



**FİZİKSEL BUHAR KAPLAMA (PVD) İLE
BÜYÜTÜLMÜŞ TiN, CrN ve DLC FİLMLERDE
ARTIK GERİLME-ADEZYON İLİŞKİSİ**

Yeşim Zeynep MANDEV

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Prof. Dr. Ali Fatih YETİM
2018**

Her hakkı saklıdır.



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FİZİKSEL BUHAR KAPLAMA (PVD) İLE BÜYÜTÜLMÜŞ TiN, CrN ve DLC
FİLMLERDE ARTIK GERİLME-ADEZYON İLİŞKİSİ**

Yeşim Zeynep MANDEV

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali Fatih YETİM

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Erzurum

2018

Her hakkı saklıdır

T.C.
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY FORMU

FİZİKSEL BUHAR KAPLAMA (PVD) İLE BÜYÜTÜLMÜŞ TiN, CrN ve DLC
FİLMLERDE ARTIK GERİLME-ADEZYON İLİŞKİSİ

Prof. Dr. Ali Fatih YETİM danışmanlığında, Yeşim Zeynep MANDEV tarafından hazırlanan bu çalışma 03/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **Oy birliği / Oy çokluğu ile (.../...) ile kabul edilmiştir.**

Başkan : Prof. Dr. Ali Fatih YETİM *İmza* :

Üye : Doç. Dr. Fatih YILDIZ *İmza* :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Halim KOVACI *İmza* :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Doç. Dr. Arzu GÖRMEZ
Enstitü Müdürü

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

03 / 07 / 2018

Yeşim Zeynep MANDEV

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİKSEL BUHAR KAPLAMA (PVD) İLE BÜYÜTÜLMÜŞ TiN, CrN ve DLC FİLMLERDE ARTIK GERİLME-ADEZYON İLİŞKİSİ

Yeşim Zeynep MANDEV

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali Fatih YETİM

Yüksek sertlik değerleri, yüksek termal ve kimyasal kararlılıkları ve düşük elektriksel dirençleri nedeniyle TiN, CrN ve elmas benzeri karbon (DLC) son yıllarda endüstride sıklıkla kaplama malzemesi olarak kullanılırlar. Bu malzemeler mekanik aletler üzerindeki sert koruyucu kaplamalardan, mikro-elektronik endüstrisindeki difüzyon bariyerlerine kadar geniş uygulama alanlarına sahiptirler. Bu çalışmada AISI M2 yüksek hız takım çeliği taban malzemesi üzerine PVD yöntemiyle büyütülmüş TiN, CrN ve DLC ince filmlerde oluşan artık gerilmelerin malzemenin adezyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. PVD ile büyütülen filmlerin yapısal özellikleri ve artık gerilme değerleri XRD analizleriyle belirlenmiştir. Filmlerin mekanik özellikleri, SEM cihazıyla incelenmiştir. Kaplamaların mekanik özellikleri adezyon, mikro sertlik ve çizik testleri kullanılarak analiz edilmiştir. Tribolojik özellikler ise ball-on-disk yöntemi kullanılan aşınma testleriyle belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, en yüksek sertlik ve artık gerilme değeri TiN kaplı numunede, en düşük sertlik ve artık gerilme değeri ise CrN kaplı numunede ölçülmüştür. Beklenen şekilde en düşük artık gerilmeye sahip olan CrN kaplı numune en iyi adezyon davranışını göstermiştir. Yüksek sertlik ve artık gerilmenin adezyon davranışı üzerine olumsuz etkisi gözlenmiş ve daha düşük artık gerilmelere neden olacak yüzey işlemleri ile adezyonun iyileştirilebileceği tespit edilmiştir.

2018, 72 sayfa

Anahtar Kelimeler: TiN, CrN, DLC, Artık Gerilme, Adezyon, PVD

ABSTRACT

MASTER THESIS

RELATION OF RESIDUAL STRESS-ADHESION AT TiN, CrN and DLC FILMS DEPOSITED BY PHYSICAL VAPOR DEPOSITION (PVD)

Yeşim Zeynep MANDEV

Erzurum Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali Fatih YETİM

Due to their high hardness values, high thermal and chemical stability and low electrical resistances, TiN, CrN and diamond like carbon (DLC) have been used as coating material frequently in the industry in recent years. These materials range from hard protective coatings on mechanical tools to diffusion barriers in the microelectronic industry. In this study, residual stress-adhesion relationship between TiN, CrN and DLC thin films grown by PVD method on AISI M2 high speed tool steel base material was investigated. The structural properties and residual stress values of PVD-deposited films were determined by XRD analysis. The mechanical properties of the films were examined by SEM. The adhesion between the base material and the coating material was analyzed using micro hardness and scratch tests. Tribological properties were determined by wear tests using ball on disk method. As a result of the study, the highest hardness and residual stress values were determined in the TiN coated specimen, while the lowest hardness and residual stress values were determined in the CrN coated specimen. The CrN coated specimen, which had the lowest expected residual stress, showed the best adhesion behavior. High hardness and residual stress have adversely affected the adhesion behavior and it has been found that the adhesion process can be improved by surface treatments which result in lower residual stresses.

2018, 72 pages

Keywords: TiN, CrN, DLC, Residual Stress, Adhesion, PVD

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın gerekleőtirilmesinde, yardımını, tecrübelerini, bilgi ve hoőgörösünü esirgemeyen, çalışma anlayıőı ve becerisini daima örneğ aldığım, değerli tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Ali Fatih YETİM'e sonsuz teőekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim süresince kendilerinden aldığım derslerde ve çalıőmalarım süresince her anlamda yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Fatih YILDIZ'a ve Doç. Dr. Tuba YETİM'e ve deneysel çalıőmalarım süresince yardımını esirgemeyen Uzman Mustafa YAZICI'ya desteklerinden dolayı teőekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince verdiği destek ve sağladığı kolaylıklardan ötürü baőtta Sayın Koordinatörüm olmak üzere tüm TSE Doğu Anadolu Bölge Koordinatörlüğündeki mesai arkadaşlarıma őükranlarımı sunarım.

Ayrıca beni yetiőtiren anne ve babama, desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen kardeőlerime, duaları ile her zaman yanımda olan büyüklerime, sevgisiyle bana güç veren minik yeğenime ve bana tezimin hazırlanma aşamasında hem akademik hem de manevi anlamda destek olan eőim Emre MANDEV'e őükranlarımı sunarım.

Yeşim Zeynep MANDEV
Temmuz 2018

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| İÇİNDEKİLER | iv |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | vi |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | ix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Yüzey Mühendisliği..... | 2 |
| 1.2. İnce Filmler | 4 |
| 1.3. Yüzey Kaplama Teknikleri | 5 |
| 1.4. Buhar Fazı Prosesleri ve Fiziksel Buhar Kaplama Yöntemi (PVD)..... | 6 |
| 1.4.1. Buharlaştırma yöntemi | 7 |
| 1.4.2. İyon kaplama yöntemi..... | 13 |
| 1.4.3. Sıçratma (Sputtering) yöntemi | 14 |
| 1.5. İnce Film Kaplamalar..... | 18 |
| 1.5.1. TiN Kaplamalar..... | 18 |
| 1.5.2. CrN Kaplamalar | 18 |
| 1.5.3. DLC Kaplamalar | 19 |
| 1.6. Artık Gerilmeler | 20 |
| 1.6.1. Artık gerilmelerin oluşma sebepleri..... | 21 |
| 1.6.2. Artık gerilme ölçüm yöntemleri..... | 21 |
| 1.7. Aşınma | 31 |
| 1.7.1. Aşınma Mekanizmaları | 34 |

| | |
|------------------------------------------------------|-----------|
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ | 38 |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM..... | 47 |
| 3.1. Materyal | 47 |
| 3.2. Kaplama Sistemi | 47 |
| 3.3. XRD ve SEM ve Optik Mikroskop Çalışmaları | 48 |
| 3.4. Mikro Sertlik Ölçümleri..... | 51 |
| 3.5. Aşınma Deneyleri..... | 52 |
| 3.6. Çizme Testi | 54 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA..... | 56 |
| 4.1. Film Yapısı ve Kalınlığı..... | 56 |
| 4.2. XRD Analizleri | 58 |
| 4.3. Mikro Sertlik Bulguları | 59 |
| 4.4. Aşınma Deneyi Bulguları..... | 60 |
| 4.5. Çizme Testi Bulguları | 62 |
| 5. SONUÇ ve ÖNERİLER..... | 64 |
| 5.1. Sonuçlar | 64 |
| 5.2. Öneriler | 66 |
| KAYNAKLAR | 67 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 72 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler Açıklama

| | |
|---------------|-------------|
| μm | Mikronmetre |
| A | Amper |
| Å | Angstrom |
| L_c | Kritik Yük |
| λ | Dalga Boyu |

Kisaltmalar

| | |
|--------|-----------------------------------------------|
| PVD | Fiziksel Buhar Kaplama |
| DC | Doğru Akım |
| RF | Radyo Frekans |
| SEM | Taramalı Elektron Mikroskobu |
| XRD | X Işını Kırınım Ölçer |
| CVD | Kimyasal Buhar Kaplama |
| PACVD | Plazma Destekli Kimyasal Buhar Kaplama |
| CFUBMS | Kapalı Alan Dengesiz Manyetik Alanda Sıçratma |
| CAPVD | Katodik Ark Fiziksel Buhar Kaplama |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1. 1. Buharlaştırma yöntemi (Anonim, yusufbilgen.wordpress.com, 28.08.2017). | 8 |
| Şekil 1. 2. Rezistans ısıtıcı ile buharlaştırma yöntemi (Anonim, yusufbilgen.wordpress.com, 28.08.2017). | 8 |
| Şekil 1. 3. İndüksiyon akımı ile buharlaştırma yöntemi (Oktay, 2007). | 9 |
| Şekil 1. 4. Buharlaştırmanın elektron tabancası ile yapıldığı PVD sistemi ve elektron bombardımanının kullanıldığı buharlaştırma kaynağı (Oktay, 2007). | 10 |
| Şekil 1. 5. Deşarjların voltaj-akım özellikleri (Oktay, 2007). | 11 |
| Şekil 1. 6. Ark izi ve plazma oluşumunun şematik olarak gösterilişi | 11 |
| Şekil 1. 7. Lazer ile buharlaştırma yöntemi (Oktay, 2007). | 13 |
| Şekil 1. 8. Sıçratma yöntemi ve mekanizmasının şematik olarak gösterilişi (Oktay, 2007). | 15 |
| Şekil 1. 9. DC ve RF diyot yönteminin şematik olarak gösterilişi (Anonim, yusufbilgen.wordpress.com, 26.08.2017). | 16 |
| Şekil 1. 10. Sıcak katot triyot sıçratma yöntemi (Anonim, yusufbilgen.wordpress.com, 26.08.2017). | 17 |
| Şekil 1. 11. Manyetik alan sıçratma yönteminin şematik gösterilişi (Anonim, | 18 |
| Şekil 1. 12. Delik delme yöntemi (An, 2006). | 23 |
| Şekil 1. 13. Halka çekirdek yöntemi (An, 2006). | 23 |
| Şekil 1. 14. Kanal açma yöntemi (Yiğit vd., 2008). | 24 |
| Şekil 1. 15. Kesit profili ölçme yöntemi (Yiğit vd., 2008). | 25 |
| Şekil 1. 16. Tüp bölme yöntemi (Yiğit vd., 2008). | 25 |
| Şekil 1. 17. Kesitlere bölme yöntemi (Yiğit vd., 2008). | 26 |
| Şekil 1. 18. Kristal bir kafesin basma ve çekme gerilmeleri ve gerinmesiz durumundaki | 27 |
| Şekil 1. 19. X-Işınımı kırınımı yönteminin şematik gösterimi (Taş, 2010). | 28 |
| Şekil 1. 20. XRD test tekniği (Taş, 2010). | 29 |
| Şekil 1. 21. Nötron kırınımı yöntemi şematik gösterimi (Taş, 2010). | 30 |
| Şekil 1. 22. Ultrasonik muayene yönteminin şematik gösterimi (Anonim, | 31 |
| Şekil 1. 23. Tribolojik bir sistemi oluşturan unsurların şematik olarak gösterimi | 33 |
| Şekil 1. 24. Aşınma safhaları. | 34 |
| Şekil 1. 25. Adhesiv aşınma esnasındaki malzeme transferi. | 34 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1. 26. Abrasif aşınma mekanizmaları (a) Kesme (b) Çatlama (c) Sürtme (d) Kopma. | 35 |
| Şekil 1. 27. Erozyon aşınması mekanizmaları (Teber, 2015). | 36 |
| Şekil 3. 1. PVD-MT / 2M 2T cihazı (http://www.vaksis.com , 28.08.2017). | 48 |
| Şekil 3. 2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM). | 49 |
| Şekil 3. 3. X-Işını kırınım ölçer (XRD). | 50 |
| Şekil 3. 4. Bruker Contour GT-I | 51 |
| Şekil 3. 5. Shimadzu HMV G20 | 52 |
| Şekil 3. 6. Ball-on-disk yönteminin şematik gösterimi. | 53 |
| Şekil 3. 7. Bruker-UMT tribometre. | 54 |
| Şekil 3. 8. Çizme testinin şematik olarak gösterimi. | 55 |
| Şekil 4. 1. TiN filmin yapısı ve kalınlığı. | 56 |
| Şekil 4. 2. CrN filmin yapısı ve kalınlığı. | 57 |
| Şekil 4. 3. DLC filmin yapısı ve kalınlığı. | 57 |
| Şekil 4. 4. XRD analizleri (a) DLC kaplama (b) TiN kaplama (c) CrN kaplama. | 58 |
| Şekil 4. 5. İşlemsiz, TiN, CrN ve DLC kaplanmış AISI M2 yüksek hız takım çeliğinin sertlik değerleri. | 59 |
| Şekil 4. 6. TiN, CrN ve DLC kaplı numunelerin artık gerilme-sertlik ilişkisi. | 60 |
| Şekil 4. 7. İşlemsiz, TiN, CrN ve DLC kaplı numunelerin aşınma-sertlik ilişkisi. | 61 |
| Şekil 4. 8. Aşınma izlerinin SEM görüntüleri (a) CrN kaplanmış (b) TiN kaplanmış (c) DLC kaplanmış. | 62 |
| Şekil 4. 9. Çizik izleri SEM görüntüleri (a) CrN kaplanmış (b) TiN kaplanmış (c) DLC kaplanmış. | 63 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 1. 1. Yüzey mühendisliğinde uygulanan yöntemler (Yetim, 2009)..... | 3 |
| Çizelge 1. 2. Buharın oluşumuna göre PVD sınıflandırılması..... | 7 |
| Çizelge 3. 1. AISI M2 çeliğinin kimyasal bileşimi (%)..... | 47 |
| Çizelge 3. 2. Aşınma deneyi parametreleri..... | 53 |
| Çizelge 4. 1. TiN, CrN, DLC için deney sonuçları..... | 58 |



1. GİRİŞ

Malzemelerin kullanımında kitlesel özellikleri kadar yüzey özellikleri de oldukça önem arz etmektedir. Malzemelerin kitlesel özelliklerini belirleyen fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin yanı sıra yüzey özellikleri malzemelerin aşınma, sürtünme, korozyon, katalitik ve optik özelliklerini büyük oranda etkiler. Bu özellikler, malzemenin iç yapısından farklı bir yapı sergileyen yüzey özelliklerinin fonksiyonudur. Yüzey mühendisliği, malzemelerin yüzey özelliklerinin belirlenmesi ve belirlenen bu özelliklerin değiştirilmesine dayalı çalışmalar olarak adlandırılabilir (Agarwala, 1997).

Malzemede oluşabilecek aşınma, korozyon vb. hasarlar, malzemenin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesiyle en alt seviyeye getirilmiş olur. Bunun nedeni ise malzeme üzerine gelen yükün öncelikle malzemenin yüzeyi ile temas halinde olmasıdır. Böylece maliyet ve zamandan tasarruf etmek için yüzey özelliklerini iyileştirmek büyük bir adım olacaktır.

Günümüzde kitlesel olarak üretilmesi zor ve pahalı olan bileşiklerin modern yüzey işlemleri ile (PVD, CVD vb.) üretimi mümkündür ve malzeme performanslarında başarılı gelişmeler sağlanabilmektedir. Yüzey işlemleriyle yalnız kitlesel malzemelerin yüzeylerine istenilen özellikler kazandırılmaz ayrıca bu yöntemlerle üretilip doğrudan hizmete sunulan malzemeler gittikçe modern yaşamın bir parçası olmaktadır (Lindsay, 1998).

Son yüzyılda üzerinde çalışılan Ar-Ge çalışmaları arasında ince filmler büyük bir ivme kazanmıştır. İnce filmlerin performansı malzeme açısından son derece önem arz etmektedir. Bunun nedeni ise, edinilen performansın üretim teknikleriyle direkt olarak ilişkili olmasıdır. Gelişen teknolojiyle birlikte, ince filmlerin üretilmesinde alternatif yeni üretim teknolojileri ortaya çıkmakta ve geliştirilmektedir (Sönmezoğlu vd, 2012).

Bu tez çalışmasının temel amacı, filmlerde oluşan artık gerilmeler ile filmin yüzeye adezyonu arasındaki ilişkiyi tespit etmektir. Bu amaçla, fiziksel buhar kaplama (PVD) metoduyla kaplanmış TiN, CrN ve DLC film numunelerin SEM, XRD ile yapısal ve aşınma deneyleri, sertlik cihazı, çizme testi ile tribolojik özellikleri araştırılmıştır.

1.1. Yüzey Mühendisliği

İnsanoğlu ilk çağlardan beri malzemelerin yüzey özelliklerini değiştirerek yeni mühendislik özellikleri elde etmek için çabalamıştır. Modern çağda malzeme yüzeylerinin değiştirilmesine yönelik işlemler bilimsel olarak “yüzey mühendisliği” adını alır ve “yüzey ve taban malzemenin tasarımını birlikte ele alan ve bu ikisinin tek başlarına sağlayamayacağı özellikleri ekonomik olarak sağlayabilen işlemler” olarak tanımlanır (Anonymous, 2006, <https://slidex.tips>, 15.08.2017).

Yüzey Mühendisliğinde amaç; belirli uygulamalar için en ekonomik anlamda, optimum yüzey özellik tasarımlarını verecek en uygun teknolojilerin ortaya konmasını sağlamaktır.

Yüzey mühendisliği teknolojisinin avantajları;

- Performans artışı
- Maliyet düşüşü
- Fonksiyonellikte iyileşme
- Mühendislik problemlerini çözümüleme
- Güç tüketiminde düşüş
- Verim artışı

olarak sayılabilir.

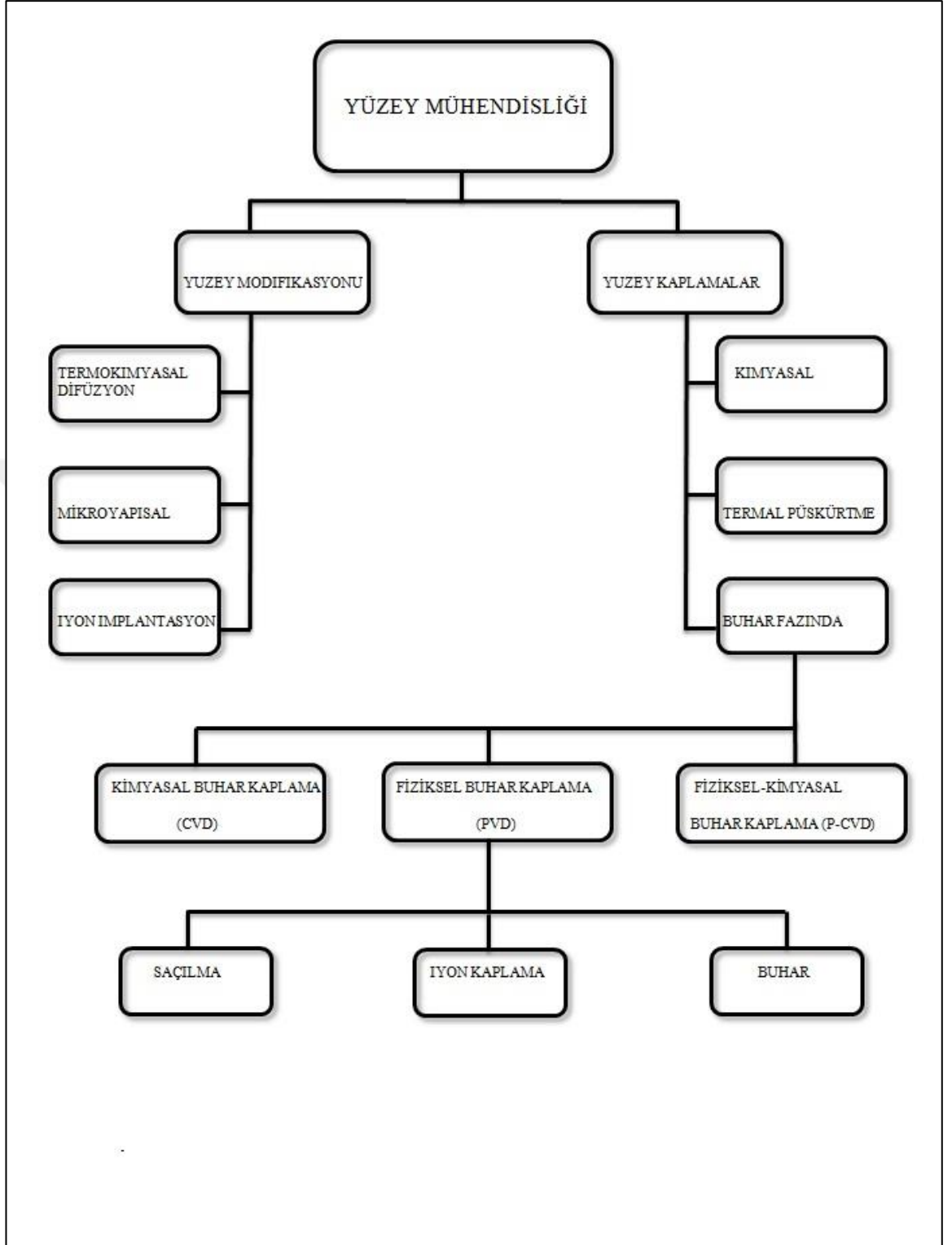
Yüzey mühendisliğinde uygulanan yöntemler iki temel gruba ayrılabilir;

- Yüzey işlemleri
- Yüzey kaplamaları

Çizelge 1.1’de Yüzey mühendisliğinde uygulanan yöntemlerin bir sınıflandırılması yapılmıştır.

1. GİRİŞ

Çizelge 1. 1. Yüzey mühendisliğinde uygulanan yöntemler (Yetim, 2009).



Yüzey işlemleri genellikle difüzyon yoluyla gerçekleştirilir ve taban malzemenin termodinamik özellikleri ile direkt olarak ilgilidir. Yüzey kaplamaları ise, taban malzemenin termodinamiği ile direkt olarak ilgili olmadığı için oldukça fazla uygulama imkânı sunmaktadır. Böylece oluşturulan malzeme; gerek taban malzeme ve gerekse kaplama malzemeleri açısından çok geniş bir özellik çeşitliliği sağlarken teknolojik önemini ise artırmaktadır (Anonymous, 2006, <https://slidex.tips>, 15.08.2017).

Yüzey işlemlerinin uygulanmasının farklı nedenleri vardır. Bunlar; korozyonu önlemek için boyama ve kaplama, bası artık gerilmeleri oluşturmak ve yüzey sertliğini artırmak için bilye püskürtme, martenzit tabakası oluşturmak için su verme, tribolojik ve korozif özellikleri iyileştirmek için ince film kaplama ya da yüzeyin kimyasal özelliklerini değiştirmektir.

1.2. İnce Filmler

İnce filmlere olan ilgi yüzyıllar öncesinde soy metallerin ince filmlerinin, cam ve seramik üzerine dekorasyon malzemesi olarak kullanılmasıyla başlamıştır. 1900'lü yıllardan itibaren ise ince film teknolojisine olan bu ilgi günümüze kadar artarak devam etmiştir. Malzeme endüstrisinin temel unsurlarından olan ve Ar-Ge çalışmalarında önemli bir yeri olan ince filmler, son yıllarda en çok ilgi çeken araştırma konularından biridir. İnce filmler, çeşitli üretim teknikleri ile kaplanacak olan malzemenin atomlarının veya moleküllerinin, filmi destekleyerek oluşumuna yardımcı olan bir taban malzeme üzerine dizilmesi ile ince bir tabaka halinde oluşturulurlar (Sönmezoğlu vd. 2003).

En bilinen ince film uygulamalarından biri her gün kullandığımız aynalardır. Aynalar, bir cam ve arka yüzeyinde yansıma sağlayan ince, metal kaplamadan oluşur. Bilgisayar hafıza aygıtlarının üretiminde ise ferromanyetik ve ferroelektrik ince filmler kullanılmaktadır. Farmakolojide dahi yer bulan ince filmler, ince film bataryaları ve güneş pillerinde de kullanılmaktadır. Aşınma ve korozyon dayanımları yüksek olan sert seramik ince filmler yaygın kullanım alanına sahiptir. Bu kaplamaların kesici aletlerde kullanılmasıyla, aletlerin kullanım ömürleri birkaç kat uzatılmaktadır. Araştırmaları devam eden inorganik oksit malzemelerden yapılan yeni ince filmler sayesinde ileride daha ucuz ve çevre dostu, şeffaf transistörler üretilebilecektir. İnce filmleri malzeme

yüzeyine kaplamak için aşağıda bahsedilen yüzey kaplama teknikleri uygulanır (Anonim, 2013, <http://www.fizikmakaleleri.com>, 15.08.2017).

