak şekilde etkisini anında gösteren bir aşınma türüdür. Abrasiv aşınma plastik deformasyonla gerçekleşir. Bu aşınmada birbirlerine göre sertlik değerleri farklı olan malzemeler arasında yumuşak bir yüzeye çok sert partiküllerin teması ile gerçekleşir [44].

Abrasiv aşınmada yüzey hasarı, birbirine göre bağlı hareket yapan iki cismin temas yüzeyleri arasına ortam şartları dolayısıyla giren toz, talaş veya malzeme yüzeylerindeki oksidasyon gibi etkenler sonucu oluşan sert parçacıkların etkisi sonucu oluşur. Bu sert parçacıklar yüzeyler arasında kazıma etkisi yaparak taşlamaya benzer malzeme kaybının oluşmasına sebep olurlar. Bu aşınma zamanla artar ve makine elemanları yüzeyinde hareket yönünde malzeme kaybından ötürü büyük çizikler ve oyuklar oluşur. Aşınma sonucunda kopan parçalar da bu mekanizmaya dâhil olurlar ve aşınma artarak devam eder [47,48].



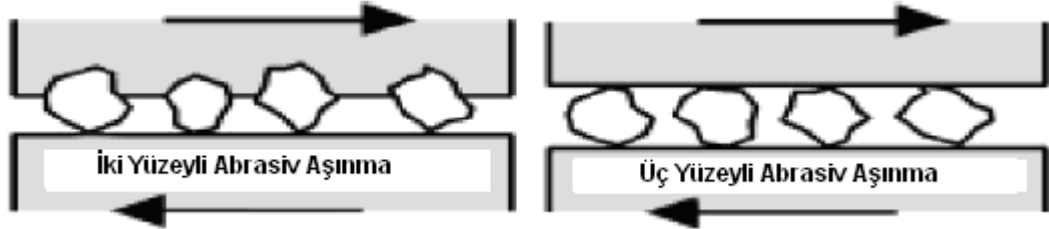
Şekil 3.5. Abrasiv aşınma [49]

Çok hızlı meydana gelen bir aşınma mekanizması olduğundan dolayı önlem alınmadığı zaman, büyük hasarlara ve maddi kayıplara sebep olabilir.



Şekil 3.6. Abrasiv aşınma [47]

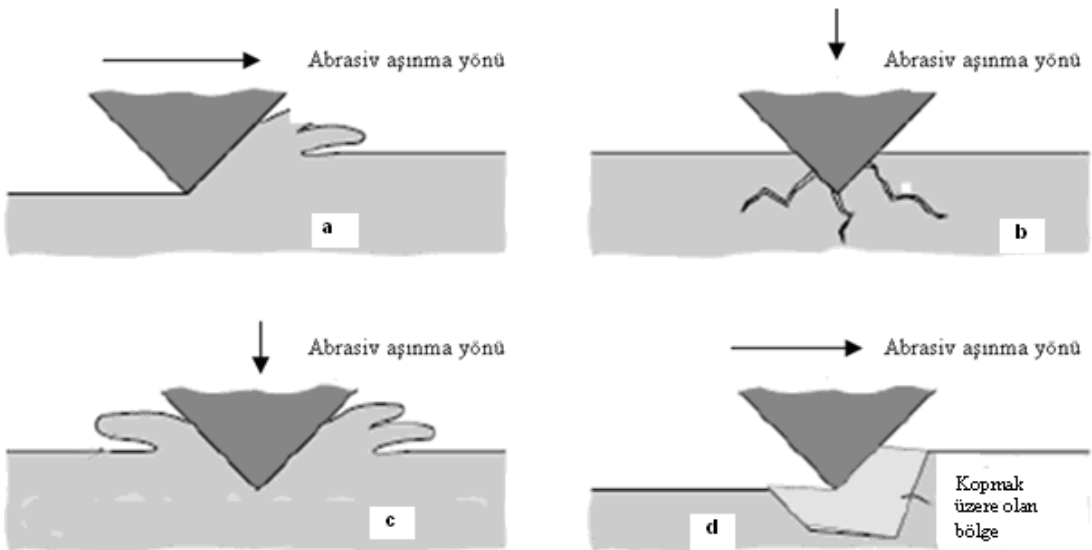
Aşınma sistemi araya giren aşındırıcı malzemelerin yüzeylerden birine gömülü olup olmamasına göre iki yüzeyli ve üç yüzeyli abrasiv aşınma olmak üzere ikiye ayrılır Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. İki yüzeyli ve üç yüzeyli aşınma [50]

Aşındırıcı malzemenin yüzeye gömülü olması, bir yüzeyi zımparalama işlemine benzer ve yüzeyden aynen bir kesme takımıyla talaş kaldırılması şeklinde aşınma işlemi gerçekleşir. Üç yüzeyli abrasif aşınmada ise aşındırıcı tanecikler serbest halde yuvarlanmakta ve yüzeylerin üzerinde kaymaktadır. İki yüzeyli abrasif aşınma, adhezyon aşınması ile birlikte meydana gelmektedir ve bu sebeple üç yüzeyli abrasif aşınmaya göre kat kat daha fazla aşınma meydana gelmektedir.

Abrasif aşınma mekanizmaları genel olarak malzemenin cinsine ve yüzey yapısına bağlı olarak dört başlıkta toplanabilir. Bunlar; kesme, çatlama, kazıma(sürtme), kopma olarak sınıflandırılır [51].



Şekil 3.8. Abrasiv aşınma mekanizmaları [51]

Kesme aşınmasında keskin şekilli veya yüksek sertlikli abrasif uç veya parçacıklar kendine göre daha yumuşak olan yüzeyden talaş halinde malzeme kaldırır. Aşınan malzemenin kırılğan yapıda olması durumunda (Seramik vb.) ise çatlama meydana gelir. Eğer aşındırılan malzeme yumuşak bir malzemeyse ve keskin köşeli olmayan aşındırıcılarla aşındırılıyorsa, kesme olayı gerçekleşmez ve aşınma yüzeyi defalarca deforme olur. Bu durum kazıma ya da sürtme olarak adlandırılır ve bu durumda aşınma atığı metal yorulması sonucu oluşur. Şekil 3.8’ de d resminde görülen durum ise tane ayrılmasını göstermektedir. Bu mekanizma daha çok taneler arasındaki sınırların zayıf olduğu ve tane boyutlarının büyük olduğu seramiklerde görülür ve kopan tane aşınma atığını oluşturur [51].

Abrazif aşınmanın azaltılması için aşınmayı oluşturan taneciklerin ve partiküllerin sistem içine girmemesini sağlayacak şekilde sızdırmazlık sağlanması ve yüzeylerin sık sık temizlenmesi gerekmektedir. Ayrıca abrasif aşınma malzemelerin sertliğiyle doğrudan ilişkili olduğundan, abrasif aşınmanın önlenmesi için de yine sertlikten yararlanılır. Bu sebeple abrasif aşınmayı önlemeye yönelik olarak sert malzeme kullanılmalı veya yüzeylerin sertliği ısıtılma işlemi, elektro-kaplama, alev püskürtme, nitrasyon, plazma sprey, borlama, CVD, PVD gibi yüzey kaplama yöntemleriyle artırılmalıdır [47,48].

Malzemenin tümüyle değiştirilmesi yerine sert yüzey kaplaması uygulanması günümüzde gittikçe yaygınlaşmaktadır. Aşınmaya karşı dirençli ama pahalı malzeme kullanmak yerine, yüzey üzerine uygulanan ince kaplama tabakaları ekonomik bir çözüm olarak kullanılmaktadır [51].

#### Yorulma aşınması

Makine parçalarında tekrarlanan yüklere maruz kalmaları veya titreşimden dolayı zamanla yorulma meydana gelir. Özellikle, yüzeylerin sürekli ve değişken yüklere maruz kalmaları, yüzeyin hemen altında yorulma çatlakları oluşmasına neden olur. Bu mikro çatlaklar zamanla ilerleyerek, malzemenin

yüzeyinden mikro parçaların kopmasına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya yorulma aşınması denir [40].

Çok tekrarlı yüklemeler sonucunda, özellikle rulmanlar, dişli çarklar, kam mekanizmaları gibi makine elemanlarında ortaya çıkan ve temas yüzeylerinde çok küçük çukurcukların oluşması şeklinde kendini gösteren aşınma türüdür [48].



Şekil 3.9. Sonsuz dişlideki yorulma aşınması

#### Difüzyon aşınması

Birbiriyle temas halinde bulunan yüzeyler arasında sürtünmeden dolayı bir sıcaklık yükselmesiyle birlikte temas yüzeyinde bulunan atomların kristal kafes içinde atom yoğunluğu yüksek olan bölgelerden düşük olan bölgelere doğru hareket ederek difüzyon meydana gelir. Sıcaklığın yükselmesi ve yeterli zaman sonunda sürtünme yüzey bölgesinde atom ve moleküllerin çevreye transfer olması ya da karşı sürtünme elemanına girmesi difüzyon esasına dayanır [45].

Sürtünme esnasında, uygulanan kuvvetle yüzeylerin teması sağlanarak malzeme yüzeylerinde gerilme yığılmaları ve sıcaklığın artışı ile birlikte, temas noktalarında akma ve sürtünme başlar. Bunun sonucunda temas noktaları plastik şekil değiştirmeye maruz kalarak temas alanları artar.

Böylece yüzeyler arasında atom alışverişi meydana gelerek, mukavemeti düşük olan bir yüzey tabakası meydana gelir. Bu tabaka sürtünmeden ve izafi hareketin devam etmesiyle birlikte esas malzeme yüzeyinden koparak malzeme kaybına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya difüzyon aşınması denir. Bu aşınma mekanizması fren balatalarında, uzay araçlarında ve takım tezgâhlarında görülür [52,53].

#### Tribo – Oksit aşınması

Malzemenin izafi hareket sırasında statik ve dinamik sürtünme kuvvetlerinin farklılık göstermesi sebebiyle düşük kayma hızlarında yüzeyler arasında titreşimler meydana gelir. Bu titreşimler yüzeyler arasında bir oksit filmin oluşmasına yol açar. Bu olaya tribolojik zorlama esnasında meydana gelmesinden dolayı sürtünme oksidasyonu veya tibo-oksidasyon denir [45].

#### Erezyon ve kavitasyon aşınması

Erezyon; ortam ile malzeme yüzeyi arasındaki hızın çok yüksek olması nedeniyle meydana gelen bozulma olayı olarak tarif edilebilir. Gaz veya sıvı ortamında taşınan abrasiv tanelerin yüzeye belirli bir açıda çarpmasıyla oluşan enerji, katı cismin basınç mukavemetini aştığı zaman, cismin yüzeyinde plastik deformasyon meydana gelerek yüzeyde kırılmalara sebep olur. Bunun sonucu olarak yüzey aşınır. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya erezyon aşınması denir. Aşındırıcı parçaların büyüklüğü, hızı, şekli, sertliğe çarpma açısının değeri, erezyon aşınma mekanizmasını etkileyen en önemli faktörlerdir [40,43].

Kavitasyon aşınması; izafi hareket halinde bulunan bir sıvı ile katı bir cismin arasında meydana gelir. Sıvı içerisinde bulunan zerreciklerin basıncı, buharlaşma basıncından daha küçük bir ortamdan geçerken zerreciklerin büyümesi ve patlamasıyla oluşan basınç dalgalarının katı cismin yüzeyine çarpması sonucu kavitasyon meydana gelir. Kavitasyon aşınması genellikle, su türbinleri, su pompaları, buhar türbinlerinde görülür [45].

### Yenme aşınması

Yenme aşınma mekanizması, adhesiv aşınma mekanizmasına benzemektedir. Birbirine kuvvetle bastırılan iki metalin yüzeyinde düşük genlikli titreşim hareketinden dolayı, yüzeylerde bulunan pürüzler, yüzeyden koparak aşınmayı meydana getirirler. Yüzeyden kopan bu parçacıklar oksitlenerek aşındırıcı haline gelerek abrasiv aşınma miktarını artırır. Kuvvetli etkileşimden dolayı, temas noktalarında gerilme yığılmaları meydana gelerek titreşim artar. Bu nedenle yüzeyde yorulma çatlakları artarak zararın artmasına neden olur. Bu tür aşınma, iş makinelerinde, sıkı geçmelerde, kama ve cıvata bağlantılarında meydana gelir [45].

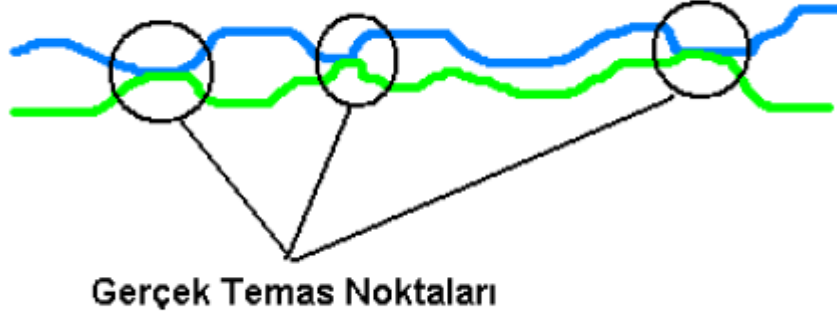
### **3.3. Sürtünme**

Sürtünme; birbirleri üzerinde kayan, yuvarlanan elemanların izafi hareketini yavaşlatan veya engelleyen bir direnç olarak tanımlanabilir.

Sürtünmeyi yenen kuvvete sürtünme kuvveti denir. Sürtünme kuvveti, hareketin cinsine göre (kayma ve yuvarlanma), temas yüzeylerinin durumuna göre (kuru ve yağlı) değişebilir. Sürtünme sonucu dinamik enerjinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşerek aşınmayı teşvik eder ve dolayısıyla aşınma sürtünmenin bir ürünüdür [39].

Sürtünme kuvveti, cisimler hareket ederken temas ettikleri yüzeylerin sürtünmesinden kaynaklanan ve yer değiştirmeye zıt yönde ortaya çıkan kuvvete denir. Bir zemin üzerinde bulunan bir cismi harekete geçirmek için, yüzeyin cisme uygulanan hareketin zıt yönünde oluşan sürtünme kuvvetinden daha büyük bir kuvvete gereksinim vardır. Aksi halde uygulanan kuvvet cismin sürtünme kuvvetinden daha küçük veya eşitse cisim harekete geçmez [54].

Yüzeyler ne kadar düz görünürse görünsün, mikroskobik boyutta girinti ve çıkıntılara sahiptir. İki yüzey üst üste geldiğinde, yüzeyler arasındaki temas her iki yüzeyin tepe noktaları arasında olur. Böylelikle gerçek temas alanı görüldüğünden çok daha küçük olur. Bu küçük temas noktalarına uygulanan yükten dolayı bu noktalarda yapışma ve bölgesel kaynaklar oluşur. Cisimler birbiri üzerinde hareket ettirilmeye çalışıldığında önce bu bölgesel kaynakları koparmak gerekecektir. Bu nedenle cisimlerin yüzeyleri ne kadar pürüzlü ise sürtünme kuvveti de o kadar fazla olacaktır.



Şekil 3.10. Sürtünme esnasındaki gerçek temas noktaları [56]

Sürtünme genel olarak statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılır. Birbirlerine temas eden yüzeyler arasında bağıl hareket yoksa statik sürtünmeden söz edilir [55].

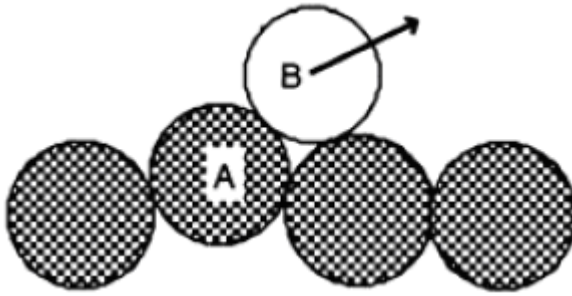
Eğer temas eden yüzeyler arasında bağıl hareket mevcutsa bu durumdaki sürtünmeye dinamik veya kinetik sürtünme denir. Bu durumda sürtünme kuvveti temas halindeki yüzeyleri oluşturan atom veya moleküllerdeki, zıt işaretli yerel elektrostatik yük dengesizliklerinin birbirini çekmesinden kaynaklanır [57].

Dinamik sürtünmede yüzeyler öteleme hareketi yapıyor ve birbiri üstünde kayıyorsa kayma sürtünmesinden, birbirleriyle nokta ya da çizgisel temaslı

olup birbirleri üzerinde yuvarlanıyorsa, yuvarlanma sürtünmesinden bahsedilir. Eğer yüzeyler birbiri üzerinde aynı zamanda hem dönme hem de kayma hareketi yapıyorsa bu da kayma ve yuvarlanmanın kombinasyonudur. Yuvarlanma sırasında iç içe giren kısımların ayrılması daha kolay olacağından, sürtünme katsayısı genellikle yuvarlanma halinde kayma halindekiinden daha küçüktür. Bunun bir sonucu olarak da yüzeyi iyi temizlenmiş metal yüzeyler arasındaki sürtünme kuvveti, iyi temizlenmemiş yüzeyler arasındaki sürtünme kuvvetinden fazladır [55].

Sürtünme kuvveti tamamen malzemelerin özelliklerine bağlı değildir. Nem, sıcaklık, kayma hızı, temas basıncı gibi etkenlerle değişmektedir. Farklı yağlayıcılar, farklı temas bölgeleri ve farklı yüzey pürüzlülükleri için sürtünme katsayısı farklılık gösterir [58].

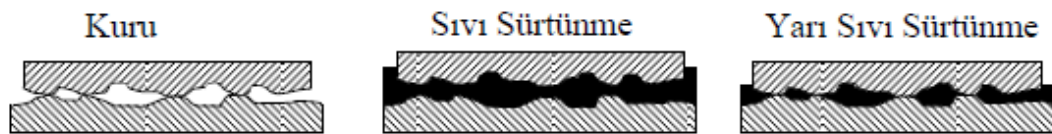
Sürtünme, Şekil 3.11’de atomik boyutta incelenmiştir. B atomu hareket ettiğinde kendisine yapışmış haldeki A atomu da onu takip etmek isteyecektir. B atomu hareketine devam ettikçe, birlikte yapılan bu hareket, A atomunun komşuları tarafından A’ ya uygulanan ve onu eski pozisyonuna doğru çeken kuvvetler, B atomunun uyguladığı kuvveti aşana kadar devam edecektir. Bu noktada A ve B atomu ayrılacaklardır. A atomu aniden yerine doğru dönecek ve bu esnada çarpıştığı komşu atomlarının titreşimine sebep olacaktır. Bu titreşim de sürtünme sırasında oluşan ısıyı meydana getirmektedir [58].



Şekil 3.11. Atomik boyutta sürtünme [58]

Sünek malzemelerde atomlar plastik akış sebebiyle orjinal pozisyonundan çok daha uzağa çekilebilirler. Bunun sonucu olarak da sünek malzemelerin sürtünme katsayılarının, kırılgan malzemelere oranla daha fazla olduğu söylenebilir [58].

Sürtünme, yüzeyler arasındaki temas noktalarıyla ilişkili olduğundan yüzeyler arasındaki teması kesmek ya da azaltmak için yağlayıcı kullanmak sürtünmenin azaltılmasında kullanılan en yaygın yöntemdir.



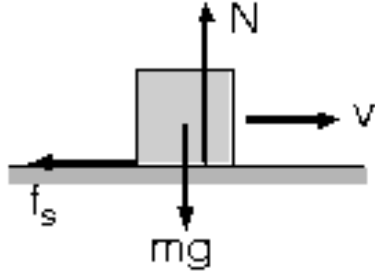
Şekil 3.12. Sürtünmenin çeşitleri [55]

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

Sıvı sürtünmede iki yüzey arasındaki yüzey pürüzlülükleri karşı tarafa temas etmeyecek şekilde yüzeyler arasında yağ filmi oluşturulmuştur. Bu durumda sürtünmeyi oluşturan faktör yağın viskozitesidir.

Yüzeyler arasındaki yağ filmi yeterli kalınlıkta oluşmadıysa bazı pürüz tepelikleri birbirlerine temas edebilir. Bu durum da yarı sıvı sürtünmedir [55].

### 3.3.1. Sürtünmenin ölçülmesi

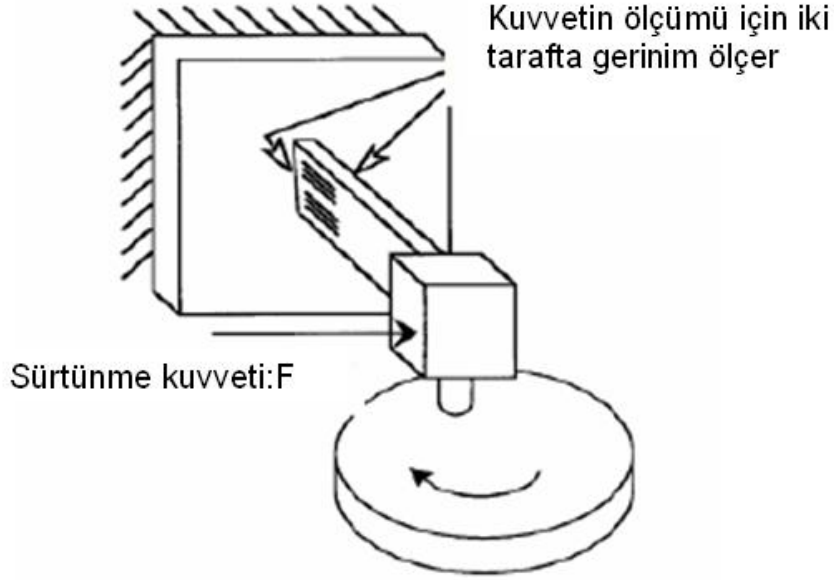


Şekil 3.13. Sürtünme kuvveti

Sürtünme kuvveti “ $F$ ” nin, yüzeye etkiyen normal kuvvet “ $N$ ” ye oranı sürtünme katsayısını “ $\mu$ ” verir. Sürtünme katsayısı statik ve dinamik sürtünme durumları için farklı değer almaktadır. Statik sürtünme katsayısı durmakta olan cismi harekete geçirmeye yetecek en küçük kuvvetin, dinamik sürtünme katsayısı ise hareket halindeki cismin sabit hızla hareketine devam etmesini sağlayan ve statik sürtünme kuvvetine kıyasla daha küçük olan kuvvetin “ $N$ ” ye oranını almak suretiyle bulunabilir [57].

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte dinamik şartlar halinde yüksek hassasiyetle sürtünme katsayısını bulmak mümkün hale gelmiştir. Bu amaçla basit yaylı kuvvet ölçerlerden, uygulanan yükle orantılı elektriksel sinyal üreten cihazlara kadar geniş kapsamda kuvvet ölçerler kullanılmaktadır. Kuvvetin uygulandığı parçadaki şekil değişimi gerilme ölçerler, kapasitans sensörler, indüktans sensörler, pizoelektrik malzemeler, optik girişim gibi kuvvetölçerler

yardımıyla ölçülür. Bunlardan en yaygın olanı ise güvenilirliği, basitliği ve kolay kalibre edilmesi sebebiyle gerinim ölçerlerdir (strain gauge) [58].



Şekil 3.14. Sürtünme ölçümü için basit sistem [58]

Birçok kuvvetölçer bulunduğu gibi farklı dizaynlarda sürtünme kuvveti ölçme cihazı da vardır. Şekil 3.14'deki Pim-Disk tipi sistem akademik ve endüstriyel laboratuvarlarda kullanılan en yaygın sistemdir. Bu sistemde kiriş sıkıca sabitlenmiş ve ayarlanabilen tabana dik olarak tutturulmuştur. Ayarlanabilen taban, pimin disk ile teması için indirilir ve ikisi arasında normal yük üretilene kadar ayarlanır. Disk döndürülür ve pime  $F$  kuvveti uygulanır.  $F$  kuvveti kirişin kökünün yakınlarında maksimum gerilme üretecek şekilde kirişi eğdirir. Kirişin dikey yüzeylerindeki gerilme ölçerler tarafından bu kuvvet ölçülür. Bu konfigürasyonun avantajı tabanı aşağı yukarı bir servo motor ile hareket ettirerek numune yüklemesinin değiştirilebilmesidir. Dezavantajı ise numune yüklenmesinin disk yüzeyi destek şaftına göre dik veya düz olmadığı zaman değişmesidir [59].

