

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PVD YÖNTEMİ İLE KAPLANAN HSS TAKIM
ÇELİKLERİNİN KARAKTERİZASYONU VE AŞINMA
DAYANIMININ İNCELENMESİ**

Makine Mühendisi Emir İNÇAL

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1 GİRİŞ	1
2 YÜZEY KAPLAMA TEKNİKLERİ	2
2.1 Uygulama alanlarına göre kaplamalar	2
2.1.1 Mühendislik amaçlı kaplamalar	2
2.1.2 Korozyondan koruma amaçlı kaplamalar	2
2.1.3 Dekoratif amaçlı kaplamalar	2
2.2 Kaplama malzemesine göre malzemeler	3
2.2.1 Metalik kaplamalar	3
2.2.1.1 Sıcak daldırma	4
2.2.1.2 Termal püskürtme	5
2.2.1.2.1 Soğuk püskürtme	5
2.2.1.2.2 Sıcak püskürtme	6
2.2.1.3 Elektrolitik metal kaplama	7
2.2.1.4 Akımsız metal kaplama	7
2.2.1.5 Vakum kaplama	8
2.2.1.6 İyon kaplama	8
2.2.1.7 İyon aşılama	8
2.2.2 Organik kaplamalar	8
2.2.3 İnorganik kaplamalar	9
2.2.3.1 Fiziksel – kimyasal buhar biriktirme	9
2.2.3.2 Kimyasal buhar biriktirme (CVD)	9
2.2.3.3 Fiziksel buhar biriktirme (PVD)	9
3 PVD KAPLAMA YÖNTEMİ	10
3.1 PVD kaplama teknikleri	10
3.1.1 Buharlaştırma teknikleri	11

	Sayfa
3.1.1.1	Rezistans ile buharlaştırma 12
3.1.1.2	Endüktif buharlaştırma 12
3.1.1.3	Lazer demeti ile buharlaştırma 14
3.1.1.4	Elektron bombardımanı ile buharlaştırma 14
3.1.1.5	Süblimasyon ile buharlaşma 16
3.1.1.6	Geniş ışın (broad beam) iyon kaynakları ile buharlaştırma 17
3.1.1.7	Ark ile buharlaştırma 17
3.1.1.7.1	Anodik ark buharlaştırma yöntemi 17
3.1.1.7.2	Vakum ark buharlaştırma yöntemi 18
3.1.1.7.3	Katodik ark buharlaştırma yöntemi 18
3.1.1.7.3.1	Rastgele ark 20
3.1.1.7.3.2	Kontrollü ark 22
3.1.1.7.3.3	Manyetik alan odaklamalı ark 23
3.1.2	Sıçratma teknikleri 24
3.1.2.1	Diyot sıçratma 25
3.1.2.2	Triyot sıçratma 26
3.1.2.3	Manyetik alanda sıçratma 26
3.2	PVD sistem donanımları 29
3.2.1	Vakum odası 29
3.2.2	Vakum pompaları 29
3.2.3	Vakum ölçümleri 29
3.2.4	Taşıyıcılar 31
4	KESİCİ TAKIMLAR 32
4.1	Kesici takımların özellikleri 32
4.2	Kesici takımların aşınma mekanizması 34
4.2.1	Adhezif aşınma 36
4.2.2	Abrazif aşınma 37
4.2.3	Tabakalaşma aşınması 38
4.2.4	Yayınma aşınması 38
4.2.5	Elektrokimyasal aşınma 39
4.2.6	Tribooksidasyon aşınması 39
4.3	Kesici takımlara uygulanan kaplamalar 39
4.3.1	AlTiN kaplamalar 43
4.3.2	TiAlN kaplamalar 44