1.3. Yüzey Kaplama Teknikleri

Yüzey mühendisliğinden, aşınma sorunlarına çözüm bulmak için son yıllarda endüstride yaygın bir şekilde yararlanılmaktadır. Bu tür sorunlar imalatta yüzey kaplama gibi yüzey teknikleri başvurularak önemli derecede giderilebilir. Yüzey mühendisliği bu yüzyılın başlarında gaz karbürleme, sert kaynak, nitrürleme ve alevle sertleştirme ile gelişmiş ve fiziksel ve kimyasal buhar kaplama yöntemleri ile büyük ilerleme göstermiştir. Yüzey kaplamalar korozyon direncini geliştirmek, mekanik ve elektriksel özellikleri iyileştirmek ya da otomotiv, optik, uzay, nükleer ve genel mühendislik problemlerinde çokça kullanılmaktadır (Alsaran vd, 2002).

Daha önce elde edilmemiş olan özellikleri sağlayabilen yeni kaplama yöntemlerinin geliştirilmesiyle, tribolojik kaplamalar geçmiş yıllarda hızlı bir şekilde gelişme göstermiştir. Bu özellikler morfoloji ve adezyonu içermektedir. Kaplama tekniği veya yüzey işleminin belirlenmesinde, taban malzemenin geometrik parametreleri ve iç yapısı oldukça önemlidir. Ayrıca, kaplama malzemesinin arzu edilen yapıda oluşturulabilmesi, uygulanan tekniğe uyumu, istenen adezyon özellikleri, kaplama cihazının kullanılabilirliği ve maliyet gibi durumlar da dikkate alınmalıdır (Yetim, 2009).

Kaplama materyalinin fiziksel durumuna göre kaplama yöntemleri üç temel grupta incelenmektedir. Bunlar, termal püskürtme, buhar fazında ve kimyasal kaplamalar olarak sınıflandırılabilir. Uygun bir solüsyon içerisinde gerçekleştirilen kimyasal kaplama işlemi ya anorganik polimer reaksiyonları ya da elektrik akımı ile gerçekleştirilir. Kaplama malzemesinin farklı kaynaklar vasıtasıyla buhar fazına getirilmesi ve taban malzeme üzerine büyütülmesi ise buhar fazında kaplama işlemidir. Kaplama malzemesinin, taban malzemedan uzak bir noktada ergitilip ince partiküller halinde püskürtülmesinden sonra taban malzemenin soğutularak kaplama yüzeyine düşen partiküllerin katılmasıyla gerçekleşen işlem ise termal püskürtme işlemidir (Yetim, 2009).

1.4. Buhar Fazı Prosesleri ve Fiziksel Buhar Kaplama Yöntemi (PVD)

Buhar partiküllerinin kinetik enerjisinden yararlanan bu proseslerde, kaplama; buharın kinetiği, kaplamanın iç yapısı, adezyonu ve mekanik özellikleri üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Çoğu yumuşak ve sert kaplamalar buhar fazında yapılabilir. Başlıca buhar faz kaplama prosesleri;

- Kimyasal buhar kaplama (CVD),
- Fiziksel buhar kaplama (PVD)
- Plazma destekli kimyasal buhar kaplama (PACVD)

teknikleridir.

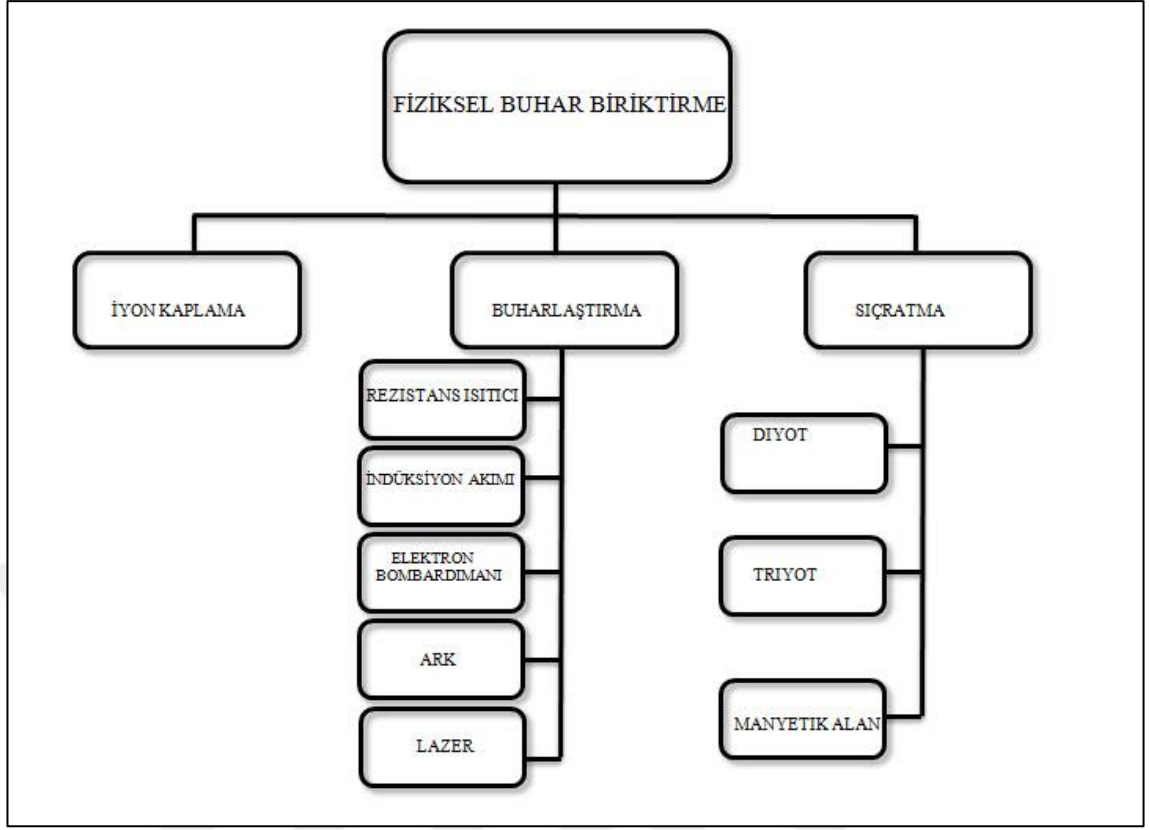
Bu proseslerden, fiziksel buhar kaplama (PVD) tekniği, katı bir kaynağın vakum altında saçılma ya da buharlaştırılmasıyla bu maddenin kaplama oluşturmak için kaplanacak taban malzeme yüzeyine atomik ve iyonik olarak biriktirilmesi prosesidir. Yüksek vakum altında buharın yoğunlaştırılmasıyla meydana getirilen bu teknikte kaplama sıcaklığı 500°C'nin altındadır. Kaplamanın difüzyonu kaplanan malzemenin kinetik enerjisine ve yüzey temizliğine bağlıdır.

Fiziksel buhar biriktirme (PVD);

1. Buharlaştırma
2. İyon Kaplama
3. Sıçratma

olmak üzere 3 temel prensibe sahiptir.

Çizelge 1. 2. Buharın oluşumuna göre PVD sınıflandırılması.

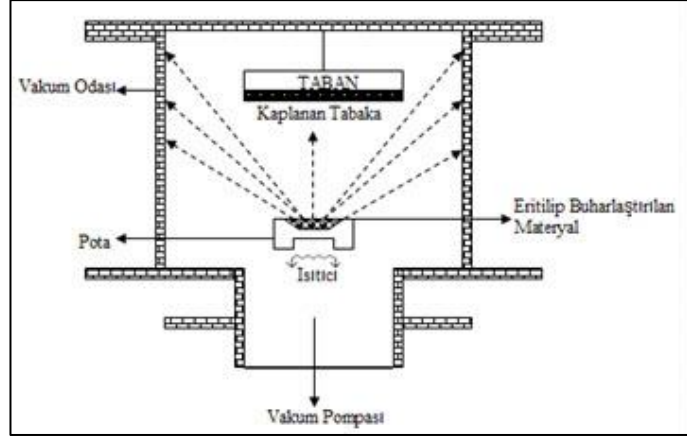


1.4.1. Buharlaştırma yöntemi

Şekil 1.1’de şematik olarak verilen buharlaştırma yönteminde, kaplama yapılacak malzeme, ince film halinde öncelikle buharlaşması için gerekli olan sıcaklığa kadar ısıtılır ve buharlaştırılan malzemenin soğuk bir sıcaklık bölgesindeki taban malzeme üzerine taşınarak yoğunlaştırılır. Bu yöntemle göre malzeme çeşitli durumlarda ısıtılır ve buhar fazı oluşturulur ve buhar, düşük sıcaklık bölgesine taşınır ve burada taşıyıcılar üzerine yoğunlaşır.

Buharlaştırma yöntemi ile elde edilen buharlaştırmalar;

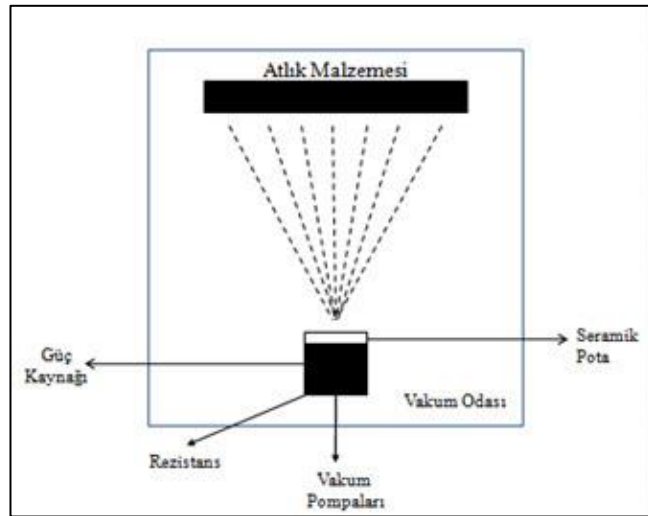
- Rezistans ısıtıcı
- İndüksiyon akımı
- Elektron bombardımanı
- Ark
- Lazer ile buharlaştırma olarak gruplandırılmaktadır.



Şekil 1. 1. Buharlaştırma yöntemi (Anonim, yusufbilgen.wordpress.com, 28.08.2017).

A. Rezistans ısıtıcı ile buharlaştırma

Bu yöntemde, buharlaştırılacak olan kaplama malzemesi, oksidasyona ve sıcaklığa karşı direnci yüksek refrakter pota içerisine yerleştirilir. Isıtma işlemi potanın etrafına sarılan rezistans teller ile gerçekleştirilir. Tungsten, tantal, molibden vb. refrakter metallerin seramik kompozitleri pota malzemesi olarak kullanılırlar. Rezistans ısıtıcı ile buharlaştırma yöntemi Pb, Cu, Al, Ag, Mg gibi düşük ergime sıcaklığına sahip malzemelerin buharlaştırılmasında kullanılır. Bu yöntemin avantajları, maliyetinin düşük olması, düşük potansiyel enerji ve yüksek akım düzeneklerinin kullanılabilirdiği bir yöntem olmasıdır. Dezavantajı ise kaplamanın yüzeye adezyonun düşük ve gözenekli bir yapı oluşturmasıdır. Daha çok dekoratif amaçla kullanılan bu kaplamalar optik amaçlı da kullanılmaktadır.



Şekil 1. 2. Rezistans ısıtıcı ile buharlaştırma yöntemi (Anonim, yusufbilgen.wordpress.com, 28.08.2017).

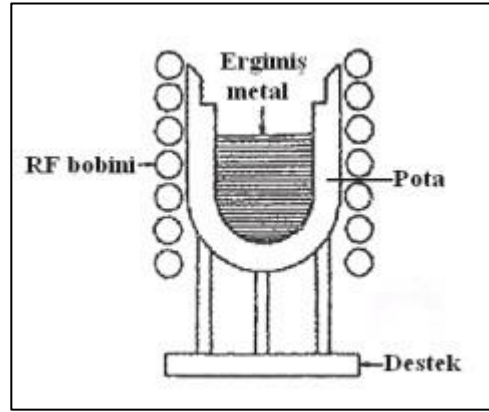
1. GİRİŞ

Bu yöntemde, taban pürüzlü bir yüzeye sahip ise düzgün olmayan kaplamalar oluşur. Bunun nedeni ise buharlaşan materyal genellikle tek bir yönden tabana ulaşır. Dışa eğimli olan bölgeler bu durumda materyalin tabana homojen dağılmasını engeller. Bu duruma “gölgeleme” denir. Bazı sistemlerde taban sürekli döndürülerek gölgeleme azaltmaya çalışılır ve kaplama düşük vakumda yapılırsa düzgün olmayan, bulanık filmler oluşur.

Bu yöntem, diğer buharlaştırma yöntemlerine göre daha ucuz olmasına rağmen bazı önemli sınırlamaları vardır. Yalnızca düşük ergime sıcaklığına sahip malzemelere uygulanabilir ve malzemelerin geometrileri nedeniyle büyük çaplı üretimler zordur. Kaplama saflığı potanın sıcaklıktan etkilenecek buharlaşması ile bozulabilir.

B. İndüksiyon akımı ile buharlaştırma

Bu yöntem, indüksiyon akımı ile üretilen ısı sonucunda oluşur. Bu akım, pota etrafına su soğutmalı sarılan bakır tellere uygulanan indüksiyon akımıdır. Yöntemin eksisi yüksek maliyetli olmasıdır. Artısı ise ergime sıcaklığı 2100°C’ ye kadar olan tüm malzemelere uygulanabilmesidir.



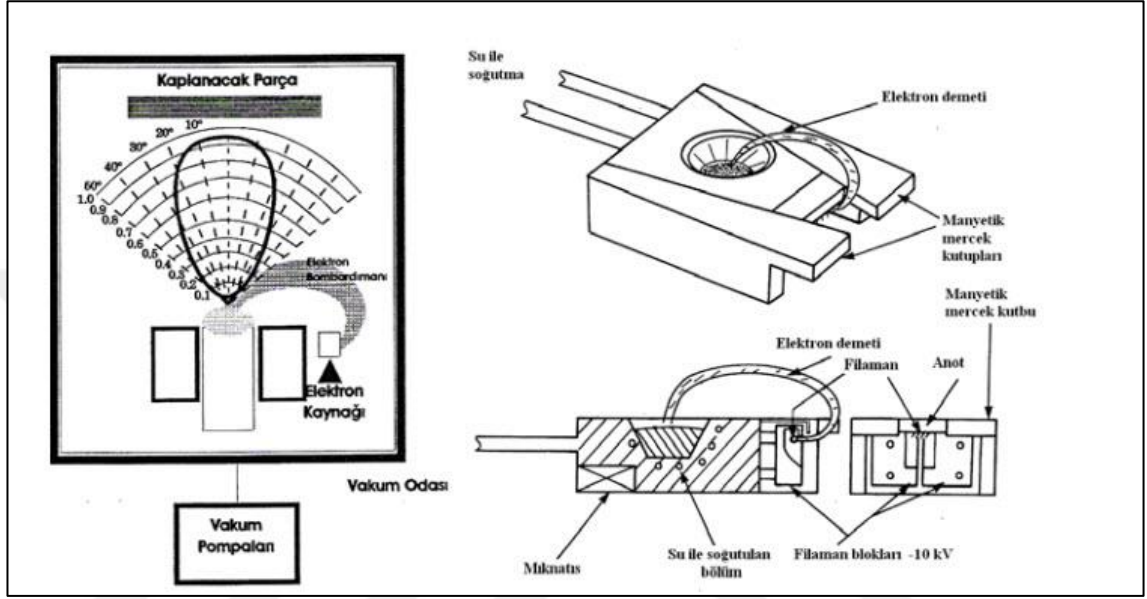
Şekil 1. 3. İndüksiyon akımı ile buharlaştırma yöntemi (Oktay, 2007).

C. Elektron bombardımanı ile buharlaştırma

Elektron bombardımanı ile buharlaştırma yöntemi ile, yüksek enerjili elektronların bir elektron kaynağı ile, hedef malzemeye gönderilmesi ile ortaya çıkan

1. GİRİŞ

enerjinin malzemeyi buharlaştırması ilkesine dayanır. Bu teknik ile elektronlar, oyuk katot ya da elektron tabancası ile üretilirler. Elektron tabancası yöntemi, bir filaman tel üzerinden akım geçirilerek telin ısınması ve elektron yayması yöntemidir. Elde edilen elektronlar oluşturulan manyetik alan ile hızlandırılarak yönlendirilirler. Elektronları hızlandırmak için 5-15 kV dolaylarında bir potansiyel enerji kullanılır.



Şekil 1. 4. Buharlaştırmanın elektron tabancası ile yapıldığı PVD sistemi ve elektron bombardımanının kullanıldığı buharlaştırma kaynağı (Oktay, 2007).

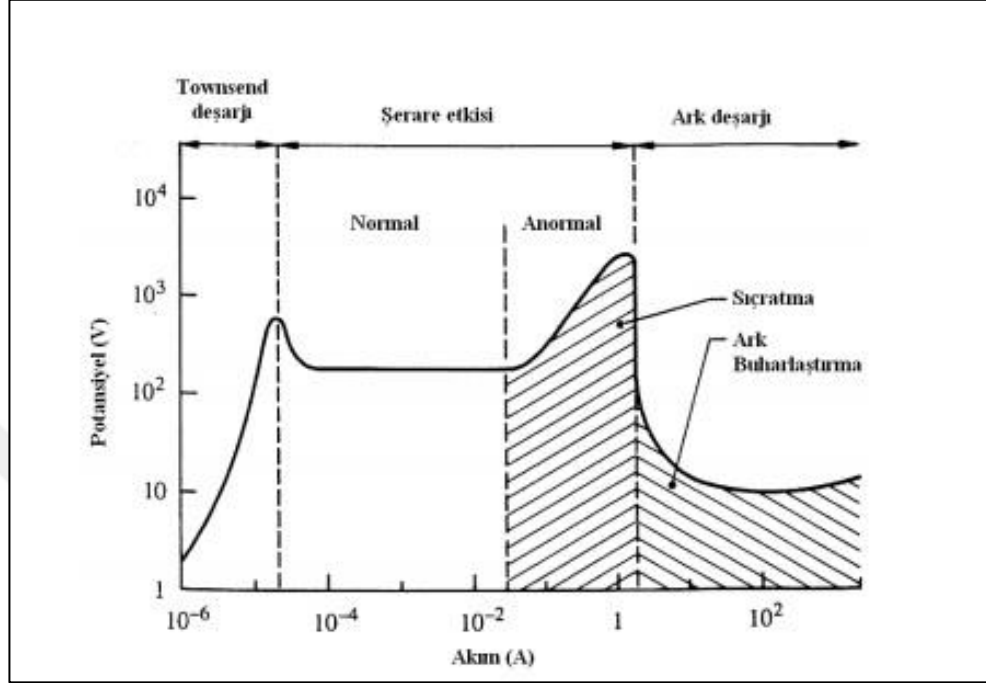
D. Ark ile buharlaştırma

Bu yöntemin ilk uygulaması, 1892 yılında ark plazma kaplamalar konusunda patent sahibi olan Thomas Edison tarafından uygulanmıştır (Sanders et al. 2000). Arkın gerçekleştiği bölge, Şekil 1.5'te gösterilen deşarjların voltaj-akım grafiğinde görülmektedir. Towsende deşarjı, 10^{-5} A'den daha düşük akım değerlerindeki boşalmalar ile oluşmaktadır. 1 A'den daha yüksek akım değerlerinde ise, katottan elektronların yayıldığı "ark deşarjı" meydana gelmektedir. Ark deşarjı, herhangi farklı bir gaza gerek olmadan kendiliğinden devam edebilmektedir.

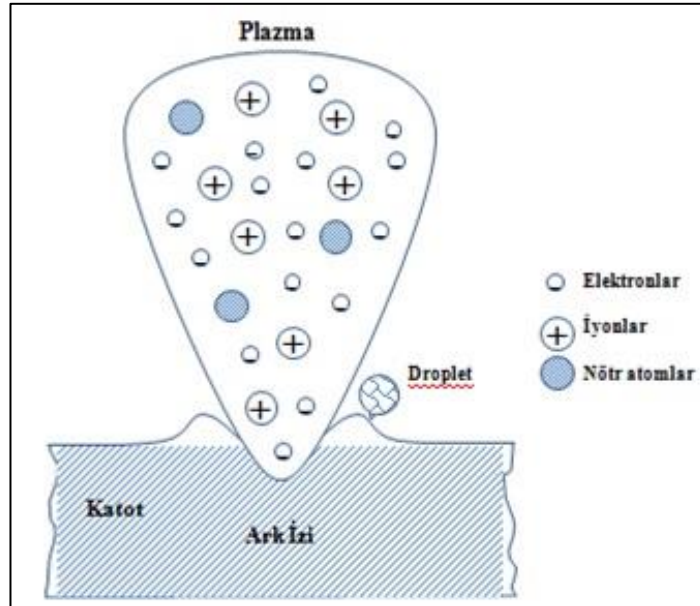
Katodik ark PVD tekniğinde ise hedef malzemenin iyonize olması ve yoğunlaştırılması maksadıyla ark kullanılmaktadır. Bu teknikte katot olarak buharlaştırılacak olan hedef malzeme vakum odasına, anot olarak ise kaplanacak olan taban malzemesi yerleştirilir. Uygulanan düşük voltaj ve yüksek akım ile katot üzerinde

1. GİRİŞ

“ark” oluşturulur. Katot yüzeyinde arkin meydana geldiği yerlerde, sıcaklığın çok yüksek değerlere (yaklaşık 2500°C) kadar çıkması, buralarda ergime ve buharlaşmalara sebep olur. Şekil 1.6’da şematize edilmiş ark izi ve plazma oluşumu görülmektedir.



Şekil 1. 5. Deşarjların voltaj-akım özellikleri (Oktay, 2007).



Şekil 1. 6. Ark izi ve plazma oluşumunun şematik olarak gösterilişi (Anonim, yusufbilgen.wordpress.com, 26.08.2017).

1. GİRİŞ

Arkın, katot üzerindeki ark izinin oluşumundan 5-40 ns sonra başka bir bölgede ark izi oluşturması, katot yüzeyinin homojen bir şekilde buharlaşmasını sağlamaktadır. Oluşan buhar fazı, katodun önündeki yüksek elektron yoğunluğuna sahip plazmada iyonize olur ve taban malzemesi üzerine hızla taşınır.

Ark ile buharlaştırma yönteminin avantajları;

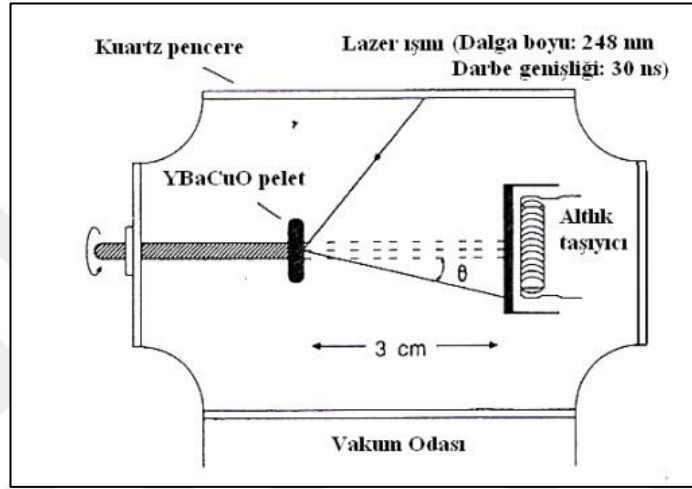
- Plazmanın direkt kendiliğinden oluşması,
- Taban malzemesi sıcaklıklarının düşük olması,
- Katı fazdan doğrudan buhar fazına geçilebilmesi,
- Yüksek biriktirme ve iyonizasyon hızlarında kaplama yapılabilmesi,
- Kaplamadan önce yapılan yüzey temizleme işleminin katot iyonları ile yapılabilmesi,
- Taban malzemesi ile kaplama arasındaki yapışmanın iyi olması,
- Katodun uzun süre kullanılabilmesi

olarak bahsedilebilir.

Bu yöntemin dezavantajları ise, “droplet” olarak adlandırılan ve katot üzerinde meydana gelen aşırı ısınma nedeniyle oluşan sıvı halde bulunan kütlelerin de iyonlar ile birlikte taban malzemesi üzerine taşınması ile oluşan, 0.1-30 µm boyutlarındaki mikro ve makro partiküllerin meydana gelmesidir. Bunlar, kaplama yüzeyinin homojenliğini engeller ve yüzey pürüzlülüğünü artırarak kaplama kalitesinin düşmesini sağlarlar. Dropletlerin etkisi, yüzey pürüzlülüğünü çok etkilemeyecek durumlarda kaldığı sürece, kaplamanın mekanik özellikleri üzerindeki negatif etkisi yok sayılabilmektedir (Oktay, 2007).