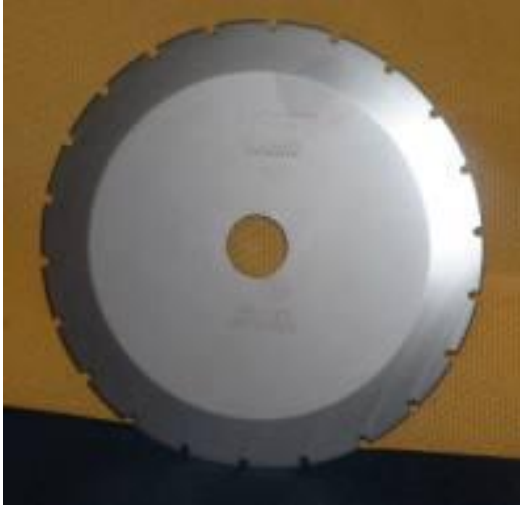
#### 4. İNCE NİTRÜR FİLM UYGULAMA ALANLARI

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

Takım kaplamaları yüzey kaplama teknolojisine paralel olarak uygulamalarda gelişim göstermektedir. Bunun yanında son zamanlarda parçalar için düşük sürtünme, aşınmaya dayançlı ince nitrür film kaplanması uygulamaları oldukça artmıştır. Özel örnekler yakıt enjeksiyon sistemleri, silindirler, sert koşullar için yataklar, dişliler, pompalar ve kompresörlerdir. 1996 yılında yapılan bir araştırma aşınmaya karşı koruyucu kaplamalar pazarının 83 milyar Euro civarında olduğunu göstermektedir [60].

##### 4.1. Kesici Takımlar İçin İnce Nitrür Kaplamalar

Metal kesme endüstrisinde kesici takımlar için ince nitrür film kaplama uygulaması başlangıcı, son 30 yılda modern kaplama teknolojisindeki endüstriyel uygulamalar içerisinde en büyük başarı hikâyesidir. Kesme takımlarında ilk yaygın uygulama 1980'lerin başında TiN PVD kaplamasıyla başlayıp 1990'lardan itibaren keskin uçlar içeren kesme takımlarının çoğu ince nitrür filmlerle kaplanmaktadır. Katı karbür kesme takımları için PVD ince nitrür film kaplama neredeyse standart kaplama metodu olmuştur. Günümüzde TiAlN film kaplama en geniş kullanımı bulmakla birlikte bazı özel kesici takım kaplamaları için TiCN ve CrN daha olumlu sonuçlar vermektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. CrN kaplanmış kesme bıçağı [60].

İnce nitrür kaplamalar talaşlı imalatta kesici takımlarda ve kalıp zimbalarında ömür uzatma ve üretimi hızlandırma amaçlı tüm dünyada kullanılmaktadır. İnce nitrür kaplamalar hızlı çalışma olanağı sağlayarak ve aşınmayı azaltarak firmanın üretim maliyetini düşürmede büyük katkılar sağlamaktadır.

#### 4.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan İnce Nitrür Film Kaplamalar

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

korunma sağlanır, enerji kayıpları azaltılır ve verimlilik arttırılmış olur. Bu yeni düşük sürtünme kaplaması uygulamaları üstün tribolojik özellikler sunarlar [60].

### 4.3. Şekillendirme Takımları ve Matkaplar İçin İnce Nitrür Film

#### Kaplamalar

İnce nitrür film kaplamalar, sert ve aşınmaya dirençli olup şekillendirme ve delme takımlarının kullanım ömürlerini oldukça uzatacak biçimde aşınmaya karşı korurlar. Takım ömrü ve darbe dayanımının artmasıyla üretim, büyük ölçüde artmakta ve birim maliyetlerde düşüş sağlanmaktadır. Yine ince nitrür film kaplamalar şekillendirme takımları ve matkap yüzeylerini aşınmaya karşı korurlar. Bunun beraberinde daha az yağlayıcı kullanımını ve hatta kuru çalışmayı getirir. Bu durum tezgâh temizlenmesi olayını ortadan kaldırarak maliyeti azaltır. Son olarak şekillendirme takımları ve matkapların kaplanması aşınmaların azaltılması ile yüzey kalitesini arttırır. Şekil 4.2’de TiN kaplanmış kesici takımlar görülmektedir [60].



Şekil 4.2. TiN Kaplanmış kesici takımlar [60]

#### **4.4. Enjeksiyonla Kalıplama Parçalar İçin İnce Nitrür Film Kaplamalar**

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

Enjeksiyon kalıpları ve enjeksiyonla kalıplama teçhizatı oldukça maliyetli parçalardır. Enjeksiyon kalıplarının ince nitrür film kaplanmasıyla birlikte servis ömürleri önemli ölçüde arttırılmış olur. Bu tamirat zamanlarının ve masraflarının azaltılması, kullanım ömrünün artması şeklinde şirketlerin ekonomik anlamda tasarruf etmelerini sağlar. Yine ince nitrür film kaplamalar yapışmayı azaltır. Bu parçanın tahliye kuvvetlerinin azaltılması anlamına gelmektedir [61].

Enjeksiyonla kalıplamada çoğunlukla fazla aşındırıcı eriyikler kullanılmaktadır. İnce nitrür film kaplanmış kalıplar aşınmaya karşı çok dirençlidirler ve uzun kullanım ömrü sağlarlar. Gelişmiş kalıp doldurma özelliğinin bir sonucu olarak azaltılan çarpılmalar ve gelişmiş yüzey özellikleri ile ince nitrür film kaplı enjeksiyon kalıplarında ürün kalitesi arttırılmış olmaktadır. Kaplamayla birlikte enjeksiyon kalıplama işlemi sonrası kalıntılar azaltılır ve kalıbın temizlenmesi kolay hale gelir. Yine ince nitrür film kaplanmasıyla birlikte enjeksiyon kalıp parçaları pahalı yağlayıcılara ihtiyaç olmaksızın sürtünmeye bağlı aşınma ve yapışmalara karşı korunurlar [60].

#### **4.5. Dekoratif Uygulamalar İçin İnce Nitrür Film Kaplamalar**

1990'ların ortalarından beri yüksek kalitede yüzey bitirme özelliği aranan sıhhi uygulamalar ve donanımlar için ince nitrür film kaplamalar birçok üretici tarafından çok uzun garanti süreleriyle pazarlanmaktadır.

İnce nitrür film kaplamalar geleneksel elektroliz ile kaplanmış kaplamalara göre sağladıkları üstün sertlik ve aşınma dayanımları, renklerinin değişip solmamaları ve kirlenmemeleri, bariz yüksek korozyon dayanımları ve ultraviyole (UV) ışık altında bozunmamaları özellikleriyle çok daha üstündürler [60].

#### **4.6. Optik Uygulamalar İçin İnce Nitrür Film Kaplamalar**

1970'lerin sonlarından itibaren geniş çapta cam levhalar üzerine vakum kaplama teknolojilerinin kullanımı oldukça artmıştır. Son on yıl içerisinde vakum kaplama sistemlerinin mimari ve otomotiv camları üzerine kullanım kapasitesi dünya çapında iki kattan fazla artarak 120 milyon m<sup>2</sup> olmuştur. Ağırlıklı uygulamalar düşük emisivite ve güneş ışığı kontrol kaplamalarıdır.

## 5. İNCE NİTRÜR FİLM KAPLAMALAR

### 5.1. TiN Kaplamalar

Yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı ve oksidasyon mukavemetine sahip olan TiN, her çeşit kesici takım, kesme, sıvama kalıbı ve sert metal uçların yüzeyine 1 – 3 mikron ( $\mu\text{m}$ ) kalınlığında kaplanan, genel amaçlı bir kaplama çeşididir. Resim 5.1’de çeşitli kesici takımlara uygulanmış TiN kaplamalara örnekler gösterilmiştir [62].

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



Resim 5.1. TiN kaplamalı kesici takım örnekleri

Dünyada aşınmaya karşı yapılan kaplamaların başında gelen TiN kaplamanın avantajları ve özellikleri şöyle sıralanabilir;

- Yüksek sertliği (2800–3200 HV) ve ısıl geçirgenliği düşük olması nedeniyle talaşın takıma ısı transferini engeller ve takımın ısınarak yumuşamasını önleyerek aşınmasını geciktirir.
- Kimyasal stabilitesi yüksek olduğundan iş parçasına yapışmaz, kayganlık özelliği yükselir.
- Kimyasal reaksiyonlara girmediğinden iş parçasının çalışma yüzeyi uzun süre aktif kalır.
- Kalınlığı 1 – 3 mikron arasında olduğundan takımların toleranslarını değiştirmezler.
- Kaplama yüzeye mükemmel yapıştığından sıvama kenarlarında ve kesici kenarlarda kaplama dökülmesi olmaz. Yüksek tonajlı preslerde dahi yüzeyden dökülmezler.

## 5.2. CrN Kaplamalar

Kromnitrür kaplama üstün özellikleri nedeniyle tercih edilir. Kromnitrür kaplama, geleneksel sert krom kaplamadan 2-3 kat daha serttir. Kromnitrür diğer özellikleri olan düşük sürtünme katsayısı ve düşük kalıcı stres seviyeleri bir araya gelince, yüzeylerde her türlü aşındırıcı etkiye karşı koruma sağlamış olur.

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

Keskin köşelerin formu klasik sert krom kaplamada olanın aksine bozulmaz (radyüs oluşmaz). Yapışmama özelliğinden dolayı malzeme kalıptan kolay ayrılır. Kaplamanın düşük sıcaklıklarda yapılması nedeniyle kalıplarda çarpılmalar olmaz [63].

Derin çekme ve sıvama kalıplarında kaplamanın yüksek sertliği ve düşük yüzey pürüzlülüğünden dolayı sarma yapmaz, parçalarda ve kalıplarda çizilmeleri asgariye indirir [63].

Çizelge 5.1. CrN kaplamaların özellikleri

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



Resim 5.2. CrN kaplama örnekleri

### 5.3. TiCN Kaplamalar

Yüksek sertlik ve düşük sürtünme katsayısına sahip olan TiCN kaplamalar mavi – gri renkte bir kaplamadır. Kılavuzlar, zimbalar ve freze bıçakları gibi orta seviyede kesme sıcaklıklarında yapılan talaş kaldırmada tercih edilir. Resim 5.3’de çeşitli kesici takımlara uygulanmış TiCN kaplamalara örnekler gösterilmiştir [62].

Özellikle süreksiz, kısa talaş veren sert malzemelerin talaşlı imalatında iyi sonuç verir. TiCN kaplamalar tek katlı veya çok katlı olarak uygulanabilir. Özellikle çok katlı TiCN kaplama uygulamaları hem yüksek sertlik hem de yüksek tokluk özelliğini bir arada taşıdığından daha yüksek darbe ve aşınma dayanımına sahiptir. Bu özellikleri ile kılavuz, silindirik ve kanal frezeler ile dişli çakılarında da iyi sonuç verir. TiCN kaplama özellikle çok yüksek sıcaklıkların oluşmadığı ve uygun soğutmanın yapıldığı orta kesme hızlarında frezeleme işlemleri için tavsiye edilir. Yüksek tokluğu sebebiyle takım ucundaki kırılmaları engellediği için darbeli kesme işlemleri için idealdir [62].



Resim 5.3. TiCN kaplamalı kesici takım örnekleri

#### 5.4. ZrN Kaplamalar

TiN kaplama ile benzer özelliklere sahip bir kaplama çeşididir. Rengi TiN kaplamaya göre daha açık olduğundan dekoratif amaçlı olarak da tercih edilir [63].

ZrN kaplamanın en önemli özelliği insan vücuduna biyolojik olarak en uygun kaplama çeşidi oluşudur. Bu sebeple tıbbi implantlarda özellikle tercih sebebidir [63].

#### 5.5. AlTiN Kaplamalar

Yüksek alüminyum içeriğine sahip siyaha yakın mor renkli AlTiN kaplama, bütün talaş kaldırma işlemlerinde, kuru kesmede, kaba ve kalın paso işlemlerinde çok iyi sonuçlar vermektedir. AlTiN kaplamalar 3800 - 4200 HV gibi çok yüksek sertliğe sahip olmasına rağmen oldukça tok ve darbelere dayanıklıdır. Aynı zamanda 1100 °C gibi yüksek oksidasyon sıcaklığına sahip olan AlTiN kaplamalar, ısıl kalkanı etkisi sebebi ile yüksek sıcaklıkların olduğu kesme işlemlerinde başarı ile uygulanmaktadır. Resim 5.4'de çeşitli kesici takımlara uygulanmış AlTiN kaplamalara örnekler gösterilmiştir [62].



Resim 5.4. AlTiN kaplamalı kesici takım örnekleri

### 5.6. TiAlN Kaplamalar

TiAlN 900 °C sıcaklığa kadar okside olmayan, yüksek sertliğe sahip ve çok katlı (7 – 9 kat) olması nedeniyle tokluk ve aşınma dayanımı özelliklerini bir arada taşıyan bir kaplama çeşididir. Sertlik ve oksidasyon sıcaklığının yüksek olması nedeniyle, (özellikle sürekli talaş kaldıran, düşük karbonlu ve paslanmaz çelik işleyen) sert metal plakettekin kaplamasında TiAlN en yaygın kullanılan kaplamadır. Resim 5.5’de çeşitli kesici takımlara uygulanmış TiAlN kaplamalara örnekler gösterilmiştir [62].



Resim 5.5. TiAlN kaplamalı kesici takım örnekleri

### 5.7. Dominizer Kaplamalar

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

Düşük sürtünme katsayısı yanında mükemmel derecede sıcak sertliği sağlaması ve 1000 °C'ye kadar oksidasyona karşı stabil olup, kendini koruması en büyük özelliğidir [62].

### **5.8. Maximizer Kaplamalar**

Mükemmel sertliği sayesinde; özellikle yüksek ilerleme değerlerinde talaş kaldırmaya uygundur. PVD kaplamalar genel olarak yüksek kesme hızlarında ekonomi sağlar. Ancak bu kaplama, orta kesme hızlarında verimlidir. Yüksek sıcaklıkta, takım sertliğinin korunması ve düşük sürtünme katsayısı nedeni ile kesme kuvvetlerinin azalması bu nano-kompozit AlTiN kaplamanın temel faydalarıdır. Orta kesme hızlarında çalışma söz konusu olduğunda IonBond Maximizer, yüksek performanslı kaplama olarak kendini gösterir. Azdırmalar, Fellow'lar, Gleaso bıçakları ve parmak frezelerde bu kaplama başarıyla uygulanır [62].

### **5.9. Super AlTiN Kaplamalar**

Derin delik delme uygulamaları, özel uygulamalardır ki; bunlarda delme derinliği 3xd veya bu mesafeden biraz fazladır. Derin delik delme işlemlerinde, sürtünme katsayısının az olması, talaşın; kanal içinde düşük sürtünme kuvveti harcayarak dışarıya kolay atılması istenir. Ayrıca bu işleme ait matkap uçlarının, kanalları geniş, sırtları dar ve helis açısının 35°' den, uç açısının ise 135° ' den büyük olması gerekir. Talaş kanallardan rahat bir şekilde dışarıya çıkması ve sürtünme kuvvetinin azalmasıyla tork'u düşer ve matkap ucunun ısınması azalır [62].

Bu kaplamanın ayrıca bazı özellikleri de, yeterince sert ve tok oluşunun yanında yüksek oksidasyon sıcaklığı ve ısı iletim katsayısının azlığı sıcak sertlik dayanımını arttırmasıdır [62].

### **5.10. DeepDraw Kaplamalar**

Bu kaplama şekil verme kalıplarında CrN kaplamanın yetersiz kaldığı derin çekme ve yüksek dayanımlı sacların şekillendirilmesi gibi uygulamalar ve CVD kaplamalara ihtiyaç duyulabilen çalışma koşulları için geliştirilen yeni nesil kompozit kaplamalardır [62].

### **5.11. UtraCast Kaplamalar**

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

## 6. İNCE FİLM BİRİKTİRME YÖNTEMLERİ

### 6.1. Nitrasyon Yöntemi

Nitrasyonla yüzey sertleştirme işleminde, çeliğin yüzeyine difüzyon ile azot verilerek, malzemenin yüzey özellikleri değiştirilir. Sertleştirme işlemi 500–590°C sıcaklıklar arasında yapılır. Yüzey sertliği ve sert tabaka derinliği işlem süresine, sıcaklığa, gaz karışımına ve demir esaslı malzemenin alaşım içeriğine bağlıdır [64].

Gaz, banyo ve plazma nitrasyon olmak üzere 3 çeşit nitrasyon yöntemi vardır. Gaz nitrasyonda, azot içeren gaz olarak genellikle amonyak ( $\text{NH}_3$ ) kullanılır. Parçalar, kontrol atmosferli gaz sızdırmaz fırın içerisinde 500-520 °C e kadar yavaş yavaş ısıtılır. Azot difüzyonu için gereken sürenin sonunda, parça tekrar yavaş yavaş soğutulur ve malzeme yüzeyinde nitrür tabakası oluşur [65].

Banyo nitrasyon % 25-50 siyanür ve % 50 siyanat içeren siyanür banyolarında yapılır. Banyo sıcaklığı genellikle 500-580 °C arasındadır. Nitrasyon sonrası parçalar suda ani olarak soğutulurlar. Banyo nitrasyonda bölgesel olarak kısmi daldırma yapılarak, bölgesel nitrasyon yapılabilir [65].

Plazma nitrasyon yönteminde işlem  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ , Ar ve  $\text{NH}_3$  gaz ortamında, 350-590°C arasında gerçekleştirilebilir. Nitrür partiküllerinin oluşması için gerekli olan aktifleşme enerjisi, fırın cidarı ile parça arasında oluşturulan yüksek gerilim ile azot verilecek parçaya doğru ivmelendirilen iyonların parça yüzeyini bombardımanı sonucunda açığa çıkmaktadır. Plazma ile nitrasyon işlemi sonrası en dışta beyaz tabaka ve onun altında da difüzyon tabakası olarak adlandırılan yapılar oluşur [64,65].

## 6.2. Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD)

İnce film kaplamalardan en yaygını CVD (kimyasal buhar biriktirme) ve PVD (fiziksel buhar biriktirme) yöntemleridir. Her iki yöntemin prensibi genel olarak şu adımlardan oluşur:

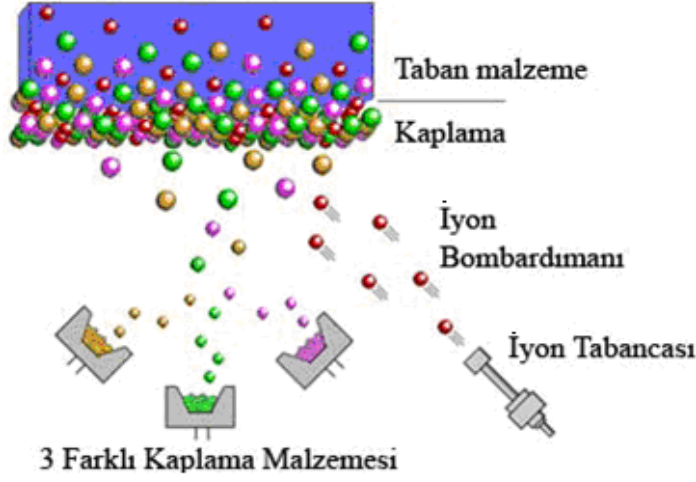
- Kaplamayı oluşturacak olan malzemenin buharlaştırılması,
- Buharlaşan malzemenin kaplama yapılacak yüzeye taşınması,
- Kaplama malzemesinin, kaplanacak yüzey üzerine yoğunlaştırılması ve kaplamanın büyümesi [66].

CVD yönteminin temel prensibi kaplanmak istenen metalin buharlaşabilen bir bileşiğin vakum altındaki bir hazne içerisine taşıyıcı bir asal veya reaktif gaz aracılığı ile gönderilmesi ve önceden ısıtılan taban malzeme üzerinde sıcaklığın etkisiyle oluşan kimyasal reaksiyon sonucu metalik veya bileşik olarak kaplanmasıdır [67].

CVD tekniğinin en büyük dezavantajı kaplama prosesi için parçanın 800-1000 °C gibi yüksek sıcaklıklarda ısıtılmasıdır. Yüksek işlem sıcaklığı taban malzeme ile kaplama arasında iyi bir adhezyon bağı sağlamaktadır, ancak hassas olarak işlenen, ısıl işlem görmüş malzemelerde bu sıcaklık sertlik kaybına ve ölçülerin değişmesine neden olacağından CVD yöntemi böyle malzemelerde uygulanamamaktadır [67].

## 6.3. İyon Demeti Destekli Biriktirme

İyon demeti destekli biriktirme tekniği esas olarak, PVD tekniği ile düşük enerjili bir iyon tabancası tarafından yüzeyin bombardıman edilmesinin kombinasyonudur. Bombardıman prosesi kaplamanın alt malzemeye daha kuvvetli bağlarla yapışmasını sağlar [68,69].



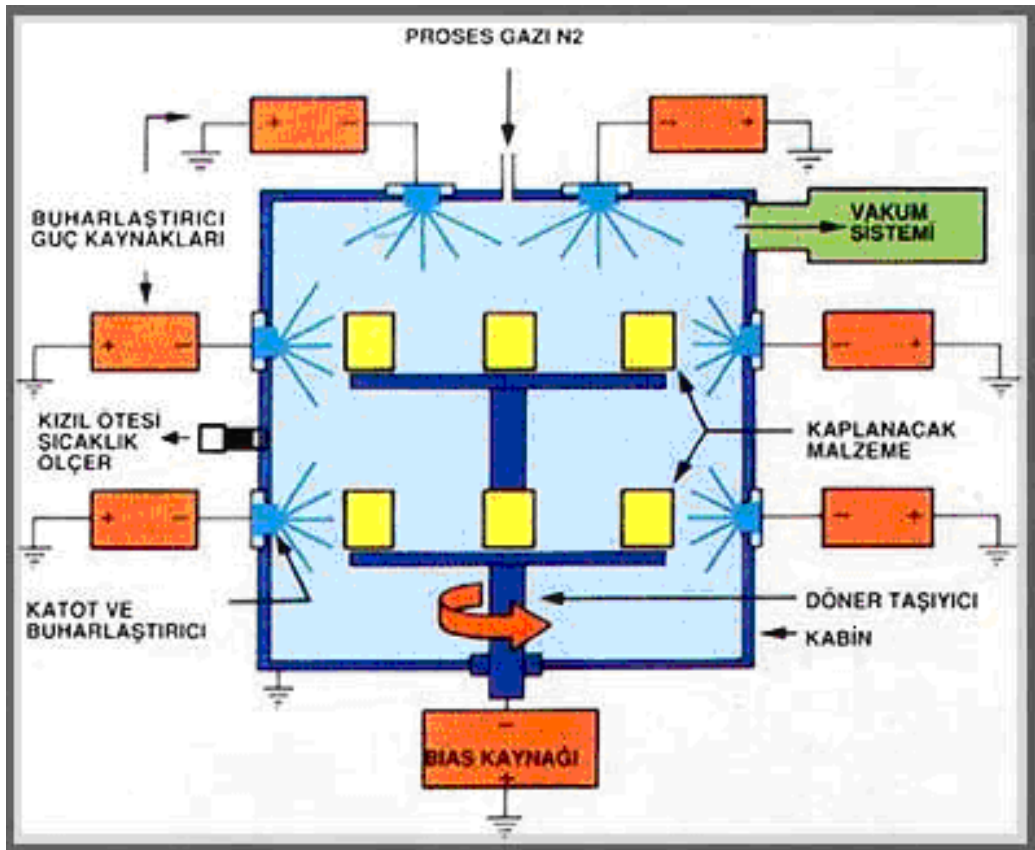
Şekil 6.1. İyon demeti destekli biriktirme yönteminin şematik gösterimi [69]

#### 6.4. Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD)

1950'li yılların sonunda üretimlerin artırılması amacıyla hızlı çalışan tezgâhlar üretilmiştir. Bu tezgâhların üretilmesiyle teknik adamların karşısına özellikle sert metal takımların ömrünün nasıl arttırılabileceği sorusu çıkmıştır. Söz konusu takımların ömrünü arttırarak, makine durma sürelerini en aza indirmek için yapılan araştırmalar sonucunda takımların üzerlerine TiN, TiC v.s. gibi sert tabakalar kaplanmaya başlandı. Bu çözüm sert metaller için uygun olmasına karşın ısıtma işlem görmüş takım çeliklerinde iyi sonuç vermedi. Bunun nedeni CVD (Chemical Vapour Deposition) adı verilen yöntemle yapılan kaplama ancak 1000-2000°C değerlerinde mümkün olabildiği için, hassas olarak işlenen, ısıtma işlem görmüş takım çeliklerinde (soğuk iş çelikleri, sıcak iş çelikleri ve yüksek hız çelikleri), sertlik kaybına ve ölçülerin değişmesine neden olmaktaydı. Alternatif kaplama teknikleri aranırken 1960'lı yılların sonunda Amerika'da ION-PLATING adlı bir PVD metodu geliştirildi. Bu metot 180-600°C arasındaki sıcaklıklarda, ısıtma işlem görmüş takım çeliklerini kaplama imkanı sağladı. Fakat tekniğin laboratuvar aşamasından, sanayiye geçerek, teknolojik anlamda kaplama yapılması 1970'li yıllarda ION-BOND metodu ile mümkün oldu. Bu yıllardan sonra, öncelikle kesici takımlara uygulanan kaplamalar geliştirildi. Daha yüksek devirli ve kuru çalışabilen tezgâhlar için AlTiN ve TiCN gibi kaplamalar

geliştirilirken, şekil verme kalıpları (Enjeksiyon, Ekstrüzyon, Sıvama, Derin çekme vs) içinde CrN tipi kaplamalar geliştirildi. Modernizasyonlar ve yeni kaplama çeşitleriyle sanayide yüksek verimli, maliyeti düşük ve kaliteli malzeme üretiminde çok büyük aşamalar kaydedildi [63].