	Sayfa
4.3.3	TiCN kaplamalar 45
4.3.4	TiN kaplamalar 46
4.3.4.1	TiN kaplama için endüstriden uygulama örneği..... 48
5	DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... 50
5.1	İş Parçası Özellikleri..... 50
5.2	Matkap Ucu Özellikleri 51
5.3	Matkap Uçlarına Uygulanan Kaplama İşlemleri 52
5.4	Delik Genişletme İşlemi 53
5.4.1	Universal Freze Tezgahı..... 53
5.4.2	Delik Genişletme Parametreleri..... 55
5.5	Matkap Uçlarının İsimlendirilmesi..... 55
5.6	Makroyapı çalışmaları 56
5.7	Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri 64
6	SONUÇLAR..... 67
KAYNAKLAR..... 68	
ÖZGEÇMİŞ..... 70	

SİMGE LİSTESİ

Ti	Titanyum
Hf	Hafniyum
Nb	Niyobyum
Zr	Zirkonyum
⁰ C	Santrigrad derece
µm	Mikronmetre
mm	Milimetre
Pt	Platin
Ni	Nikel
Fe	Demir
BN-TiB ₂	Bornitrür-titanyumborür
Cr	Krom
Mo	Molibden
V	Vanadyum
Pd	Paladyum
Si	Silisyum
Mg	Magnezyum
N ₂	Azot

KISALTIMA LİSTESİ

CVD	Kimyasal buhar biriktirme(chemical vapor deposition)
PVD	Fiziksel buhar biriktirme(physical vapor deposition)
AlTiN	Aluminyumtitanyumnitrür
TiAlN	Titanyumaluminyumnitrür
CrN	Kromnitrür
TiCN	Titanyumkarbonitrür
ZrN	Zirkonyumnitrür
TiN	Titanyumnitrür
HSS	Yüksek hız çeliği(high speed steel)
SEM	Taramalı elektron mikroskobu(scanning electron microscope)
eV	Elektronvolt
HRC	Hardness Rockwell C
HB	Hardness Brinell
WC-Co	Tungstenkarbür-kobalt
HV	Hardness Vickers
A	Amper
V	Volt
kV	Kilovolt
ns	Nanosaniye
Pa	Paskal
Mpa	Megapaskal

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Sıcak daldırma galvaniz kaplamalı çöp konteynerleri	4
Şekil 2.2 Soğuk püskürtme yöntemi uygulanan iş parçası görüntüsü	5
Şekil 2.3 Sıcak püskürtme yöntemi uygulanan iş parçası görüntüsü	6
Şekil 2.4 Sıcak püskürtme kaplamalı tel çekme makaraları	6
Şekil 2.5 Elektrolitik çinko kaplamanın farklı pasivasyonlar uygulanmış civata örnekleri	7
Şekil 3.1 PVD tekniklerine göre sınıflandırma	11
Şekil 3.2 Çeşitli Tel ve levha rezistans şekilleri: a) Tel Bükümlü Rezistans, b) Helis Bükümlü Rezistans, c) Sepet sarılmış Rezistans, d)Çukurlaştırılmış levha, e) Alumina kaplı çukurlaştırılmış levha, f) Kano tipi levha.	12
Şekil 3.3 Rezistans veya endüktif buharlaştırma tekniği kullanan PVD sistemi.....	13
Şekil 3.4 Elektron bombardımanı ile buharlaştırma tekniği kullanılan PVD sistemi	15
Şekil 3.5 Hızlandırma sistemine göre elektron tabancaları a) Taban malzemeye hızlandırmalı b) Kendinden hızlandırmalı.	16
Şekil 3.6 Berilyum üzerine anodik ark yöntemi ile gümüş biriktirilmesi	17
Şekil 3.7 Vakum ark ile buharlaştırma yönteminin şematik yapısı.....	18
Şekil 3.8 Katodik ark ile buharlaştırma yöntemi şematik yapısı.....	19
Şekil 3.9 İki katodlu katodik ark PVD sistemi şematik yapısı	19
Şekil 3.10 Rastgele katodik ark şematik yapısı ve yüzey üzerindeki ark hareketinin resmi....	21
Şekil 3.11 Kontrollü ark şematik gösterimi.....	22
Şekil 3.12 Manyetik alan – damlacık sayısı arasındaki ilişki.....	23
Şekil 3.13 Sıçratma tekniği mekanizması	24
Şekil 3.14 Diyot sıçratma tekniği	25
Şekil 3.15 Triyot sıçratma	26
Şekil 3.16 Dairesel düzenli manyetik alan	27
Şekil 3.17 Düzlemsel manyetik alanda sıçratma kaynağının kesit görünümü	27
Şekil 3.18 Çift magnetronlu manyetik alanda sıçratma sisteminin şematik görünümü	28
Şekil 3.19 Basınç ölçüm sistemleri a) Termokupl (Pirani gauge) b)İyonizasyon vakum ölçüm sistemi (İon gauge).....	30
Şekil 3.20 PVD kaplama sisteminde kullanılan taşıyıcı örneği.....	31
Şekil 4.1 Tek ağızlı bir kesici takımın çeşitli bölgelerinde etkin olan aşınma mekanizmaları	35
Şekil 4.2 Kesme sıcaklığına bağlı olarak aşınma mekanizmalarının takım aşınmasına olan etkinlikleri.....	36
Şekil 4.3 Adhezif aşınma oluşumu (a- soğuk kaynak, b- kaynağın kopması).....	37