E. Lazer ile buharlaştırma

Bu yöntemde, kaplanacak olan taban malzeme, vakum odasından lazer kaynağı kullanılarak buharlaştırılır ve taban malzemesi üzerine büyütülür. Buharlaştırılacak malzemenin ışınım soğurma karakteristiği, kullanılacak lazerin dalga boyunu belirlemektedir. Bu yöntem ile lazer ışını soğurabilen yüksek ergime sıcaklığına sahip metaller buharlaştırılabilmektedir.



Şekil 1. 7. Lazer ile buharlaştırma yöntemi (Oktay, 2007).

1.4.2. İyon kaplama yöntemi

Vakum kaplama işlemi olan bu yöntem, kaplama malzemesinin iyon şeklinde taban malzemeye çökmesi ile gerçekleştirilir. Buharlaştırma ile sıçratma (sputtering) yönteminin karışımı olan bu yöntem, yaklaşık olarak 10^{-2} torr'luk basınçta genellikle argon gazı atmosferinde gerçekleştirilir. Kaplama malzemesi, iyon biçiminde taban malzeme yüzeyine çarpar. Malzeme tutucu katot olarak bağlanır. Anot ise filament ya da rezistans ısıtmalı bir buharlaştırma kaynağıdır. Taban malzemeye 2-5 kV arasında değişen bir gerilim uygulanır. Böylece filament ile taban malzeme arasında bir elektriksel boşalma oluşur. İyon kaplama işleminden önce taban malzeme, yüzeyde bulunabilecek kirlilikleri ve oksitleri gidermek amacıyla bir inert gaz ile iyon bombardımanına tabii tutulur. Bu işlemden sonra, iyon bombardımanını kesmeden kaplama işlemine başlanılır. Kaplama hızının püskürtme hızını geçmesi kaplamanın oluşabilmesi için gereklidir (Yetim, 2009).

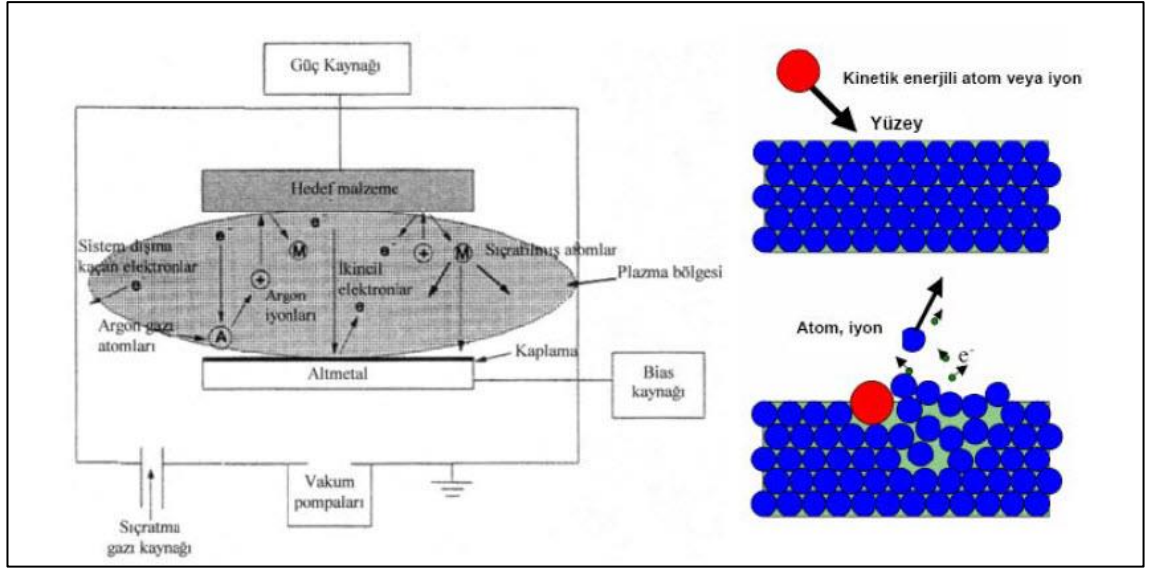
1.4.3. Sıçratma (Sputtering) yöntemi

Sıçratma ile kaplama ilk kez 1852 yılında Grove tarafından DC (doğru akım) gaz parlama deşarj (Glow Discharge) tüpünde gözlemlenmiştir (Mattox, 2003). Hedef malzeme yüzeyinin, genellikle plazma veya iyon tabancası aracılığı ile hızlandırılmış atomik boyuttaki yüksek enerjili gaz iyonlarıyla bombardıman edilerek, atomların yüzeyden sıçratılması ve hedef malzeme yüzeyinden koparılan atomların buhar fazına geçerek taban malzemesi üzerine biriktirilmesi esasına dayanır.

Bu yöntem ile çoğu malzeme başarılı bir şekilde kaplanabilir. Ancak plazma içindeki iyonlaşma etkisinin ve birikme hızının düşük olması ve taban malzeme sıcaklığının yükselmesi sistemin kullanımını sınırlamıştır. Son yüzyılda sıçratma teknolojisindeki gelişmelerin tamamına yakını manyetik alanda yapılmıştır. Bunun sebebi ise magnetron ile sıçratma yöntemiyle yapılan kaplamaların mikroelektronik, optik, türbin bıçakları, manyetik ve optik diskler ve kesici takımlar gibi endüstrinin pek çok alanında kullanılmasıdır.

Bu yöntemin en önemli avantajı ise farklı buhar basınçlarında farklı buharlaşma hızlarına sahip alaşımların, bileşimleri değişmeden başarıyla biriktirilebilmesidir. Dezavantajları ise; sınırlı kaplama kalınlığı ve buharlaştırma yöntemlerine göre çok daha fazla olan elektrik tüketimi nedeniyle ortaya çıkan yüksek maliyetler gösterilebilir. Şekil 1.8'de sıçratma yöntemi ve mekanizması şematik olarak gösterilmektedir.

Sıçratma yöntemi, diyot, triyot ve manyetik alanda sıçratma olarak gruplandırılmaktadır.



Şekil 1. 8. Sıçratma yöntemi ve mekanizmasının şematik olarak gösterilişi (Oktay, 2007).

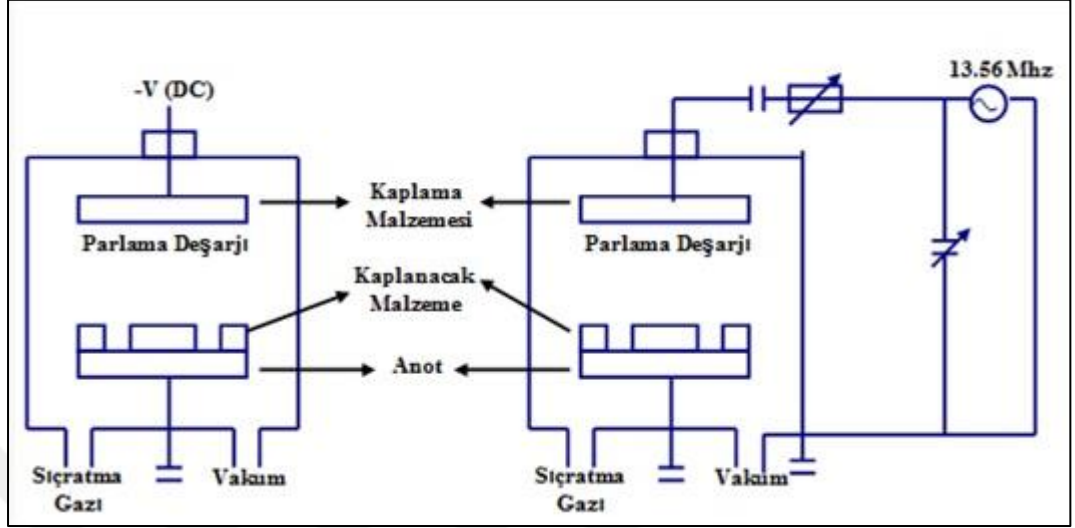
A. Diyot sıçratma

Diyot sıçratma yönteminde, karşılıklı yerleştirilmiş bir çift düzlemsel elektrot olan anot ve katottan kullanılır. Kaplama malzemesi katodun plazma ile temas halinde olan üst yüzeyinde bulunurken, su soğutmalı hazne ise katodun altında bulunmaktadır. Anoda kaplama malzemesi yerleştirildikten sonra, sıçratma haznesi vakum altına alınır ve hazneye soy bir gaz verilir. Devamında elektrotların arasına birkaç kV'lık gerilim ve 1-10 k Ω 'luk direnç uygulanıp, parlama deşarjı (glow discharge) oluşturulur. Oluşturulan parlama deşarjındaki pozitif iyonlar katot yüzeyine çarptıktan sonra buradan kaplama malzemesini sıçratarak taban malzeme üzerinde ince bir film meydana getirir. İletken olan kaplama malzemelerinde parlama deşarjı oluşturmak için doğru akım (DC) kullanılırken yalıtkan malzemede ise doğru akımdaki voltaj yerine radyo frekans (RF) voltaj kullanılmaktadır.

Diyot sıçratma yöntemi, göreceli olarak basit bir yöntem olduğu için sıklıkla tercih edilmektedir. Fakat bu yöntemin ikincil elektronların kullanılmaması ve sınırlı biriktirme yüzey alanına sahip olması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Şekil 1.9'da DC ve RF diyot sıçratma yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.

1. GİRİŞ

Diyot sıçratma yöntemi kolay olması nedeniyle yaygın şekilde kullanılmasına rağmen ikincil elektronların kullanılmaması ve çok sınırlı biriktirme yüzey alanı gibi dezavantajlara sahiptir.

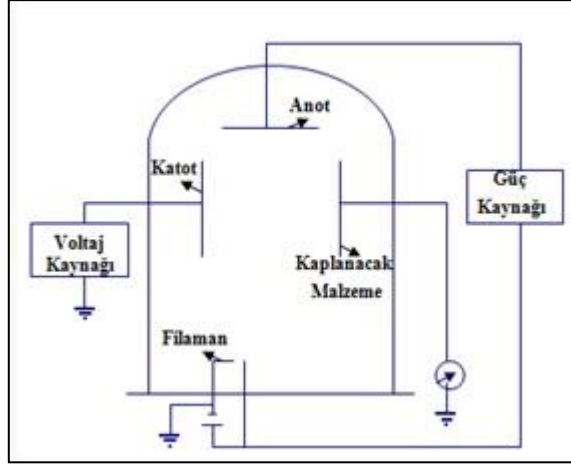


Şekil 1. 9. DC ve RF diyot yönteminin şematik olarak gösterilişi (Anonim, yusufbilgen.wordpress.com, 26.08.2017).

B. Triyot sıçratma

Diyot sistemine ek olarak bu yöntemde, ısıtıcı ve pozitif potansiyelli bir elektrot bulunmaktadır. Bunun nedeni ise düşük basınçlarda iyonlaşmayı arttırmak ve parlama deşarjını sürdürmektir. Bu ısıtıcı ve pozitif potansiyelli elektrot, iyonizasyon derecesini arttırarak sıçratma verimini yükseltmektedir. Katodun karşısına yerleştirilen birincil anot, plazmanın oluşmasını sağlayan gaz iyonizasyonu potansiyeline yakın bir potansiyele sahiptir. Tüm bu koşullar, düşük basınç değerlerinde bile homojen bir plazma elde edilmesini sağlamaktadır.

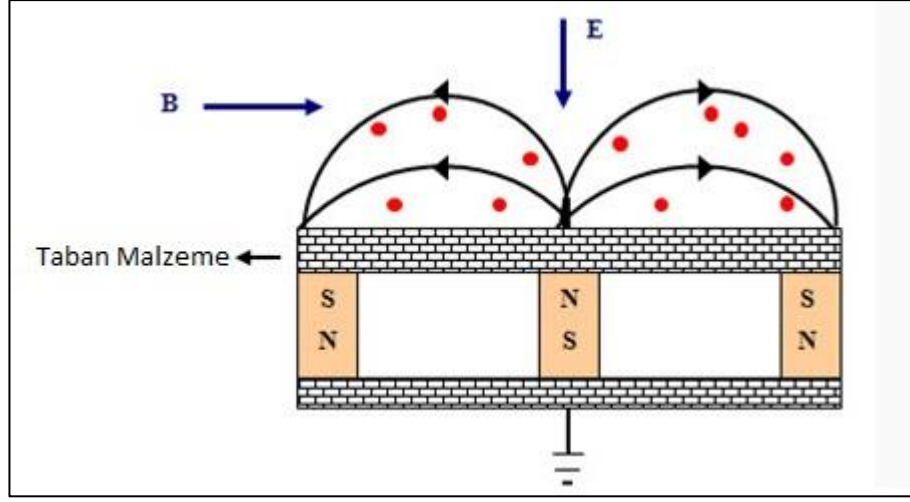
En sık kullanılan triyot yöntemi şekil 1.10'da gösterilen sıcak katot triyot yöntemidir. Bu yöntemde, sıcak katot termiyonik emisyon süresince elektron yaymaktadır ve bu elektronlar parlama deşarjı sisteminin içine atılmaktadır. Bu durumda iyonizasyon etkinliği artmaktadır. Böylece parlama deşarjı daha düşük basınç ve daha düşük voltaj uygulanarak oluşturulmaktadır. Bundan dolayı triyot sıçratma ile biriktirme hızı diyot sıçratma ile biriktirme hızına göre daha yüksektir. Bu yöntemin temel dezavantajı reaktif gaz varlığında filamanların ömrünün kısılmasıdır.



Şekil 1. 10. Sıcak katot triyot sıçratma yöntemi (Anonim, yusufbilgen.wordpress.com, 26.08.2017).

C. Manyetik alan sıçratma

Manyetik alan sıçratma yönteminde, su soğutmalı mıknatıs veya elektromıknatıslardan oluşan tutucunun üzerine, hedef malzeme yerleştirilir. Kaplama malzemesinin merkez eksenine mıknatısın bir kutbu, kenarlarına ise ikinci kutbu yerleştirilir. Mıknatısları bu şekilde düzenleyerek elektrik ve manyetik alanların kaplama malzemesinin üzerinde birbirine dik konumda olmasını sağlamaktadır. Plazmadaki elektronların hareketi hem elektrik alana (E) hem de manyetik alana (B) dik yöndedir. Şekil 1.11’de görüldüğü üzere Elektronların $E \times B$ yönündeki hareket yolu, kaplama malzemesinin yüzeyine paraleldir ve kapalı halka oluşturur. Kaplama malzemesinin yüzeyinde ki aşınma, manyetik alan çizgileri boyunca oluşmaktadır. Bu yöntem ile elektronlar yönlendirilerek çarpışmaların daha çok katot yüzeyine yakın yerlerde olması sağlanmaktadır. Bu bölgede iyonizasyonun artmasına ve plazmanın daha yoğun olmasına neden olmaktadır. İyonizasyon etkisinin artmasıyla ana sıçratma sistemlerinden daha düşük çalışma basınçlarında plazma oluşturabilen manyetik alanlar meydana getirilebilir. Çalışma basıncının düşürülmesi ile sıçratılan hedef atomlarının gaz fazındaki saçılması daha az olacağından taban malzemeye ulaşan tanecik sayısı artar ve böylece birikme hızları daha yüksek olur. Sonuç olarak elektronların etkin kullanılması ile düşük basınç ve düşük voltajda kaplama yapılabilir.



Şekil 1. 11. Manyetik alan sıçratma yönteminin şematik gösterilişi (Anonim, yusufbilgen.wordpress.com, 26.08.2017).

1.5. İnce Film Kaplamalar

1.5.1. TiN Kaplamalar

Oksidasyon mukavameti, düşük sürtünme katsayısı, yüksek sertlik ile TiN kaplamalar imalat endüstrisinde, biyolojik uyumluluğu nedeniyle protezlerde ve implantlarda, kimyasal kararlılığıyla tıp ve ilaç sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır. Düşük ısıl geçirgenliği ve yüksek sertliği sayesinde iş parçasının ısınarak yumuşamasını engeller. Kimyasal kararlılığı yüksek bir malzemedir ve bu yüzden iş parçasına yapışmaz. Kimyasal reaksiyona girmediğinden iş parçasının çalışma yüzeyi daha aktif kalır ve paslanmaz çelik iş parçalarında takımdan iş parçasına transferi olmadığından paslanmayı önler. Renginin ana malzeme renginden farklı olması nedeniyle takımın aşınma miktarı rahatlıkla tespit edilir. Takımların, kalıpların ve diğer makine elemanlarının aşınmasını engellemesine rağmen her türlü aşınma probleminin çözümü değildir (Kalkan, 2008).

1.5.2. CrN Kaplamalar

CrN kaplamalarda, iç gerilimlerin düşük olması sebebiyle kaplama kalınlığı 10 μm kalınlığa kadar ulaşabildiğinden metal enjeksiyon, kağıt, tekstil ve plastik gibi abrasif aşındırıcı etkilerin olduğu ve kaplama kalınlığının önem kazandığı sektörlerde sıklıkla kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadırlar.

Yüksek sertliğe sahiplerdir. Yüzey pürüzlülüğü ve yüzey kaliteleri TiN kaplamalara oranla daha iyidir. Kimyasal kararlılıkları TiN kaplamalardan daha yüksektir, asidik ve bazik ortamlarda çözülme göstermezler. Düşük sıcaklıklarda ki adezyonu TiN kaplamalara oranla daha düşüktür. Abrasif aşınmaya karşı yüksek mukavemet gösterirler ve kalın kaplandıklarında TiN kaplamalara göre daha yüksek korozyon direnci gösterirler (Kalkan, 2008).

1.5.3. DLC Kaplamalar

Literatürde, elmas benzeri karbon (DLC) kaplamaların elmasa yakın yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, düşük sürtünme, kimyasal kararlılık, yüksek termal iletkenlik, yüksek elektriksel direnç gibi oldukça olumlu özelliklerini ortaya koyan pek çok çalışma mevcuttur (Kurucu, 2013).

Ortopedik implant, kateter, yumuşak kontakt lens gibi pek çok medikal uygulamada biyolojik uyumluluğunun tam olması nedeniyle DLC kaplamalar tıp sektöründe sıklıkla kullanılırlar.

Yukarıda bahsedilen olumlu özelliklerinin yanı sıra, yüksek iç gerilme ve adezyonunun düşük olması gibi problemlere de sahiptir. Wei vd. (1999), çalışmalarında DLC filmlere bakır, titanyum, silikon gibi elementler katarak mekanik özelliklerini araştırmışlar ve katkılı filmlerin, saf filmlere göre adezyonunun daha iyi ve aşınma direncinin daha yüksek olmasına rağmen sertliklerinin daha düşük olduğunu açıklamışlardır.

İnce film kaplamalardaki en önemli problem kaplamanın yüzeye yapışması yani adezyonudur. Adezyon, bir kaplama sisteminin en önemli özelliğidir, çünkü tüm sistemin dayanıklılığını ve ömrünü belirler. Yüzeydeki kaplamaların ayrılması veya parçalanması ile altında bulunan bileşenler, aşındırıcı gazlar veya sıvılar, aşındırıcı partiküller ve yüksek sıcaklık gibi çevresel faktörlere doğrudan maruz kalır ve bileşenlerin düzgün çalışmamasına neden olur. Bu nedenle kaplama yapışmasının basit ve güvenilir yöntemlerle analiz edilmesi gerekir. Bunun için sıklıkla kullanılan 3 yöntem vardır. Bunlar;

1. GİRİŞ

- Vickers mikro indentasyon sertlik testi,
- Çizme testi,
- Periyodik çarpma testi'dir.

Bu çalışmada hem endüstride hem de akademik çalışmalarda sert kaplamaların yapışmasını değerlendirmek için sıklıkla tercih edilen bir yöntem olan çizme testi ile yapışma analizi yapılmıştır.

Yüksek sertlik değerleri, yüksek termal ve kimyasal kararlılıkları ve düşük elektriksel dirençleri nedeniyle TiN, CrN ve DLC son yıllarda endüstride sıklıkla kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Uygulama alanları geniştir ve mekanik aletler üzerindeki sert koruyucu kaplamalardan mikro-elektronik endüstrisindeki difüzyon bariyerlerine kadar değişmektedir. Bu çalışmada yukarıda bahsedilen özelliklerinden ve geniş uygulama alanlarından dolayı TiN, CrN ve DLC ince filmler kullanılmıştır.

1.6. Artık Gerilmeler

Artık gerilme, herhangi bir mekanik parçanın yüzey kalitesi ve güvenilirliği açısından en temel parametrelerden birisidir. Artık gerilme literatürde en temel şekilde; dışarıdan yük uygulaması olmadan bir malzeme içinde var olabildiği gibi bir malzeme içinde sabit ve çevresi ile denge durumunda olan gerilme olarak tarif edilebilir.

Artık gerilmeler malzemeye uygulanan hemen her işlem esnasında ortaya çıkabilmektedir. Mekanik, termal veya kimyasal bir bileşen artık gerilmelerin nedeni olarak gösterilebilir. Mekanik üretim süreçleri ile üretilen malzemelerde oluşan artık gerilmeler genellikle düzgün olmayan plastik deformasyon ile oluşmaktadır. Artık gerilmeler işlem esnasında doğal olarak ortaya çıkabileceği gibi bir gerilme profilini geliştirmek için bileşen olarak da kasıtlı olarak oluşturulabilmektedir.

Sıcaklık değişimleri ve kaplama alt tabaka malzemesinin termal genişleme katsayısı farklılığından kaynaklanan termal olarak indüklenen gerilmeler, kaplama büyümesinden kaynaklanan gerilmeler, kaplama taban malzemesinin deformasyonundan kaynaklanan dış gerilmeler, uygulanan gerilmeler ve çevresel gerilmeler, fiziksel buhar

kaplama ile büyütülmüş filmlerde artık gerilmeye neden olan etkenler olarak gösterilebilir.

1.6.1. Artık gerilmelerin oluşma sebepleri

Artık gerilmeler çoğu üretim yöntemi ve yüzey işleminden sonra meydana gelmektedirler.

Artık gerilmeler, makroskobik ve mikroskobik gerilmeler olarak iki gruba ayrılabilir. Makroskobik gerilmeler; ısıl işlem, talaş kaldırma, ikincil işlem ve montaj sırasında ortaya çıkabilir. Mikroskobik gerilmeler ise genellikle bileşenler ve fazlar arasındaki ısıl genleşme katsayısı uygunsuzluğundan ya da faz dönüşümlerinden kaynaklanır. Her iki gerilme tipi de bir parça veya malzemede aynı anda bulunabilir (Yiğit vd.,2008).

1.6.2. Artık gerilme ölçüm yöntemleri

Son yüzyılda kullanılan pek çok artık gerilme ölçüm yöntemi vardır. Bunlar tahribatlı ve tahribatsız ölçüm yöntemleri olarak sınıflandırılır. Parçanın yüzeyi ve kesiti boyunca artık gerilme durumunun belirlenmesi için farklı ölçüm yöntemlerine ihtiyaç vardır. Yöntemi belirlemek için, verilen ölçme problemi ve gerekli ölçme sayıları baz alınarak; malzeme türü, artık gerilme tipi, parçadaki artık gerilme gradyanı, parça geometrisi, laboratuvar şartları, müdahale süresi, yöntemin güvenilirliği, hassasiyeti, ölçüm maliyeti ve gerekli ekipman fiyatı gibi parametreler göz önüne alınır.

A. Tahribatlı artık gerilme ölçüm yöntemleri

Mekanik yöntemler olarak da adlandırılan tahribatlı ölçüm yöntemleri malzemeye delik/kanal açılması ve malzemeden talaş/tabaka kaldırılması vb. işlemlerinden sonra, parçadaki kalıntı denge durumunun belirlenmesine dayanır.

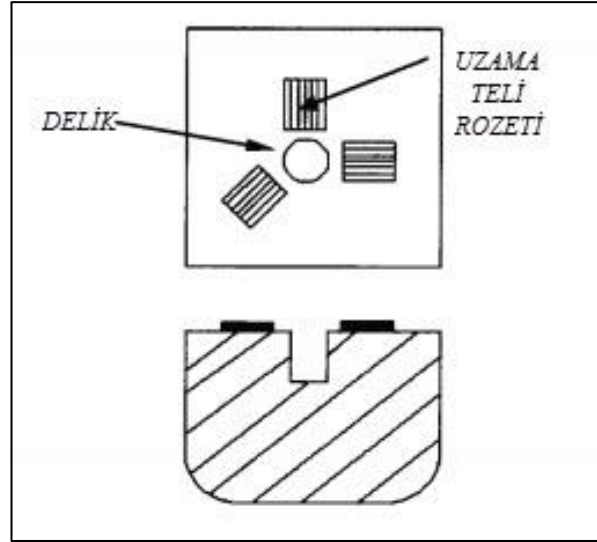
Bileşen bozulmasındaki değişikliklerin izlenmesine dayanan bu yöntem, gerilme oluşumu sırasında ya da sonrasında gerilme gevşemesine izin vermek amacıyla parçayı kasıtlı olarak kaldırarak malzemede meydana gelen şekil değiştirmeyi ölçer. Bu yöntemlerde öncelikle analiz edilen malzemeden parça kaldırılarak yeni bir gerilme durumu oluşturulur, sonrasında yer değiştirmeler ölçülerek gerilmadaki yerel değişim belirlenir ve elastisite teorisi kullanılarak artık gerilmeler hesaplanır.