PVD yöntemi ile yapılan kaplama yöntemleri atomik düzeyde biriktirme yöntemleridir. PVD yöntemi; kaplama materyali sıvı ya da katı halden atom ya da molekül formda buharlaştırılarak, vakum ya da düşük basınç altında bulunan yüzeye biriktirilmesi yolu ile gerçekleştirilir [70].



Şekil 6.2. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi (PVD) [63]

PVD Kaplamanın özellikleri ve faydaları aşağıda belirtilmiştir;

*Özellikleri :*

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

*Faydaları :*

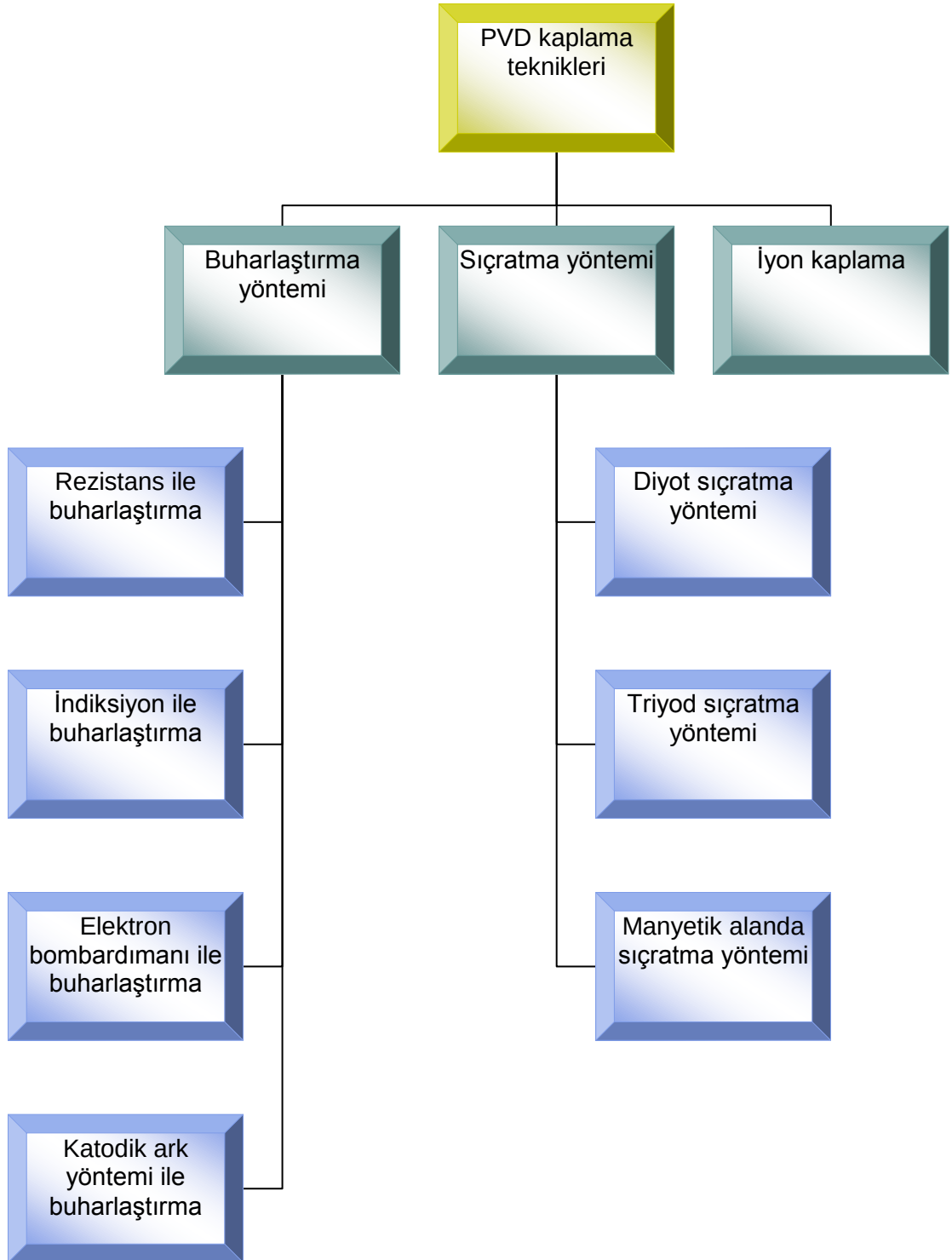
- Uzun ömür,
- Yüksek sertlik,
- Aşınmaya karşı daha dayanıklı yüzey,
- Kimyasal kararlılık,
- Biyolojik ve farmakolojik uygunluk,
- Yüksek kesme hızı,
- Düşük kesim gücü ile çalışma,
- Çapak birikintisinin önlenmesi,
- Kenar keskinliğinin aynı kalması,
- Çalışılan parçalarda yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi,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

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



Resim 6.1. PVD kaplama örnekleri [63]

#### 6.4.1. PVD kaplama teknikleri



Şekil 6.3. PVD Kaplama teknikleri

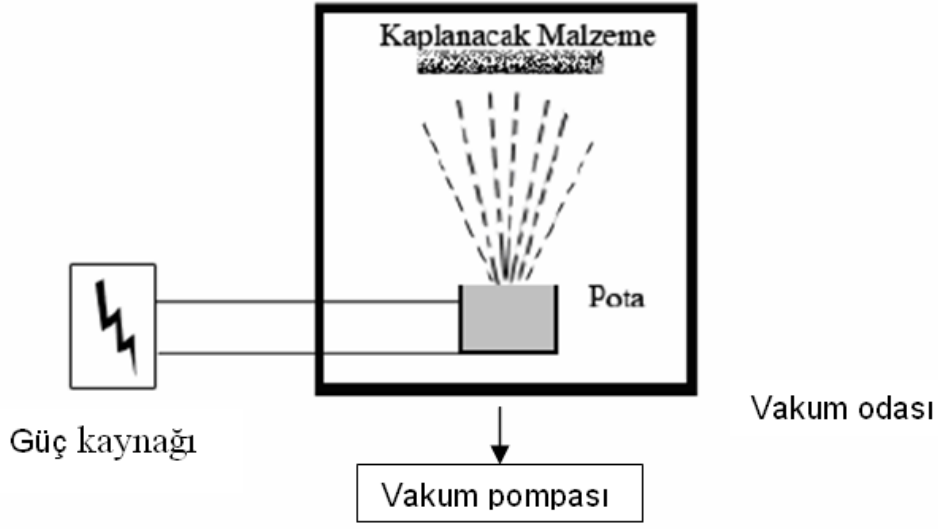
### Buharlaştırma yöntemi

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

Hedefin sıvı veya katı fazdan buhar fazına geçmesi için gerekli olan ısıtma işlemini gerçekleştiren kaynaklara, buharlaştırma kaynakları adı verilmektedir. Buharlaştırma kaynakları olarak geleneksel katı ve sıvı yakıtların kullanılması teknik açıdan mümkün değildir. Genellikle ısıtma işlemleri ark, direnç, indüksiyon veya elektron bombardımanı yardımıyla sağlanmaktadır [71].

### *Rezistans ile buharlaştırma*

Rezistanslı buharlaştırma tekniğinde; ısı kaynağı üzerinden elektrik akımı geçirilen W, Mo, Ta gibi düşük buharlaşma sıcaklığına sahip metallerden yapılmış tel, levha ya da potalardır. Kimi zaman potaların etrafına sarılan tellerle ısıtma yapılırsa sistem ışınlı kaynaklı olarak nitelendirilir. 1000° C'nin altındaki sıcaklıklarda bazen Pt, Fe ya da Ni gibi metaller kullanılabilir. Tel ya da levha formları buharlaştırılacak malzeme ve kullanılma yerlerine göre değişiklik gösterir. Sıcaklık kontrolü devreye uygulanan akımın ayarlanmasıyla yapılır [72].



Şekil 6.4. Rezistanslı ısıtıcı sistemli PVD sistemi [73]

#### *İndüksiyon ile buharlaştırma*

İndüksiyon ile yapılan ısıtmalarda buharlaştırma pota etrafına su soğutmalı olarak sarılmış bakır tellere uygulanan indüksiyon akımı sonucunda üretilen ısı neticesinde meydana gelir. Ergime sıcaklığı 2100 °C'ye kadar olan tüm malzemelere uygulanabilir. Yüksek maliyetlerin söz konusu olması önemli bir dezavantajdır [74].

#### *Elektron bombardımanı ile buharlaştırma*

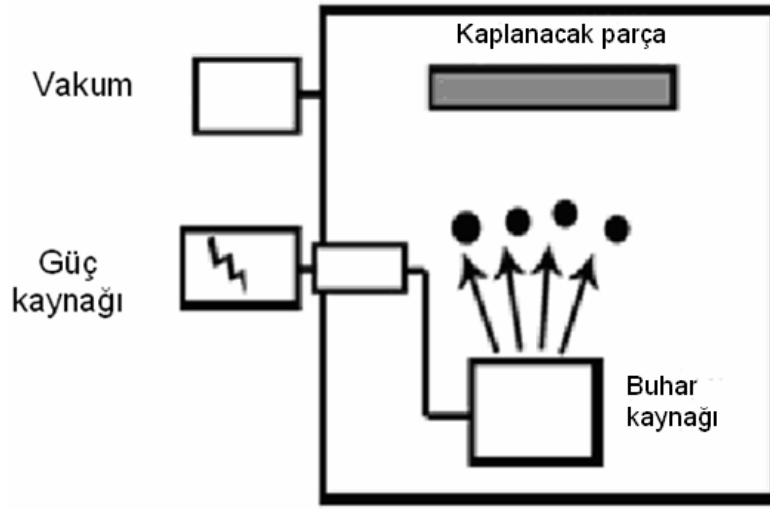
Bir elektron kaynağı tarafından sağlanan elektronların, kaplama malzemesi üzerine bombardıman edilmesi yardımıyla buharlaşmanın sağlanması esasına dayanır. Bu yöntemin en büyük avantajı kaplanacak malzemenin ergitme sıcaklığı ne olursa olsun ergitip buharlaştırabilme yeteneğine sahip olmasıdır [67,75].

Elektron demeti ile buharlaştırmada gerekli elektronlar iki şekilde sağlanır;

**Elektron tabancası:** Flaman tel üzerinden akım geçirilmesi neticesinde, telin ısınması ve elektron yayması sağlanır. Üretilen elektronlar oluşturulan

manyetik alan yardımıyla veya kaplanacak malzemeye pozitif potansiyel uygulanması ile yönlendirilir [75].

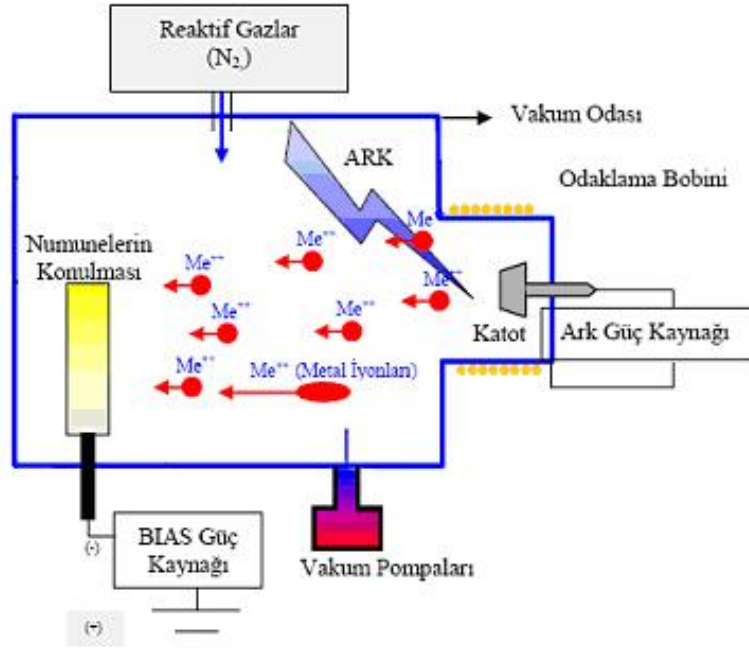
*Oyuk katot:* Bu yöntemde oyuk bir silindir içinde inert gazların kullanımı ile oluşturulan plazma sayesinde buharlaşma meydana gelmiş olur (Şekil 6.5) [75].



Şekil 6.5. Oyuk katot tabancası kullanan PVD sistemi [67]

#### *Katodik ark yöntemi ile buharlaştırma*

Ark PVD malzemenin vakum altında ark etkisi ile buharlaştırılması esasına dayanır. Ark PVD tekniği diğer tekniklere göre daha yeni olan, ancak kullanımı hızla yaygınlaşmakta olan kaplama tekniğidir. En önemli avantajı ark etkisi altında buharlaşan malzemenin oluşan elektriksel alan içerisinde hemen, yüksek oranda ve yüksek enerjili olarak iyonlaşmasıdır. Dezavantajı ise arkla buharlaştırma sırasında oluşan metal damlacıkların kaplanacak yüzeye yapışarak pürüzlülüğünü arttırmasıdır [67].



Şekil 6.6. Katodik ark PVD sistemi [76]

Bu yöntemde kaplama malzemesi vakum odasına katot olarak asılırken, kaplanacak malzemeler de anot olarak asılırlar. Sisteme uygulanan düşük voltajın ve yüksek akımın etkisiyle katot yüzeylerinde ark meydana gelir ve sıcaklığın çok yüksek değerlere ulaşmasıyla ergime ve buharlaşma oluşur. Bu şekilde elde edilen buhar fazı, katot önündeki yüksek elektron yoğunluğu sayesinde iyonize olurlar. Oluşan iyonlar anot üzerine taşınırlar [77].

#### Sıçratma yöntemi

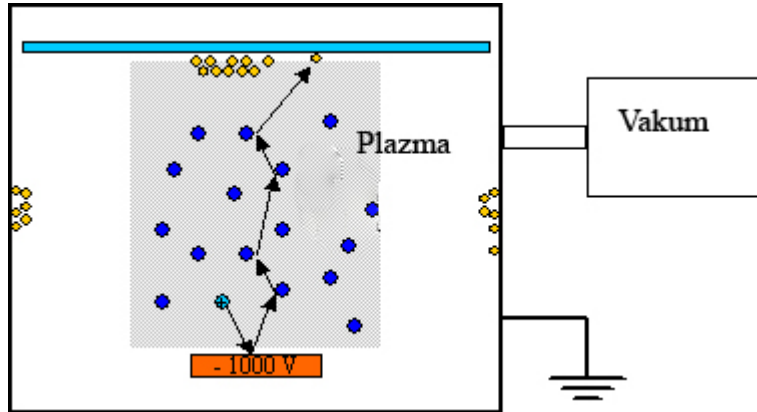
Sıçratma ile kaplama, PVD kaplama yöntemleri arasında sıkça kullanılan yöntemlerden biridir. Sıçratma ile kaplama yönteminde, vakum ortamında kaplama malzemesini yüzeyi yüksek enerjili iyonlarla bombardıman edilerek, atomların yüzeyinden kopartılması sağlanır. Kopartılan bu atomlar oluşan plazma içerisinde buhar fazına geçer ve taban malzeme yüzeyinde biriktirilir. Sıçratma ile kaplanacak taban malzeme yüzeyi istenen bir metalle kaplanabildiği gibi, reaktif kaplama denilen ve buharlaştırılan malzemenin istenilen bir gazla kaplanacak taban malzeme yüzeyinde bileşik oluşturması sağlanabilir. Böylece sert seramik filmler veya bileşik malzemelerden üretilen kaplamalar yapılabilir [77,78,79].

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

1. Diyot Sıçratma,
2. Triyot Sıçratma,
3. Manyetik Sıçratma [73,77].

#### *Diyot sıçratma*

Bu yöntemde sıçratma mekanizmasını oluşturabilmek için, hedef yüzey ile kaplanacak taban yüzey arasına potansiyel uygulanır ve böylece bir elektron akışı elde edilir (Şekil 6.7). Eğer bu ortama yüksek basınçta (4-15 Pa) inert gaz verilir ise yoğun atom çarpışmaları gerçekleşir. Bu çarpışmalarda iyonlar malzeme yüzeyinden atom kopartır ve böylece sıçratma olayı gerçekleşmiş olur. Diyot sıçratma, sıçratma etkisinin zayıf olması nedeniyle çok kullanılmamaktadır [73,78].

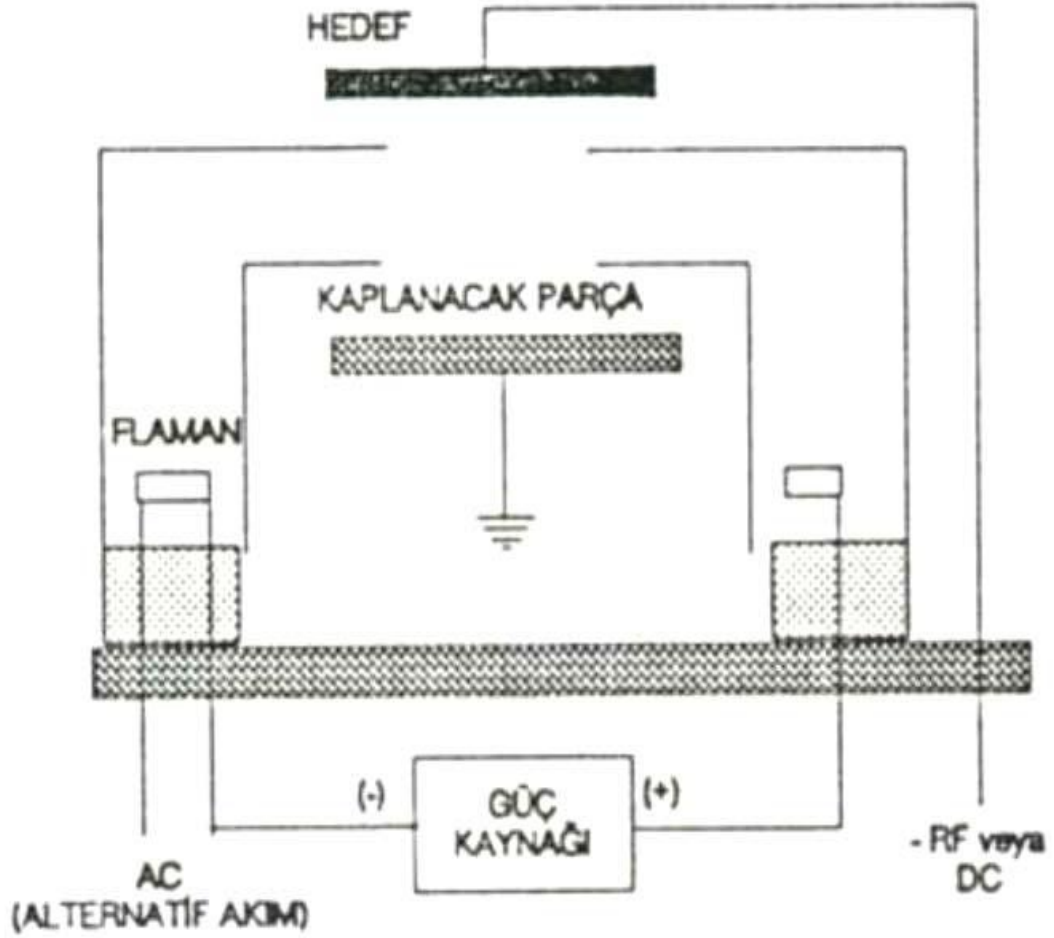


Şekil 6.7. Diyot sıçratma mekanizması [80]

#### *Triyot sıçratma*

Triyot sıçratma yönteminde ise, diyot sıçratma sisteminden farklı olarak anot ve katot arasına elektron yayan bir flaman ve elektron toplayıcı ilave edilmiştir (Şekil 6.8). Bu sayede plazmanın iyon akım yoğunluğu artırılmış başka bir deyişle plazma empedansı düşmüştür. Bu sayede sistemdeki

elektron miktarı ile doğru orantılı olan uygulama potansiyeli de düşürülebilmektedir. Bu düzeneğin bir diğer avantajı da uygulama potansiyelinin düşürülmesi sayesinde kaplamadaki radyasyondan kaynaklanan hasarlar azaltılmıştır [73].

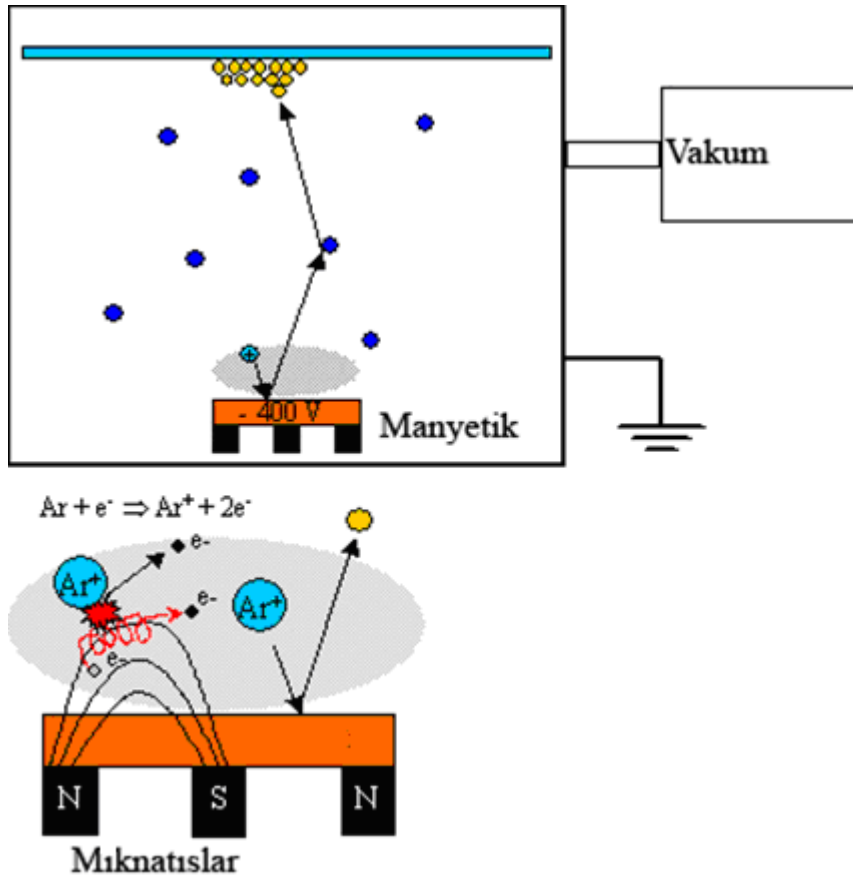


Şekil 6.8. Triyot sıçratma

#### *Manyetik alanda sıçratma*

Bu yöntemde hedef malzeme, su soğutmalı mıknatıs veya elektromıknatıslardan oluşan tutucunun üzerine yerleştirilmiştir. Hedefin merkez eksenine, mıknatısın bir kutbunu oluşturur. Zıt kutbu ise, hedefin kenarlarına yerleştirilen mıknatıslar tarafından halka şeklinde oluşturulur. Mıknatısların bu şekilde düzenlenmesi sonucunda oluşan manyetik alan, iyon

bombardmanı ile katot yüzeyinden yayınan ikincil elektronların, bu bölgede özellikle tutularak iyonizasyonun artmasına ve plazmanın daha yoğun olmasına neden olur [78].