	Sayfa
Şekil 4.4 Abresif aşınma oluşumu (a- iki elemanlı b- üç elemanlı)	38
Şekil 4.5 TiN, TiCN, AlTiN kaplamalı parmak freze örnekleri.....	40
Şekil 4.6 AlTiN kaplamalı kesici takım örnekleri.....	43
Şekil 4.7 TiAlN kaplamalı kesici takım örnekleri.....	44
Şekil 4.8 TiCN kaplamalı kesici takım örnekleri	46
Şekil 4.9 TiN kaplamalı kesici takım örnekleri.....	47
Şekil 5.1 Delik genişletme işlemi uygulanmış iş parçası	51
Şekil 5.2 Çalışmada kullanılan matkap uçlarının kesilmiş uç ve gövdeleri	51
Şekil 5.3 PVD kaplama sistemi	52
Şekil 5.4 Universal freze tezgahı.....	54
Şekil 5.5 Jeol 5410 Taramalı elektron mikroskobu.....	57
Şekil 5.6 HSS0 350X SEM görüntüsü	58
Şekil 5.7 HSS1 350X SEM görüntüsü	58
Şekil 5.8 HSS1 350X ölçümlü SEM görüntüsü	59
Şekil 5.9 HSS2 350X SEM görüntüsü	59
Şekil 5.10 HSS2 350X ölçümlü SEM görüntüsü	60
Şekil 5.11 HSS3 350X SEM görüntüsü	60
Şekil 5.12 HSS3 350X ölçümlü SEM görüntüsü	61
Şekil 5.13 TiN0 350X SEM görüntüsü	61
Şekil 5.14 TiN1 350X ölçümlü SEM görüntüsü	62
Şekil 5.15 TiN2 350X SEM görüntüsü	62
Şekil 5.16 TiN2 350X ölçümlü SEM görüntüsü	63
Şekil 5.17 TiN3 350X SEM görüntüsü	63
Şekil 5.18 TiN3 350X ölçümlü SEM görüntüsü	64
Şekil 5.19 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	64