I. Tabaka kaldırma yöntemi (Layer removal method)

Elektrokimyasal ve kimyasal yöntemler ile malzemeden artık gerilme içeren tabakalar kademeli olarak kaldırılarak iç gerilme ve momentlerin dengelenmesi tabaka kaldırma yönteminin temel prensibidir. İç gerilmelerin yeniden dengelenmesinden oluşan şekil değiştirmeler kaldırılan tabakadaki gerilmelerle ilişkilendirilebilir. Elastisite teorisi kullanılarak artık gerilmeleri ölçmek amacıyla bu gerilmeler ölçülür (Yiğit vd.,2008).

II. Delik delme yöntemi (Hole drilling method)

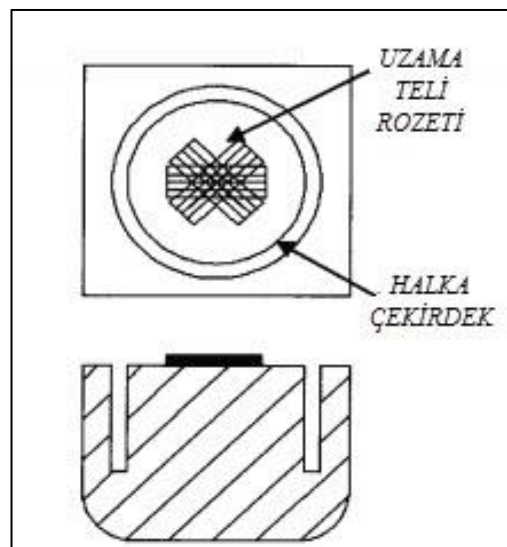
Bu yöntem uygulanması ucuz ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Şekil 1.12'de görüldüğü üzere numuneye özel tasarlanmış strain gauge (gerinim ölçer) yapıştırılır ve geometrik merkezde 0,4-2 mm derinliğinde bir delik delinir. Rozetteki uzama telleri ile gerilme gevşemelerinin ölçülmesi ve malzeme çevresindeki gerilmelerin yeniden düzenlenmesi delik içerisindeki gerilmeli tabakanın kaldırılmasıyla mümkün olur. Yöntem kaplamalar için kullanılsa da, ince (<100µm) veya kırılğan kaplamalar için pratik değildir (Anderoğlu, 2004).



Şekil 1. 12. Delik delme yöntemi (An, 2006).

III. Halka çekirdek yöntemi (Ring core method)

Delik delme yönteminin farklı bir metodu olan bu yöntemde daha büyük gerinme gevşemeleri ölçülebilmektedir. Dolayısıyla bu yöntemde, malzemenin akma gerilmesinin üzerindeki artık gerilmeler hassas olarak ölçülebilmektedir. Delik delme yönteminde önemli ilave artık gerilmeler oluşurken, bu yöntemde genellikle oluşmamaktadır. Ayrıca halka çekirdek yönteminin hassasiyeti daha yüksektir fakat delik delme yönteminden daha tahribatlı bir yöntemdir.

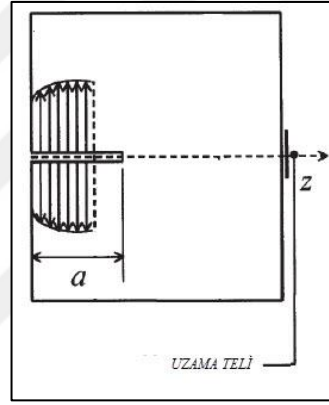


Şekil 1. 13. Halka çekirdek yöntemi (An, 2006).

IV. Kanal açma yöntemi (Crack compliance method)

Bu yöntemde artık gerilmeleri belirlemek amacı ile numune üzerine küçük bir kanal açılır ve kanala dik kalıntı gerilmeleri gevşer. Böylece numune içerisindeki gerilmeler yeniden dengelenir ve kanal bölgesinde oluşan dik gerinme gevşemeleri uzama teli yardımıyla ölçülür.

Uygulaması basit bir yöntemdir. Değişik geometrilerdeki numuneler de kolaylıkla ölçülebilmektedir. Fakat bu yöntem ile yalnızca kanal doğrultusuna dik artık gerilmeler ölçülür.

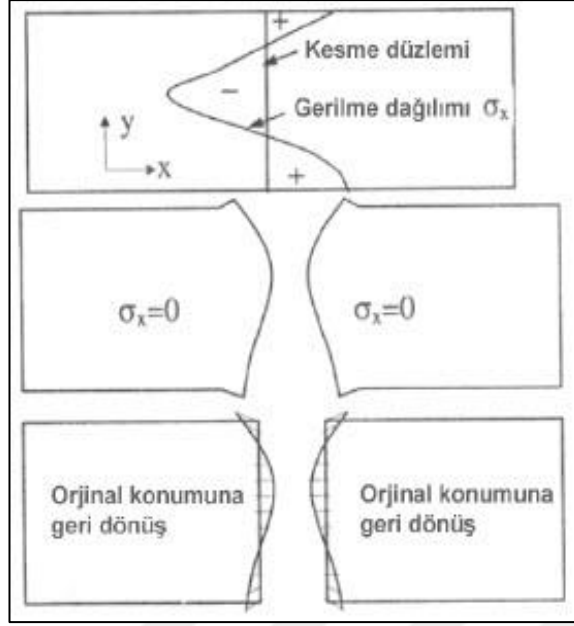


Şekil 1. 14. Kanal açma yöntemi (Yiğit vd., 2008).

V. Kesit profili ölçme yöntemi (Contour method)

Kesit profili ölçme yöntemi ile numune, artık gerilmeleri belirlemek amacıyla ikiye bölünür. Böylece numunede artık gerilme varsa kesit profili kesme düzleminde sapar. Kesilme sonucu oluşan kesit profili artık gerilmelerle ilişkilendirilir.

Maliyeti az ve kolay bir ölçüm yöntemidir. Fakat bu yöntemle yalnızca kesme düzlemine dik olan artık gerilmeler ölçülür.

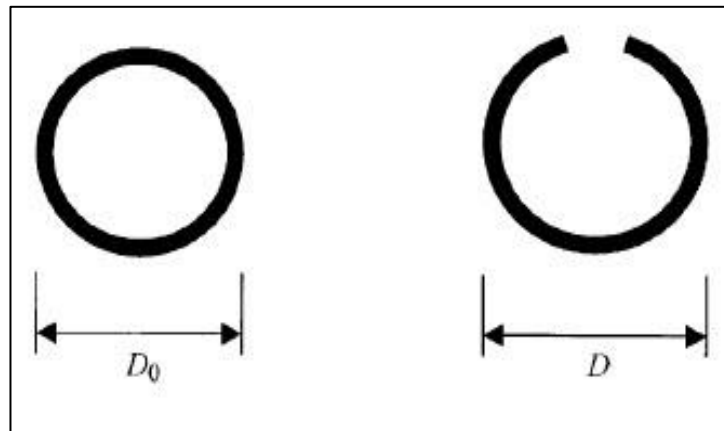


Şekil 1. 15. Kesit profili ölçme yöntemi (Yiğit vd., 2008).

VI. Tüp bölme yöntemi (Tube splitting method)

Şekil 1.16’da görüldüğü üzere bu yöntemle ilk olarak bir tüp numunenin dış çapı ölçülür ve sonrasında tüp boyunca kesilerek yarık açılır. Çevresel gerilmelerin gevşemesiyle birlikte tüpün dış çapı açılır ya da kapanır. Tek bir ölçüm artık gerilmenin tahmini için yeterlidir.

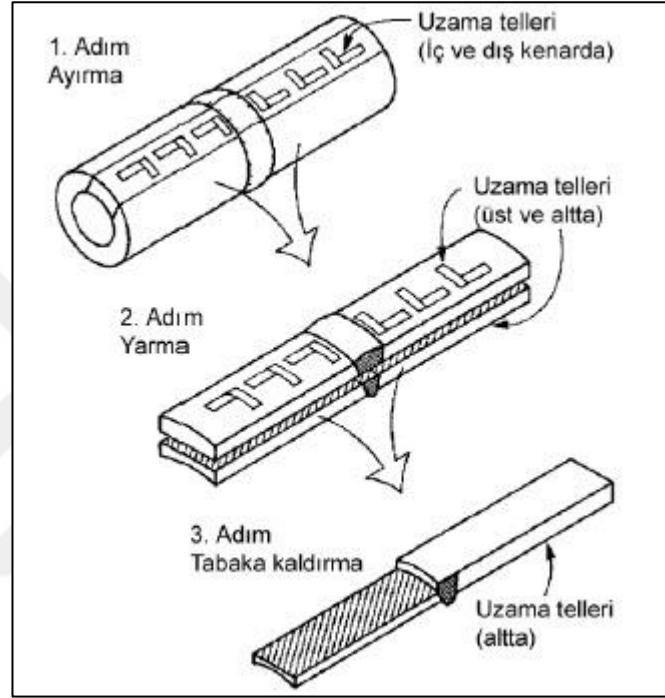
Yöntem kolay ve hızlıdır. Fakat yalnızca tüp numuneler için kullanılmaktadır.



Şekil 1. 16. Tüp bölme yöntemi (Yiğit vd., 2008).

VII. Kesitlere bölme yöntemi (Sectioning method)

Şekil 1.17’de görüldüğü üzere bu yöntemde numunedeki artık gerilmeler, parçalar kaldırılarak ölçülür. Numune çeşitli kesitlerde sıralı olarak ölçülür. Ayırma, yarma ve tabaka kaldırma birleştirilerek uygulanır. Tabaka kaldırma ile artık gerilmeler açığa çıkar ve uzama telleri sayesinde meydana gelen gerilmeler ölçülür.



Şekil 1. 17. Kesitlere bölme yöntemi (Yiğit vd., 2008).

B. Tahribatsız artık gerilme ölçüm yöntemleri

Malzeme üzerinde tahribat meydana getirmeyen bu yöntemlerde artık gerilmeler malzemenin fiziksel ve kristolografik parametreleri yararlanılarak belirlenir.

I. Kırınım yöntemleri

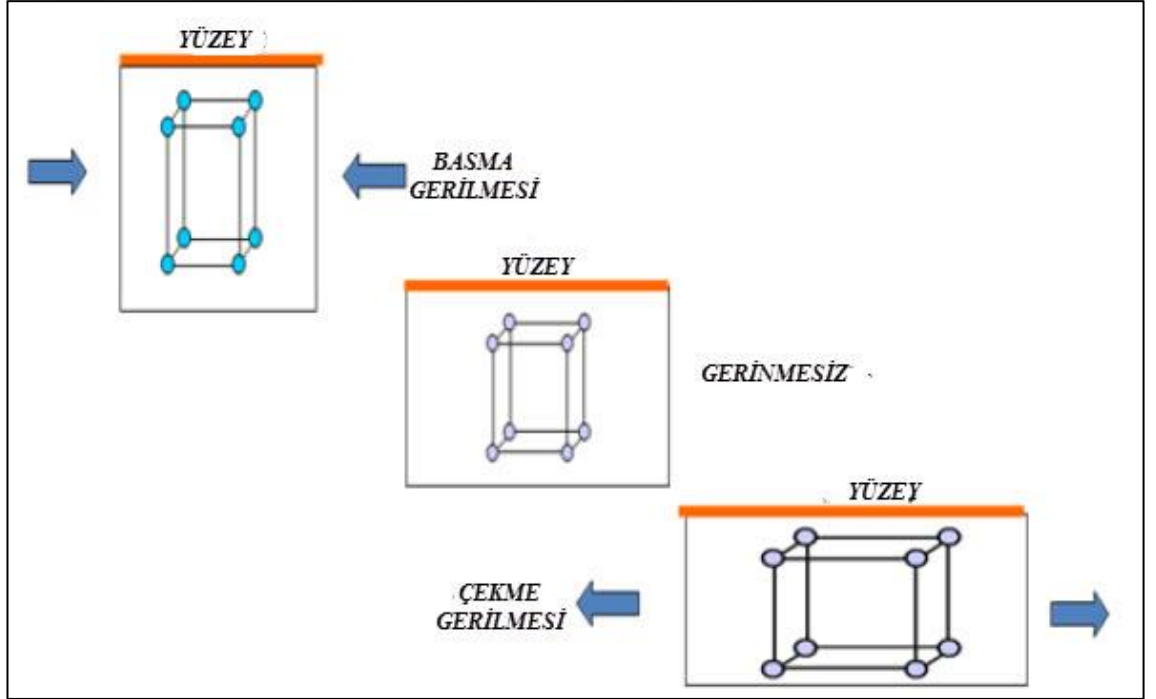
Bu yöntemler kristal yapı malzemelere veya numunedeki kristal fazlara uygulanabilir. Kristal yapı numune gerilmeye maruz kaldığında numunenin kristal kafes düzlemleri arasındaki mesafelerdeki değişimler incelenir ve kafes gerilmeleri ölçülür.

1. GİRİŞ

X-ışını kırınımı

Oldukça sık kullanılan X-ışını kırınımı (XRD) yönteminde kristal yapıya sahip malzemeye X-ışınları gönderilerek maksimum şiddetten elde edilen açının ölçülmesiyle artık gerilme analizi yapılabilir. Bu açılar ile Bragg kanununa göre kırınım düzlemlerindeki düzlemler arası mesafeler belirlenmektedir (Taş, 2010).

Malzemede gerilme oluşmadığı durumda kafes yapısında herhangi bir değişim olmaz ancak bası ya da çeki gerilmesi uygulandığında kristal kafes boyutları değişmektedir. Bu değişim, kırınım grafiklerinde pik pozisyonlarının açısal değişimi ile ifade edilir. Pik açılarının ölçülmesi ile artık gerilmeler tespit edilebilir.



Şekil 1. 18. Kristal bir kafesin basma ve çekme gerilmeleri ve gerinmesiz durumundaki temsili görünüşleri (Taş, 2010).

Atomlar arası mesafelerdeki değişimler, malzemelerdeki elastik gerilmelerle ilişkilidir. XRD yönteminde artık gerilmeler, Hooke Kanunu'na göre:

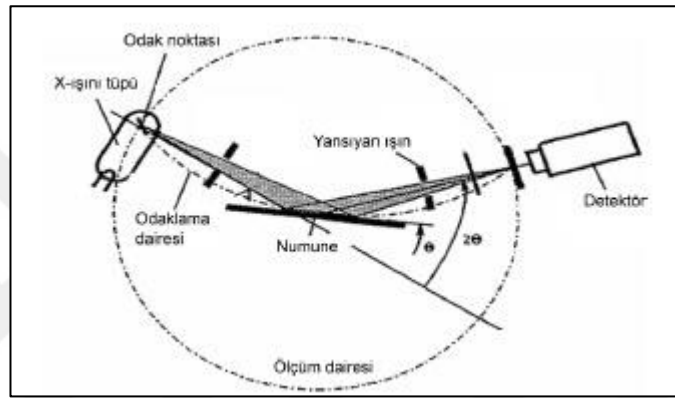
$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (1.1)$$

1. GİRİŞ

atomik kafes içerisindeki birim şekil değiştirmelerin ölçülmesi prensibine dayanır. Numune yüzeyine gönderilen X-ışını tarar ve eşitlik 1.2’de verilen Bragg Kanunu ile uyumlu 2θ açısındaki düzlemlerde kırınımına uğrar. Bragg Kanunu:

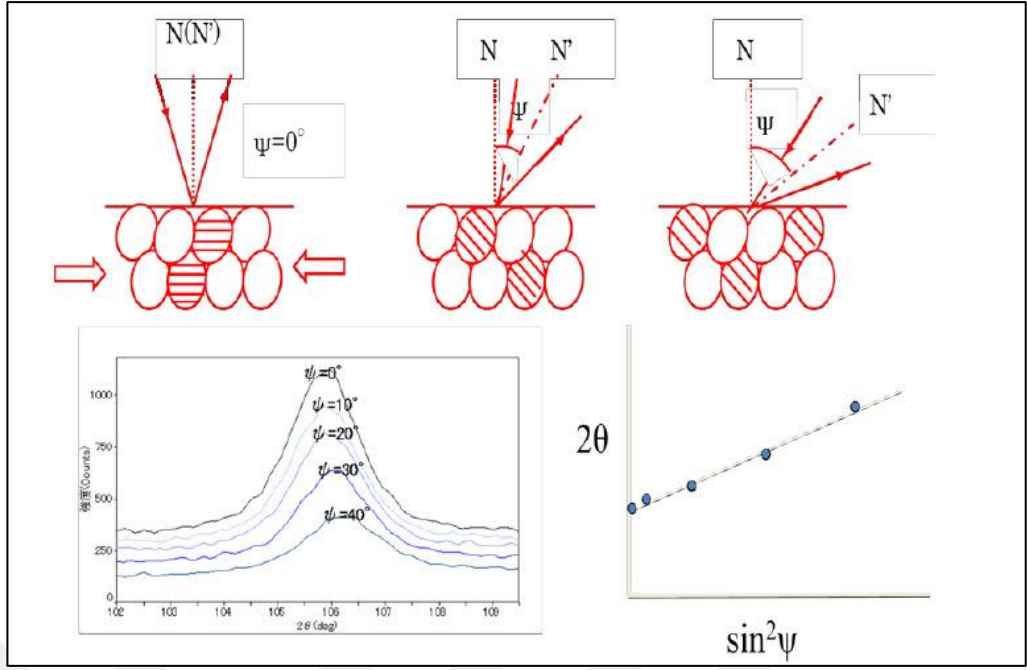
$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (1.2)$$

Burada d ; paralel atom düzlemleri arasındaki mesafe, 2θ ; kırınım açısı, n ; yansıyan ışının derecesi, λ ; radyasyonun dalga boyudur (Taş, 2010).



Şekil 1. 19. X-ışını kırınımı yönteminin şematik gösterimi (Taş, 2010).

Şekil 1.19’da gösterilen XRD yönteminde numune ψ açısı kadar eğildiğinde, atomlarda ψ açısı kadar eğilecektir ve artık gerilme mevcut değilse kırılan eğrilerin ikisi de üst üste gelecektir. Fakat artık gerilme mevcut ise farklı yönlerdeki atomik düzlemler sıkışıp genişleyerek pik değerini değiştirecektir.



Şekil 1. 20. XRD test tekniği (Taş, 2010).

$\sin^2\psi$, XRD ile artık gerilme ölçmek için en yaygın kullanılan tekniktir. Bragg Kanununa göre hesaplanan d mesafeleri ile $\sin^2\psi$ diyagramı çizilir ve bu diyagramdan alınan doğrunun eğiminin hesaplanması ile artık gerilme 1.3'de verilen eşitliğin hesaplanması ile tespit edilir.

$$\sigma = \frac{E}{1+\nu} \frac{1}{\sin^2\psi} \frac{(d_\psi - d_0)}{d_0} \quad (1.3)$$

Burada E ; elastisite modülü, ν ; poisson oranı, d_0 ; gerilmemiş malzemedeki düzlemler arası mesafe, d_ψ ; ψ eğim açısındaki düzlemler arası mesafedir (Taş, 2010).

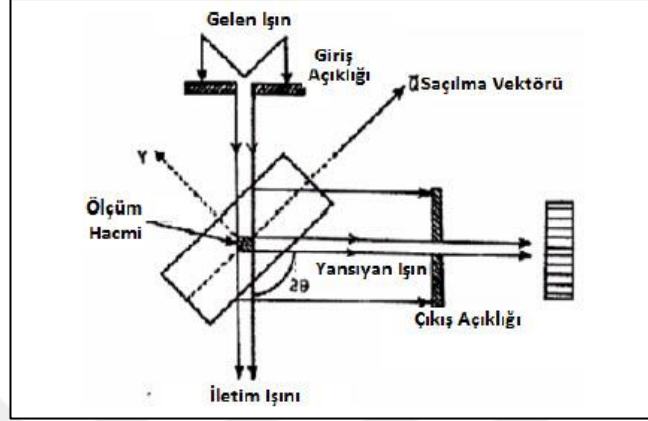
XRD yöntemi mikro ve makro kalıntı gerilmelerini belirleyen tek yöntemdir.

Nötron Kırınımı

Bu yöntem kristal malzemelerde tahribatsız artık gerilme ölçümü yapan bir metottur. Elastik gerilme değerleri sağlayarak malzemenin kristal yapısındaki atomik düzlemler arasındaki mesafenin ölçülmesiyle artık gerilmelerin ölçümünü sağlar. Bu

1. GİRİŞ

yöntemde malzemeye yüksek enerjili nötronlar gönderilir. Bir malzeme radyasyona uğradığında düzlemler arası boşlukta elastik ve uyumlu bir şekilde Bragg açısına göre gelen ışınları kırar. Bu ışınlar pozisyon hassasiyetli bir dedektör tarafından kaydedilir ve Bragg eşitliğinden kırılma açısı hesaplanabilir (Anderoğlu, 2004).

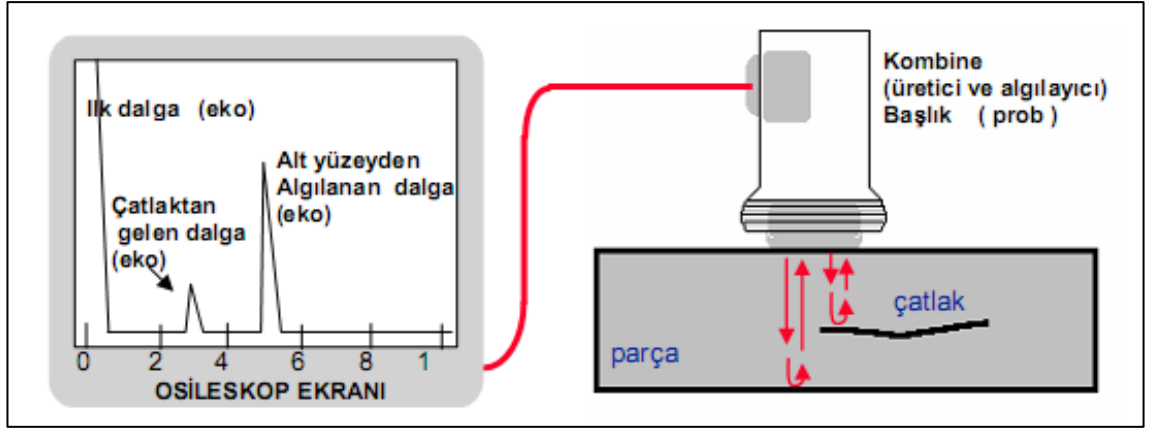


Şekil 1. 21. Nötron kırınımı yöntemi şematik gösterimi (Taş, 2010).

II. Ultrasonik yöntemler

Bu yöntem katı malzeme içerisinde hareket eden ses dalgalarının mekanik gerilmelere bağlı olarak elastik dalga ilerleme hızının ölçümüne bağlıdır. Malzeme içerisindeki bu gerilmeler ses dalgalarının yavaşlamasına ve sebep olur. Gönderilen ve geri alınan ses dalgaları arasındaki fark ölçülür. Bir malzemenin gerilmeli halde ilettiği ses dalga hızı, malzemenin gerilmemiş durumundaki ses dalga hızına göre değişir. Malzeme elastik davrandığı müddetçe ses dalga hızındaki değişimler malzemenin artık gerilme durumuna bağlıdır. Hızlı, kolay ve ucuz bir yöntem olduğu için sıkça tercih edilmesine rağmen izotropik olmayan malzemelerde ses dalga hızı yöne bağlı değişeceğinden bu yöntem hatalı sonuç verebilir.

1. GİRİŞ



Şekil 1. 22. Ultrasonik muayene yönteminin şematik gösterimi (Anonim, docplayer.biz.tr, 01.09.2017)

III. Manyetik yöntemler

Ferromanyetik malzemelerin manyetik özellikleri, mıknatıssal büzülme ve manyetoelastik tesirleri nedeniyle malzemedeki iç gerilmelere bağlı hassasiyet gösterir. Bu yöntem iç gerilme ve manyetiklik arasındaki ilişkiye bağlıdır. Malzemedeki artık gerilmelerin durumu elektromanyetik özelliklerin ölçülmesi ile hesaplanabilir.

IV. Termoelastik yöntemler

Malzemedeki elastik deformasyonlar, malzeme sıcaklığında çok küçük değişimlere yol açar ve bu değişimler gerilmadaki değişimleri gösterir. Genellikle yorulma çalışmalarında kullanılan bu yöntemin kullanımı kolay ve çabuktur.

1.7. Aşınma

Mühendislik malzemelerinin tribolojik olarak güçlendirilmesine yönelik son yıllarda yapılan olumlu çalışmalar özellikle imalat endüstrisi açısından önem arz etmektedir. İmalat endüstrisinde de sıkça kullanılan kesici takım malzemeleri yeterli taşıma kapasitesine ve aşınma direncine sahip olmalıdır. Önceki bölümlerde bahsedilen yüzey kaplaması uygulamaları, sert malzemeler üzerinde sert ve aşınmaya dirençli bir yüzey elde etmenin en iyi yoludur.

1. GİRİŞ

Aşınma, korozyon, sürtünme gibi istenmeyen malzeme kayıplarına neden olan ortamlara maruz kalan malzemelerin yüzey kalitesinin iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmalar her geçen artmaktadır.