Şekil 6.9. Manyetik sıçratma mekanizması [80]

### İyon kaplama

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

için yapılacak işlem ana malzemenin kaplanmasından önce ve kaplama sırasında enerjik parçacıklarla bombardımana tabi tutulmasıdır. Bu işlem ana malzeme sıcaklığının artırılmasına eşdeğer bir etkiye sahiptir. Bu nedenle ana malzemeyi yüksek sıcaklıklarda ısıtmaya gerek duyulmaz [5].

Kaplama öncesi uygulanan yüksek temel gerilim (negatif potansiyel) ile ana malzemenin yüzeyi temizlenir. Hem de parça ısıtılır. Isıtma özellikle ana malzeme yüzeyine yapışma özelliğini geliştirir. İyon kaplama yöntemi PVD teknikleri arasında en yüksek enerjili parçacıkların kullanıldığı en hızlı ve en yoğun kaplama tabakasının elde edilebildiği bir yöntemdir. Yüksek enerjili elektronlar 70-80 eV ile elde edilir [81].

İyon kaplama yönteminin avantajları [5].

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

İyon kaplamanın dezavantajları [5].

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

### 6.4.2 PVD Kesici takım kaplamaları

Çizelge 6.1. PVD kesici takım kaplamaları kullanım yerleri ve özellikleri [62]

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

Çizelge 6.1.(Devam) PVD kesici takım kaplamaları kullanım yerleri ve özellikleri [62]

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

### 6.4.3. PVD Şekil verme ve sıvama kalıp kaplamaları

Çizelge 6.2. PVD Şekil verme ve sıvama kalıp kaplamaları kullanım yerleri ve özellikleri [62]

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

Çizelge 6.2.(Devam) PVD Şekil verme ve sıvama kalıp kaplamaları kullanım yerleri ve özellikleri [62]

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

## 7. MATERYAL VE METOT

### 7.1. Amaç

Gerek talaşlı imalat, gerek diğer imalat yöntemleri olsun üretimin çeşitli safhalarında karşılaşılan üretim araçlarında oluşan aşınma, firma üretiminin en hareketli olduğu zamanlarda çeşitli sebeplerden dolayı iş kalıbında aşınma oluşması durumunda kalıbın sökülmesi, yedeğinin takılması, ayarlanması ve diğer taraftan var olan kalıbın yeniden taşlama, parlatma ya da benzer işlemler ile tekrar üretime hazır hale getirilmesinde; iş gücü kaybı, zaman kaybı ve firmanın zamanında ürün yetiştirememesi gibi sorunların karşımıza çıkması muhtemeldir.

Amaç ortaya çıkan bu sorunları, kesme kalıplarında kullanılan DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğine PVD tekniği ile TiN ve CrN kaplayarak aşınma davranışlarını inceleyerek minimum seviyeye indirmektir.

PVD kaplama yöntemleri ile şekil verilmek istenen parçanın yüzey kalitesinin geliştirilmesi, sıvanma ve yapışmaların ortadan kaldırılması, şekil verme işlemlerinde ortaya çıkan iş parçası yüzeyinde çizik ve çatlak sorunlarının ortadan kaldırması kalıp masraflarını düşürmede büyük avantajlar sağlamaktadır.

## 7.2. Deneyde Kullanılan 1.2550 Soğuk İş Takım Çeliğinin Özellikleri

### 7.2.1. Kimyasal bileşimi

Çizelge 7.1 Deneyde kullanılan 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi

|               | C    | Si   | Mn   | P     | S     | Cr   | V    | W    |
|---------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| En az<br>%    | 0,55 | 0,70 | 0,15 | -     | -     | 0,90 | 0,10 | 1,70 |
| En fazla<br>% | 0,65 | 1,00 | 0,45 | 0,030 | 0,030 | 1,20 | 0,20 | 2,20 |

### 7.2.2. Özellikleri

Yağda yüksek sertleşebilme derinliğine sahip, volfram elementi içeren orta karbonlu, darbeye ve çarpışmaya dirençli, yüksek sertlik ile mükemmel tokluğa, aşınma direncine ve kesici kenarlardan parça kopmama özelliğine sahip soğuk iş takım çeliğidir [82].

### 7.2.3. Kullanım alanları

Kalınlığı 12 mm'ye kadar her türlü soğuk sac kesme kalıpları, zımbalama, delme, kabartma ve bükme kalıpları, soğuk şekil verme ve şişirme kalıpları, dairesel ve yatay kâğıt, metal ve yontma bıçakları, ağaç işleme takımları, iticiler, desen kalıpları, basınçlı hava ile çalışan aletlerin kesikleri ve takımları, sıcak zımbalama ve dövme kalıpları, soğuk ve sıcak makas bıçakları, metal para basma kalıpları, çapak alma kalıpları ve makina parçaları, tablet sıkıştırma takımları, yongalama bıçakları [82].

#### 7.2.4. Isıl işlemi

1.2550 uygulanan ısıl işlem aşağıda gösterilmiştir.

Yumuşatma tavlaması: 710 – 750 °C

Tavlama sonrası sertlik: En fazla 225 HB

Gerilim giderme tavlaması: Yaklaşık olarak 650 °C

Sıcak şekil verme: 1050 – 850 °C

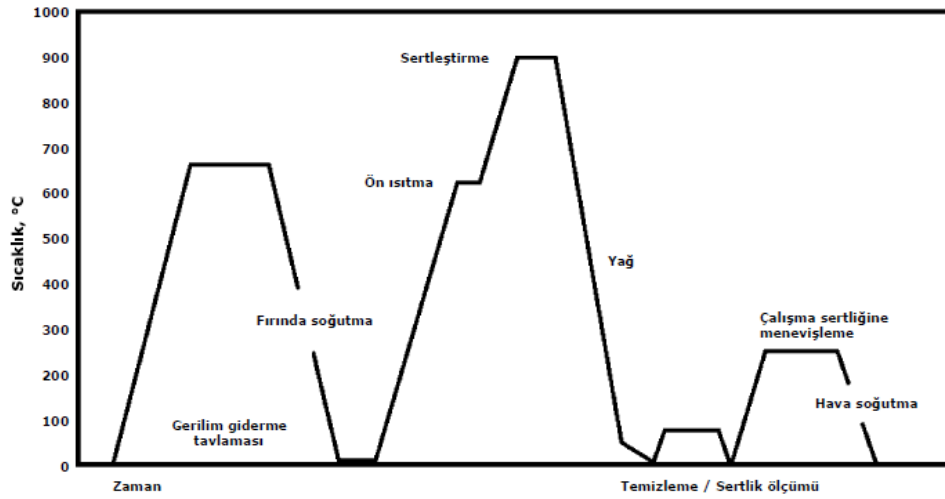
Sertleştirme: 870 – 910 °C

Sertleştirme ortamı: Yağ

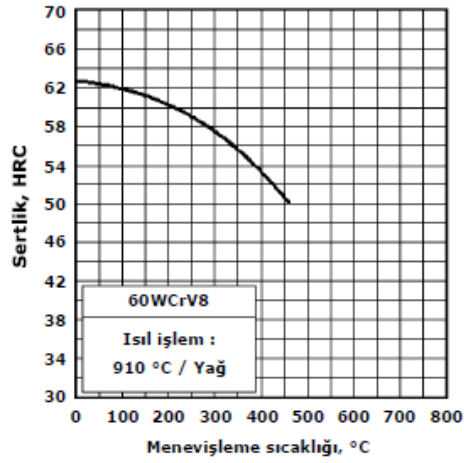
Sertleştirme sonrası sertlik: 58 – 62 HRC

Menevişleme sonrası sertlik :

|        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|
| 100 °C | 200 °C | 300 °C | 400 °C |
| 60 HRC | 59 HRC | 56 HRC | 53 HRC |



Şekil 7.1. 1.2550 Soğuk iş takım çeliğinin ısıl işlem şeması [82]



Şekil 7.2. 1.2550 Soğuk iş takım çeliğinin menevişleme diyagramı [82].

### 7.3. Metot

Deneyisel çalışmada Çizelge 7.1’de kimyasal bileşimi verilen DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliği Ø6x40 mm ebatlarında özdeş olarak CNC torna tezgahında işlenmiştir. Daha sonra özdeş olarak üretilen deney numuneleri gerekli ısıl işleme tabi tutulduktan sonra ısıl işleminden kaynaklanan çarpılmaları gidermek için numuneler puntasız taşlama işlemine tabi tutulmuştur.

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

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

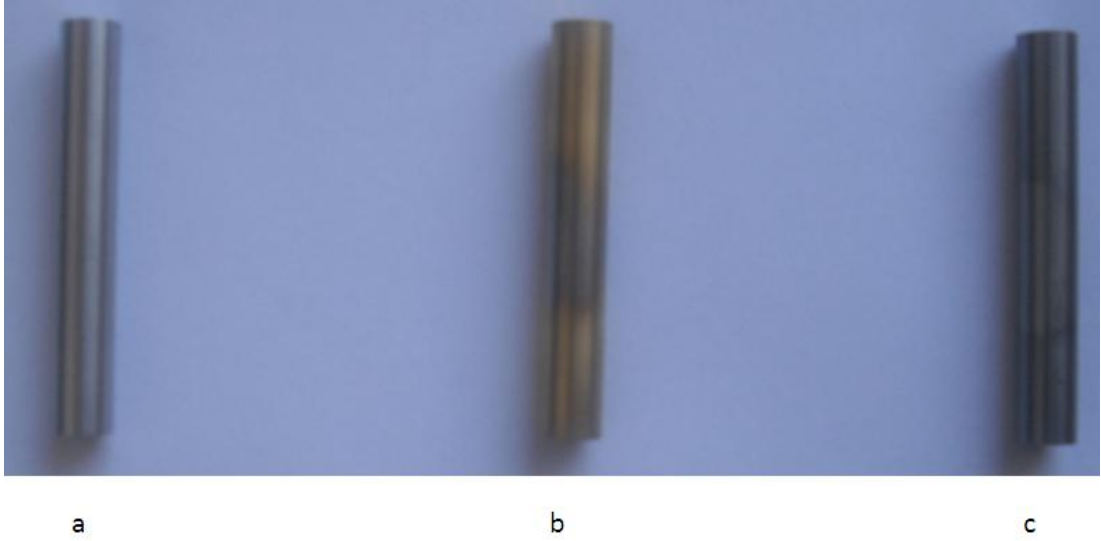


Resim 7.1. IONBOND PVD kaplama cihazı

### 7.3.1. Numune hazırlama

Deneylerde kullanılacak numuneler, Pin-on-disk aşınma test cihazına ve Malzeme Eğitimi Bölümünde bulunun SEM cihazına uygun olacak biçimde Ø6x40 mm (Resim 7.2) ebatlarında özdeş olarak CNC torna ve taşlama tezgahlarında hazırlanmıştır.

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



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

### 7.3.2. Numunelerin sertleştirilmesi

Deney numunelerinin sertleştirilme işlemi Doğusan Isıl İşlem İnd. Çel. Kont. İth. İhr. San. Ve Tic.Ltd. Şti. yapılmıştır. Hazırlanan numuneler ilk önce 350 – 400 °C’de ön ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Sıcaklık değeri 880-900 °C’ye getirilerek yağda su verilme işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen numunelere 300 °C’de bir saat menevişleme ısıl işlemi yapılarak 56 HRC sertlik elde edilmiştir.

### 7.3.3. Numunelerin TiN Kaplanması

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

Çizelge 7.2. TiN Kaplama parametreleri

| Numune  | Bias voltajı (V) | Ark akımı (A) | Süre (Dk.) | Sıcaklık (°C) | Azot kısmi basıncı (Torr) | Katot Sayısı | Kalınlık (µm) |
|---------|------------------|---------------|------------|---------------|---------------------------|--------------|---------------|
| 1. 2550 | -200             | 50            | 60         | 200-220       | $4 \times 10^{-3}$        | 3            | 3             |

Numunelerin parlatma işlemi tamamlandıktan sonra numunelere 2 adet alkali (bazik) deterjan kullanılarak ultrasonik kimyasal temizlik yapılmıştır. Sonrasında temiz su ile durulanarak ve en son demineralize sudan geçirilmiş numuneler sıcak hava ile kurutma işlemi yapıldıktan sonra kaplama kabineye yerleştirilmiştir. Numunelere yerleştirildikten sonra vakum alma işlemi uygulanmış ve daha sonra Çizelge 7.2 'de belirtilen parametrelerde kaplama işlemine geçilmiştir. Kaplama sonrasında vakumda soğutma ve kabinden alınarak  $Al_2O_3$  fırça ile yüzeydeki sıvı damlacıkları temizlenmekte ve fırçalanıp koruyucu yağ ile yağlanarak kaplama işlemi tamamlanmıştır.

#### 7.3.4. Numunelerin CrN kaplanması

Ionbond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş.'de yapılan CrN kaplama işleminde kullanılan parametreler Çizelge 7.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 7.3. CrN Kaplama parametreleri

| Numune  | Bias voltajı (V) | Ark akımı (A) | Süre (Dk.) | Sıcaklık (°C) | Azot kısmi basıncı(Torr) | Katot Sayısı | Kalınlık (µm) |
|---------|------------------|---------------|------------|---------------|--------------------------|--------------|---------------|
| 1. 2550 | -110             | 55            | 70         | 200-220       | $6,5 \times 10^{-3}$     | 3            | 3             |

CrN kaplanacak numunelerin polisaj işlemi tamamlandıktan sonra numunelere 2 adet alkali (bazik) deterjan kullanılarak ultrasonik kimyasal temizlik yapılmıştır. Sonrasında temiz su ile durulanarak en son demineralize sudan geçirilmiş numuneler sıcak hava ile kurutma işlemi yapıldıktan sonra

kaplama kabinine yerleştirilmiştir. Numuneler yerleştirildikten sonra vakum alma işlemi uygulanmış ve daha sonra Çizelge 7.3’ de belirtilen parametrelerde kaplama işlemine geçilmiştir. Kaplama sonrasında vakumda soğutma ve kabinden alınarak  $Al_2O_3$  fırça ile yüzeydeki sıvı damlacıkları temizlenmekte ve fırçalanıp koruyucu yağ ile yağlanarak CrN kaplama işlemi tamamlanmıştır.

### 7.3.5. Numunelerin kodlanması

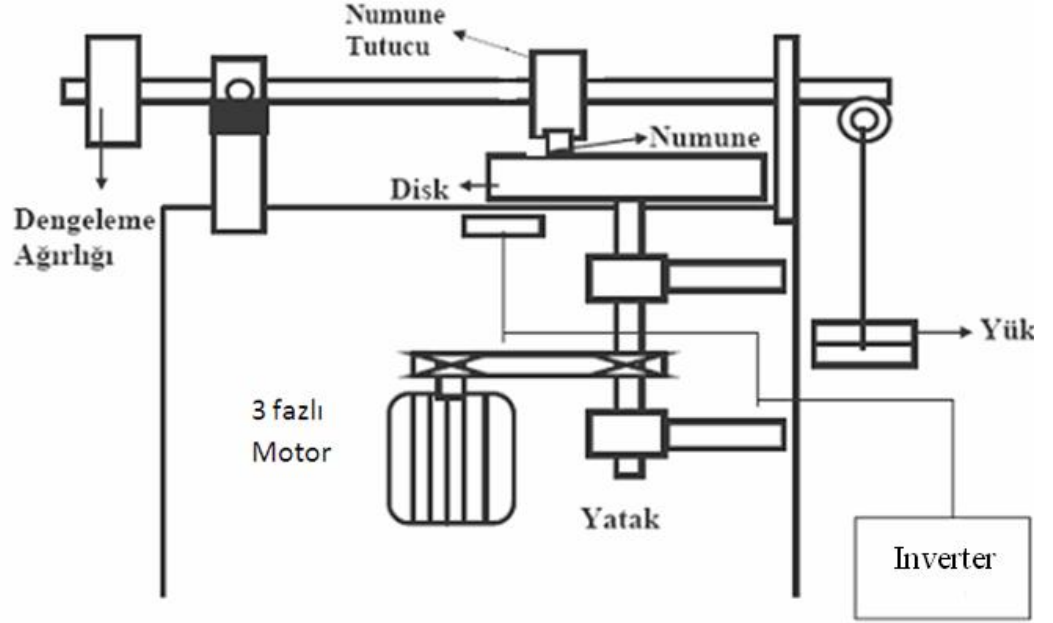
Deneyisel çalışmada kullanılan numunelerin kodlanması üç isim altında toplanmıştır. Çizelge 7.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Deneyde kullanılan numunelerin kodlanması

| Numune        | Kodlama |     |     |
|---------------|---------|-----|-----|
| Kaplamasız    | 1-a     | 1-b | 1-c |
| TiN kaplamalı | 2-a     | 2-b | 2-c |
| CrN kaplamalı | 3-a     | 3-b | 3-c |

### 7.3.6. Numunelerin aşınma deneylerinin yapılışı

Numunelerin aşınma deneyleri Pin-on disk tipi deney cihazında yapılmıştır (Şekil 7.3). Bu yöntemde disk üzerinde sürtünen pim yöntemi de denilmektedir. Aşınma cihazının diğer parçaları; 3 kW’lık AC motor, 3 kW’lık Simens marka devir ayarlayıcı, numunenin üzerinde sürtüldüğü disk, destekleme kolu, pens mekanizması, tabla, kızak mekanizması, ağırlıklı dengeleme parçası, değişken ağırlıklardır.



Şekil 7.3. Aşınma cihazının şematik görünümü

Aşınma deney cihazındaki sabit hızda dönen bir disk üzerine 400, 800 ve 1200 mesh SiC zımpara yapıştırılarak, deney numunelerinin bu aşındırıcı disk olarak kullanılan zımparalar üzerinde farklı yükler altında kayarak aşınmaları sağlanmıştır.

Aşınma deneyleri oda sıcaklığında 2.7 m/s sabit kayma hızında 10, 20, 30 N yükler altında 8 m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde diskin dönme hızı Simens marka inverter sayesinde kolaylıkla değiştirilebilmektedir (Resim 7.3). Abrasiv aşınma testlerinde deney boyunca numuneler, zımpara boyunca hareket ettirilerek, her turda numunelerin temiz zımpara yüzeyine temas etmesi sağlanmıştır.



Resim 7.3. Aşınma deneyinde kullanılan devir dönüştürücü

Deney öncesi ve deney sonrası numuneler etil alkol ile temizlenerek kurutulmuştur. Her bir deney parametresi için üç test deney yapıp, 0,1 mg hassasiyetindeki Resim 7.4’de gösterilen terazide aşınma kayıpları bulunarak ortalamaları alınmıştır.



Resim 7.4. 0,1 mg hassasiyetindeki terazi

Deneyde kullanılan kaplamasız numunenin aşınma miktarları çizelge 8.1’de verilmiştir.

## 8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 8.1. Aşınma Deneyi Sonuçları

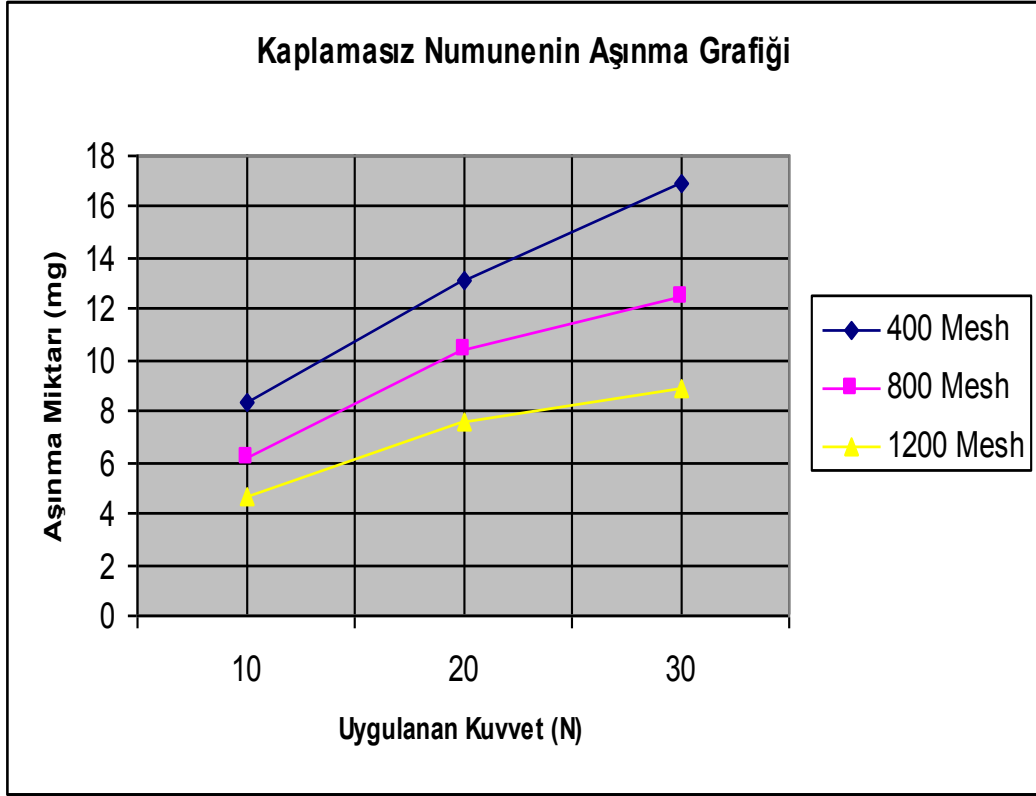
Çizelge 8.1.Kaplamasız numunenin aşınma miktarları

| ALINAN YOL 8 METRE VE KAYMA HIZI 2,7 M/S |                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Malzeme                                  | NUMUNE           | 10 N   | 10 N   | 10 N   | 20 N   | 20 N   | 20 N   | 30 N   | 30 N   | 30 N   |
|                                          |                  | 400    | 800    | 1200   | 400    | 800    | 1200   | 400    | 800    | 1200   |
|                                          |                  | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   |
| KAPLAMASIZ NUMUNE                        | 1 a)<br>1. Ölçüm | 8,8543 | 8,8542 | 8,8664 | 8,8602 | 8,8554 | 8,8661 | 8,8507 | 8,8576 | 8,8563 |
|                                          | 2. Ölçüm         | 8,8457 | 8,8482 | 8,8614 | 8,8470 | 8,8452 | 8,8584 | 8,8340 | 8,8447 | 8,8477 |
|                                          | Aşınma Miktarı   | 8,6    | 6      | 5      | 13,2   | 10,2   | 7,7    | 16,7   | 12,9   | 8,6    |
|                                          | 1 b)<br>1. Ölçüm | 8,8457 | 8,8482 | 8,8614 | 8,8472 | 8,8432 | 8,8577 | 8,8340 | 8,8447 | 8,8477 |
|                                          | 2. Ölçüm         | 8,8375 | 8,8419 | 8,8570 | 8,8342 | 8,8324 | 8,8503 | 8,8167 | 8,8325 | 8,8386 |
|                                          | Aşınma Miktarı   | 8,2    | 6,3    | 4,4    | 13     | 10,8   | 7,4    | 17,3   | 12,2   | 9,1    |
|                                          | 1 c)<br>1. Ölçüm | 8,8432 | 8,8552 | 8,8634 | 8,8480 | 8,8442 | 8,8624 | 8,8336 | 8,8476 | 8,8582 |
|                                          | 2. Ölçüm         | 8,8348 | 8,8490 | 8,8588 | 8,8348 | 8,8338 | 8,8548 | 8,8168 | 8,8352 | 8,8492 |
|                                          | Aşınma Miktarı   | 8,4    | 6,2    | 4,6    | 13,2   | 10,4   | 7,6    | 16,8   | 12,4   | 9      |
|                                          | Ortalama         | 8,4    | 6,17   | 4,66   | 13,13  | 10,46  | 7,56   | 16,93  | 12,5   | 8,9    |

Hazırlanan kaplamasız deney numuneleri, deney öncesinde ağırlıkları 0,1 mg hassasiyete sahip dijital terazide ölçülmüştür. Daha sonra Pin-on disk aşınma cihazında belirlenen yol ve yük altında aşınma işlemi gerçekleştirildikten sonra numuneler tekrar hassas dijital terazide ölçülerek aşınmadan dolayı meydana gelen ağırlık kayıpları tespit edilmiştir.