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Tipik takım malzemeleri veya bileşenlerinin sertlikleri.....	33
Çizelge 4.2 Takım malzemelerinin mekanik özellikleri.....	34
Çizelge 4.3 Talaşlı işlem türü ve iş parçasının malzeme özelliklerinin kaplamalar ile ilişkisi	41
Çizelge 4.4 Yaygın kullanılan kaplama çeşitlerinin genel kullanım yerleri ve özellikleri.....	42
Çizelge 4.5 AlTiN kaplamanın genel özellikleri	44
Çizelge 4.6 TiAlN kaplamanın genel özellikleri	45
Çizelge 4.7 TiCN kaplamanın genel özellikleri	46
Çizelge 4.8 TiN kaplamanın genel özellikleri	47
Çizelge 4.9 Parça başına düşen takım maliyetleri	48
Çizelge 4.10 Takım değiştirme frekansları ve zaman kazançları	49
Çizelge 5.1 C45 çeliği kimyasal analizi	50
Çizelge 5.2 DIN 1.3343 HSS matkap ucu malzemesi kimyasal analizi.....	52
Çizelge 5.3 Deneylerde kullanılan matkap uçlarının özellikleri	52
Çizelge 5.4 Kaplama parametreleri	53
Çizelge 5.5 Universal freze tezgahı devir kademeleri.....	54
Çizelge 5.6 Universal freze tezgahı ilerleme kademeleri	54
Çizelge 5.7 Delik genişletme parametreleri	55
Çizelge 5.8 Delik genişletme işleminde kullanılan matkap uçlarının isimlendirilmesi	56
Çizelge 5.9 Matkap uçlarındaki ortalama aşınma miktarları.....	56
Çizelge 5.10 Her delik numarası için Ra değerlerinin ortalamasının grafiksel karşılaştırılması	65
Çizelge 5.11 Her delik numarası için Ra değerlerinin ortalamasının tablosal karşılaştırılması	65

ÖNSÖZ

Günümüz üretim teknolojilerinde yüksek kalite ve düşük maliyet en önemli isteklerin başında gelmektedir. Endüstride kullanılan malzemelerin özelliklerinin tek başına yetmediği anlaşılınca çeşitli çözümler üzerinde çalışılmaya başlandı ve bu çözümlerden günümüzde en çok kullanılanların başında yüzey kaplama teknikleri gelmektedir.

Yüksek lisans tez çalışmamda gerekli desteği ve sabrı benden esirgemeyen değerli Hocam, Sayın Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN'a teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca çalışmamda bilgisine danıştığım Hocam Prof. Dr. Erhan ALTAN'a da teşekkür ediyorum.

Kaplama konusunda beni yönlendiren ve deney için atölyesinde her türlü kolaylığı gösteren İNÇAL MÜHENDİSLİK firmasına, matkapların PVD kaplamasını gerçekleştiren IONBOND-TINKAP firmasına, laboratuvar çalışmalarımda cihaz ve bilgi desteği sağlayan YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, KOSGEB ve UKAK görevlilerine teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük emeği olan ve bu emeğin karşılığını asla ödeyemeyeceğim babam Nejat İNÇAL ve annem Hatice İNÇAL a en içten duygularıyla teşekkür ediyorum.

ÖZET

Günümüz endüstrisinde makine parçalarının ömürleri ve takımların kullanım süreleri; yorulma, yaşlanma ve özellikle de aşınma nedeni ile sınırlıdır. Aynı parçanın gittikçe daha büyük sayıda üretilme talepleri yaygınlaşan otomasyona karşılık aşınma nedeni ile metal işleme makinelerinin durma süreleri maliyet faktörünü devamlı arttırmaktadır. Bu nedenle aşınmanın önlenmesi her geçen gün ekonomik anlamda daha büyük önem kazanmaktadır. Aşınan bir takımı yenisiyle değiştirmek yerine, yalnız yüzeyin aşınma özelliklerini geliştirmek ise soruna ekonomik ve pratik bir yaklaşımdır.

PVD kaplama yöntemi; dekoratif ve mekanik özellikleri geliştirici amaçlı geliştirilen bir yüzey kaplama tekniğidir. Talaşlı ve talaşsız üretimde kullanılan takım ve kalıpların ömürleri parça başına maliyetlerde başrolü oynamaktadır. Takım ve kalıplardan beklenen, maksimum sayıda parçayı, minimum maliyetle üretim isteğini gerçekleştirebilmek için yüzey kaplamalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışmada, sanayide yaygın olarak kullanılan HSS matkap uçları ile C45 çelik malzeme üzerine delik genişletme işlemi uygulanarak matkap kesme ağızlarında aşınma oluşturulmuştur. TiN kaplamalı ve kaplamasız matkaplarda aşınma davranışları karşılaştırılarak incelenmiştir.