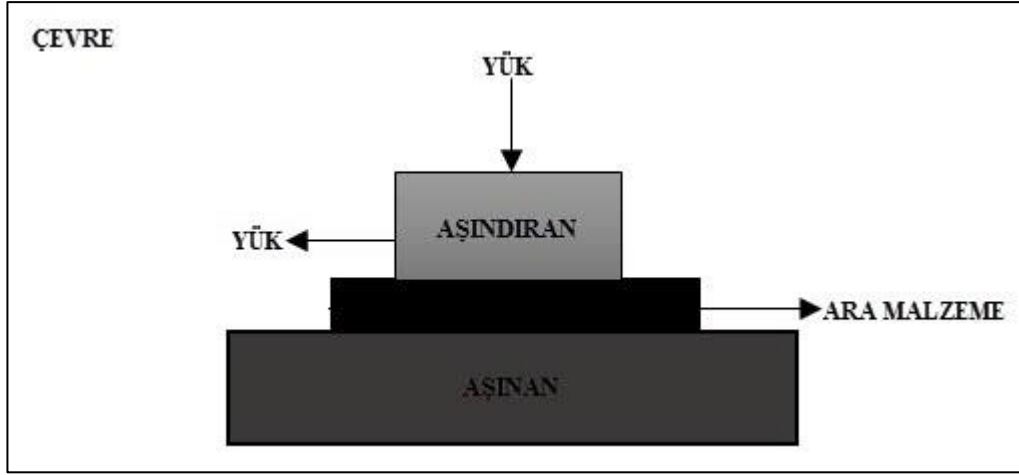
Aşınma, DIN 5320 Standardına göre; kullanılan malzeme yüzeyinden mekanik nedenlerle küçük parçaların ayrılması ile meydana gelen değişiklik olarak tanımlanmaktadır.

Aşınma sisteminde, aşınan, aşındıran, ara malzeme, yük ve hareket aşınmanın temel unsurlarını oluşturur. Bu unsurlardan oluşan sistem Şekil 1.23'de şematik olarak gösterildiği üzere "tribolojik sistem" olarak nitelendirilir. Aşınma sistemine etki eden önemli unsurlardan biri de çevresel faktörlerdir. Aşınma sistemi unsurlarının nem ve korozyon etkileri gibi çevresel faktörler ile karşı karşıya kalması durumunda aşınma hızlanır (Bülbül, 2013).

Aşınma, genellikle önceden öngörülen bir hasar çeşididir. Birbirleri ile temasta olan malzeme yüzeyleri, oksit filmleri ya da yağlayıcılar ile korunsalar dahi mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının ya da yağlamanın bozulması, iki yüzeyin birbiriyle doğrudan temasına sebep olabilir. Bu temas neticesinde oluşan sürtünme malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya neden olur. Bu hasar uygun yağlama, filtreleme, doğru malzeme seçimi ve doğru tasarım gibi işlemlerle en aza indirilebilir, fakat önlenemez (Bülbül, 2013).

Aşınmayı etkileyen nedenleri 4 ana başlık altında sıralayabiliriz;

- i. Ana malzemeye (aşınan) bağlı nedenler,
- ii. Karşı malzemeye (aşındıran) bağlı nedenler,
- iii. Çevre şartları,
- iv. Servis şartları.



Şekil 1. 23. Tribolojik bir sistemi oluşturan unsurların şematik olarak gösterimi.

Aşınma, oluşma biçimi bakımından zamanla gelişen ve aniden oluşan aşınma olarak iki sınıfa ayrılabilir. Şekil 1.24'te görüldüğü üzere zamanla gelişen aşınmanın 3 safhası vardır ve bunlar aşağıdaki şekilde gerçekleşir:

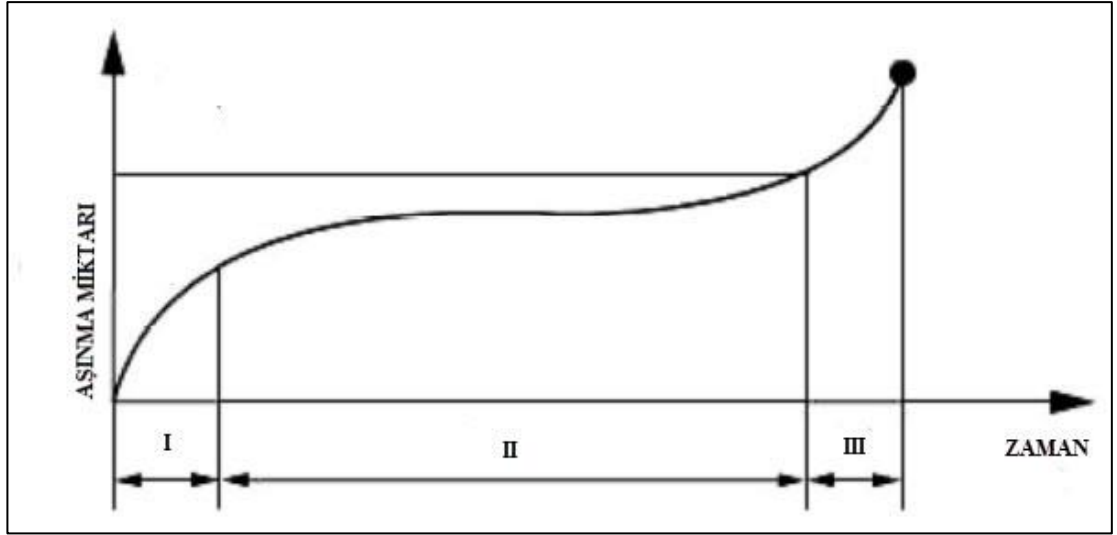
I. Safha: Bu kısım hızlı ve şiddetli bir şekilde meydana gelir ve bu ilk aşamaya rodaj adı verilir. Makine elemanlarının ömürlerinin uzun olabilmesi için rodaj safhasının mümkün olduğunda kısa sürede, az yükte ve düşük hızlarla atlatılması gereklidir. Bunu sağlamak için özel olarak üretilmiş katkılı yağlayıcılar kullanılır.

II. Safha: Makine elemanlarının ömrünü belirleyen aşamadır. Aşınma hızı oldukça düşüktür ve rodaj aşaması ne kadar iyi tamamlanırsa bu aşama sayesinde makine elemanların ömrü o kadar uzun olur.

III. Safha: Aşınma hızının arttığı ve makine elemanın değiştirilmesi gerektiğini anladığımız aşınma safhasıdır. Şiddetli aşınma da denilmektedir.

Aniden meydana gelen aşınma ise, malzemeler üzerinde herhangi bir aşınma yokken; yanlış malzeme seçilmesi, yağlamanın doğru yapılmaması ve sürtünme nedeniyle açığa çıkan ısı enerjisinin dış ortama aktarılamaması nedeniyle aniden ortaya çıkan aşınmadır (Teber, 2015).

1. GİRİŞ



Şekil 1. 24. Aşınma safhaları (Teber, 2015).

1.7.1. Aşınma Mekanizmaları

Aşınma yüzeyine uygulanan yük miktarı, aşındırıcı parçacığın boyutu, aşındırma şekli, aşındırıcı yüzeylerin temas geometrisine bağlı olarak çeşitli aşınma mekanizmaları bulunmaktadır. Makine elemanlarında en sık karşılaşılan aşınma türleri aşağıda açıklanmıştır.

A. Adhesiv aşınma

Aşınma mekanizmalarının en yaygın şekli olan adhesiv aşınma, katı bir malzeme diğeri üzerinde kaydığında veya ona karşı baskı yaptığıında oluşur ve malzeme kaybı diğeri yüzeye transfer olan partiküller şeklinde oluşur. Bu tip aşınmayı önlemek için, malzemenin diğeri mühendislik özelliklerini olumsuz etkilemeyecek şekilde sert olması gerekir ve uygun yağlayıcı maddeler ile iyi bir yağlama yöntemi sağlanmalıdır.

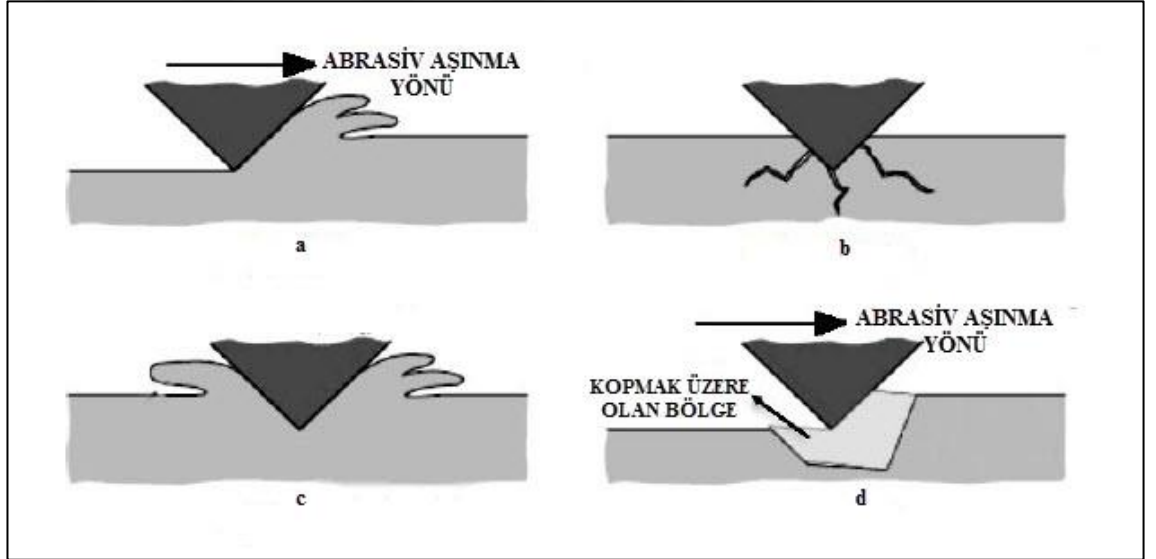


Şekil 1. 25 Adhesiv aşınma esnasındaki malzeme transferi.

1. GİRİŞ

B. Abrasiv aşınma

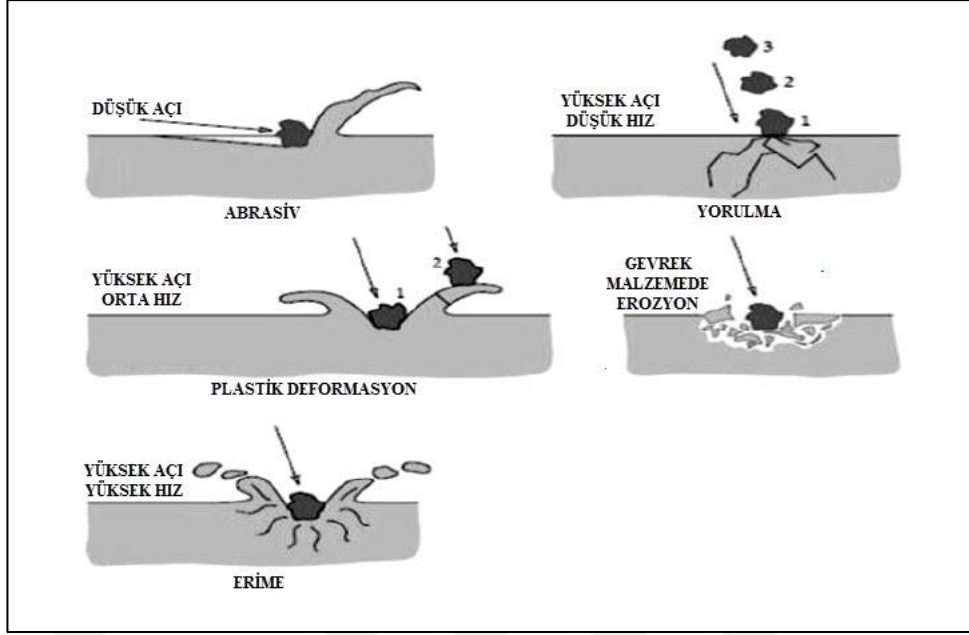
Abrasiv aşınma, sertlik değerleri farklı malzemelerin birbirlerine göre bağıl hareket etmesi sonucunda temas yüzeyi arasına ortam şartlarına nedeniyle giren toz, talaş ya da malzeme yüzeyindeki oksidasyon gibi etkenler sonucu oluşur. Çok hızlı bir şekilde yüksek aşınma hızlarına ulaştığı için önlem alınmadığında büyük hasarlara ve maddi kayıplara sebep olur. Bu tip aşınmayı önlemek için, aşınmaya neden olan partiküllerin sistem içerisine girmesine engel olacak şekilde sızdırmazlık sağlanması, yüzeyin sık sık temizlenmesi ve direkt olarak malzemelerin sertliği ile alakalı bir aşınma türü olduğundan günümüzde artık malzeme değişimi yerine ince sert film kaplama yöntemleri ile yüzey sertleştirilir.



Şekil 1. 26. Abrasif aşınma mekanizmaları (a) Kesme (b) Çatlama (c) Sürtme (d) Kopma.

C. Erozyon aşınması

Erozyon aşınması, malzeme türü, partikül büyüklüğü, çarpma açısı ve hızına göre şekil 1.27’de görüldüğü üzere farklı mekanizmalarla ortaya çıkar.



Şekil 1. 27. Erozyon aşınması mekanizmaları (Teber, 2015).

Çarpma açısı küçük olduğunda aşınma, abrasiv aşınmaya benzer, açı büyük olduğunda ise tipik erozyon görülür. Aşındırıcı partiküllerin hızının da erozyon aşınması üzerinde etkisi fazladır. Hız düşük olduğunda çarpma anındaki gerilmeler plastik deformasyon için yetersiz kalır ve aşınma yüzey yorulması şeklinde olur. Hız arttığında ise plastik deformasyon meydana gelir. Eğer aşındırıcı parçacıklar küresel ya da yuvarlak geometriye sahipse kesme meydana gelir.

D. Yorulma aşınması

Yorulma aşınması, değişen tekrarlı yükler altında meydana gelen bir aşınma türüdür. Yorulma aşınması birçok aşınma türünde görülmektedir. Bunun nedeni ise tribolojik bozulmalar genellikle yüzeyde görülen, büyüklüğü konuma ve zamana göre değişen mekanik gerilmeler sonucu meydana geldikleri içindir. Sonuç olarak, malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur ve yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur (Teber, 2015).

Özellikle çok tekrarlı yüklemeler altında çalışan rulmanlar, dişli çarklar gibi makine elemanlarının temas yüzeyinde küçük çukurcuklar şeklinde görülen aşınma türüdür.

E. Korozyon aşınması

Korozyon, metalik malzemelerin buldukları ortamla tepkimeye girmeleri sonucunda oluşur. Korozyon aşınmasında tribokimyasal reaksiyon ile yüzeyde bir reaksiyon tabakası oluşur. Bu tabaka yüzeye güçlü bir şekilde bağlanırsa yüzey üzerinde ince sert bir tabaka oluşturur. Değişken yükler altında bu sert tabaka parçalanır ve sert partiküller kırılarak aşınma parçacıklarını meydana getirirler. Bu tip aşınmayı önlemek için malzeme yüzeyine ısıtma işlemi uygulanmalı ve oksidasyonu önleyen özel yağlar kullanılmalıdır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yüzey mühendisliği son yüzyılda sağladığı ekonomik ve teknik avantajlardan dolayı pek çok çalışmanın konusu olmuştur. Yüzey enerjisi, yüzey gerilmesi, yüzey aktivitesi, aşınma, korozyon ve yüzeyle ilgili problemler önemli maddi kayıplara sebep olmaktadır. Bu nedenle bahsedilen problemlerin çözümü için yapılan çalışmalar bilim dünyasında büyük bir önem kazanmıştır.

Metalik malzemelerin performanslarını artırmak için mevcut literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Yüzey kaplama teknikleri ise metalik malzemelerin performansları artırmada önemli bir role sahiptir. Yüzey kaplama yöntemlerinden PVD, CVD, Plazma ve termal püskürtme yöntemleri bu açıdan ön plandadır ve bu yöntemlerle geliştirilmeye çalışılan tribolojik ve mekanik özellikler sayesinde parçaların kullanım ömürlerinin 2–10 kat arttığı bilinen bir gerçektir.

Son yıllarda geliştirilen modern kaplama tekniklerinden olan fiziksel buhar kaplama (PVD), vakum ortamında katı ya da sıvı halde bulunan malzemelerin buharlaştırılarak veya sıçratılarak, atomlarının yüzeyden koparılması ve kaplanacak olan taban malzeme yüzeyine atomsal veya iyonik olarak biriktirilmesi esasına dayanır (Holmberg and Matthews, 1994).

1850 yılında Michael Faraday'ın metal telleri vakum altında buharlaştırarak oluşturduğu kaplamalar fiziksel buhar kaplama yönteminin ilk uygulamaları olarak kabul edilmektedir. 1888 yılında August Kundt, fiziksel buhar kaplama yönetimi ile üretilen ince filmlerin yansıtma özelliklerine dair bazı çalışmalar yapmıştır ve sonraki yıllarda ince metal film tabakaların kinetiği, gazların difüzyonu ve gaz-metal reaksiyonları üzerine bir takım akademik çalışmalar yapılmıştır. İkinci dünya savaşı yıllarında gelişen vakum teknolojisi ile birlikte fiziksel buhar kaplama yöntemi endüstriyel uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır (Bull and Berasetegui, 2006).

Fiziksel buhar kaplama yöntemlerinden olan ve bu çalışmada da kullanılan yöntem olan sıçratma (sputtering) teknolojisinin son yıllardaki gelişmelerinin çoğu, manyetik alanda yapılmıştır. Bunu nedeni, manyetik alanda sıçratma yöntemi ile yapılan kaplamaların, mikro elektronik, optik, türbin kanatları, manyetik ve optik diskler, kesici

takımlar ve solar kontrol endüstrisi gibi pek çok endüstriyel alanda kullanılabilmesidir (Grainger and Blunt 1998).

Sıçratma tekniği ilk olarak 1852 yılında Grove tarafından soğuk katot parıltılı boşalması sonucu katotlardaki metal kaplamalarda bulunmuştur. 1908'e kadar bu kaplamaların katot üzerinde bulunan sıcak bir noktalardaki yoğun bölgelerden buharlaştığı düşünülmüştür ancak takip eden yıllarda buharlaşmadan ziyade iyon ışınları aracılığıyla kristallerin sıçratılma momentum transfer mekanizmasını destekleme yönelimi üzerine deneyler yapılmıştır.

Sıçratma yöntemi 1870'li yıllara kadar ayna kaplamak için kullanılmıştır. Sonrasında radyo frekans (RF) sıçratmanın geliştirilmesi ile yalıtkanlar direkt olarak kaplanmış ve manyetik alanda sıçratmanın geliştirilmesi ile de taban malzemeye zarar vermeden daha yüksek kaplama oranları elde edilmiştir.

Özellikle sert kaplamalar elde etmek için büyütülen filmlerin enerji dolu partiküllerle bombardıman edilmesi gerektiğinden taban malzemeye yakın bölgede enerji dolu partiküller bulunması için ikinci bir plazma oluşturulmalıdır. Bunun için ayrı bir iyon tabancası kullanılabileceği gibi, sıçratma katodundaki iç ve dış mıknatıs setleri arasındaki manyetik alanın uygun bir şekilde değiştirilmesi ile plazmanın taban malzemeye kadar genişletilmesi ve pozitif olarak uyarılmış taban malzemenin iyon bombardımanına maruz bırakılması söz konusudur ve bu sistem dengesiz manyetik alanda sıçratma olarak adlandırılır (Bunshah, 2001).

Sıçratma sistemindeki eksiklikleri gidermek amacıyla Teer, 1991 yılında yaptığı çalışma ile birden fazla manyetik alan sistemini bir araya getirerek kapalı alan dengesiz manyetik alanda sıçratma (CFUBMS) sistemini geliştirmiştir. Bu teknik ile büyük ve karmaşık şekilli taban malzemeler üzerine yüksek kaplama hızlarında kaliteli metal ve alaşım kaplamanın yanı sıra, çok katlı tabakalar oluşturma, oksit, nitrür ve karbür gibi seramikleri kaplama yeteneğine de sahiptir. Mıknatıslardaki manyetik alanın dengesiz olması, bombardıman yoğunluğunu artırmış ve çoklu manyetik alan sistemleri kullanılması da bu alandaki ilerlemeleri hızlandırmıştır (Baran 2007).

Zhengyang (2000), katodik ark kaplama yöntemi ile yüksek hız çeliği üzerine TiN kapladığı çalışmasında, TiN kaplamaların özelliklerine, DC biası üzerine uygulanan puls biasının etkisini araştırmış ve DC-puls bias voltajı kullanılarak kaplanan filmlerin yüzey pürüzlülüğünde azalma ve film adezyonu ve uniformluğunda ise artış gözlemlemiştir.

Tay et al. (1999), çalışmalarında Si taban malzeme üzerine filtreli katodik vakum ark kaplama tekniği ile TiN kaplamışlardır. Kaplanan filmlerin mekanik, yapısal özelliklerine azot akış oranı, yağma oranı ve taban malzemenin biasının etkilerini incelemişler ve azot akış oranının sertlik, tane boyutu ve yüzey pürüzlülüğündeki artışla doğru orantılı olduğunu ve sonuç olarak iyon akış enerjisinin TiN filmler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu açıklamışlardır.

Cheng and Tay (2003), filtreli katodik vakum ark kaplama yöntemi ile TiN kaplanmış filmlerin yapısını analiz ettikleri çalışmalarında, artık gerilme analizi için XRD kullanmışlar ve yağma basıncı, taban malzeme biası, yağma sıcaklığının film yapıları üzerindeki etkilerini araştırarak yapının gelişimini etkileyen ana parametrelerin, iç gerilme ve yüzey pürüzlülüğü olduğunu gözlemlemiştir.

Mustapha and Howson (2001), katodik ark buharlaştırma kaplama yöntemi ile büyütülen TiN ve ZrN ince filmlerin renk değişimini, azot ile geçiş metalleri arasındaki atomik orana ve oksijen kirliliğine göre incelemişler ve önemseye değen bir renk değişimin olmadığını, element ölçümündeki değişimin TiN'ün ZrN'den daha büyük olduğunu gözlemlemiştir.

Tanaka et al. (2001), katodik ark kaplama yöntemi ile karbür freze uçları üzerine (Al, Ti, Si)N kaplayarak aşınma ve korozyon dirençlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, (Al, Ti, Si)N filmlerin (Al, Ti)N ve (Ti, Al)N filmlerden daha yüksek sertliğe ve oksidasyon sıcaklığına sahip olduğunu ve (Al, Ti, Si)N kaplı karbür freze uçlarının sert malzemelerin yüksek hızlarda işlenmesinde (Al, Ti)N ve (Ti, Al)N kaplı malzemelerden daha yüksek bir aşınma direnci ve kesme performansı gösterdiklerini belirtmişlerdir.

Çelik ve metal üzerine ince film kaplanmasıyla malzemeler gevrekliklerini kaybederler ve kaplandıkları malzemeye yüksek aşınma mukavemeti sağlarlar. Bu çeliklerin ultra sert bir malzeme olan TiN gibi seramik malzemelerle kaplama teknikleri araştırılmış ve bu araştırmalar sonucunda 1960'lı yıllarda kimyasal buhar briketirme

(CVD) tekniği geliştirilmiş fakat 200-500°C sıcaklıklarda sertliklerini kaybeden takım çeliklerini kaplamak için bu yöntem başarılı olmamıştır. CVD tekniği ile 1100-1200°C arasında kaplama sıcaklığı gerektiği için bu yöntem ile yalnızca sert metal olarak bilinen wolfram karbür (WC) malzemeler üzerine kaplama yapılabilmektedir. 1970’li yıllarda yapılan araştırmalar sonucunda PVD tekniğinin bir yöntemi olan iyon kaplama metodu geliştirilmiştir. Bu metot ile yüksek hız ve sıcak iş çeliklerinin kaplaması yapılabilmiştir. Kesici takım kullanan firmalar, takımlarına bu tür sert kaplamalar uygulayarak, takım ömürlerini uzatmış ve tasarruf etmişlerdir (Ranea, 2002).

Tsao et al. (2002), çalışmalarında, geliştirilen yüzey kaplama teknikleriyle kaplanan malzemelerden beklenen özellikleri şöyle sıralamış; yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, yüksek kimyasal kararlılık ve tokluk, düşük çözünürlük, yüksek yük taşıma kapasitesi, düşük kesme kuvvetleri ve bu özellikleri sağlamak için uygulanması gereken başlıca kaplama türlerini ise TiN, TiAlN, TiCN, CrN olarak vermiştir.

Reichelt and Jiang (1990), yaptıkları çalışmalarda taban malzeme yüzeylerinin ince sert filmlerle kaplanmasıyla yüzey özelliklerinin geliştiğini vurgulamışlardır. Bu tür kaplamalarda genellikle CVD ve PVD yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle üretilen ince filmlerin, yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, yüksek korozyon direnci, kimyasal kararlılık ve kavitasyon ve erozyon aşınmalarına direnç gibi üstün özellikleri malzemenin yüzey özelliklerini önemli ölçüde geliştirmektedir.