Bu işlem kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numuneler için aynı şartlarda yapılmıştır ve aşınma miktarları Çizelge 8.1-8.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.1'de aşınma değerleri verilen 10-20 ve 30 N yükte kaplamasız numunenin aşınma grafiği Şekil 8.1'de gösterilmektedir.



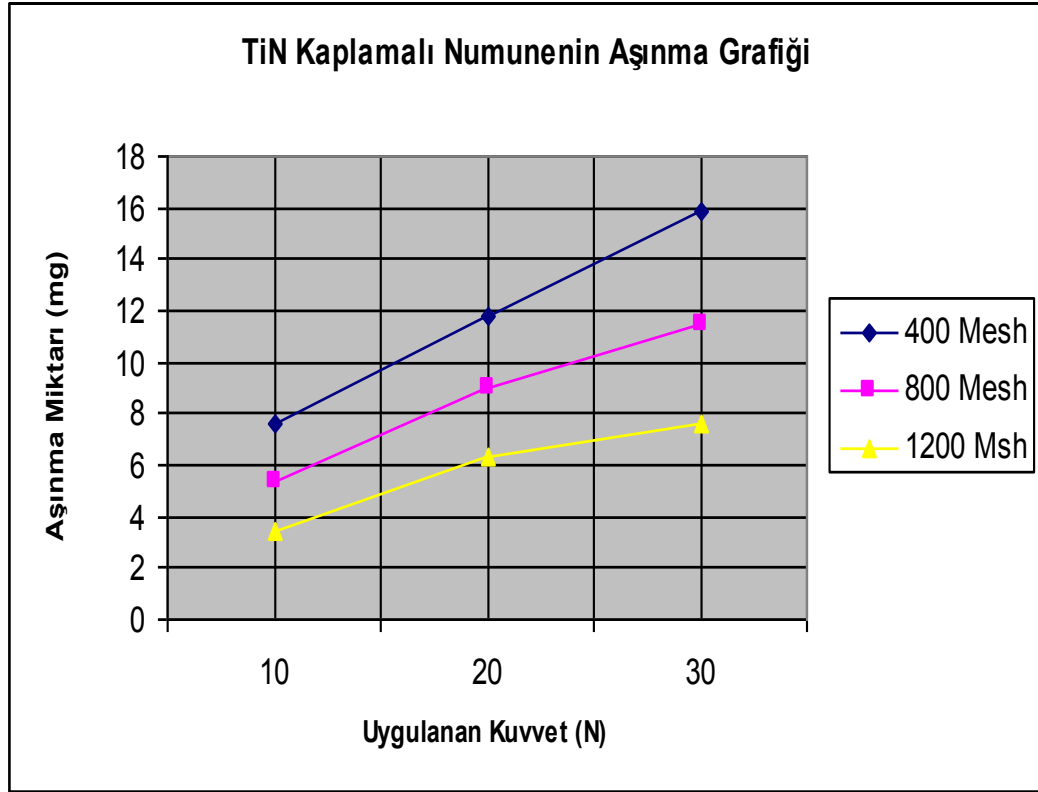
Şekil 8.1. 10-20 ve 30 N Yükte kaplamasız numunenin aşınma grafiği

Şekil 8.1'deki grafik incelediğinde kaplamasız numunenin aşınma miktarı uygulanan kuvvetle doğru orantılı olarak artmıştır. Deneylerde aşındırıcı disk olarak kullanılan SiC (Silisyum Karbür) zımpara tane boyutunun küçülmesiyle birlikte aşınma miktarının azaldığı görülmektedir.

Çizelge 8.2. TiN kaplı numunenin aşınma miktarları

| ALINAN YOL 8 METRE VE KAYMA HIZI 2,7 M/S |                   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Malzeme                                  | NUMUNE            | 10 N   | 10 N   | 10 N   | 20 N   | 20 N   | 20 N   | 30 N   | 30 N   | 30 N   |
|                                          |                   | 400    | 800    | 1200   | 400    | 800    | 1200   | 400    | 800    | 1200   |
|                                          |                   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   |
| TiN KAPLAMALI NUMUNE                     | 2-a )<br>1. Ölçüm | 8,8574 | 8,8570 | 8,8596 | 8,8600 | 8,8538 | 8,8589 | 8,8569 | 8,8527 | 8,8543 |
|                                          | 2. Ölçüm          | 8,8498 | 8,8517 | 8,8560 | 8,8472 | 8,8449 | 8,8526 | 8,8415 | 8,8414 | 8,8469 |
|                                          | Aşınma Miktarı    | 7,6    | 5,3    | 3,6    | 12,8   | 8,9    | 6,3    | 15,4   | 11,3   | 7,4    |
|                                          | 2 b)<br>1. Ölçüm  | 8,8492 | 8,8517 | 8,8562 | 8,8472 | 8,8449 | 8,8526 | 8,8375 | 8,8404 | 8,8449 |
|                                          | 2. Ölçüm          | 8,8414 | 8,8462 | 8,8528 | 8,8360 | 8,8357 | 8,8462 | 8,8216 | 8,8288 | 8,8372 |
|                                          | Aşınma Miktarı    | 7,8    | 5,5    | 3,4    | 11,2   | 9,2    | 6,4    | 15,9   | 11,6   | 7,7    |
|                                          | 2 c)<br>1. Ölçüm  | 8,8532 | 8,8486 | 8,8548 | 8,8482 | 8,8368 | 8,8546 | 8,8248 | 8,8472 | 8,8542 |
|                                          | 2. Ölçüm          | 8,8458 | 8,8432 | 8,8516 | 8,8368 | 8,8278 | 8,8484 | 8,8086 | 8,8358 | 8,8466 |
|                                          | Aşınma Miktarı    | 7,4    | 5,4    | 3,2    | 11,4   | 9      | 6,2    | 16,2   | 11,4   | 7,6    |
|                                          | Ortalama          | 7,6    | 5,4    | 3,4    | 11,8   | 9,03   | 6,3    | 15,83  | 11,43  | 7,56   |

Kaplamasız numunelerde olduğu gibi TiN kaplı numunelerinde, deney öncesinde ağırlıkları hassasiyeti 0,1mg olan hassas dijital terazide ölçülmüştür. Daha sonra Pin-on disk aşınma cihazında belirlenen yol ve yük altında aşınma işlemi gerçekleştirildikten sonra numuneler tekrar hassas dijital terazide ölçülerek aşınmadan dolayı meydana gelen ağırlık kayıpları tespit edilmiştir.



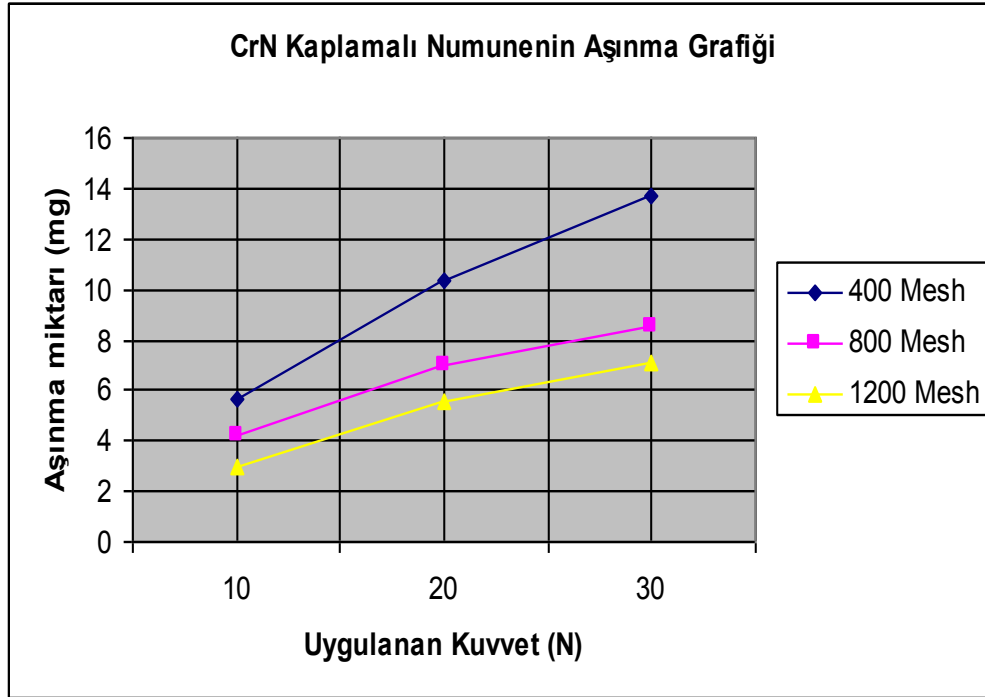
Şekil 8.2. 10-20 ve 30 N Yükte TiN kaplı numunenin aşınma grafiği

Şekil 8.2'deki grafik incelediğinde TiN kaplı numunenin aşınma miktarı uygulanan kuvvetle doğru orantılı olarak artmıştır. Deneylerde aşındırıcı disk olarak kullanılan SiC (Silisyum Karbür) zımpara tane boyutunun küçülmesiyle birlikte aşınma miktarının azaldığı görülmektedir.

Çizelge 8.3. CrN kaplı numunenin aşınma miktarları

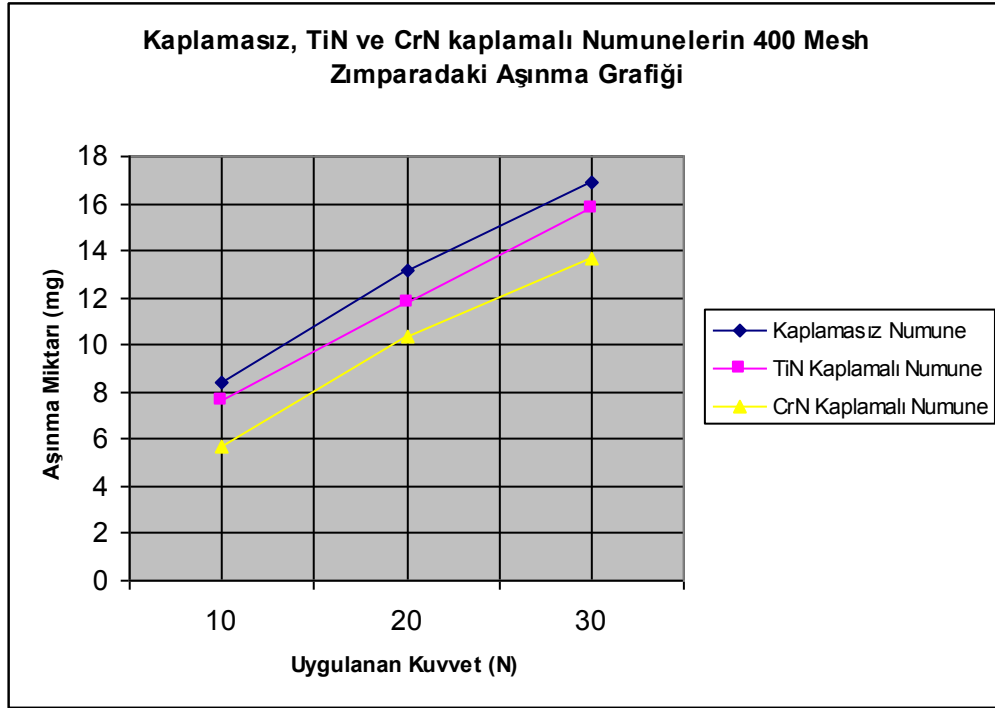
| ALINAN YOL 8 METRE VE KAYMA HIZI 2,7 M/S |                   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Malzeme                                  | NUMUNE            | 10 N   | 10 N   | 10 N   | 20 N   | 20 N   | 20 N   | 30 N   | 30 N   | 30 N   |
|                                          |                   | 400    | 800    | 1200   | 400    | 800    | 1200   | 400    | 800    | 1200   |
|                                          |                   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   | Mesh   |
| CrN KAPLAMALI NUMUNE                     | 3-a )<br>1. Ölçüm | 8,8576 | 8,8598 | 8,8742 | 8,8609 | 8,8611 | 8,8569 | 8,8589 | 8,8703 | 8,8684 |
|                                          | 2. Ölçüm          | 8,8520 | 8,8559 | 8,8711 | 8,8502 | 8,8544 | 8,8512 | 8,8454 | 8,8618 | 8,8616 |
|                                          | Aşınma Miktarı    | 5,6    | 3,9    | 3,1    | 10,7   | 6,7    | 5,7    | 13,5   | 8,5    | 6,8    |
|                                          | 3 b)<br>1. Ölçüm  | 8,8524 | 8,8559 | 8,8722 | 8,8483 | 8,8544 | 8,8512 | 8,8454 | 8,8622 | 8,8612 |
|                                          | 2. Ölçüm          | 8,8466 | 8,8514 | 8,8692 | 8,8383 | 8,8472 | 8,8457 | 8,8314 | 8,8536 | 8,8542 |
|                                          | Aşınma Miktarı    | 5,8    | 4,5    | 3      | 10     | 7,2    | 5,5    | 14     | 8,6    | 7      |
|                                          | 3 c)<br>1. Ölçüm  | 8,8534 | 8,8458 | 8,8672 | 8,8456 | 8,8468 | 8,8562 | 8,8478 | 8,8564 | 8,8472 |
|                                          | 2. Ölçüm          | 8,8477 | 8,8416 | 8,8643 | 8,8352 | 8,8398 | 8,8506 | 8,8342 | 8,8480 | 8,8398 |
|                                          | Aşınma Miktarı    | 5,7    | 4,2    | 2,9    | 10,4   | 7      | 5,6    | 13,6   | 8,4    | 7,4    |
|                                          | Ortalama          | 5,7    | 4,2    | 3      | 10,36  | 6,96   | 5,6    | 13,7   | 8,5    | 7,06   |

Kaplamasız ve TiN kaplı numunelerde olduğu gibi CrN kaplı numunelerinde, deney öncesinde ağırlıkları hassasiyeti 0,1mg olan hassas dijital terazide ölçülmüştür. Daha sonra Pin-on disk aşınma cihazında belirlenen yol ve kuvvette aşınma işlemi gerçekleştirildikten sonra numuneler tekrar hassas dijital terazide ölçülerek aşınmadan dolayı meydana gelen ağırlık kayıpları tespit edilmiştir.

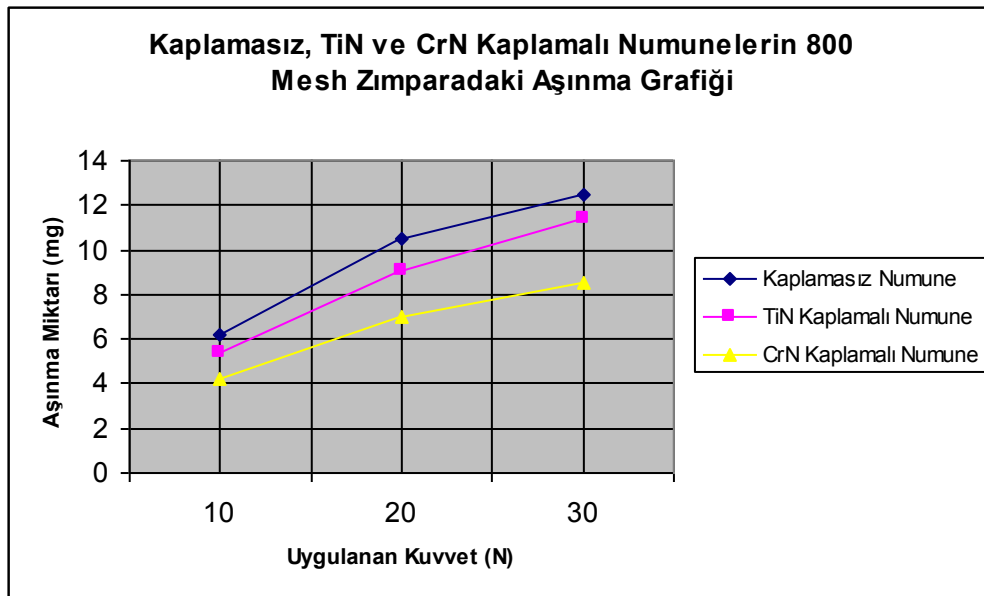


Şekil 8.3. 10-20 ve 30 N Yükte CrN kaplı numunenin aşınma grafiği

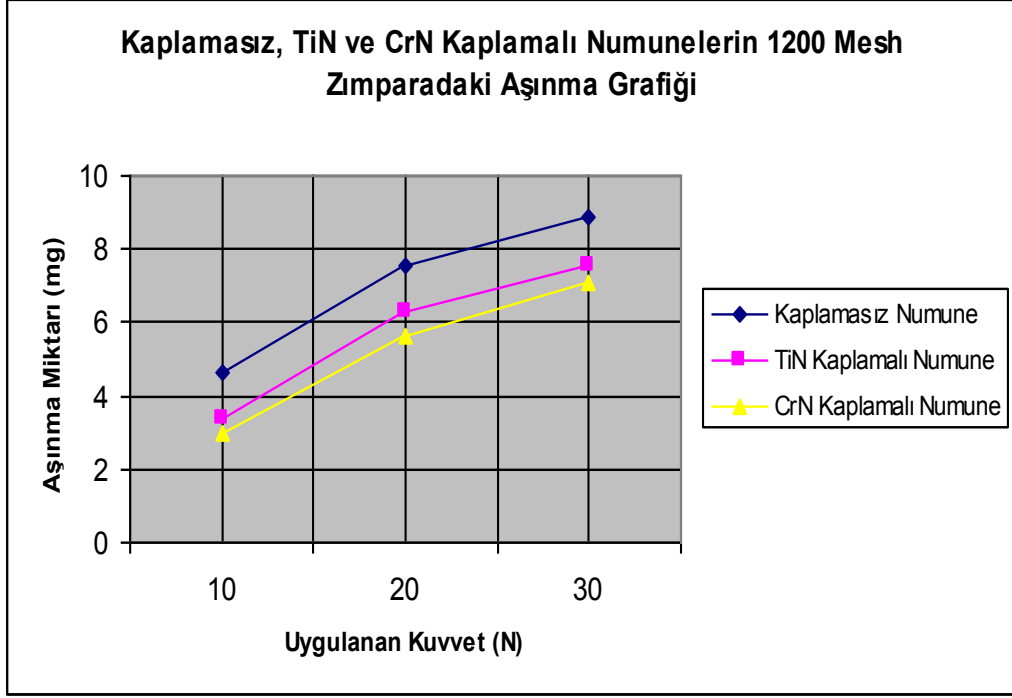
Şekil 8.3'deki grafik incelediğinde CrN kaplı numunenin aşınma miktarı uygulanan kuvvetle doğru orantılı olarak artmıştır. Deneylerde aşındırıcı disk olarak kullanılan SiC (Silisyum Karbür) zımpara tane boyutunun küçülmesiyle birlikte aşınma miktarının azaldığı görülmektedir.



Şekil 8.4. Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 400 Mesh zımparadaki aşınma grafiği



Şekil 8.5. Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 800 Mesh zımparadaki aşınma grafiği



Şekil 8.6. Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 1200 Mesh zımparadaki aşınma grafiği

Şekil 8.4 - 8.5 ve 8.6 incelendiğinde uygulanan kuvvete bağlı olarak en fazla aşınmanın kaplamasız numunede olduğu, en az aşınmanın ise CrN kaplı numunede olduğu görülmektedir. CrN kaplı numunelerin TiN kaplı ve kaplamasız numunelere göre daha az aşınması kimyasal stabilitesine, sertliğine ve düşük sürtünme katsayısına bağlı olduğu düşünülmektedir.

CrN kaplamaların yüzey kaliteleri ve yüzey pürüzlülüğü TiN kaplamalardan daha iyidir. 700 °C'ye kadar olan çalışma sıcaklıklarında stabilizesini kaybetmez. Kimyasal stabilizesi TiN kaplamadan daha yüksektir. CrN tabakaların TiN tabakalara oranla abrazyon aşınmaya karşı yüksek mukavemet sergilerler ve kalın kaplanabildiklerinde TiN' e göre daha iyi korozyon mukavemeti gösterirler [83].

## 8.2. Numunelerin Mikrosertlik Metodu ve Ölçümü

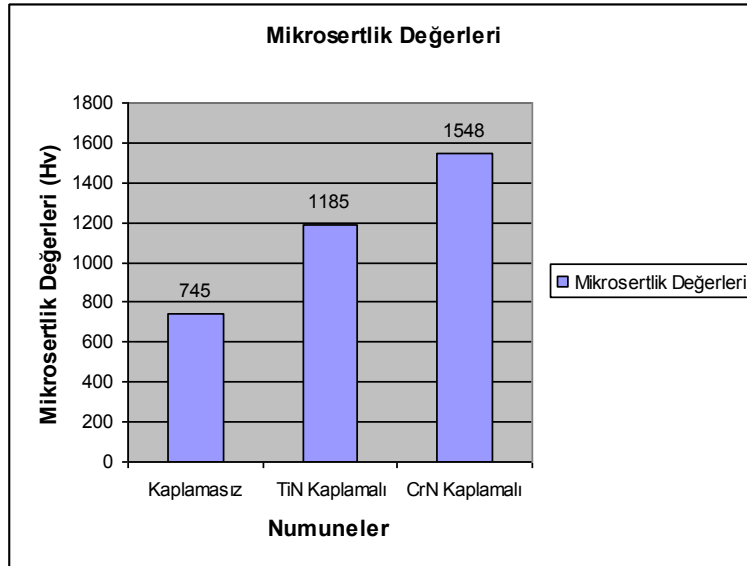
Kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin mikrosertlik testleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Malzeme Eğitimi Bölümü laboratuvarında SHMADZU HMV Micro Hardness Tester marka cihazda gerçekleştirilmiştir (Resim 8.1). Numunenin yüzeyinden yapılan mikrosertlik testi verileri Çizelge 8.4’de gösterilmektedir.



Resim 8.1. Mikrosertlik ölçüm cihazı

Çizelge 8.4. Numunelerin mikrosertlik değerleri

| NUMUNE           | 1.<br>Ölçüm<br>(Hv) | 2.<br>Ölçüm<br>(Hv) | 3.<br>Ölçüm<br>(Hv) | 4.<br>Ölçüm<br>(Hv) | 5.<br>Ölçüm<br>(Hv) | ORTALAMA<br>(Hv) |
|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| KAPLAMASIZ       | 715                 | 740                 | 765                 | 725                 | 780                 | 745              |
| TiN<br>KAPLAMALI | 1183                | 1172                | 1168                | 1197                | 1205                | 1185             |
| CrN<br>KAPLAMALI | 1495                | 1520                | 1587                | 1578                | 1560                | 1548             |



Şekil 8.7. Numunelerin mikrosertlik değerleri

Kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin yüzeyinden 100 gr ağırlığında yük uygulanarak numune üzerinde beş ayrı noktadan sertlik ölçümleri yapılmış olup bunların ortalamaları Çizelge 8.4’de görüldüğü gibidir. CrN kaplamalı numunelerin ortalama 1548 Hv sertlikte olup diğer numunelere göre en fazla sertliğe sahip numune olduğu görülmektedir. Numunelerin sertliğinde, uygulanan bias voltajı, kaplama kalınlığı ve kaplama sıcaklığının etkili olduğu düşünülmektedir. Taban malzemede sertlik kaybının yaşanmaması için kaplama parametreleri taban malzemeye uygun seçilmiştir.

Sertlik ölçüm deneylerinde, ZrN kaplamaların sertliğinin bias voltaj değerine ve uygulanan bias voltaj moduna bağımlı olduğu belirlenmiştir [84].