Çalışma sonucunda incelenen matkap uçlarının TiN kaplı olanlarında aşınmanın kaplamasız matkaplara oranla daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca TiN kaplamalı takımların; parça başına maliyetlerde, tezgah ayar sürelerinde ve takım bileme sürelerinden de kar edilmesini sağladığı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fiziksel Buhar Biriktirme, Kaplama, Aşınma

ABSTRACT

Industrial machine parts' life and usage times are limited because of fatigue, ageing and especially abrasion. In spite of automation systems, manufacturing more copy of the same part demand can not realize because of the stopping times to change the tool. So preventing of abrasion more important for economy day by day. Improving abrasion resistance of the substrate is more economic and pratic solition than cahnging the tool with a new one.

PVD is a surface coating technic that using for impove substrate's decorative and mechanical properties. Tools' and molds' life is the most important effect for cost per a piece of part. Tools and molds need surface coatings to realize manufacturng maximum pieces of part with minimum cost demands.

In this study, abrasion has created on cutting edges with reboring operation which used HSS drills to rebores on C45 steel substrate. The drills, with TiN coating and no coating, examined by comparing abrasion characteristics.

Consequently it is determined that abrasion of drills with TiN coating are lower than drills with no coating. The other result that drills with TiN coating cause to fall costs and time losts about tools changing and sharpening.

Keywords: PVD, Coating, Abrasion

1 GİRİŞ

Günümüz endüstrisindeki koşullar, gerek maliyet gerek üretim hızı açısından iyileştirmeleri ve yeni teknolojilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bir tek malzemeden elde edilmesi mümkün olmayan çeşitli özelliklerin kombinasyonuna sahip malzemelere ihtiyaç duyulması nedeniyle var olan farklı kaplama teknikleri içinden yüzey kaplama tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır.

Talaşlı ve talaşsız imalatta geliştirilen yüzey kaplama yöntemleri ile takım ömrü, yüzey kalitesi, takım ömrüne bağlı birim maliyet vb. unsurlarda ciddi rakamlara varan avantajlar elde edilmektedir. Yüzey kaplama konusunda son yıllarda kendisine en yaygın kullanım alanı bulan kaplamalar sert seramik kaplamalardır. Geçiş elementlerinin (Ti, Zr, Nb, Hf) nitrid, karbür ve borür gibi bileşiklerinden oluşturulan sert seramik kaplamaların uygulandıkları taban malzemelerin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde geliştirdikleri yapılan araştırmalar ve endüstrideki sonuçlar itibarı ile ortaya konmuştur.

HSS malzeme üzerine uygulanan TiN kaplama takıma; yüksek yüzey sertliği, düşük ısı iletkenlik, düşük sürtünme katsayısı kazandırır. Yüzey kaplama tekniğinin kazandırdığı özellikler sonucunda hem takım ömründe hem de iş kalitesinde artış sağlanır. Kaplamanın HSS yüzeyine yüksek yapışma özelliği olduğundan kaplamanın dökülmesi gibi sorunlarla da karşılaşmaz.

Bir dişli fabrikasında; PVD yöntemi kullanılarak kaplanan takımlarda yapılan çalışmalar sonucunda parça başına maliyetlerde %400 e yakın rakamlarda kazanç sağlanmıştır. Bu çalışma endüstride kabul görmüştür ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Sert seramik kaplamaların endüstriyel anlamda en yoğun uygulanan örnekleri TiN, CrN, TiCN, TiAlN ve AlTiN' dir.