Sert ve Meriç (1992), 5-10 m çaplarında değişen metal tozlarını oksiasetilen alevi veya plazma arkı arasından basınçla geçirilirken ergitilerek kaplanacak metalin yüzeyine hızla etki ettirilen, 1-6 mm kalınlığa kadar ana metalden daha farklı nitelikleri bulunan, ikinci bir metal ile kapladıkları bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, soğuk ve sıcak püskürtmede özel olarak hazırlanmış taban malzemenin yüzeyine basınçla gönderilen elik tozların iyi yapışması için ön ısıtmaya ihtiyaç vardır. Plazma arkı da n ısıtmaya tabii tutulur ve toz partiküller elektrik arkı arasından geçirilerek taban malzeme argon gazının koruyucu etkisi altında temiz, gözeneksiz ve daha başarılı bir kaplama yapılmış olur. Bundan dolayı ince filmler taban malzeme üzerine daha homojen kaplanmış olur.

Ezugwu et al. (2001), yaptıkları çalışmada, kullandıkları iş parçasını TiN ile kaplamışlar ve sonuç olarak iş parçasının kalitesini ve takım ömrünü artırmak için kesici takımların sert filmlerle kaplanmasını önermişlerdir.

Karagöz (1994), yaptığı çalışmada PVD yöntemi ile biriktirilen kaplamaların performansının iş parçası malzemesi ve kesme parametreleri ile belirlemiştir. TiN kaplamalar her uygulama alanı için en iyi kaplamalar olmadığından PVD ile yeni kaplama bileşenleri geliştirilmesi için çalışmaktadır. TiN yerine, HfN ve TiC gibi malzemelerin uygulama alanı bulamamasından dolayı çalışmalar üçlü ve dörtlü kaplamalar ile geçiş katmanlı kaplamalar yönünde ilerlemiştir. Üçlü ve dörtlü kaplamalara örnek olarak; TiAlN, TiAlN ve TiNbN verilebilir. Bu kaplamalar arasında en iyi performans TiAlN kaplamalarda gözlemlenmiştir.

Miao et al. (2007), yaptıkları çalışmada CrN-TiN çoklu kaplamasının aşınma direncini artırmak için magnezyum alaşımlı AZ91 malzemenin üzerine kaplama yapmışlardır. Kaplama kalınlıkları 2-12 µm arasında değişmiş ve elde edilen yapı XRD ve GDS ile analiz edilmiştir. SEM ile de yüzey morfolojisini incelemiştir. Kaplamalar ile taban malzemenin arasındaki adezyonu belirlemek için çizik testi kullanmışlardır. Sonuç olarak magnezyum alaşımlı AZ91 malzemenin üzerine yapılan kaplama ile hem korozyon hem de aşınma direncinde iyileşme gözlemlenmiştir.

Yalçın ve Yılmaz (2000), matkap takımlarını PVD ile TiN kaplayarak yaptıkları çalışmalarında, kaplanan takımların yüzey sertliklerinin kaplamasız takımlara göre iki kat daha sert olduğunu gözlemlemişler ve bu sayede takım yüzeyinde çatlaklar ve dökülmeler olmadığını belirtmişlerdir.

Baregetti (2007), düz dişli çarkların PVD yöntemi ile CrN kaplamasıyla ilgili yaptığı çalışmasında, yaptığı kaplama ile düz dişli çarkların yorulma direncini artırmanın mümkün olduğunu göstermiştir. Yaptığı çalışmalar sonucunda, otomotiv güç aktarma organlarında (volan dişlisi, vites kutusu vb.) kullanılan CrN kaplanmış düz dişli çarkın yorulma ömrünü numerik bir model ile ortaya koymuştur. Bu çalışmanın amacı, PVD kaplamaların yüksek hız yapmak üzere tasarlanmış yarış arabalarında kullanılan çelik ve titanyum kaplı düz dişli çarkların yorulma direncine etkisini araştırmaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Başman vd. (1998), yaptıkları çalışma ile PVD ve CVD yöntemleriyle ince film kaplanmış makine parçaları ve yapı elemanlarının yorulma dayanımının arttığını gözlemlemişlerdir.

Janoss (2003), çalışmasında kaplama yöntemi ile kaplama malzemesinin yüzeyin mekanik ve fiziksel özelliklerine ve sertlik, sürtünme katsayısı, oksidasyon sıcaklığı, korozyon dayanımı vb. özelliklere etkisini incelemiştir. En yüksek sertlik değerini PVD ile TiAlN kaplanmış numunede 4500HV ölçerken, en iyi korozyon direncini CrN ile kaplanmış numunede belirlemiştir. En düşük sertlik değerini ise PVD yöntemiyle CrN kaplanan numunede tespit etmiştir.

Tuck et al. (2001), filtreli katodik ark kaplama yöntemi ile M2 takım çeliği üzerine ince sert nitürü kaplamalar ile kaplayarak bu filmlerin makro ve mikro sertlik ölçme yöntemleri ile analiz etmişlerdir. Sonuçları “work-of-indentation” modeli ile analiz etmişlerdir. Çalıştıkları bu yeni model için iki farklı parametre önererek sadece mikrosertlik sonuçlarını kullanarak kaplamalar hakkında daha fazla bilgi elde edilmesine imkan sağlamışlardır.

Totik vd. (2000), çalışmalarında HSS-M2 taban malzemeyi TiAlN ile kaplamış ve ısıtıl işlem öncesi ve sonrası tribolojik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak; yaptıkları XRD, SEM, EDS ve mikrosertlik incelemelerinde ısıtıl işlem ile malzemenin sertlik değerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Bunun sebebini ise, sıcaklığa bağlı olarak yapı içerisindeki kafes parametrelerinin azalması, tane boyutunun büyümesi, gerilmelerin azalması ve Ti₂N fazının ısıtıl işlem ile çözünmesi olarak açıklamışlardır. Aynı zamanda bunların sonucu olarak yapı içindeki elementlerin ısıtıl işlem ile α -Fe içinde çözünmesi ve fazların değişmesinin kaplama ile taban malzeme arasındaki difüzyonu arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Öztürk vd. (2008), yaptıkları çalışmada TiN, CrN ve MoN kaplı ince filmlerin çeşitli kayma şartları altında tribolojik davranışlarını araştırarak kaplamalar arasında kıyaslama yapmıştır. Öztürk çalışmasında, TiN ve CrN kaplamaların endüstride ve tribolojik uygulamalarda çok yaygın olarak kullanıldığını, MoN kaplamaların TiN ve CrN kaplamalardan daha yüksek sertlik değerine sahip olmasına rağmen kullanımının yaygın olmadığını belirtmiştir. Kaplamaların içerisine Cu katılarak yaptığı çalışmasında

TiN, CrN ve MoN kaplı ince filmlerin tane büyüklüğünü ve morfolojisini değiştirdiğini gözlemlemiştir. Bu yöntem yalnızca MoN kaplamanın aşınma davranışı ve sürtünmesi üzerinde fayda sağladığı belirlenmiştir. CrN kaplamanın Cu eklenmesiyle davranışının fazla etkilenmediği ancak TiN kaplamanın Cu eklenmesiyle aşınma davranışına olumsuz etkisi olduğunu gözlemlemiştir. Yöntemin hala geliştirilmekte olduğunu belirtmiştir.

Paulitscha et al. (2008), CrN ve TiN kaplamalar üzerine yaptıkları çalışmalarında, yüksek aşınma direncine sahip olmaları nedeniyle endüstride sıklıkla kullanılan CrN ve TiN kaplamaların mekanik özelliklerini iyileştirebilmek adına kaplama sırasında iyon bombardımanı (High Power İmpulse Magnetron Sputtering, HPIMS) yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, HPIMS yöntemiyle kaplanan TiN ve CrN kaplamaların mekanik ve tribolojik özelliklerinde iyileşmeler gözlemlediklerini belirtmişlerdir.

Özgür vd. (2008), çalışmasında M41 yüksek hız çeliği taban malzemeye PVD yöntemiyle TiN, TiAlN, CrN, AlTiN ve TiCN kaplamışlardır. Kuru şartlar altında pin on ring test cihazında aşınma performanslarını incelemişler ve TiAlN ve AlTiN kaplamaların diğerlerine oranla daha iyi aşınma performansı gösterdiklerini kaydetmişlerdir.

Zhou et al. (2010), yaptıkları çalışmalarında TiAlN/VN çok katmanlı kaplamaların, kuru kayma aşınma direncinin oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda arttığını ve kaplamanın daha yüksek aşınma oranını sıcaklıkla gösterdiğine dikkat çekmiştir

Sert (1997), TiN ile kaplanan alüminyum ekstrüzyon kalıplarının, kaplama yapılmayan kalıplara oranla daha az aşındığını tespit etmiştir. TiN kaplı kalıplarda aşınmanın lineer, kaplamasız kalıplarda ise üstel olarak arttığını gözlemlemiş ve sonuç olarak aşınmanın yavaşlatılarak geciktirilebildiğinden dolayı kalıp performanslarının arttığını belirtmişlerdir.

Toprak (2002), borlanmış ve PVD ile TiN kaplanmış Küresel Grafiti Dökme Demir (KGDD) kam milleri ile kaplamasız ve sertleştirilmiş dövme kam millerinin performanslarını incelediği çalışmasında, aşınma deneyleri sonucunda bor ve TiN kaplı

numunelerin diğerlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiş ve küresel grafiti dökme demirlere TiN kaplama yapılabileceği kanaatine varmıştır.

Karamış vd. (1994), malzemelerin aşınmasına etki eden faktörleri inceledikleri çalışmalarında, aşınmanın yüzey sertliği ile alakası olmasına rağmen tamamen sertliğe bağlı olmadığını ancak abrasiv aşınmalarda en önemli faktörün sertlik olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında kaplanmış malzemelerde kaplama tabakasının taban malzemeye yapışmasının önemini vurgulamışlar ve yapışma mukavemeti arttıkça kaplamanın soyulma ihtimalinin azaldığını göstermişlerdir. Yapışma mukavemetini artırmak için taban malzeme yüzeyini kaplamadan önce girintili çıkıntılı hazırlanması önermişler ve bu şartlarda yapılan deneylerde kaplamanın kalınlığının aşınma üzerinde etkili olmadığını ancak ağır şartlar altında uzun süre çalışan parçalarda kalınlığın aşınmayı etkileyebileceğini belirtmişlerdir.

Renea (2002), yüksek hız çeliklerinin TiC, TiCN, TiAlN ve TiN ile kaplayarak yaptığı çalışmada, aşınma hızlarını pin on disk üzerinde ve kuru sürtünme ortamında tespit etmiş ve en düşük aşınma hızının TiAlN kaplı malzemede gözlemlendiğini belirtmiştir.

Ebrahimi et al. (2014), plazma nitrülenmiş AISI 4140 çelik üzerine DLC kaplamanın aşınma davranışı inceledikleri çalışmalarında, nitrüleme işleminin DLC filmin taban malzeme üzerine adezyonunu geliştirdiğini gözlemlemişlerdir.

Hacısalihoglu vd. (2017), çalışmalarında TiN, TiCN, AlTiN ve CrN ile kapladıkları yüksek hız çeliklerinin aşınma performansını araştırmış ve en düşük yıpranmış hacmin yalnızca CrN kaplı yüzeyden elde edildiğini, ayrıca, bor içeren kesme sıvısında test edilen tüm örneklerin sürtünme katsayılarının, kuru kayma durumuna kıyasla daha düşük ve oldukça stabil olduğu gözlemlemişlerdir.

Mo et al. (2013), PVD ile CrN, AlCrN ve AlTiN büyütülen filmlerin aşınma direncini araştırdıkları çalışmalarında, CrN kaplamanın düşük sertliği nedeniyle, diğer kaplamalar arasında en düşük aşınma direncine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Byun et al. (2017), çalışmalarında çelik levhaları PVD ile Zn-Mg-Zn çok katmanlı filmler kaplamış ve ısıtılma işleminin faz değişimi, adezyon ve korozyon direnci üzerine etkisini

incelemişlerdir. Sonuç olarak, ısıtılma süresi arttıkça Zn, Mg ve Mg_2Zn_{11} fazlarının hacim oranının azaldığını ve $MgZn_2$ fazının sürekli olarak arttığını gözlemlemişlerdir.

Courbon et al. (2015), çalışmalarında PVD ile büyütülen AlTiN filmlerin sürtünme ve adezyon eğilimini etkileyen mekanizmaları incelemişlerdir. Sonuçta, cilalı yüzeylerin anında yapıştığını ve bir transfer mekanizması oluştuğunu gözlemlerken, kaplanmış yüzeylerin kalıntıları toplamak ve sıkıştırmak için biraz daha zamana ihtiyaç duyduğunu belirtmişlerdir.

Sveen et al. (2013), yüksek hız takım çeliği, sementit karbür ve PCBN (çok kristalli kübik bor nitrat) taban malzemeler üzerine PVD ile TiAlN kapladıkları çalışmalarında, kaplamanın adezyon karakterini incelemişler ve kritik yükü en fazla olanın PCBN olduğunu sonrasında yüksek hız takım çeliği ve sementit karbür olduğunu gözlemlemişlerdir.

Chen and Bull (2011), çalışmalarında yeni PVD kaplamaların geliştirilmesi ve tasarlanması için, kaplamaların mekanik özelliklerinin karakterize edilmesi ve kaplama/tabana malzemesi arasındaki deformasyon mekanizmalarının anlaşılmasının oldukça önemli olduğundan ve kaplanmış sistemlerin adezyon özelliklerinin belirlenmesi için en yaygın ve güvenilir yöntemlerden birinin çizme testi olduğu belirtmişlerdir.

Kovacı vd. (2017), PVD ile AISI 4140 çelik taban malzeme üzerine büyütülen DLC filmlerin adezyonuna plazma nitrürleme işleminin etkisini araştırdıkları çalışmalarında, nitrürleme yapılmamış AISI 4140 üzerine kaplanan DLC filmlerin nitrürleme işlemi ile adezyonunun geliştirildiğini fakat yüksek nitrürleme sıcaklığı ve uzun sürenin DLC kaplamaların adezyonu üzerinde olumsuz bir etki sergilediği gözlemlenmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada taban malzeme olarak; AISI M2 yüksek hız takım çeliği kullanılmıştır. Taban malzeme öncelikle yüzey temizleme işlemleriyle temizlenmiş ve sonrasında CFUBMS metoduyla DLC ve CAPVD metoduyla TiN ve CrN ile kaplanmıştır. Kaplamalara ilk olarak XRD ile artık gerilme analizi yapılmıştır. Daha sonrasında kaplamaların sertlik değerleri incelenmiştir. Tribolojik özelliklerini belirlemek için ise ball on disk yöntemiyle aşınma deneyleri yapılmıştır. Elde edilen kaplamaların son olarak elektron mikroskopuyla kaplama tabakasının yüzey ve kesit morfolojisi incelenmiştir.

Çizelge 3. 1. AISI M2 çeliğinin kimyasal bileşimi (%).

| C | Cr | Mo | W | V | Co | Ni | Si | Mn | S | P |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 0.88 | 4.25 | 5.00 | 6.40 | 1.83 | 0.14 | 0.45 | 0.22 | 0.34 | 0.011 | 0.016 |

3.2. Kaplama Sistemi

DLC numune için kaplama işlemi Şekil 3.1’de gösterilen Vaksis Ar-Ge ve Mühendislik firmasına ait PVD-MT / 2M 2T cihazı ile, Kapalı Alan Dengesiz Manyetik Alanda Sıçratma (CFUBMS) sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Hem DC ve RF güç kaynağına sahip ve bilgisayar üzerinden çalışan bir yazılımla kontrol edildi. Kaplama işleminde 2 inç çapında bir karbon hedef kullanıldı. Taban malzeme ve hedef arasındaki mesafe 90 mm olarak ayarlandı. Daha homojen kaplamalar elde edebilmek için taban malzemenin merkezi eksenleri etrafında 5 rpm hızda döndürülmüştür. Biriktirme işleminden önce taban malzemenin, olası kirleticilerin etkisinden uzaklaştırılması için 30 dakika boyunca 30 sccm gaz akışı altında argon gazıyla (yaklaşık% 99.999 saflıkta), 30 dakika boyunca 700 V negatif ön gerilim voltajıyla temizlenmiştir. DLC kaplama, 0,27 Pa işlem basıncı ve 20 sccm argon gazı akışı altında 150 W DC gücü ile çöktürüldü. Kaplama işlemi sırasında taban malzemeye 50 V negatif bias voltajı uygulandı.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

TiN ve CrN numuneler ise Katodik Ark Fiziksel Buhar Biriktirme (CAPVD) yöntemi ile BARLOK PVD A.Ş. şirketine ait CAPVD cihazı ile kaplanmıştır.



Şekil 3. 1. PVD-MT / 2M 2T cihazı (www.vaksis.com, 28.08.2017).

3.3. XRD ve SEM ve Optik Mikroskop Çalışmaları

AISI M2 yüksek hız takım çeliği üzerine kaplanmış TiN, CrN, DLC filmlerin mikro yapısını incelemek, kaplama kalınlığını tespit etmek, aşınma deneyleri sonrasında oluşan aşınma izlerini, yüzey görünümü ve çizik testi sonrası elde edilen çizik görüntülerinin tespiti için FEI QUANTA-FEG 250 SEM (Şekil 3.2) marka SEM (taramalı elektron mikroskobu) kullanılmıştır.



Şekil 3. 2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

AISI M2 yüksek hız takım çeliği üzerine kaplanmış TiN, CrN ve DLC filmlerin yüzeyinde oluşan faz ve kalıntı gerilme analizleri $\lambda=1.5405 \text{ \AA}$ dalga boyuna sahip 30 kV ve 30 mA'de çalıştırılan Cu-K α radyasyon kaynağı ile GNR-Explorer XRD cihazı (Şekil 3.3) vasıtasıyla belirlenmiştir. Elde edilen faz kompozisyonu PDF-4 pik listeleri ile karşılaştırılarak oluşan fazların kimyasal kompozisyonları tespit edilmiştir.



Şekil 3. 3. X-Işını kırınım ölçer (XRD).

Aşınma deneyleri sonrasında elde edilen aşınma hacmi ve yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için Şekil 3.4'te gösterilen Bruker Contour GT-I, 3D optik mikroskop kullanıldı.



Şekil 3. 4. Bruker Contour GT-I

3.4. Mikro Sertlik Ölçümleri

AISI M2 yüksek hız takım çeliği üzerine kaplanmış TiN, CrN ve DLC filmlerin mikro sertlik ölçümleri için Şekil 3.5 'de gösterilen Shimadzu HMV G20 mikro sertlik cihazı kullanılmıştır.

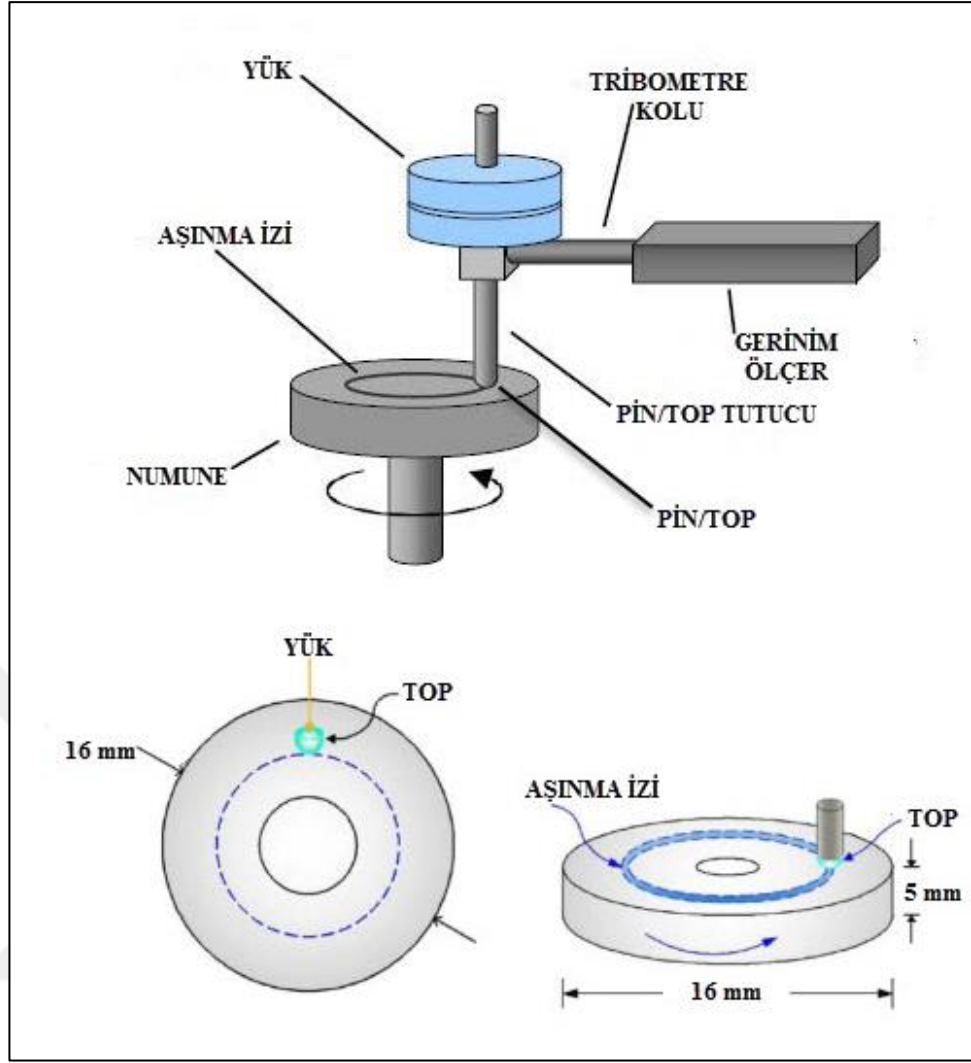
Mikro sertlik ölçümleri 100 g yük altında ve 15 s bekleme süresinde Shimadzu HMV G20 mikro sertlik cihazı ile beş ölçüm alınmış ve bu değerlerin ortalaması çizelgelerde verilmiştir.



Şekil 3. 5. Shimadzu HMV G20

3.5. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri için Şekil 3.7’de gösterilen Bruker-UMT (Bruker Universal Mechanical Tester) tribometre test cihazı ile “Ball on Disk “ yöntemine adapte edilerek kullanılmıştır. Şekil 3.6’da şematik olarak gösterilen ball-on disk yönteminde 16 mm çap, 5 mm yüksekliğindeki numuneler oda sıcaklığında Al_2O_3 top ile kuru sürtünme şartlarında aşındırılmıştır. Uygulanan deney şartları Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3. 6. Ball-on-disk yönteminin şematik gösterimi.

Çizelge 3. 2. Aşınma deneyi parametreleri.

| PARAMETRELER | DEĞERLER |
|------------------------|----------------------|
| Uygulanan Yük (N) | 5 |
| Aşınma İzi Çapı (mm) | 4 |
| Sıcaklık (°C) | Oda Sıcaklığı (23±2) |
| Aşındırma Hızı (rpm) | 150 |
| Aşındırma Mesafesi (m) | 141 |

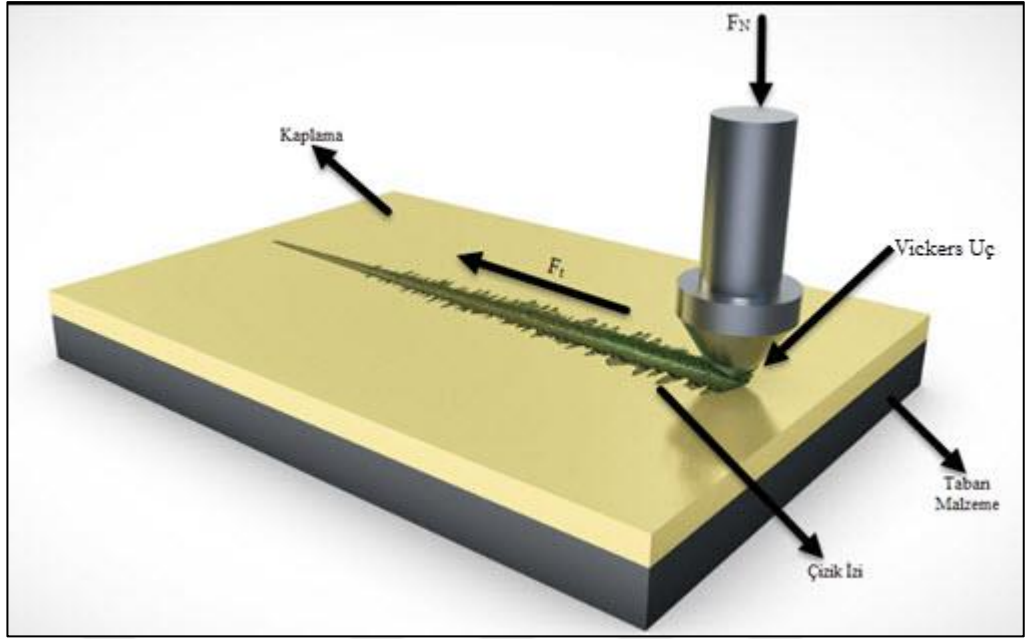
3.6. Çizme Testi

Yapışma gerilmesi taban malzemeden kaplama malzemesini koparmak için gerekli olan gerilmedir. Kaplamanın bozulmaya başladığı normal yüke kritik yük denir ve L_c ile gösterilir (Yetim, 2009).