### 8.3. Numunelerin Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi

Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Kalıpcılık Anabilim Dalında bulunan TIME TR 200 Model (Resim 8.2) yüzey pürüzlülük cihazıyla ölçülmüştür. Cihaz 0,8 mm’de bir değer okuyup toplam 4mm’de beş değer alıp ortalamasını vermektedir.

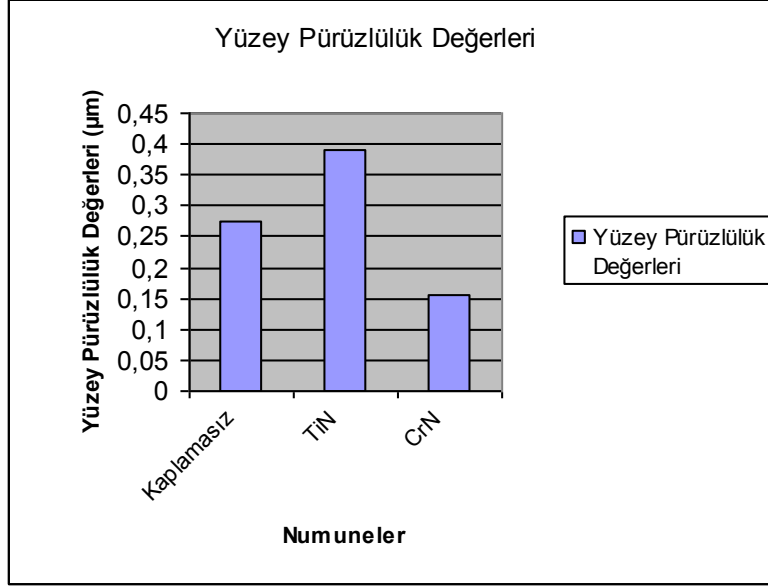
Çizelge 8.5’de kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri verilmektedir.



Resim 8.2. Yüzey pürüzlülük cihazı

Çizelge 8.5. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri

| Numune            | 1. Ölçüm<br>( $\mu\text{m}$ ) | 2. Ölçüm<br>( $\mu\text{m}$ ) | 3. Ölçüm<br>( $\mu\text{m}$ ) | Ortalama<br>( $\mu\text{m}$ ) |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Kaplamasız</b> | 0,286                         | 0,275                         | 0,264                         | 0,275                         |
| <b>TiN</b>        | 0,391                         | 0,403                         | 0,382                         | 0,392                         |
| <b>CrN</b>        | 0,145                         | 0,158                         | 0,165                         | 0,156                         |



Şekil 8.8. Numunelerin yüzey pürüzlülük grafiği

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

Daha önce yapılan bir çalışmada, özel bir firma tarafından kaplanan matkap uçlarının kaplama öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüklerini ifade eden Ra parametresindeki değişimler Çizelge 8.6'da verilmiştir. Kaplama sonrası yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmüştür [85].

Çizelge 8.6. Kaplanmamış ve kaplanmış DIN 1.3243 kalite HSS takımlarının yüzey pürüzlülükleri [85]

| DENEYDE<br>KULLANILAN<br>KESİCİ<br>TAKIMLAR | PÜRÜZLÜLÜK (Ra)       |      |                          |      |
|---------------------------------------------|-----------------------|------|--------------------------|------|
|                                             | KAPLANMAMIŞ DIN1.3243 |      | TiN KAPLANMIŞ DIN 1.3243 |      |
|                                             | TALAŞ<br>YÜZEYİ       | ZIRH | TALAŞ<br>YÜZEYİ          | ZIRH |
| KT 6003 10-32<br>UNF Klavuz                 | 0,20                  | -    | 0,28                     | -    |
| KT 6004<br>Klavuz                           | 0,11                  | -    | 0,13                     | -    |
| KT 8037<br>Rayba-R 5.555                    | -                     | 0,4  | -                        | 0,49 |
| KT 1023 Özel<br>Matk.                       | 0,05                  | 0,21 | 0,14                     | 0,11 |
| KT 1020 Özel<br>GT 100                      | 0,16                  | 0,27 | 0,40                     | 0,19 |
| KT 1022 Özel<br>Matk.                       | 0,14                  | 0,31 | 0,16                     | 0,14 |
| KT 1003 Özel<br>Matk.                       | 0,08                  | 0,18 | 0,21                     | 0,22 |
| KT 1057 18.0<br>DIN 345 Mat.                | 0,08                  | 0,17 | 0,21                     | 0,27 |
| KT 1006<br>Kademeli Matk.                   | 0,08                  | 0,07 | 0,12                     | 0,50 |

#### 8.4. SEM görüntüleri ve EDS Analizleri

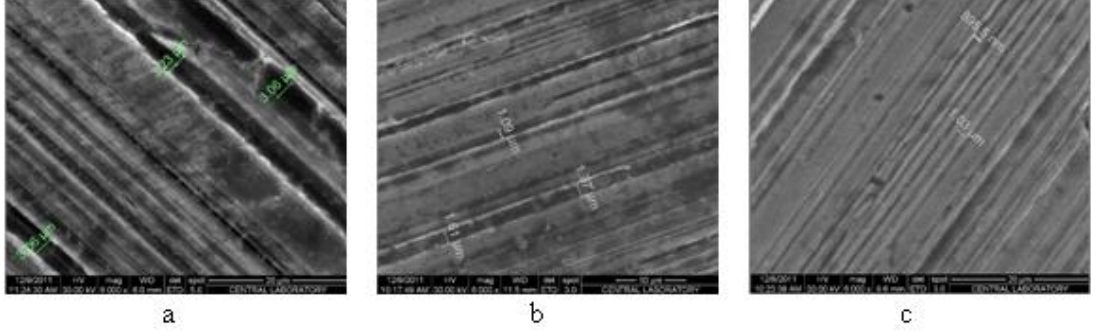
Numunelerin kesitten ve yüzeyden görüntüleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Merkez laboratuvarında bulunan FEI Quanta 400 FEG modeli Scanning Electron Microscope (SEM) cihazından alınmıştır (Resim 8.3). Kaplama tabakasıyla malzeme arasındaki analizler yine aynı cihazda Enerji Dağılımlı X Işınları Spektrometresi (EDS) ile gerçekleştirilmiştir.



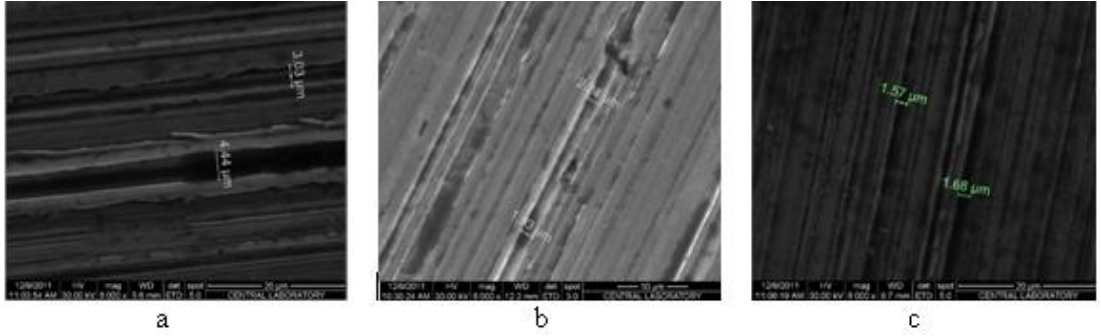
Resim 8.3. SEM (Scanning Electron Microscope) cihazı

SEM (Scanning Electron Microscope), kondansatör objektif, orta mercek ve projektör gibi çeşitli elektromanyetik merceklerden oluşur. Tungsten telden yapılmış flamana 10-100kV arasında değişen bir gerilim uygulaması sonucu koparılan elektronlar kondansatör mercek tarafından numune üzerine odaklanarak görüntü alınır. Bu çalışmada alınan görüntülerde flamana 30 kV gerilim uygulanmış olup bu görüntüler metalografik amaçlı değil derinliği göstermek amaçlı görüntülenmiştir.

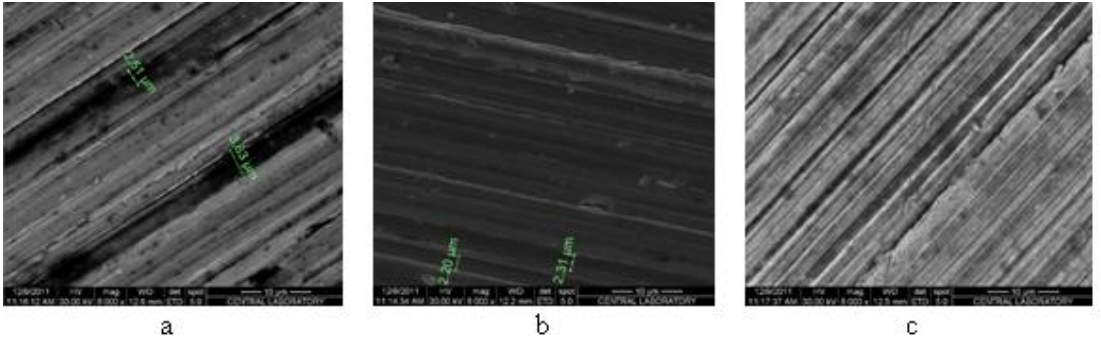
SEM görüntüleri ve EDS (Energy Dispersive Spectrum) analizleri elementlerin atom ağırlıklarına bağlı olarak inceleme bölgesinde ne kadar olduklarını grafiksel ve yüzde olarak belirtmektedir. Resim 8.4-8.6'da numunelerin 6000 büyültmedeki SEM görüntüleri verilmektedir.



Resim 8.4. Kaplamasız numunelerin 20 N yük altında a) 400 Mesh, b) 800 Mesh, c) 1200 Mesh SiC zımparada aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri



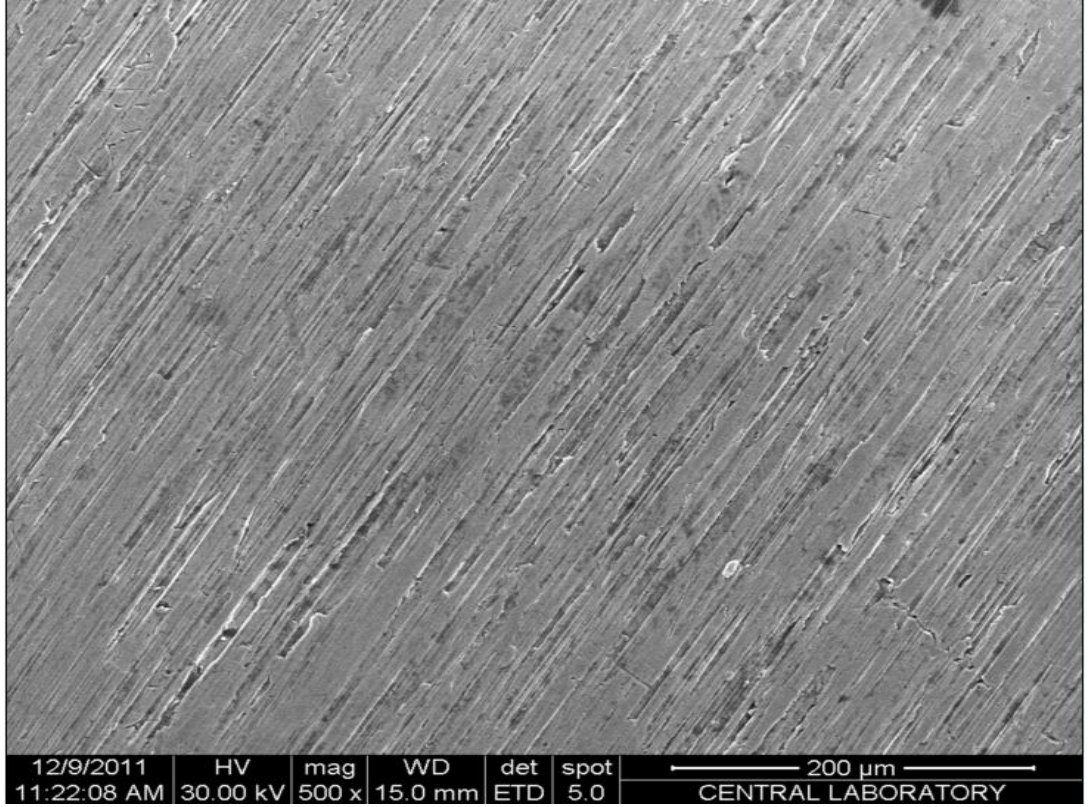
Resim 8.5. TiN kaplamalı numunelerin 20 N yük altında a) 400 Mesh, b) 800 Mesh, c) 1200 Mesh SiC zımparada aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri



Resim 8.6. CrN kaplamalı numunelerin 20 N yük altında a) 400 Mesh, b) 800 Mesh, c) 1200 Mesh SiC zımparada aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüleri

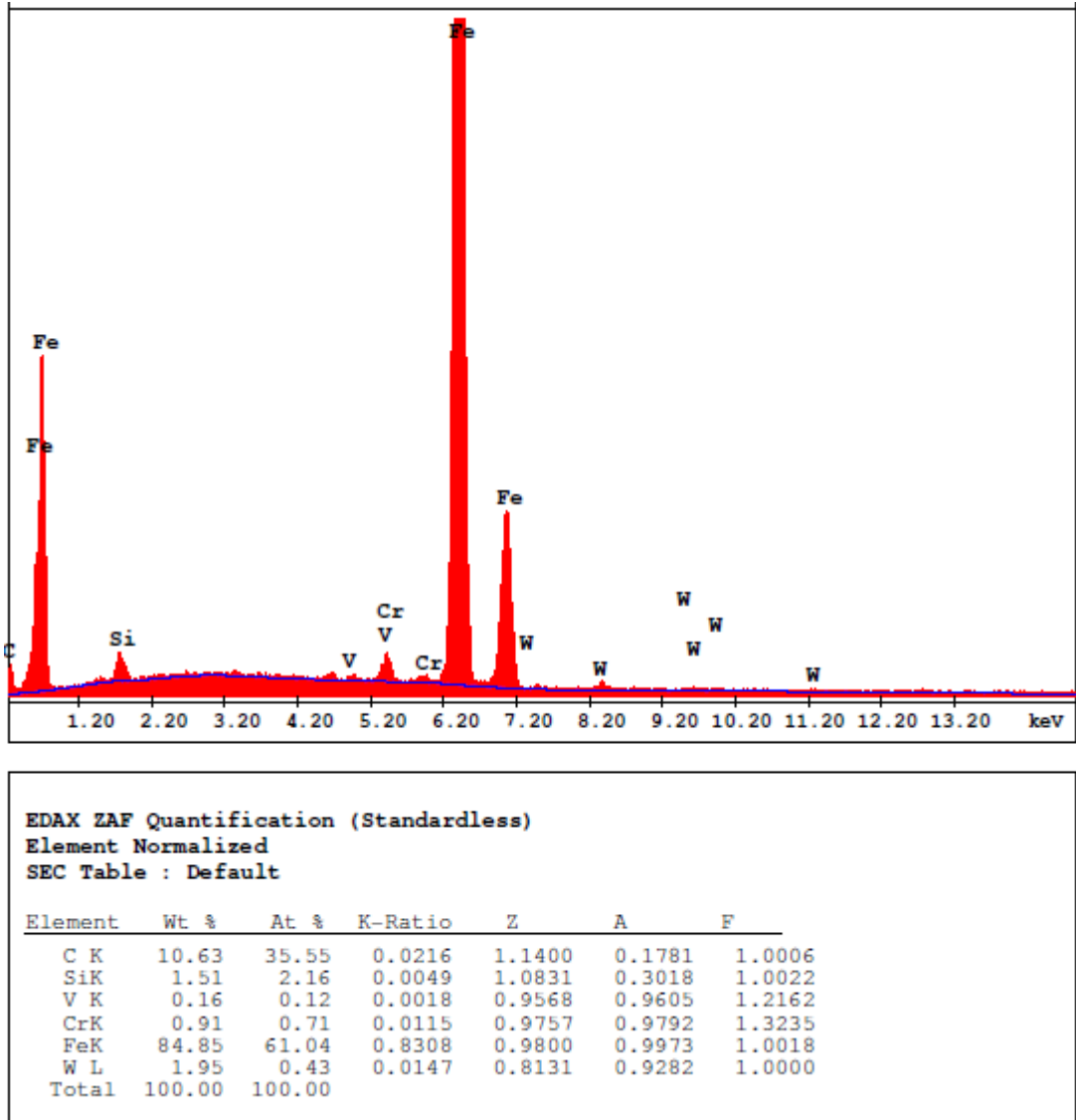
Resim 8.4, 8.5 ve 8.6.'daki numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, aynı yükte aşındırıcı zımpara boyutunun azalması ile aşınma kanallarının ve derinliğinin azaldığı, aşınma kanallarının daha da daraldığı görülmektedir.

TiN ve CrN kaplı numunelerin aşınan bazı yüzeylerindeki kanalların geniş ve derin olmasının sebebi ise aşınma deneyleri sırasında kaplamanın kalkmış olması ve taban malzemenin kaplama esnasında uygulanan kaplama sıcaklığından dolayı yüzeydeki sertliğinde azda olsa sertlik kaybının yaşanması ve bununda aşınma yüzeylerindeki aşınma kanallarına etki ettiği düşünülmektedir.



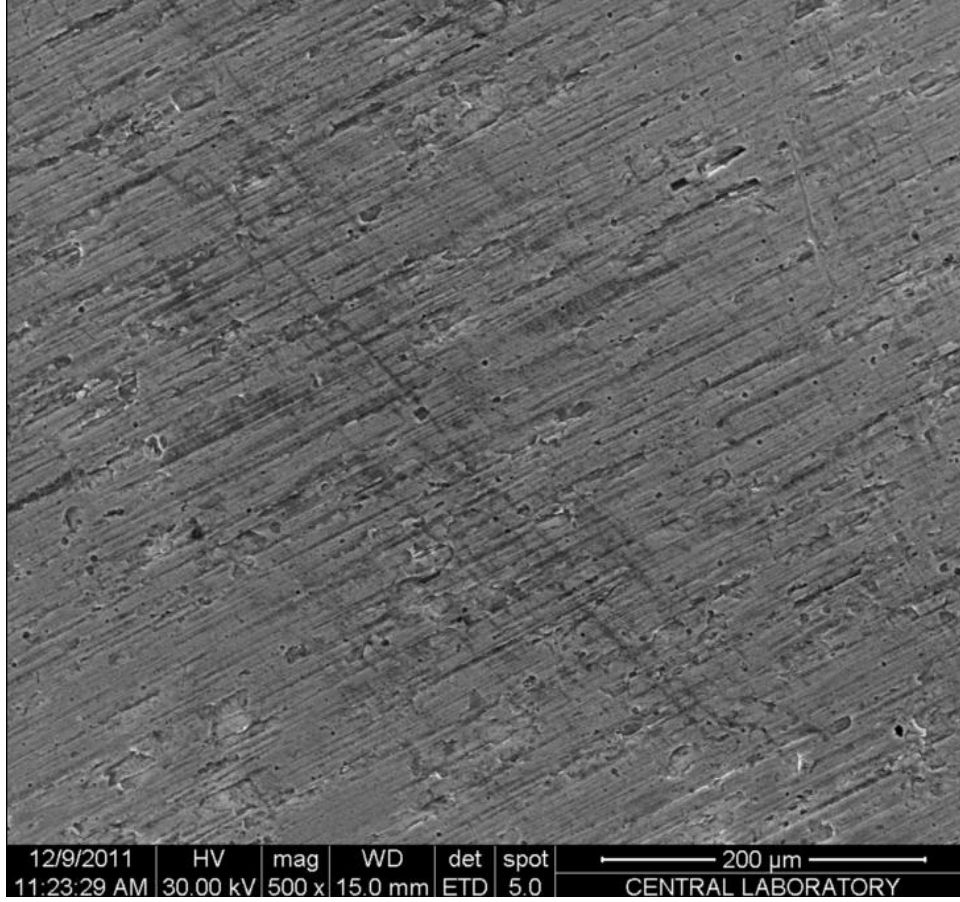
Resim 8.7. Kaplamasız numunenin yan yüzeyden alınan SEM görüntüsü

Resim 8.7'de görüldüğü gibi kaplamasız numunenin SEM görüntüsü incelendiğinde, taşlama esnasında taş tanelerinin numune yüzeyindeki oluşturduğu çizik ve oyuklara rastlanmaktadır.



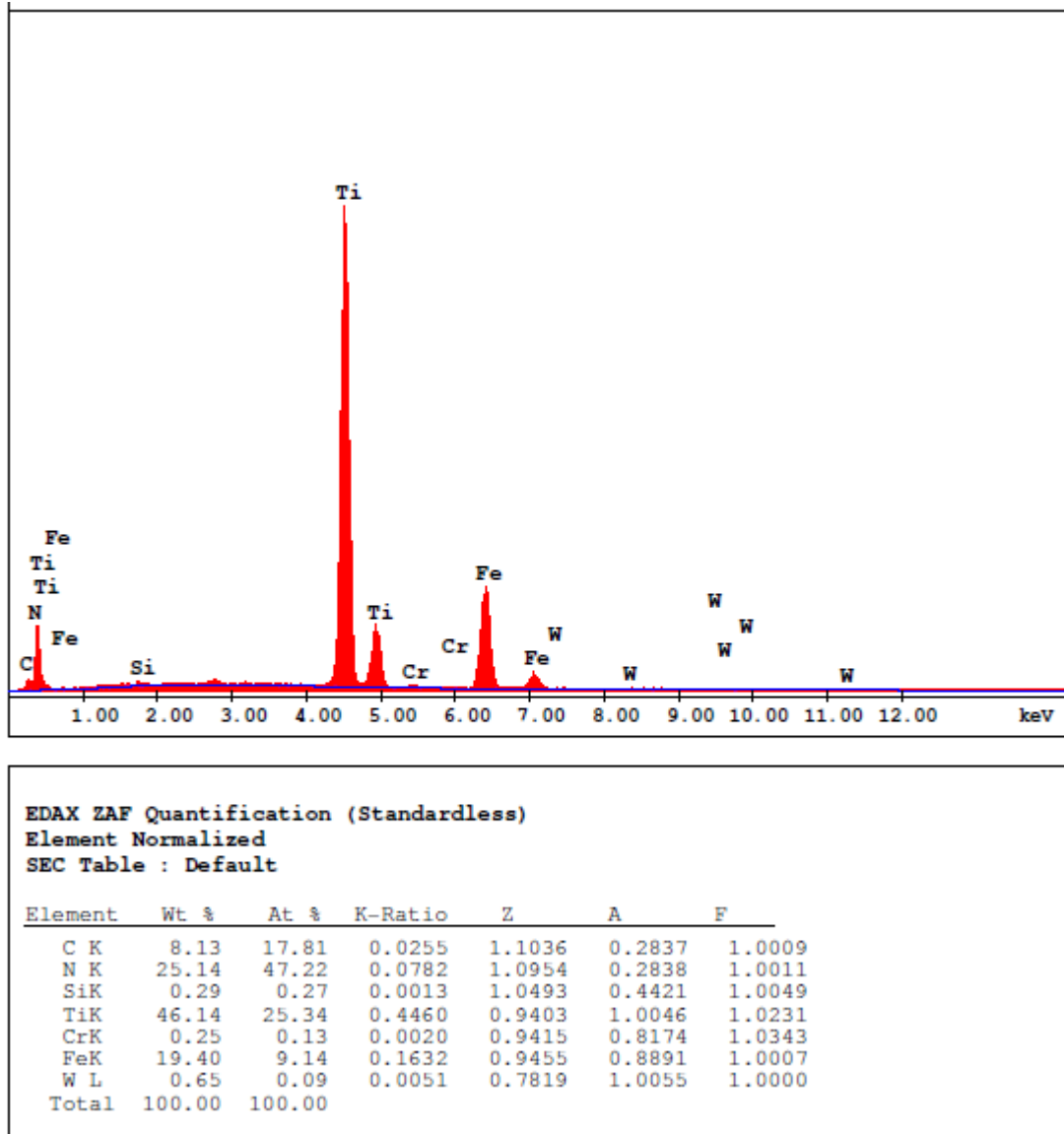
Şekil 8.9. Kaplamasız numune yan yüzeyinden alınan genel EDS analizi

Şekil 8.9'da görüldüğü gibi kaplamasız numunede yapılan genel EDS çalışmasında % olarak çok fazla miktarda Fe'ye rastlanılmıştır. Ayrıca DIN 1.2550 çeliğinin içinde bulunan C, W, Cr, V, Si gibi elementlerde EDS analizinde tespit edilmiştir.