Yapılan çalışmada deneysel olarak TiN kaplamalı HSS matkap ucu ile kaplamasız HSS matkap uçlarının kesme işleminden sonraki kesme ağızlarında oluşan aşınmalar, matkap uçlarının makro yapıları taramalı elektron mikroskobu yardımı ile fotoğrafları çekilerek incelenmiştir. Delik genişletme işlemi sonucu elde edilen delik yüzeylerinin R_a (ortalama pürüzlülük) yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile elde edilmiştir.

2 YÜZEY KAPLAMA TEKNİKLERİ

Kaplama işlemi; bir malzemenin diğer bir malzeme üzerine, uygulandığı yüzeyin, mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla istenilen kalınlıkta bir tabaka biriktirilmesi olarak tanımlanabilir.

Kaplama işlemleri iki ana grupta sınıflandırılabilir.

- Uygulama alanlarına göre kaplamalar
- Kaplama malzemesine göre kaplamalar

2.1 Uygulama alanlarına göre kaplamalar

Kaplama işlemleri uygulama alanları baz alınarak sınıflandırılırsa üç ana gruba ayrılır.

- Mühendislik amaçlı kaplamalar
- Korozyondan koruma amaçlı kaplamalar
- Dekoratif amaçlı kaplamalar

2.1.1 Mühendislik amaçlı kaplamalar

Elektrik – elektronik amaçlı kaplamalardan şalter parçalarının gümüş kaplanması, optik amaçlı kaplamalardan camın ses yutma ve refleksiyon özelliğini iyileştirici malzeme kaplanması, tribolojik amaçlı kaplamalardan motorlarda plazma sprey kaplı silindirler örnek olarak gösterilebilir.

2.1.2 Korozyondan koruma amaçlı kaplamalar

Kullanılan malzemenin ortam şartlarından etkilenmesini engellenmek amacıyla ,o ortam koşullarına uygun bir diğer malzeme ile kaplanarak,alt malzemenin korozyondan korunmasını amaçlar. Korozyondan koruma amaçlı kaplamalara örnek olarak cıvata, oto yedek parça vb. parçaların elektrogalvaniz çinko kaplanması gösterilebilir.

2.1.3 Dekoratif amaçlı kaplamalar

Bu gruba giren kaplama türleri günlük hayatımızda kullanılan eşyalarını göze hoşgelen bir görünüme sahip olması ve yine ortam koşullarından korumak amaçlı yapılan kaplamalardır. Bu gruba örnek olarak motorlu taşıtların dış gövdelerinin, çeşitli süs eşyalarının nikel, krom veya nikel – krom çok katlı kaplamaları gösterilebilir.

2.2 Kaplama malzemesine göre malzemeler

Kaplama işlemleri kaplama malzemesi açısından baz alınarak sınıflandırılırsa üç ana gruba ayrılır.

- Metalik kaplamalar
 - Sıcak daldırma
 - Termal püskürtme
 - Elektrolitik metal kaplama
 - Akımsız metal kaplama
 - Vakum kaplama
 - İyon kaplama
 - İyon aşılama
- Organik kaplamalar
 - Boyalar ve cilalar
 - Verniklenmiş ve fırınlanmış emayeler
 - Ziftli kaplamalar
 - Plastik kaplamalar
- İnorganik kaplamalar

2.2.1 Metalik kaplamalar

Metalik kaplamalar temelde mühendislik amaçlı ve malzemenin korozyona karşı korunması için uygulanır ancak dekoratif görünümünde esas alındığı uygulamaları mevcuttur. Metalik kaplamaları, metal ve alaşım kaplamaları şeklinde ikiye ayırmak mümkündür.

Metalik kaplamalar; fiziksel teknikler, mekanik teknikler, kimyasal teknikler ve elektrokimyasal teknikler olmak üzere endüstride dört ana şekilde uygulanmaktadır.