Çizme testi için Şekil 3.7’de gösterilen Bruker-UMT (Bruker Universal Mechanical Tester) tribometre test cihazı kullanılmıştır. Kritik yükleri ölçmek için standart adezyon testi yapılmıştır. Adezyon, 100 g yükte ve 15 s yükleme süresi ile vickers elmas batıcı uç ile ölçülmüştür. Elmas ucun ilk geçişi sırasında görülebilir çizik izleri meydana gelmiştir. Şekil 3.8’de çizme testi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. 7. Bruker-UMT tribometre.

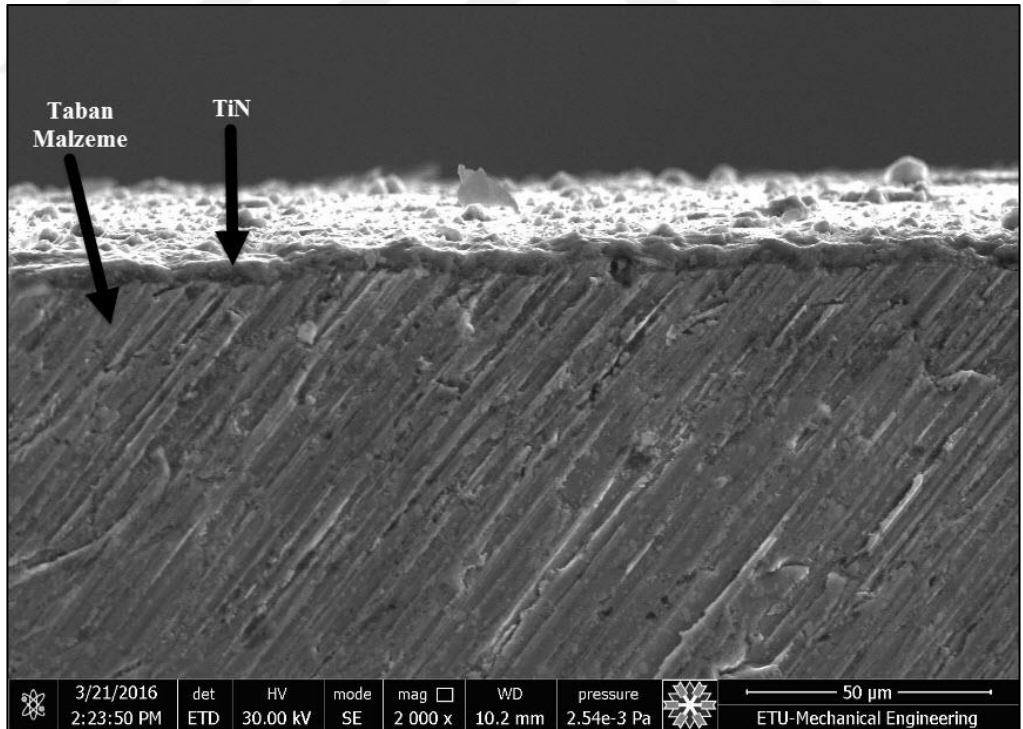


Şekil 3. 8. Çizme testinin şematik olarak gösterimi

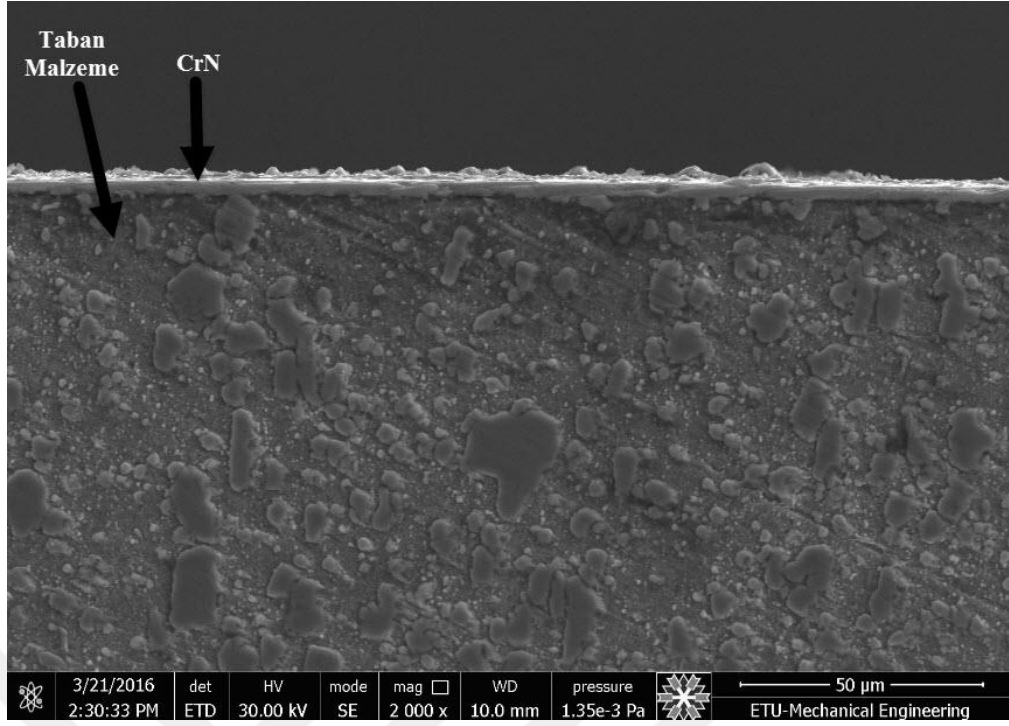
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Film Yapısı ve Kalınlığı

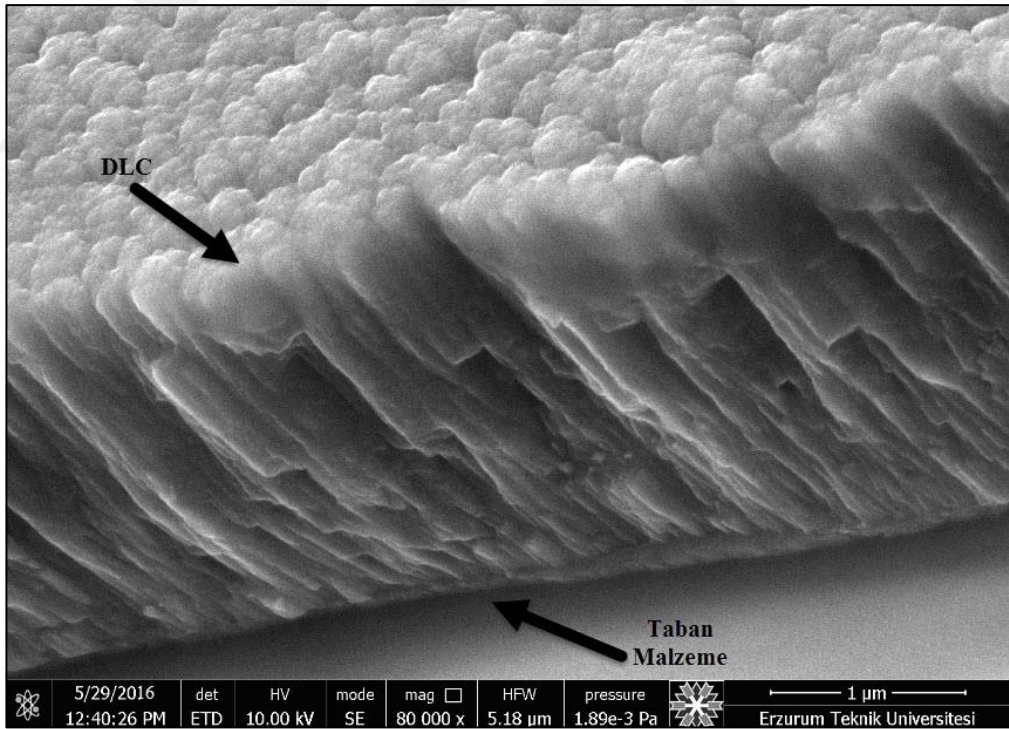
CFUBMS metoduyla kaplanan DLC ve CAPVD metoduyla kaplanan TiN ve CrN kaplamaların kesit SEM görüntüleri Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir. Kesitlerden elde edilen kaplama kalınlıkları da Çizelge 4.1'de verilmiştir. DLC kaplamanın kalınlığı yaklaşık 2 μm , TiN ve CrN kaplamaların kalınlıkları ise yaklaşık 1.5 μm olarak belirlenmiştir. Kaplama kalınlıklarının yakın değerlerde olması aşınma deneylerinin güvenilirliği açısından da önem arz etmektedir. Tüm numuneler için kompakt bir yüzey elde edilmiş olmasına rağmen, birikme kusurlarından dolayı az miktarda küçük gözenekler olduğu tespit edilmiştir. SEM görüntüleri ile yüzeyler detaylı şekilde incelenmiş ve yüzeylerin pürüzlülükleri belirlenmiştir. Bu görüntülere göre tüm yüzeylerde büyüme kusurları ve gözenekler olduğu görülmüştür. TiN kaplı malzemenin diğerlerinden daha gözenekli bir yüzeye sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. 1 TiN filmin yapısı ve kalınlığı.



Şekil 4. 2 CrN filmin yapısı ve kalınlığı.



Şekil 4. 3 DLC filmin yapısı ve kalınlığı.

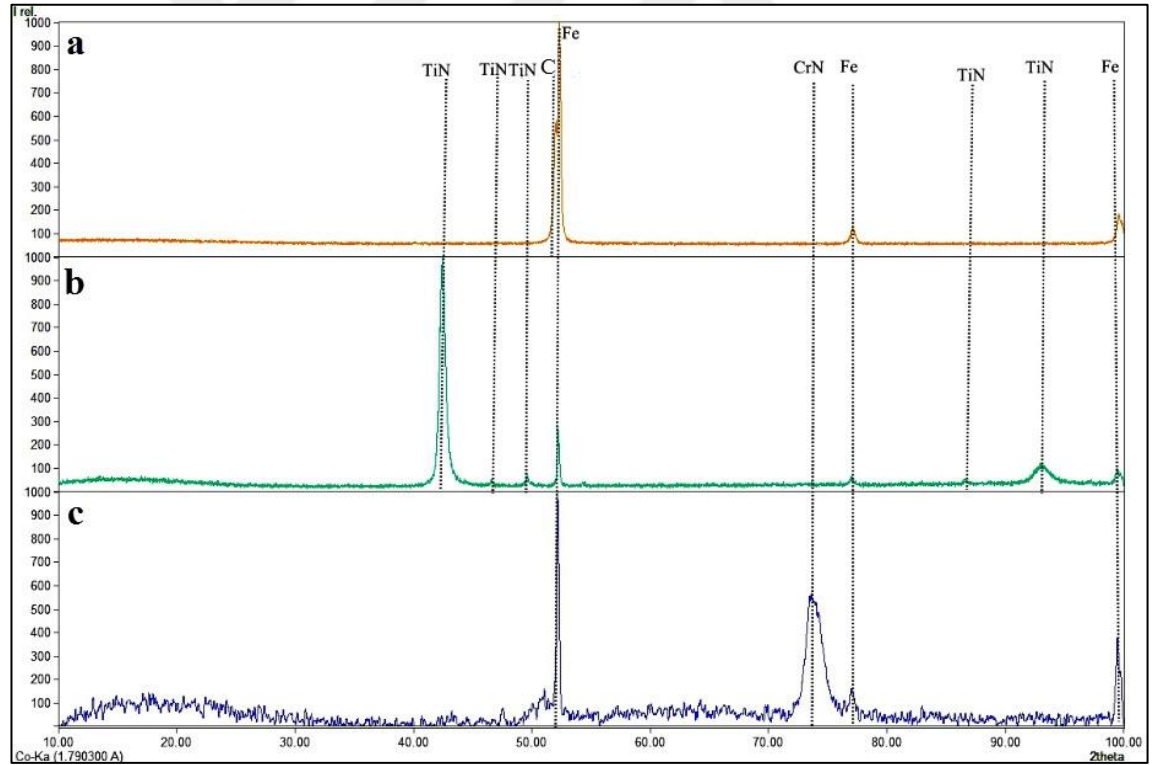
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4. 1. TiN, CrN, DLC için deney sonuçları.

| Film Kalınlığı (µm) | Sertlik (HV _{0.01}) | Ortalama Sürtünme Katsayısı | Aşınma Oranı (mm ³ /Nm) | Artık Gerilme (GPa) | Kritik Yük(L _c) (N) | |
|---------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|----|
| TiN | 1-1.5 | 800-900 | 0.7 | 18×10 ⁻⁵ | -6.47 | 25 |
| CrN | 1-1.5 | 600-700 | 0.45 | 5×10 ⁻⁶ | -2.10 | 40 |
| DLC | 1.5-2 | 700-750 | 0.08 | 1,84×10 ⁻⁶ | -3.25 | 35 |

4.2. XRD Analizleri

PVD yöntemi ile AISI M2 taban malzeme üzerine kaplanmış TiN, CrN ve DLC film kaplamaların kristalografik özellikleri Şekil 4.4'te verilen XRD spektrumları ile belirlenmiştir.



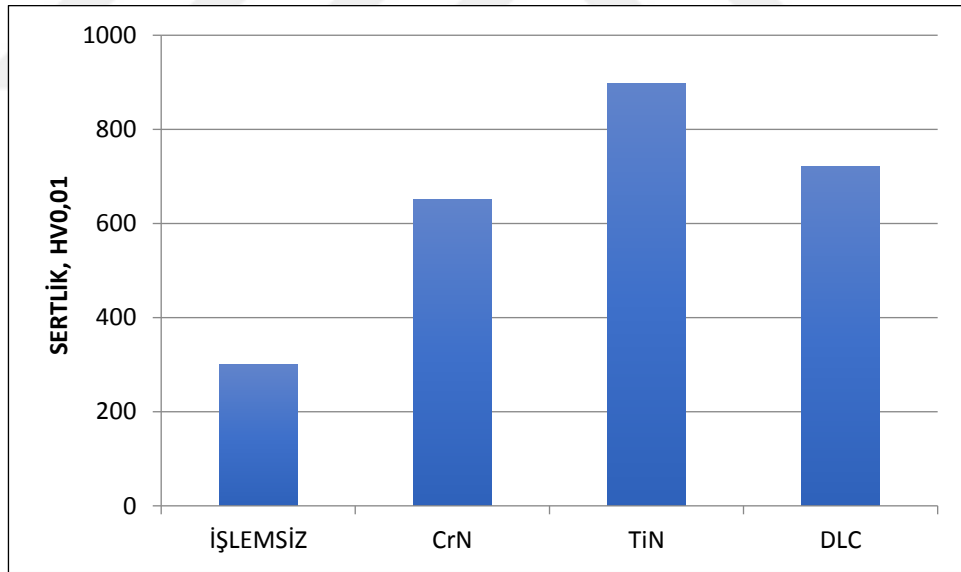
Şekil 4. 4. XRD analizleri (a) DLC kaplama (b) TiN kaplama (c) CrN kaplama.

XRD sonuçları, beklenen fazları içerecek şekilde filmlerin büyütüldüğünü göstermektedir. Elde edilen XRD sonuçlarına göre DLC kaplamanın beklenildiği gibi C (karbon) yapısını ortaya koyduğu ve taban malzemeden de α -Fe fazına ait piklerin

yansıdığı tespit edilmiştir (Şekil 4.4 (a)). Şekil 4.4 (b-c)'de görüldüğü üzere TiN ve CrN kaplı filmlerde ise TiN ve CrN fazları elde edilmiştir. Kaplamanın düşük kalınlığından dolayı taban malzemeden gelen α -Fe fazına ait pikler de gözlemlenmiştir.

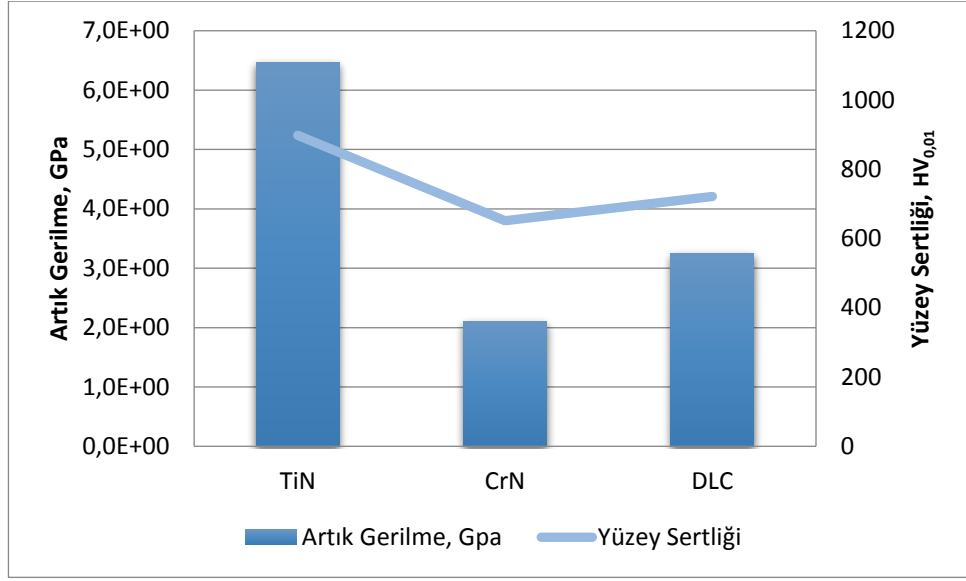
4.3. Mikro Sertlik Bulguları

İşlemsiz, TiN, CrN ve DLC kaplanmış AISI M2 yüksek hız takım çeliğinin mikro sertlik değerleri Çizelge 4.1 ve Şekil 4.5'de verilmiştir. En yüksek sertlik değeri TiN kaplı numunede belirlenmiştir ve işlemsiz numuneye göre TiN, CrN ve DLC film kaplama sertlik değerini yaklaşık 2.5 kat arttırmıştır. Filmlerin sertliği malzemeleri oluşturan fazlara bağlı olarak değişmektedir. Sertlik, iyi aşınma davranışı için en önemli parametrelerden biridir (Chaleix and Machet, 1997). Azot akış oranının %7.5'den az olduğu durumlarda, kaplamaların sertliği artmaktadır ve azot akışının artması kristal-amorf geçişi sırasında bağlanma mukavemetini azaltmaktadır ve sertlik azalırken, tokluk artar (Wiedemannvd., 1999).



Şekil 4. 5. İşlemsiz, TiN, CrN ve DLC kaplanmış AISI M2 yüksek hız takım çeliğinin sertlik değerleri.

Yapılan çalışmalarda malzemenin sertlik davranışı ile artık gerilmesinin paralel bir davranış sergilediği, sertliğin artması ile artık gerilmenin artacağı belirtilmiştir (Paldey et al., 2003). Bu çalışmada da literatürdeki çalışmalara benzer şekilde artan sertlik değerine paralel olarak artık gerilmenin de arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.6).

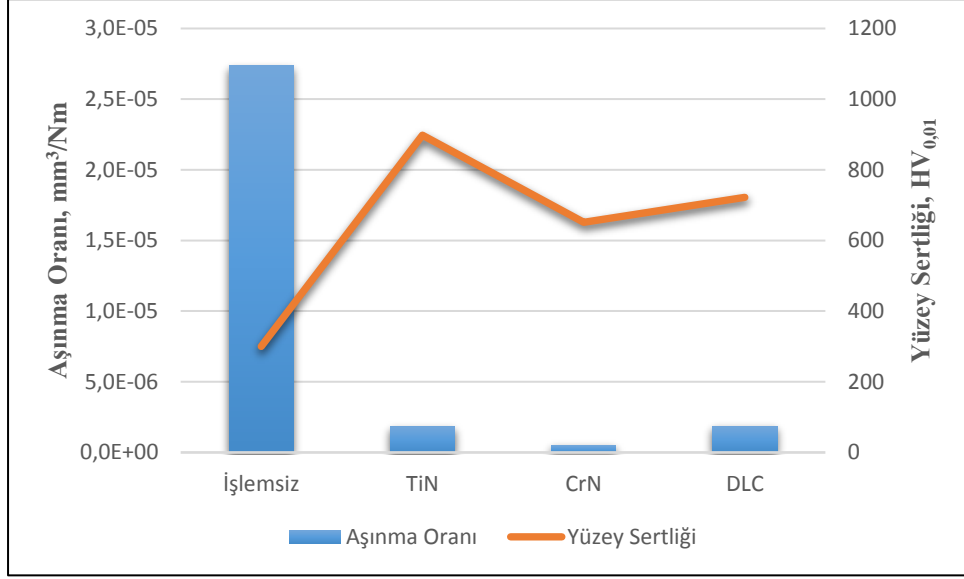


Şekil 4. 6. TiN, CrN ve DLC kaplı numunelerin artık gerilme-sertlik ilişkisi.

(Yetim, 2009) çalışmasında, numuneye uygulanan yük arttıkça sertlik değerinin azaldığını ve düşük yükler altında yapılan sertlik ölçümlerinde plastik deformasyon miktarının dolayısıyla batma derinliğinin azalmasının sertlik değerinin yüksek çıkmasına neden olduğunu gözlemlemiştir.

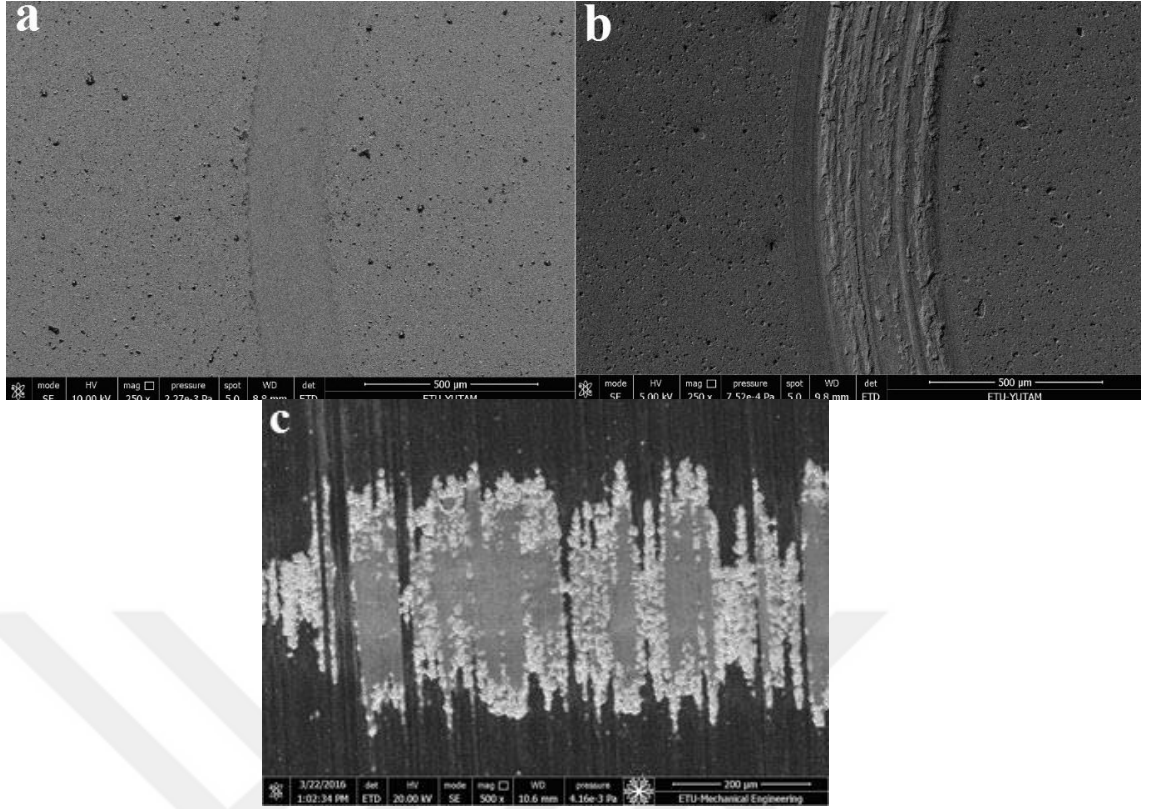
4.4. Aşınma Deneyi Bulguları

Çizelge 3.2'de belirtilen parametrelere göre yapılan aşınma deneylerinde, kaplama işleminin AISI M2 yüksek hız takım çeliğinin aşınma direncini geliştirmede etkili olduğu görülmüştür. Yapılan aşınma deneyleri sonucunda Şekil 4.5'e göre en düşük aşınma hacmi CrN kaplı numunede gözlemlenmiştir. Grafikten yüzey sertliğinin aşınma oranı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Yüzey sertliği arttıkça aşınma oranı azalmıştır.



Şekil 4. 7. İşlemsiz, TiN, CrN ve DLC kaplı numunelerin aşınma-sertlik ilişkisi.

İnce film kaplanmış, Çizelge 3.2’de belirtilen parametrelere göre aşınma deneyleri yapılmış TiN, CrN ve DLC filmlerin aşınma izi SEM görüntüleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Buna göre; TiN numunelerin aşınma izler etrafında soyulma kusurları gözlenmiştir. Bu kusurlar özellikle TiN kaplı numunede aşındırıcı etkilere ve dolayısıyla aşınma hacminde artışa neden olmuştur. En düşük aşınma hacmi şekil 4.6 (a)’da görüldüğü üzere CrN kaplı numunede oluşmuştur. Dar aşınma izi ve soyulma kusurunun bulunmaması nedeniyle CrN film kaplama ile taban malzeme arasındaki adezyonun yeterince güçlü olduğu sonucuna varılabilir.