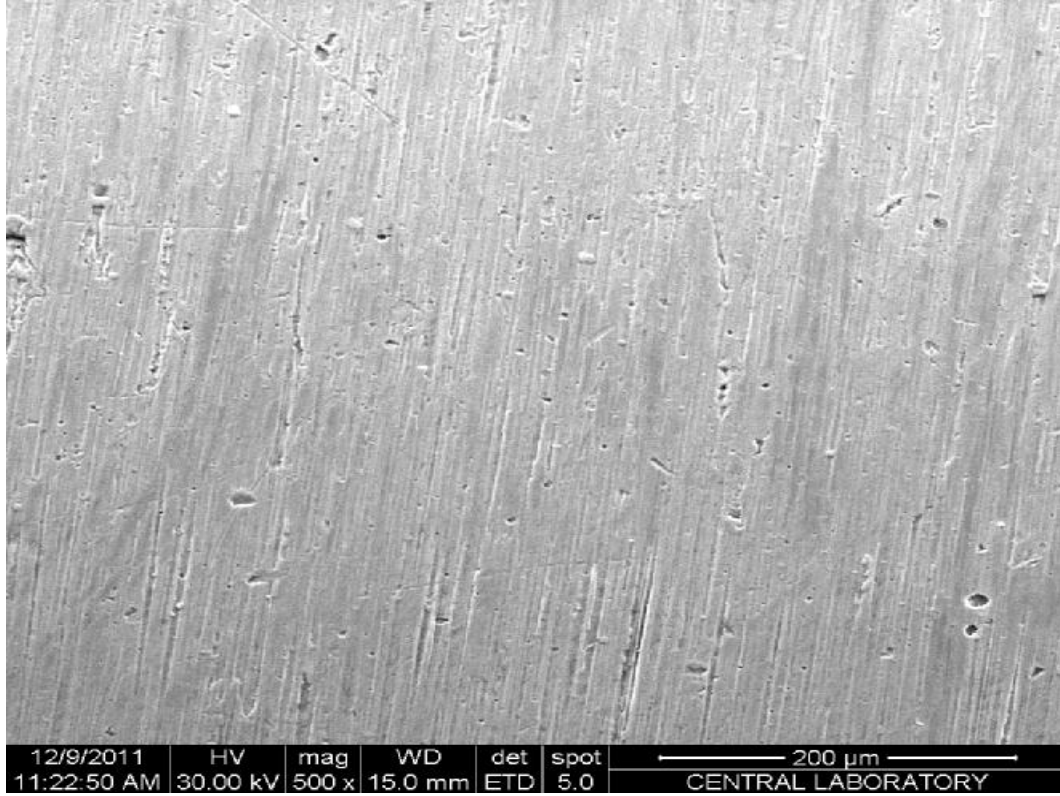
Resim 8.8. TiN Kaplamalı numunenin yan yüzeyden alınan SEM görüntüsü

Resim 8.8'de görüldüğü gibi TiN kaplanmış numunenin yan yüzeyinden alınan SEM görüntüsü incelendiğinde, genel olarak TiN bileşiğinin taşıma izlerini kapattığı, yüzey üzerinde düzgün bir çekirdekleşme yaptığı, kaplamanın homojen ve sürekli olduğu görülmektedir.



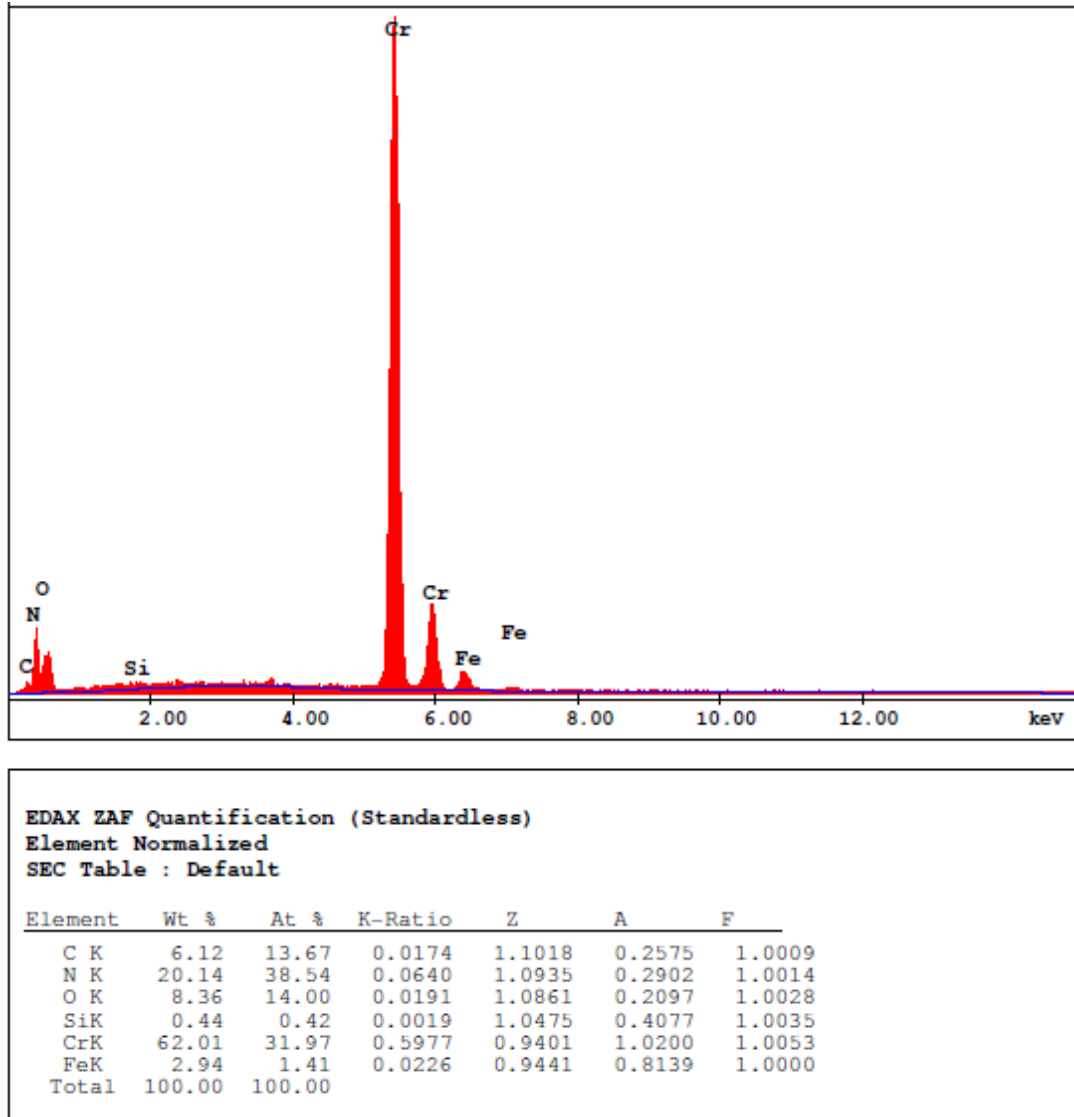
Şekil 8.10. TiN numune yan yüzeyinden alınan genel EDS analizi

Şekil 8.10'daki TiN kaplamalı numunelerin kaplama yüzeyinden alınan genel EDS analizi incelendiğinde % olarak ağırlıkça Ti ve N miktarının olduğu tespit edilmiştir. Azot (N) miktarının % 25 oranında olmasının nedeni ise TiN bileşiğindeki N miktarından kaynaklanmaktadır.



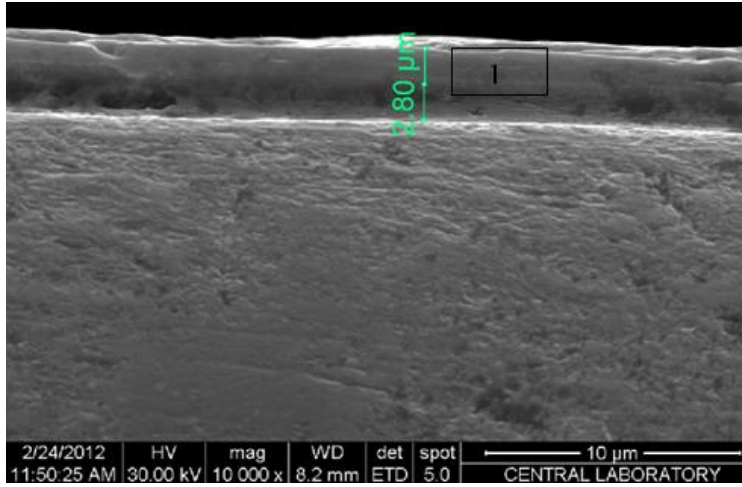
Resim 8.9. CrN Kaplamalı numunenin yan yüzeyden alınan SEM görüntüsü

Resim 8.9'da görüldüğü gibi CrN kaplanmış numunenin yan yüzeyinden alınan SEM görüntüsü incelendiğinde, genel olarak CrN bileşiğinin taşlama izlerini kapattığı, yüzey üzerinde düzgün bir çekirdekleşme yaptığı, kaplamanın homojen ve sürekli olduğu görülmektedir.

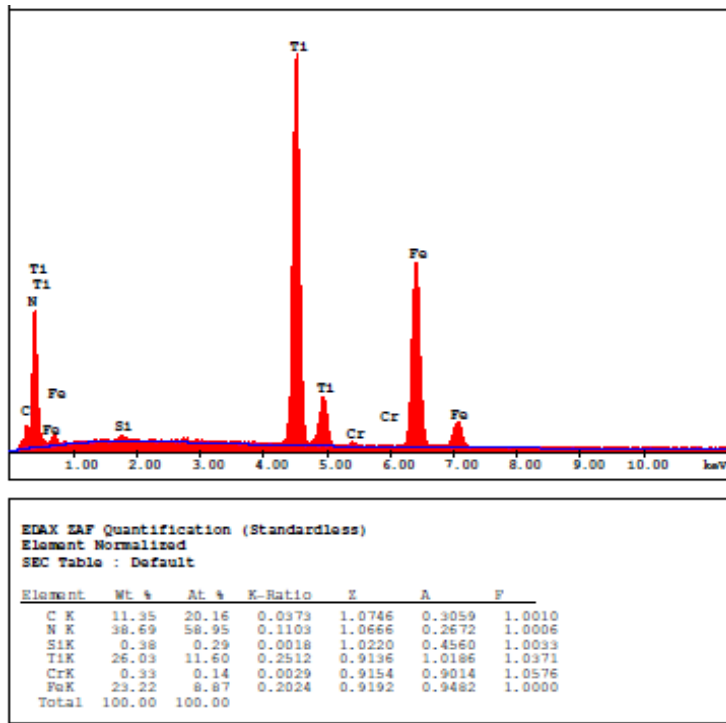


Şekil 8.11. CrN numune yan yüzeyinden alınan genel EDS analizi

Şekil 8.11'deki CrN kaplamalı numunenin kaplama yüzeyinden alınan genel EDS analizi incelendiğinde % olarak ağırlıkça Cr ve N miktarının olduğu belirlenmiştir. Azot (N) miktarının % 20 oranında olmasının nedeni ise CrN bileşiğindeki N miktarından kaynaklanmaktadır.



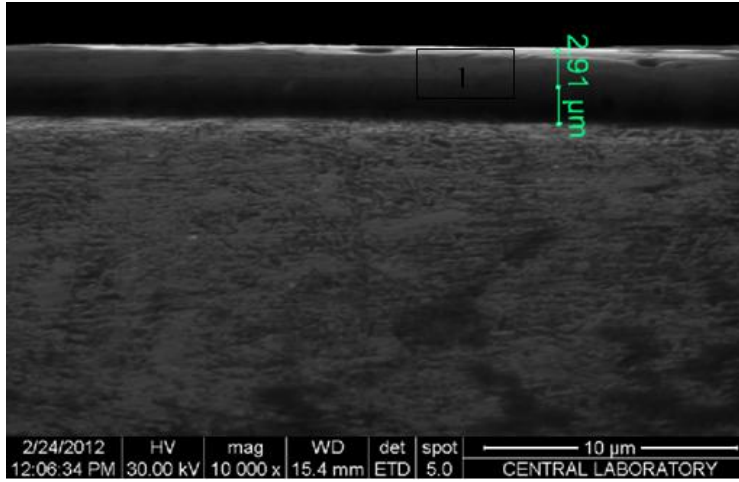
Resim 8.10. TiN Kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü



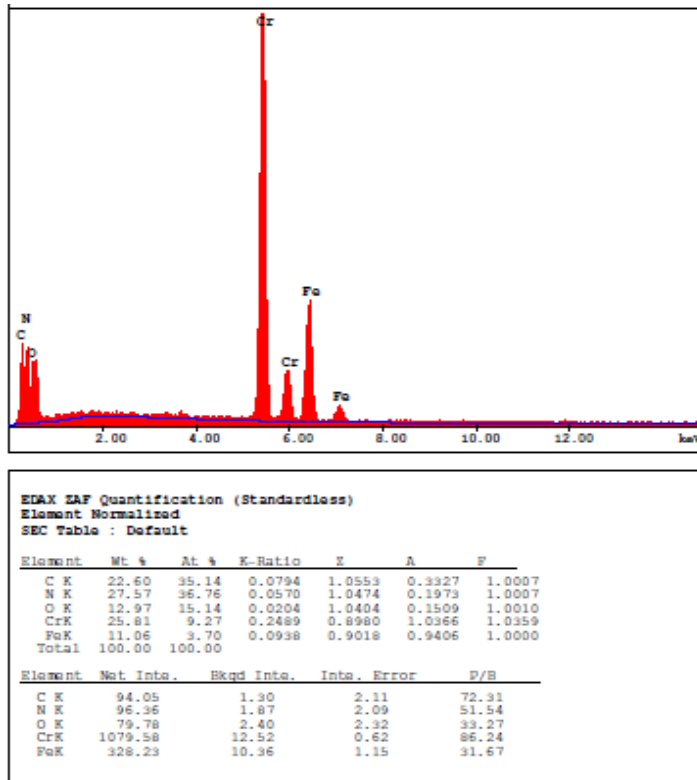
Şekil 8.12. TiN kaplamalı numunenin kesitteki kaplama yüzeyinden alınan EDS analizi

Resim 8.10'da TiN kaplamalı numunenin kesitten SEM görüntüsü incelendiğinde, kaplamanın numune üzerinde sürekli ve homojen olduğu, kaplamanın ana malzemeye difüze etmediği gözlemlenmektedir. Kaplama kalınlığı yaklaşık olarak 2,8 µm ölçülmüştür.

Resim 8.10'daki "1" numaralı bölgeden EDS analizi yapıldığında (Şekil 8.12), Ti elementinin yoğun miktarda olduğu görülmektedir.



Resim 8.11. CrN Kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü



Şekil 8.13. CrN kaplamalı numunenin kesitteki kaplama yüzeyinden alınan EDS analizi

Resim 8.11’de CrN kaplamalı numunenin kesitten SEM görüntüsü incelendiğinde, kaplamanın numune üzerinde sürekli ve homojen olduğu, kaplamanın ana malzemeye difüze etmediği gözlemlenmektedir. Kaplama kalınlığı yaklaşık olarak 2,91  $\mu\text{m}$  ölçülmüştür.

Resim 8.11’deki “1” numaralı bölgeden EDS analizine bakıldığında (Şekil 8.13), Cr elementinin yoğun miktarda olduğu görülmektedir.

### 8.5. İstatistiksel Çalışmalar

Yapılan çalışmalar sonucunda aşınma testi verileri (Çizelge 8.1 – Çizelge 8.3) verileri SPSS 11.5 programında incelenmiştir.

SPSS 11.5 programında incelenen aşınma testinin istatistiksel sonuçları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 8.7. Aşınmış numunelerin gruplara göre ortalaması

|                     | Gruplar           | Numune Sayısı | Ortalama Sıra |
|---------------------|-------------------|---------------|---------------|
| <b>Aşınma Farkı</b> | <b>Kaplamasız</b> | 9             | 19,06         |
|                     | <b>TiN</b>        | 9             | 13,67         |
|                     | <b>CrN</b>        | 9             | 9,28          |
|                     | <b>Toplam</b>     | 27            |               |

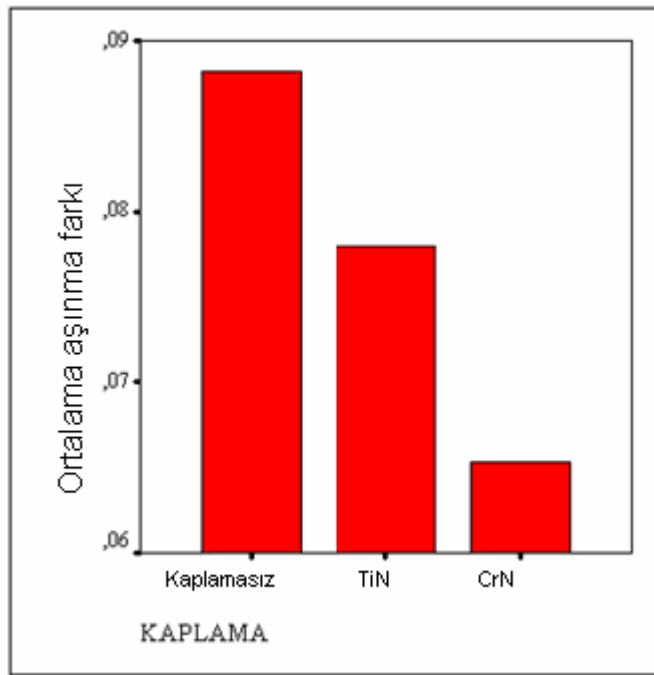
Çizelge 8.8. Numunelerin aşınma değerlerinin Ki-Kare testi

|                            | <b>Aşınma Farkı (mg)</b> |
|----------------------------|--------------------------|
| <b>Ki-Kare</b>             | 6,855                    |
| <b>Serbestlik Derecesi</b> | 2                        |
| <b>Anlamlılık</b>          | 0,032                    |

SPSS 11.5 istatistik programında gruplar arasındaki ilişki parametrik olmayan verilerde kullanılan Kruskal Wallis testine göre değerlendirilmiştir. Gruplar

arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ( $p=0,032<0,05$ ). Bu grupları incelediğimizde sıra ortalamalarında CrN kaplamanın en düşük değer ile en az aşınma miktarına sahiptir.

Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamaları grup altında toplayarak inceleyen programda gruplar ve alınan yola bağlı olarak SPSS 11.5 programında grup-yol grafiği Şekil 8.14' de gösterilmektedir.



Şekil 8.14. Numunelerin ortalama aşınma farkı grafiği

Çizelge 8.9. Numunelerin çoklu regresyon modeli

| Model Özeti |      |                |                            |                   |                        |        |     |     |            |               |
|-------------|------|----------------|----------------------------|-------------------|------------------------|--------|-----|-----|------------|---------------|
| Model       | R    | R <sup>2</sup> | Düzeltilmiş R <sup>2</sup> | Tahmini Std. Hata | Değişim İstatistikleri |        |     |     |            | Durbin Watson |
|             |      |                |                            |                   | R <sup>2</sup>         | F      | df1 | df2 | Anlamlılık |               |
| 1           | ,930 | ,864           | ,847                       | ,0069088          | ,864                   | 48,817 | 3   | 23  | ,000       | ,531          |

Çoklu regresyon analizi iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkileri ölçmek için kullanılmaktadır. Aşınma farklılığını oluşturan unsurlarda aşınma farkı bağımlı değişken, kaplama, yük ve aşındırıcı bağımsız değişkenlerdir.

SPSS 11.5 istatistik programında verileri çoklu regresyon analizi ile incelendiğinde korelasyon katsayısı  $r=0,93$ 'dür. Kurulan modelde güçlü ve pozitif bir korelasyon vardır. Belirtme katsayısı olan  $r^2=0,86$  gruplar, aşındırıcı (Mesh) ve ağırlık bağımsız değişkenleri ile aşınma farkının %86'sını açıklıyor demektir. Açıklanmama oranı  $1-r^2=0,14$  olarak ortaya çıkmaktadır (Çizelge 8.9). Çizelge 8.10'da Anova testi sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 8.10. Numunelerin çoklu regresyon Anova testi

| Model     | Kareler Toplamı | df | Ortalama Kare | F      | Anlamlılık |
|-----------|-----------------|----|---------------|--------|------------|
| Regresyon | ,007            | 3  | ,002          | 48,817 | ,000       |
| Kalıntı   | ,001            | 23 | ,000          |        |            |
| Toplam    | ,008            | 26 |               |        |            |

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında kurulan model (Çizelge 8.10) anlamlıdır ve önemlidir ( $p=0,00<0,05$ ).

Çizelge 8.11. Numunelerin çoklu regresyon katsayı modeli

| Katsayılar |                    |                             |           |                     |        |      |                          |           |
|------------|--------------------|-----------------------------|-----------|---------------------|--------|------|--------------------------|-----------|
| Model      |                    | Standart Olmayan Katsayılar |           | Standart Katsayılar | t      | Sig. | 95% B İçin Güven Aralığı |           |
|            |                    | B                           | Std. Hata | Beta                |        |      | Alt Sınır                | Üst Sınır |
| 1          | Sabit              | ,087                        | ,006      |                     | 15,037 | ,000 | ,075                     | ,099      |
|            | KAPLAMA            | -,011                       | ,002      | -,541               | -7,038 | ,000 | -,015                    | -,008     |
|            | YÜK                | ,014                        | ,002      | ,665                | 8,659  | ,000 | ,011                     | ,017      |
|            | Aşındırıcı (Mesh ) | -,008                       | ,002      | -,360               | -4,684 | ,000 | -,011                    | -,004     |

Çoklu regresyon katsayı modeli (Çizelge 8.11) incelendiğinde aşınma farkını oluşturan en önemli etkenin (0,14) değeri ile yük olduğu görülmektedir. Sonrasında sırası ile kaplama ve aşındırıcı (Mesh) gelmektedir.

SPSS 11.5 programında verilerin kodlanması;

Kaplamasız : (1)

TiN : (2)

CrN : (3)

10 N : (1)

20 N : (2)

30 N : (3)

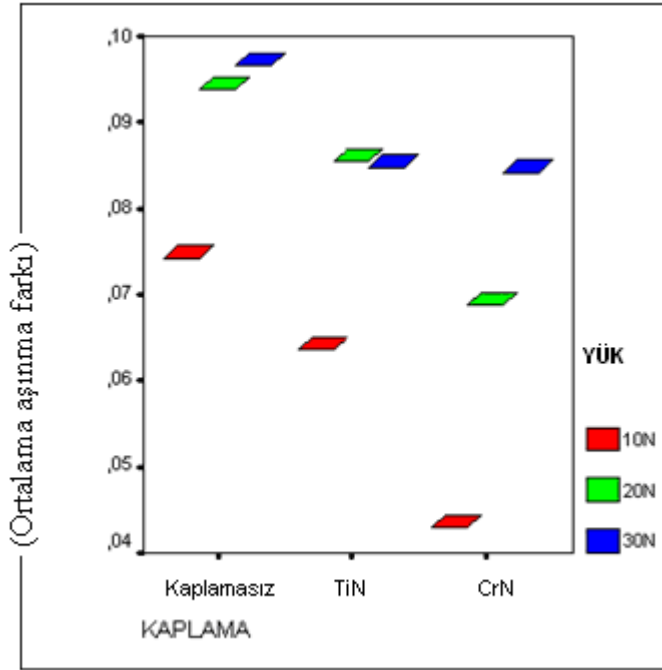
400 Mesh : (1)

800 Mesh : (2)

1200 Mesh : (3)

Tahmini aşınma farkı da (Y); yük, kaplama ve aşındırıcı değerlerinin aşağıdaki formülde yerine konulması ile bulunur.