- 1) Fiziksel teknikler: Sıcak daldırma, yayınma ile kaplama, vakum kaplama, katodik saçınım, iyon kaplama, iyon aşılama.
- 2) Mekanik teknikler: Metal giydirme, sıcak püskürtme.
- 3) Kimyasal teknikler:
 - Yüksek sıcaklıkta uygulanan teknikler: Değişimle, kimyasal indirgeme ile, ısıl ayrışım ile.
 - Düşük sıcaklık teknikleri: Kimyasal indirgeme, sementasyon, akımsız kaplama.
- 4) Elektrokimyasal kaplamalar: Elektrolitik kaplamalar.

2.2.1.1 Sıcak daldırma

Kaplanacak metal ile kaplama metali arasındaki reaksiyonun alaşım tabakaları oluşturması sonucu kaplama metali ile taban metal arasında fiziksel bir bağlantı sağlanması prensibine dayanan bu yöntem yaygın ve ucuz bir metal kaplama yöntemi olup genelde çelik malzemeler üzerine çinko, alüminyum ve bakır üzerine kalay kaplamada kullanılır.

Şekil 2.1 de gündelik yaşamda en yaygın örnek olarak karşımıza çıkan çöp konteynerleri gösterilmektedir.[1]



Şekil 2.1 Sıcak daldırma galvaniz kaplamalı çöp konteynerleri

Sıcak daldırma yönteminin endüstride en yaygın kullanımı demir ve çelik malzemeler üzerine sıcak daldırma çinko kaplanmasıdır. Bunun önde gelen nedeni ise en güvenli ve uzun ömürlü olmasıdır. Çinko kaplama (galvaniz) yöntemi ile muamelenin diğer yöntemlere nazaran avantajları şöyle sayılabilir:[2]

- Kalın ve nüfuziyeti yüksek ve homojen bir yüzey filmi oluşturur, diğer yöntemlerle ulaşılamayan iç hacimler, keskin köşeler, kesim yerleri, delik yüzeyleri, boşluklar gibi kritik noktalar korunmuş olur.
- Kaplanan malzeme ile çinko metalurjik bir bağ oluşturur ve malzeme yüzeyinde meydana gelen alaşım tabakaları dış etkilere karşı dayanıklı bir kaplama sağlar.
- Ekonomik bir yöntemdir.

2.2.1.2 Termal püskürtme

Termal püskürtme kaplama yöntemi; sıcak metalin zerrecikler halinde metale püskürtülerek orada donması ve zemine mekanik olarak bağlanması prensibine dayanır.

Değişik çalışma ortamları için üretilmiş farklı özelliğe ve malzeme yapısına sahip termal püskürtme tozları birbirinden farklı yöntemler ve ekipmanlarla uygulanabilir. Bu yöntemleri kullanarak makine parçalarının yüzeylerini adhezyon, abrazyon, korozyon, erozyon gibi çeşitli aşınmalara ve yüksek çalışma sıcaklıklarına dayanımlı hale getirmek mümkündür.[3]

Termal püskürtme kaplama yöntemi kaplanan parça sıcaklığına bağlı olarak iki başlıkta incelenmektedir.

- Soğuk püskürtme
- Sıcak püskürtme

2.2.1.2.1 Soğuk püskürtme

Oksijen - asetilen karışımının yanması ile oluşan alevde (3100 °C) mikropülverize tozların ergitilip püskürtülmesi prensibine dayanır. Parça sıcaklığı maksimum 200°C yi geçmediğinden soğuk püskürtme olarak tanımlanır. Parçalarda sıcaklığa bağlı metalürjik yapı değişikliği ve boyutsal deformasyon oluşturmaz. Şekil 2.2 de soğuk püskürtme uygulanan bir iş parçası gösterilmektedir.[3]