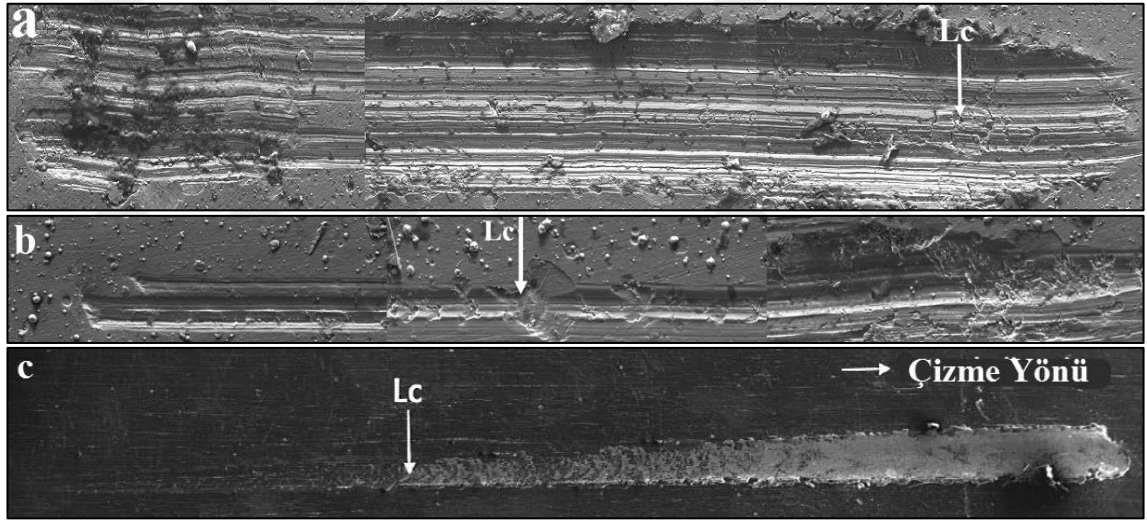


Şekil 4. 8. Aşınma izlerinin SEM görüntüleri (a) CrN kaplanmış (b) TiN kaplanmış (c) DLC kaplanmış.

4.5. Çizme Testi Bulguları

Kaplamaların performansı, kaplama ile taban malzeme arasındaki adezyona bağlıdır. Çizme testi, kaplama-taban malzeme yapışmasını belirlemek için akademik çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Elmas çizici bir uç ile artan bir yük altında kaplama boyunca çizmesi ile taban malzeme ile kaplama arasındaki adezyon ölçülür. Sonrasında, kaplama ile taban malzeme arasındaki hatayı belirlen bir kritik yük (L_c) ölçülür (Kovacı vd., 2017). Stallard et al. (2006), çalışmasında kritik yük değerinin (L_c), taban malzemenin sertliğine, film kalınlığına ve malzemenin temel özelliklerine göre değiştiğini belirtmiştir. Yumuşak taban malzemeler sert kaplamalar ile kaplandığında taban malzemenin deformasyonuna veya kırılmasına neden olur. Diğer yandan, sert yüzeylere uygulanan sert kaplamalar, minimum plastik deformasyon ve kırılma ile sonuçlanmaktadır (Bull and Berasetegui, 2006). AISI M2 taban malzeme üzerine kaplanan TiN, CrN ve DLC filmlerin çizik testi sonucunda elde edilen kritik yük değerleri Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Buna göre sertlik değeri en yüksek olan TiN kaplı numunenin L_c değeri beklenildiği gibi en düşük olarak belirlenmiştir. Bunun nedeninin yüksek sertliğe bağlı olarak bası gerilmesi olarak gelişen yüksek artık gerilme değeri

olduğu düşünülmektedir. Her üç kaplama türü için de oluşan artık gerilmeler bası artık gerilmeleridir. Hem artık gerilmenin bası artık gerilmeleri olması hem de indenter'in bası yükü uygulayarak çizik testini yapmasından dolayı oluşan kümülatif etki sebebiyle, artık gerilmelerindeki artışının film adezyonunu azalttığı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalara göre yüksek sertliğin malzemenin yapışma yeteneği yani adezyonunu azaltarak olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Bu çalışmada da literatüre uygun şekilde benzer bir sonuç elde edilmiştir. En yüksek artık gerilme ve sertlik değerlerine sahip TiN kaplamanın, diğer 2 malzeme içerisinde en kötü adezyon davranışı sergilediği belirlenmiştir. En düşük artık gerilme ve sertlik değerlerine sahip CrN kaplamanın ise yine beklendiği şekilde en iyi adezyon davranışını sergilediği görülmüştür. Sert kaplamalarda görülen bu adezyon probleminin kaplamaya farklı yüzey işlemleri uygulayarak iyileştirilebileceği düşünülmektedir.



Şekil 4. 9. Çizik izleri SEM görüntüleri (a) CrN kaplanmış (b) TiN kaplanmış (c) DLC kaplanmış.

TiN, CrN ve DLC kaplı numunelerin çizme testi sonucu oluşan çizik izlerinin SEM görüntüleri Şekil 4.8 (a)-(c)'de verilmiştir. TiN ve CrN kaplı numuneler için Şekil 4.8 (a-b)'de görüldüğü üzere çizik izlerinde önemli ölçüde kırılma ve parçalanma gözlemlenmiştir. Ayrıca kaplamalara ait çizik izlerinin kenarlarında adezyon hataları gözlemlenmiştir. Şekil 4.7 (c)'de verilen DLC çizik izi SEM görüntüsüne göre DLC kaplamalarda yalnızca ince çatlaklar meydana gelmiştir. Artan sertlik değerine bağlı olarak, yüksek artık gerilme ve sertlik değerinin adezyon davranışı üzerinde önemli bir olumsuz etkiye sahip olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada taban malzeme olarak AISI M2 yüksek hız takım çeliği kullanılmış ve sonrasında CFUBMS metoduyla DLC ve CAPVD metoduyla TiN ve CrN ile kaplanmıştır. Kaplamalara ilk olarak XRD ile artık gerilme analizi yapılmış ve sonrasında sertlik değerleri incelenmiştir. Tribolojik özelliklerini belirlemek için ise ball on disk yöntemiyle aşınma deneyleri yapılmıştır ve elde edilen kaplamaların son olarak elektron mikroskopuyla kaplama tabakasının yüzey ve kesit morfolojisi incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- I. Fiziksel buhar kaplama ile AISI M2 yüksek hız takım çeliklerinde başarılı bir şekilde TiN, CrN ve DLC kaplamalar oluşturulabilmektedir.
- II. DLC kaplamanın kalınlığı yaklaşık 2 μm , TiN ve CrN kaplamaların kalınlıkları ise yaklaşık 1.5 μm olarak belirlenmiştir.
- III. Tüm numuneler için kompakt bir yüzey elde edilmiş olmasına rağmen, birikme kusurlarından dolayı az miktarda küçük gözenekler olduğu tespit edilmiştir.
- IV. SEM görüntüleri ile yüzeyler detaylı bir şekilde incelenmiş ve yüzeylerin pürüzlülüğü gözlemlenmiştir. Bu görüntülere göre tüm yüzeylerde büyüme kusurları ve gözenekler olduğu görülmüştür. TiN kaplı yüzey diğerlerinden daha gözenekli bir yüzeye sahip olduğu belirlenmiştir.
- V. En yüksek sertlik değeri TiN (898 HV_{0.01}) kaplı numunede belirlenirken en düşük sertlik değeri ise CrN (651,4 HV_{0.01}) kaplı numunede belirlenmiştir. İşlemsiz numuneye göre TiN, CrN ve DLC film kaplamak sertlik değerini yaklaşık 2.5 kat artırmıştır.

- VI. XRD analizleri ile DLC film kaplanmış numunede tabaka içerisinde C fazına ve taban malzemeden gelen Fe rastlanmıştır. TiN film kaplanmış numunede beklenildiği gibi tabaka içerisinde TiN fazına ve düşük kalınlıktan dolayı yine taban malzemeden gelen Fe rastlanmıştır. CrN film kaplanmış numunede de benzer şekilde tabaka içerisinde CrN fazına ve düşük kalınlıktan dolayı taban malzemeden gelen Fe gözlemlenmiştir.
- VII. Kuru koşullarda yapılan aşınma deneylerine göre, kaplama işlemi AISI M2 yüksek hız takım çeliğinin aşınma direncini geliştirmede etkili olmuştur. En düşük aşınma hacmi CrN kaplı numunede gözlemlenmiştir.
- VIII. Çizme testi sonucunda en düşük Lc değeri TiN kaplı numunede belirlenmiştir (Lc= 25 GPa). En yüksek Lc değeri ise CrN kaplı numunede gözlemlenmiştir (Lc=40 GPa).
- IX. Yapılan artık gerilme analizleri sonucunda literatüre uygun olarak en yüksek sertliğe sahip olan TiN kaplı numunenin artık gerilme değeri; -6.47 GPa (bası gerilmesi) olarak ölçülmüştür. En düşük sertliğe sahip olan CrN kaplı numunenin artık gerilme değeri ise -2.10 GPa (bası gerilmesi) olarak belirlenmiştir.
- X. Çizme testi sonrası SEM görüntülerinden yapılan analiz sonucunda DLC kaplı numunenin üzerinde ince çatlaklar meydana geldiği ve TiN ve CrN kaplı numunelerde ise çizik izlerinde kırılma ve parçalanmalar ve yapışma hataları olduğu gözlemlenmiştir.
- XI. Yüksek sertlikle birlikte ortaya çıkan yüksek artık gerilmenin malzemenin adezyon davranışını olumsuz olarak etkilediği, en yüksek artık gerilme ve sertlik değerine sahip olan TiN kaplı numunenin adezyon yeteneğinin en düşük ve en düşük artık gerilme ve sertlik değerine sahip olan CrN kaplı numunenin ise adezyon yeteneğinin en yüksek olduğu belirlenmiştir.

5.2. Öneriler

TiN, CrN ve DLC kaplamalar özellikle imalat endüstrisinde yüksek sertlik istenen kesici takımlarda kullanılabilir. Fakat yüksek artık gerilme ve sertlik değerinin adezyonu azaltması sebebiyle öncelikle filmlerin çeşitli yüzey işlemleri ile adezyon iyileştirilmesi yapılarak farklı şartlarda aşınma deneyleri (yüksek sıcaklık, düşük sıcaklık, nemli hava, saf su, yağ vb. ortamlarda) yaparak, bu filmlerin hangi şartlarda en iyi şekilde çalışabileceği tespit edilebilir.



KAYNAKLAR

- Akkaş, O., 1998. TiN kaplama parametrelerinin, aşınma davranışı üzerindeki etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alpdoruk, D., 1996. Kesici takımlar üzerine yapılan TiN sert seramik film kaplamanın kesici takım ömrüne etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alsaran A., Çelik, A., Karakan, M., Yetim, A.F., 2003. Yüzey mühendisliğinde yeni bir yaklaşım; dubleks yüzey işlemi. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 9, 1-7.
- Anderoğlu, O., 2004. Residual stress measurement using X-Ray diffraction. submitted to the office of graduate studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science.
- Baragetti, S., 2007. Fatigue resistance of steel and titanium PVD coated spur gears. International Journal of Fatigue, 29, 1893–1903.
- Baran, Ö., 2011. CFUBMS yöntemi ile kaplanmış TiTaBN filmlerin yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Başman, G., Şeşen, M.K., Kayalı, E.S., 1998. Seramik ince filmle kaplanmış malzemelerin yorulma davranışı. Metal Dünyası, 66, 61-65.
- Bhushan, B., Gupta, K.B., 1991. Handbook of Tribology. McGraw-Hill, U.S.A.
- Bouzakis, K.D., Michailidis, N., Skordaris, G., Bouzakis, E., Biermann, D., M'Saoubi, R., 2012. Cutting with coated tools: coating technologies, characterization methods and performance optimization. CIRP Annals, 61, 703-723.
- Bull, S.J., Berasetegui, E.G., 2006. An overview of the potential of quantitative coating adhesion measurement by scratch testing. Tribology International, 39, 99-114.
- Bülbül, A.E., 2013. Kaplamasız, PVD tekniği ile TiN ve altın kaplanmış DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin aşınma davranışlarının deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Byun, J.M., Bang, S.R., Kim, H.W., Kim, T.Y., Hong, S.J., Young Do Kima, Y.D., 2017. Effect of heat treatment on corrosion resistance and adhesion property in Zn-Mg-Zn multi-layer coated steel prepared by PVD process. Surface and Coatings Technology, 309, 1010-1014.
- Candemir, L., 1995. Katodik ark PVD yöntemi ile üretilmiş TiAlN ve TiN kaplamaların korozyon özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chen, J., Bull, S.J., 2011. Approaches to investigate delamination and interfacial toughness in coated systems: An overview. Journal of Physics D: Applied Physics, 44, 1-35.
- Chen, Z., Zhou, K., Lu, X., Lam, Y.C., 2014. A review on the mechanical methods for evaluating coating adhesion. Acta Mechanica, 225, 431–452 .
- Cheng, Y.H., Tay, B.K., 2003. Development of texture in TiN films deposited by filtered cathodic vacuum arc. Journal of Crystal Growth, 252, 257-264.
- Courbon, C., Fallqvist, M., Hardell, J., M'Saoubi, R., Prakash, B., 2015. Adhesion tendency of PVD TiAlN coatings at elevated temperatures during reciprocating sliding against carbon steel. Wear, 330-331, 209–222.
- Çınar, O., 1998. TiAlN, TiN tek ve çok katlı kaplamaların karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Das, S.K., Kim, Y.M., Ha, T.K., Jung, I.H., 2013. Investigation of anisotropic diffusion behavior of Zn in hcp Mg and interdiffusion coefficients of intermediate phases in the Mg-Zn system. *Calphad*, 42, 51-58.
- Doğan, H., Karamolla, M., 2006. PVD - fiziksel buhar biriktirme ile yüzey kaplama teknikleri. *Galvanoteknik*, 44-48, Temmuz-Ağustos.
- Donald, M.M., 2003. *The foundations of vacuum coating technology*. Norwich, New York, U.S.A.
- Ekmekçi, B., 2004. Theoretical and experimental investigation of residual stresses in electric discharge machining. Doktora Tezi, The Middle East Technical University, Ankara.
- Ezugwu, E.O., Okeke, C.I., 2001. Tool life and wear mechanism of TiN coated tools in an intermittent cutting operation. *Journal Materials Processing Technology*, 116, 10-15.
- Fallqvist, M., Olsson, M., 2013. The influence of surface defects on the mechanical and tribological properties of VN-based arc-evaporated coatings. *Wear*, 297, 1111-1119.
- Glocker, D.A., Shah, S.I., Westwood, W.D., 1995. *Handbook of thin film process technology*. Institute of Physics Publishing, Bristol, UK.
- He, J.L., Lin, Y.H., Chen K.C., 1997. Wear performance of CAP-Titanium Nitride-Coated High-Speed Steel in different dry sliding conditions. *Wear*, 208, 36-41.
- Holmberg, K., Matthews, A., 1994. *Coatings tribology: properties, techniques and applications in surface engineering*, Elsevier.
- İlivan, M., 2012. Kaplamasız, PVD tekniği ile TiN ve CrN kaplanmış DIN 1.2550 soğuk iş takım çeliğinin aşınma davranışlarının deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Janoss, B., 2003. PVD/CVD coatings enhance stamping and forming of stainless steels. MultiArc inc. NJ, 42, 1-9.
- Kalkan, N., 2008. PVD yöntemi ile TiN, CrN ve TiN /CrN Kaplanmış soğuk iş takım çeliğinin aşınma performanslarının deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kalkan, N., 2008. PVD yöntemi ile TiN, CrN ve TiN/CrN kaplanmış soğuk iş takım çeliğinin aşınma performanslarının deneysel incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kang, S.Y., Lee, D.W., 2014. Study on hardness and corrosion resistance magnesium by anodizing and sealing treatment with nano-diamond powder. *Journal of Korean Powder Metallurgy Institute*, 21, 260-265.
- Karagöz, H., 1994. Kesici takım malzemelerinde PVD/CVD tipi modern seramik katmanların takım ömrüne etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Karamış, B., Özdemir, A., Karataş, Ç., Sert, H., 1999. the investigation of production performance of the die punches which are non-coated and coated TiN with PVD. Balcantrib'99 3rd International Conference of Tribology, Romanya, 221-229.
- Karamış, M.B., Gerçekçioğlu, E., Sert, H., 1994. Sert metal tozlarıyla kaplanmış AISI 1050 çeliğinin abrasiv aşınma davranışı. 6th International Machine Design and Production Conference, METU Ankara, 1-9.
- Kothari, D.C., Kale, A., 2002. Recent trends in surface engineering using cathodic arc technique. *Surface and Coatings Technology*, 158-159, 174-179.
- Kovacı H., Baran Ö., Bayrak B., Yetim A.F., Çelik A., 2017. Influence of plasma nitriding treatment on the adhesion of DLC films deposited on AISI 4140 steel by

- PVD magnetron sputtering. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 31:1-13.
- Lindfords, P.A., Mularie, W.M., Wehner, G.K., 1986. Cathodic arc deposition technology. *Surface and Coatings Technology*, 29, 275-290.
- M'Saoubi, R., Johansson, M.P., Andersson, J.M., 2013. Wear mechanisms of PVD-coated PCBN cutting tools. *Wear*, 302, 1219-1229.
- Miao, Q., Cui, C.E., Pan, J.D., 2007. CrN-TiN multilayer coating on magnesium alloy AZ91 by arc-glow plasma depositing process. *Surface and Coatings Technology*, 201, 5077-5080.
- Mo, J.L., Zhu, M.H., Leyland, A., Matthews, A., 2013. Impact wear and abrasion resistance of CrN, AlCrN and AlTiN PVD coatings. *Surface and Coatings Technology*, 215, 170-177.
- Mustapha, N.M., Howson, R.P., 2001. Reactive filtered arc evaporation. *Vacuum*, 60, 361-368.
- Norrby, N., Johansson, M., M'Saoubi, R., Odén, M., 2012. Pressure and temperature effects on the decomposition of arc evaporated Ti_{0.6}Al_{0.4}N coatings in continuous turning. *Surface and Coatings Technology*, 209, 203-207.
- Okay, F., 2006. PVD yöntemiyle TiN kaplı östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin adhesiv aşınma davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Oktay, G., 2007. Katodik ark fbb yöntemi ile Ti₆Al₄V altlık malzemesi üzerine kaplanmış magnezyumun morfolojisine bias geriliminin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Olofsson, J., Gerth, J., Nyberg, H., Wiklund, U., Jacobson, S., 2011. On the influence from micro topography of PVD coatings on friction behaviour, material transfer and tribofilm formation. *Wear*, 271, 2046-2057.
- Özgür, A.E., Yalçın, B., Koru M., 2008. Investigation of the wear performance and thermal diffusivity properties of M41 tools steel coated with various film coatings. *Materials and Design*, 30, 414-417.
- Öztürk, A., Ezirmik, K.V., Kazmanlı, K., Ürgen, M., Eryılmaz, O.L., Erdemir, A., 2008. Comparative tribological behaviors of TiN-, CrN- and MoN-Cu nanocomposite coatings. *Tribology International*, 41, 49-59.
- Öztürk, U., 2010. AISI 3343 çeliği kalıp zimbalarının kaplamasız, PVD tekniği ile TiN ve CrN kaplayarak aşınma davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Paulitscha, J., Mayrhofer, P.H., Münz, W.D., Schenkel, M., 2008. Structure and mechanical properties of CrN/TiN multilayer coatings prepared by a combined HIPIMS/UBMS deposition technique. *Thin Solid Films*, 517, 1239-1244.
- Pearson, S., Shipway, P., Abere, J., Hewitt, R., 2013. The effect of temperature on wear and friction of a high strength steel in fretting. *Wear*, 303, 622-631.
- Pelcastre, L., Hardell, J., Prakash, B., 2013. Galling mechanisms during interaction of tool steel and Al-Si coated ultra-high strength steel at elevated temperature. *Tribology International*, 67, 263-271.
- Prengel, H., Jindal, P.C., Wendt, K.H., Santhanam, A.T., Hegde, P.L., Penich, R.M., 2001. New class of high performance PVD coatings for carbide cutting tools. *Surface and Coatings Technology*, 139, 25-34.
- Pulker, H.K., 1989. Wear and corrosion resistant coatings by CVD and PVD. *Expert Verlag*, 6-20.
- Ranea, C., 2002. Wear resistance of thin coatings based on Titanium. *Balkantrib Kayseri*, 783-788.

- Raelison, R., Fuentes, A., Pouvreau, C., Rogeon, P., Carré, P., Dechalotte, F., 2014. Modeling and numerical simulation of the resistances potwelding of zinc coated steel sheets using rounded tip electrode: Analysis of required conditions. *Applied Mathematical Modelling*, 38, 2505-2521.
- Sanders, D.M., Anders, A., 2000. Review of cathodic arc deposition technology at the start of the new millennium. *Surface and Coatings Technology*, 133-134, 78-90.
- Savaş, S., 2004. PVD Metodu ile TiN kaplanmış S 6-5-2 yüksek hız çeliğinin aşınma davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Sert, H., 1997. PVD ile titanyum kaplanmış alüminyum ekstrüzyon kalıplarının yüzey özellikleri ve aşınma performanslarının deneysel incelenmesi. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Sert, H., Meriç, C., 1992. Aşınan metallerin hayata kazandırılmasında yeni bir yöntem; çelik toz püskürtme mekanik testleri. 5. Ulusal Makine Tasarımı ve İmalat Kongresi, ODTÜ Ankara.
- Sönmezoglu, S., Koç, M., Akın, S., 2012. İnce film üretim teknikleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28, 389-401
- Stallard, J., Poulat, S., Teer, D.G., 2006. The study of the adhesion of a TiN coating on steel and titanium alloy substrates using a multi-mode scratch tester. *Tribology International*, 39, 159-166.
- Şafak, H.E., 2008. Yüzeyi PVD ile Kaplanmış metallerde tribolojik özelliklerin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Tanaka, Y., Ichimiya, N., Onishi, Y., Yamada Y., 2001. 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.
- Taş, S., 2010. Çeliklerde X-Işınları yöntemi ile artık östenit ve indentasyon yöntemi ile artık gerilme tayini. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Tay, B., Shi, X., Yang, H., Tan., Chua, D., Teo, S.Y., 1999. The effect of deposition conditions on the properties of TiN thin films prepared by filtered cathodic vacuum-arc technique. *Surface and Coatings Technology*, 111, 229-233.
- Teber, M., 2015. Yüzey kaplama ile Ti6Al4V alaşımının aşınma ve korozyon direncinin artırılması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Tiğit, O., Dilmeç, M., Halkacı, H.S., 2008. Tabaka kaldırma yöntemi ile kalıntı gerilmelerin ölçülmesi ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması. *Mühendis ve Makine*, 47, 20-27.
- Toprak, H., 2002. Borlanmış ve PVD ile TiN kaplanmış KGDD kam milleri ile kaplamasız ve sertleştirilmiş çelik dökme kam millerinin çalışma performanslarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Totik, Y., Efeoğlu, İ., Gavgalı, M., Sadeler, R., 2000. Isıl işlem görmüş (TiAl)N seramik filmin yapısal özelliklerinin araştırılması, *UMTİK2000*, 1-6.
- Tönshoff, H.K., Karpuschewski, B., Mohlfeld, A., and Seegers, H., 1998. Influence of stress distribution on adhesion strength of sputtered hard coatings. *Thin Solid Films*, 146-150.
- Tsao, C.C., 2002. Prediction of flank wear of different coated drills for JIS SUS 304 stainless steel using neural network. *Journal of Material Processing Technology*, 123, 354-360.

- Tuck, J.R., Korsunsky, A.M., Bhat, D.G., Bull, S.J., 2001. Indentation hardness evaluation of cathodic arc deposited thin hard coatings. *Surface and Coatings Technology*, 139, 63-74.
- Türküz, M.C., 1997. Ark PVD yöntemiyle TiN kaplanmış kesici takımların karakterizasyonu ve performanslarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yalçın, B., Yılmaz, N., 2000. Ark PVD yüzey kaplama yöntemiyle titanyum nitrid (TiN) kaplanmış matkap takımlarında takım aşınmasının deneysel olarak incelenmesi. *Yüzey İşlemler Dergisi*, 300-304.
- Yetim, A.F., 2009. Biyomalzeme olarak kullanılan AISI316L paslanmaz çelik ve Ti6Al4V alaşımının plazma ile nitrürleme davranışı, Ti-DLC ince film kaplama ile karşılaştırılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Zhang, S., Zhang, X., 2012. Toughness evaluation of hard coatings and thin films. *Thin Solid Films*, 520, 2375-2389.
- Zhengyang, L., Wubiao, Z., Yong, Z., Guiying, L., Eryan, C., 2000. Effects of superimposed pulsed bias on TiN coating in cathodic arc deposition. *Surface and Coatings Technology*, 131, 158-161.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Yeşim Zeynep MANDEV
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 28.08.1991-Erzurum
Medeni Hali : Evli
e-mail : y.z.seyhan@gmail.com

Eğitim

| Derece | Üniversite | Mezuniyet Yılı |
|---------------|-------------------------|-----------------------|
| Lisans | Atatürk Üniversitesi | 2014 |
| Lise | Mecidiye Anadolu Lisesi | 2009 |

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Türk Standardları Enstitüsü-2014/