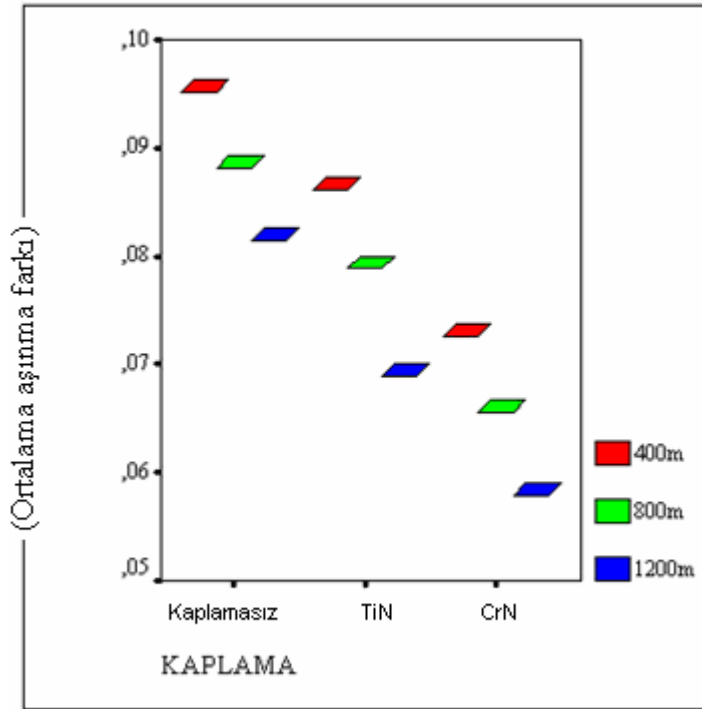
$$Y = 10000 (0,087 - 0,011(\text{kaplama}) + 0,014(\text{yük}) - 0,008(\text{aşındırıcı}) \quad (\text{mg})$$



Şekil 8.15. Numunelerin yüke bağlı olarak ortalama aşınma farkı grafiği

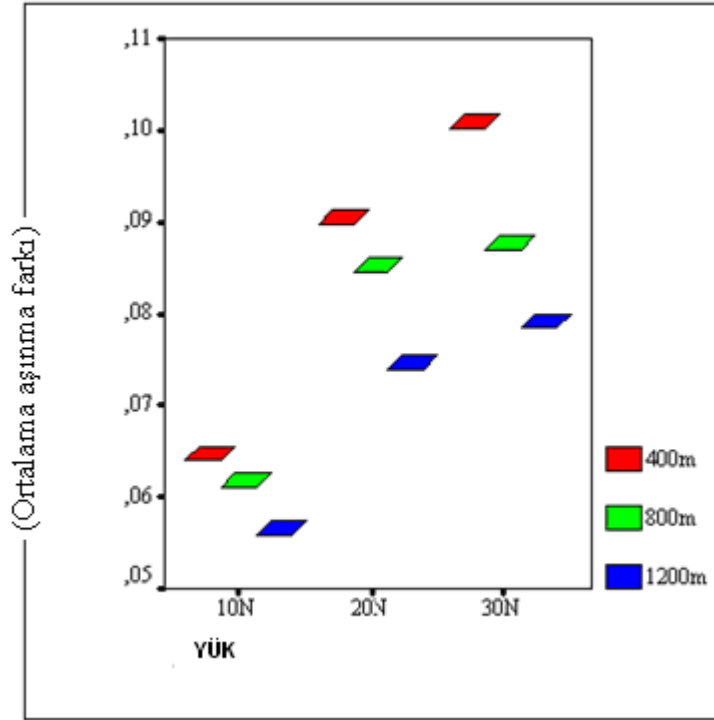
Numunelerin SPSS 11.5 programında, yük'e ve aşındırıcıya bağlı olarak ortalama aşınma farkı grafikleri ayrı ayrı oluşturulmuştur.

Numunelerin Şekil 8.15'deki ortalama aşınma farkı grafiği incelediğinde kaplamasız, TiN ve CrN kaplı numunelerde yük arttıkça ortalama aşınma farkının da arttığı görülmektedir. Yüke bağlı olarak en az ortalama aşınma farkının CrN kaplamalı numunede olduğu görülmektedir.



Şekil 8.16. Numunelerin aşındırıcıya (Mesh) 'ya bağlı olarak ortalama aşınma farkı grafiği

Numunelerin SPSS 11.5 programında aşındırıcıya (Mesh) bağlı olarak oluşturulan ortalama aşınma farkı grafiği incelendiğinde (Şekil 8.16) kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerde aşındırıcı olarak kullanılan SiC zımpara boyutunun artmasıyla ortalama aşınma farkının da arttığı görülmektedir. Ortalama aşınma farkının artmasını sağlayan zımpara boyutu en az CrN kaplı numuneyi etkilemiştir.



Şekil 8.17. Numunelerin aşındırıcı (Mesh) ve Yük'e bağlı olarak ortalama aşınma farkı grafiği

Numunelerin SPSS 11.5 programında aşındırıcıya ve yük'e bağlı olarak oluşturulan ortalama aşınma farkı grafiği incelendiğinde (Şekil 8.17) kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerde aşındırıcı olarak kullanılan SiC zımpara boyutunun artmasıyla ortalama aşınma farkının da arttığı görülmektedir. Ortalama aşınma farkının artmasını sağlayan zımpara boyutu ve yük en az CrN kaplı numuneyi etkilemiştir.

## 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 9.1. Sonuçlar

Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numuneler kullanılarak abrasiv şartlarda ve oda sıcaklığı ortamında yapılan çalışmada, aşındırıcı olarak kullanılan SiC zımpara tane boyutu ve yükün değişken parametreleri kullanılarak Pin-On disk deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. PVD yöntemiyle DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliklerine TiN ve CrN tabakası başarıyla oluşturulabilmektedir.
2. Kaplamasız deney numunesi ile TiN ve CrN kaplı deney numunelerini aşınma dirençleri karşılaştırıldığında kaplanmış numunelerin kaplamasız numunelere göre daha az aşındığı gözlenmiştir. Bu sonuç ile, kaplamalı numunelerin aşınma dirençlerinin daha fazla olduğu görülmüştür.
3. Deney numunelerinin yapılan mikrosertlik deneylerinde en yüksek değer CrN kaplı numunelerde görülmüştür. Aşınma deneyleri verilerinden de anlaşıldığı gibi aşınmaya karşı en fazla direnci CrN kaplı numune göstermiştir.
4. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerine bakıldığında en pürüzsüz yüzeyin CrN kaplı numunede olduğu tespit edilmiştir.
5. Numunelerin aşınan yüzeylerdeki SEM görüntüleri incelendiğinde, aşındırıcı SiC zımpara tane boyutu arttıkça aşınma kanallarının genişliği ve derinliğinin arttığı tespit edilmiştir.

## 9.2. Öneriler

Bu çalışmada, DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliklerindeki aşınmanın, deneylerde aşındırıcı olarak kullanılan SiC zımparaya, alınan yola ve yüke bağlı olarak incelenmesinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Literatür araştırmasına bakıldığında farklı parametreler uygulanarak aşınma olayının değerlendirildiği görülmektedir.

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

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

Bu çalışmadaki deneyler laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş olup gerçek şartlarda yapılarak değerlendirilebilir.

Deneylerde kullanılan taban malzemenin aşınmaya maruz bırakılmış bir uygulama alanına sahip olduğu düşünülen kesme kalıplarında kullanılan soğuk iş takım çeliği seçilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarımızda çeşitli kaplama ve yük parametreleri kullanılmıştır. Araştırmacılar, yapacakları çalışmalarda farklı kaplama yöntemleri, taban malzemeleri veya farklı şartların etkilerini inceleyebilir ve karşılaştırılabilirler.

Bu çalışmada 2,7 m/s kayma hızında ve 8 m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Kayma hızı ve kayma mesafesi değiştirilerek aşınma deneyleri yapılabilir. Ayrıca yağlı ortamda da aşınma incelenebilir.

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

Bu çalışmada DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin abrasiv aşınma davranışları incelenmiştir. Başka bir çalışmada adhesiv aşınma davranışları incelenebilir.

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

## KAYNAKLAR

1. Tsao, C.C., "Prediction of Flank Wear of Different Coated Drills for JIS SUS 304 Stainless Steel Using Neural Network", **Journal of Material Processing Technology**, 5618: 1-7 (2002).
2. Yıldırım, M.M., "Lazerle Yapılan Yüzey İşlemlerde Son Uygulama Teknikleri", **5. Denizli Malzeme Sempozyumu**, Denizli, 560–570 (1993).
3. Karamış, M.B., Gerçekcioğlu, E., Sert, H., " Sert Metal Tozlarıyla Kaplanmış AISI 1050 Çeliğinin Abrasiv Aşınma Davranışı", **6th International Machine Desing and Production Conference**, METU, Ankara, 1-9 (1994).
4. Godet, M., Berthier, L., Vicent, L., and Flamand, L., "Hard Coatings for Tribological Application: a Pluridisciplinary Approach", **Surface and Coating Tech.**, 1-8 (1991).
5. Sert, H., "PVD ile TiN Kaplanmış Alüminyum Ekstürüzyon Kalıplarının Yüzey Özellikleri ve Aşınma Performanslarının Deneysel İncelenmesi", Doktora Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 1-47 (1997).
6. Toprak, H., "Borlanmış ve PVD ile TiN Kaplanmış KGDD Kam Milleri ile Kaplamasız ve Sertleştirilmiş Çelik Dövme Kam Millerinin Çalışma Performanslarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-104 (2002).
7. Hazar H., Öner C., " CrN Kaplamanın Dizel Motor Silindir Gömleği Aşınmasına Etkisi" **Fırat Üniversitesi / Mühendis ve Makine** 48: 14-18 (2007).
8. Sert, H., Karamış, M.B., " PVD ve CVD Yöntemleriyle Yüzey Kaplama ve Kaplama Özellikleri", **5. Denizli Malzeme Sempozyumu**, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 572–575 (1993).
9. Savaşkan, M., Taptık, Y., Ürgen, M., "Deney Tasarımı Yöntemi İle Matkap Uçlarında Performans Optimizasyonu" **İtü dergisi/ Mühendislik**, 117-128 (2004).
10. Sert, H., Can, A., Samancı, A., Dağ, M., " TiN Kaplanmış AISI 304 Çeliklerinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi" **III. Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi**, Konya, (2005).

11. Park, W. And Kim, K.H., "Coatings Material of TiN, TiAlN and TiSiN by Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition For Mechanical Applications", **Journal Of Material Processing Technology**, 130: 254-259 (1998).
12. Errico, G.E., " A Comparative Study of PVD Coated Cermet Inserts for Milling Applications", **Journal Of Material Processing Technology**, 78: 48-52 (1998).
13. Park, W. And Kim, K.H., "Coatings Material of TiN, TiAlN and TiSiN by Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition for Mechanical Applications", **Journal Of Material Processing Technology**, 130: 254-259 (2002).
14. Ranea. C., "Wear Resistance of Thin Coatings Based on Titanium", **Balkanrib**, Kayseri, 783-788 (2002).
15. AB Sandvik coromant,"Sandvik Tonalama Takımları Kataloğu", Printed in Sweden by **Elanders 10 recycleable paper** İsveç, (2002).
16. Özses, B., "Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgahlarında Değişik İşleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, **G.Ü. Makine Mühendisliği Bölümü**, Ankara, 1-36 Ocak (2002).
17. Yalçın, B., Yılmaz, N., "Ark PVD Yüzey Kaplama Metoduyla Titanyum nitrid (TiN) Kaplanmış Matkap Takımlarında Takım Aşınmasının Deneysel olarak incelenmesi", **Yüzey İşlemler Dergisi**, 300-304 (2000).
18. Gökkaya, H., Sur, G., Dilipak, H., "PVD ve CVD Kaplamalı Sementit Karbür Kesici Takımların İşleme Parametrelerine Bağlı Olarak İncelenmesi", **Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi**, 4(7): 473-478 (2004).
19. Tay, B., Shi, X., Yang, H., Tan., Chua, D., Teo, S.y., " The Effect of Deposition Conditions on the Properties of TiN Thin Films Prepared by Filtered Cathodic Vacuum-Arc Technique", **Surface and Coatings Technology**, 11, 229-233 (1999).
20. Dearnley, P.A., "Thin Hard Coating or Tribological Protection", **Heat Treatm. Met.** 83-91 (1987).
21. Ezugwu, E., Okeke, C.I., "Tool Life and Wear Mechanism of TiN Coated Tools in an Intermittent Cutting Operation", **Journal Materials Processing Technology**, 116: 10-15 (2001).

22. Sert, H., Karamış, M.B., "PVD ile TiN Kaplı ve Kaplamasız H13 Çeliğinin XRD ve XRS Çalışmaları" **Makina Tasarım Teorisi ve Modern İmalat Yöntemleri Konferansı**, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1-10(1997).
23. Totik, Y., Efeoğlu, İ., Gavgalı, M., Sadeler, R., "Isıl İşlem Görmüş (TiAl)N Seramik Filmin Yapısal Özelliklerinin Araştırılması", **Umtik2000\_87**, 1-6 (2000).
24. Türküz, M.C., "Ark PVD Yöntemiyle TiN Kaplanmış Kesici Takımların Karakterizasyonu ve Performanslarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 50-116 (1997).
25. Sert, H., Meriç, C., "Aşınan Metallerin Hayata Kazandırılmasında Yeni Bir Yöntem Çelik Toz Püskürtme ve Mekanik Testleri" **5. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi**, ODTÜ, Ankara, 563-571 (1992).
26. Sert, H., Karamış, M.B., "PVD ve CVD Yöntemleriyle Yüzey Kaplama ve Kaplama Özellikleri", **5. Denizli Malzeme Sempozyumu**, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 572-575 (1993).
27. Janoss, B., "PVD/CVD Coatings Enhance Stamping & Forming of Stainless", **Multi Arc inc NJ**, Rockaway.
28. Başman, G., "GGG 40 Sınıfı Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Yorulma Davranışlarına TiN Kaplamanın Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-34 (1998)
29. Tuck, J.R., Korsunsky, A.M., Bhat, D.G., Bull, S.J., "Indentation Harness Evaluation of Cathodic Arc Deposited Thin Hard Coatings", **Surface and Coatings Technology**, 139, 63-74 (2001).
30. Çınar, O., "TiAlN, TiN Tek ve Çok Katlı Kaplamaların Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 1-50 (1998).
31. Karamış, M.B., "Abresiv Aşınma Mekanizmasında Yüzey Basıncın Aşınmaya Etkisi" **2. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi**, 493-500 (1986).
32. Tanaka, Y., Ichimiya, N., Onishi, Y., Yamada Y., "Structure and Properties of Al-Ti-Si-N Coatings Prepared by the Cathodic Arc Ion Plating Method for High Speed Cutting Applications", **Surface and Coatings Technology**, 146-147, 215-221 (2001).
33. Prengel, H., Jindal, P.C., Wendt, K.H., Santhanam, A.T., Hegde, P.L., Penich, R.M., "New Class of High Performance PVD Coatings for Carbide Cutting Tools", **Surface and Coatings Technology**, 139, 25-34 (2001).

34. Zhengyang, L., Wubiao, Z., Yong, Z., Guiying, L., Eryan, C., "Effects of Superimposed Pulsed Bias on TiN Coating in Cathodic Arc Deposition", **Surface and Coatings Technology**, 131, 158-161 (2000).
35. Sert, H., Can, A., " AISI 5140 Çeliğinin Tornalanmasında Kesme ve Kaplama Değişkenlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi" **II. Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi**, Konya, 125-135 (2003).
36. Kothari, D.C., Kale, A., "Recent Trends in Surface Engineering Usig Cathodic Arc Technigue", **Surface and Coatings Technology**, 158-159, 174-179 (2002).
37. Mustapha, N.M., Howson, R.P., "Reactive Filtered Arc Evaporation", **Vacuum**, 60, 361-368 (2001).
38. Öztürk, U., "AISI 3343 Çeliği Kalıp Zımbalarının Kaplamasız, PVD Tekniği ile TiN ve CrN Kaplayarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara 1-93 (2010).
39. Çetin M., "Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışının Geliştirilmesi", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-246 (2005).
40. Kılınç, Y., "Yağlı Sürtünme Şartlarında Çelik İnce Zırh Yataklarında Üretim Tekniklerinin Aşınma Etkisinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 1-25 (1993).
41. Kökden, M.U., "GGG 50 ve GGG 80 Sınıfı Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Abrasiv Aşınma Davranışına Östemperleme İşleminin Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 27-102 (1996).
42. Karamış M.B. "Traktör Hızı ve Pulluk Çalışma Derinliğinin Uç Demiri ve Aşınma Hızına Etkileri ve Optimizasyonu", **Tübitak 2'nci Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu**, S.668-677, 22-24 Eylül 1986, Odtü, Gaziantep
43. Odabaş, D., "Otektoid Altı Çeliklerin Kayma Sürtünme Aşınmasında Adhesiv Aşınma Katsayılarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 50-65 (1987).
44. Kayalı, Y., "Bortemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Mekanik Özellikleri ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi **AKÜ, T.E.F.** Afyon (2006).

45. Aslan, A., "Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 42-54 (2002).
46. Baydoğan, M., Çimenoglu, H., "The Effect of Austempering Time on Mechanical Properties of a Ductile Irons", **Scandinavian Journal of Metallurgy**, 30:391-395 (2001).
47. Wikipedia, Abrasyon Aşınması, [http://tr.wikipedia.org/wiki/abrazyon\\_a%c5%9f%c4%b1nmas%c4%b1](http://tr.wikipedia.org/wiki/abrazyon_a%c5%9f%c4%b1nmas%c4%b1) (Kasım 2007).
48. Akkurt M., Makina Elemanları, **Birsen Yayınevi** Ltd. Şti., Cilt 1-2, İstanbul (2000).
49. Pall Corporation, [http://www.pall.com/aerospace\\_17937.asp#18071](http://www.pall.com/aerospace_17937.asp#18071) (Eylül 2007).
50. Hutchings I.M., 1992, Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, <http://www.msm.cam.ac.uk/tribo/wear.html> (1992).
51. Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W., , **Engineering Tribology**, Butterworth Heinemann, Australia (2001)
52. Korkut, M.H., "Sürtünmeye Maruz Metalik Disklerin Aşınma Bölgelerinde Dolgu Kaynak İşleminden Sonra Aşınma Özelliklerinin Değişiminin Deneyisel Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 1-25 (1991).
53. Şahin, Y., "Kumlama Makinesi Türbin Paletlerindeki Aşınma ve Mikroyapının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Ankara, 1-4 (2001).
54. Yaman S., "Sürtünme Kuvveti", <http://w3.gazi.edu.tr/web/syaman/hareket9.html> (2008).
55. Babalık, F.C., 2000, Makine Elemanları Ve Konstrüksiyon Örnekleri, **Vipaş A.Ş.**, Cilt 2, Uludağ Üniversitesi, Bursa
56. Sheffield University, 2008, <http://www.shef.ac.uk/mecheng/tribology/teaching/whatistribology.htm>
57. Belice T., Bilim ve Teknik Dergisi [http://www.biltek.tubitak.gov.tr/merak\\_ettikleriniz/index.php?kategori\\_id=4&soru\\_id=2695](http://www.biltek.tubitak.gov.tr/merak_ettikleriniz/index.php?kategori_id=4&soru_id=2695) (2002).

58. Ludema, K.C., "Friction Wear Lubrication A Textbook In Tribology", **Crc Press**, Florida (1996).
59. Bhushan, B., Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund U., "Modern Triboloji Handbook", **Chapters**: 13,19,26 (2001).
60. <http://www.pvd-coatings.com/home/default.asp> (2005).
61. Çalışkan, M. " Katodik Ark PVD Yöntemiyle ZrN ve Zr/ZrN Kaplamaların Biriktirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2005).
62. IonBond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic A.Ş. doküman ve teknik bilgi broşürleri, [www.ionbond-tinkap.com](http://www.ionbond-tinkap.com), Ümranye/İstanbul (2011).
63. Titanit Ultra Sert Kaplamalar San. ve Tic. Ltd. Şti., "PVD Kaplama ", <http://www.titanit.com.tr/tin.asp>, Zeytinburnu/İstanbul (2009).
64. Çelik A., Alsarar A., Karakan M., "Plazma İle Termokimyasal Yüzey İşlemleri", **Mühendis ve Makine**, Sayı 510 (2002).
65. Özdemir, U., Erten, M., "Plazma (İyon) Nitrürleme Yöntemi Ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi", **Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, 1, 2 : 41-48 (2003).
66. Nilsson, D., "Synthesis And Evaluation Of Tac:C Low-Friction Coatings", **Acta Universitatis Upsaliensis**, Uppsala (2004).
67. Avuncan, G., Talaş Kaldırma Ekonomisi Ve Kesici Takımlar, Makine Takım Endüstrisi A.Ş., Gebze (1998).
68. Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/IBAD> (2008).
69. Foster H., 2004, IBAD, <http://cim.aamu.edu/Activities/ibad.html> (Kasım 2007).
70. Cotell, M., James Sprague, A., Fred Smidt, A., "ASM Handbook" 10th Edition Volume 5. **Surface Engineering** (1994).
71. ASM Handbook, "ASM International-USA, CVD/PVD Coatings" Volume 13- **Corrosion**, 456-457 (1992).
72. İnçal E. "PVD Yöntemi İle Kaplanan Hss Takım Çeliklerinin Karakterizasyonu Ve Aşınma Dayanımının İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2007)

73. Eryılmaz, L.O., 1996, "ZrB<sub>2</sub>/ZrBN Çok Katlı Kaplamaların Korozyon Davranışı", Yüksek Lisans Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü** İstanbul (1996)
74. Türküz, C., (1997), "Ark PVD Yöntemi ile TiN Kaplanmış Kesici Takımların Karakterizasyonu ve Performanslarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**.
75. Holmberg, K., Matthews, A., 1994, Coating Tribology, **Elsevier**, P(11-21, 172-189, 351-371)
76. Gündüz O., Oktar F., Salman S., "Effect Of Pulse Bias Voltage On ZrN Coatings By Cathodic Vacuum Arc", **Journal Of Engineering And Natural Sciences Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi** 2005/3
77. Alpdoruk D., "Kesici Takımlar Üzerine Yapılan Tin Sert Seramik Film Kaplamanın Kesici Takım Ömrüne Etkisi", **İTÜ Fen Bilimleri Ens.**, İstanbul (1996).
78. Cansever, N., 2001, "Manyetik Alanda Sıçratma Yönteminde Son Gelişmeler", **Mühendis Ve Makine Dergisi**, Sayı 496
79. Bunshah, R.F., "High Rate Physical Vapor Deposition Processes", Agard Lecture Series No: 106 – **Materials Coating Techniques**, Harford House- London, P 21-26 (1980).
80. Lermmps, [http://www.lermmps.com/PHP/HTML/textes.php?ref=process\\_depot%20p\\_hase%20vapeur.xls](http://www.lermmps.com/PHP/HTML/textes.php?ref=process_depot%20p_hase%20vapeur.xls) (Kasım 2007).
81. Dağ, M., "PVD yöntemi ile TiN kaplanmış AISI 304 Çeliğinin Aşınma Deneyleri ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara 1-93 (2002).
82. ÖZ ÇELİK TİCARET LTD.ŞTİ., <http://ozct.com.tr/tr/urunler.asp?sno=7> İstanbul (2012).
83. Kalkan, N., "PVD yöntemi ile TiN, CrN ve TiN / CrN Kaplanmış Soğuk İş Takım Çeliğinin Aşınma Performanslarının Deneysel İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya 1-102 (2008).
84. Türküz, C., Kayalı, S., " FBB ZrN Kaplamaların Mekanik Özelliklerine Bias Voltaj Modlarının Etkisi " **İtü dergisi/d Mühendislik** 5: 57-68 (2006).

85. HABIG, K.H., "Chemical Vapor Deposition and Physical vapor deposition coatings: Properties, tribological behavior and applications"; ***J. Vac. Sci. Technol.*** A4, P(2832-2843), 1986

**ÖZGEÇMİŞ****Kişisel Bilgiler**

Soyadı, Adı : İLİVAN, Muhammed  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 01.11.1984 / SİMAV  
Medeni hali : BEKAR  
Telefon : (0541) 618 74 87  
e-mail : mehmetilvan@hotmail.com

**Eğitim**

| Derece | Eğitim Birimi                                                                | Mezuniyet Tarihi |
|--------|------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Lisans | : Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fak.<br>Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümü | 2007             |
| Lise   | : Simav Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi                                     | 2001             |

**Yabancı Dil**

İngilizce