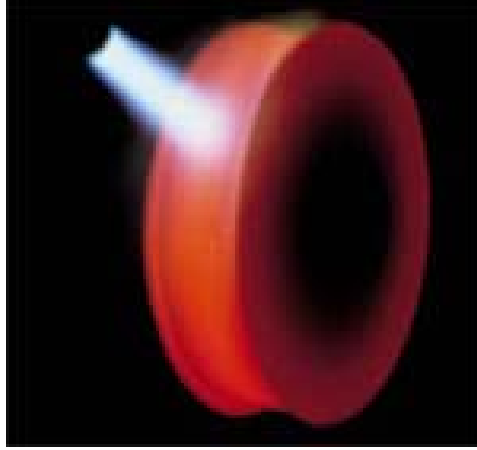


Şekil 2.2 Soğuk püskürtme yöntemi uygulanan iş parçası görüntüsü

Soğuk püskürtme kaplamalar, makine parçalarının imalatlarında koruyucu tabaka olarak kullanıldıkları gibi aşınan yerlerin onarımında dolgu malzemesi olarak da kullanılırlar.

2.2.1.2.2 Sıcak püskürtme

Sıcak püskürtme yöntemi; parça yüzeyine püskürtülen mikropülverize tozların 900-1100 °C difüzyon sıcaklığında tavlانarak ergitilmesi esasına dayanır. Böylece daha sıkı dokulu ve yüzeye metalürjik olarak bağlanmış bir kaplama tabakası elde edilmiş olunur. Şekil 2.3'te sıcak püskürtme uygulanan bir iş parçası gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Sıcak püskürtme yöntemi uygulanan iş parçası görüntüsü

Özellikle yüksek aşınmanın görüldüğü demir-çelik, çelik tel gibi sanayi kollarındaki makine parçalarının yüzeylerin nikel, krom, kobalt, bor, tungsten karbür esaslı değişik tozlar kullanılarak 60-65 HRC sertliğinde, yüksek çalışma sıcaklığına (700 °C) sahip, ısıl şoklara dirençli tabakalarla aşınmalara dayanımlı hale getirilirler.Şekil 2.4'te uygulama örneği olarak sıcak püskürtme tungsten karbür kaplanmış ve istenilen formda taşlanmış tel çekme makaraları gösterilmektedir.[3]



Şekil 2.4 Sıcak püskürtme kaplamalı tel çekme makaraları

2.2.1.3 Elektrolitik metal kaplama

Bir sulu ile çözelti temasta olan metalik faz kendi katyonlarını çözünme baskısı değerince hidratize ettirerek bu sulu faza gönderir. Çözünmenin devamı için metalde kalan elektronların bertaraf edilmesi gerekir. Böylece iyonlaşma gerçekleşir. Bir metalin çözünme baskısı onun soy oluş derecesi ile ters orantılıdır. Sodyum, potasyum gibi metaller sulu fazla temasta çok kolay çözünürler. Zira soy olmayan bu metaller için ortamdan uzaklaştırılması gereken elektronlar bir redoks tepkimesi sonucu açığa çıkan hidrojenle ortamı terk ederler. Soy olmayan bir metalin sulu fazla temasında çözünme baskısından kaynaklanan bir potansiyel fark doğar. Çözünme baskısı ne kadar fazlaysa bu potansiyel o kadar büyük olur.[4]

Şekil 2.5 te elektrolitik çinko kaplamanın farklı pasivasyonlar uygulanmış civata örnekleri gösterilmiştir.[5]



Şekil 2.5 Elektrolitik çinko kaplamanın farklı pasivasyonlar uygulanmış civata örnekleri

2.2.1.4 Akımsız metal kaplama

Kaplanacak metal iyonlarını ve bir indirgeyiciyi içeren çözeltiye daldırılan metalin yüzeyinde indirgenme reaksiyonu meydana gelmesi ve bu şekilde metalin kaplanması esasına dayanır. Bu yöntemle özellikle nikel, bakır, kobalt, kalay ve gümüş kaplanmaktadır.

Endüstride en çok karşılaşılan akımsız kaplama türü akımsız nikel kaplamadır. Son zamanlarda dekorasyon için olmakla beraber korozyon ve ısı direnç amacıyla da uygulanan bir kaplama sistemidir. [4]

Akımsız nikel kaplama; daldırma, nikel oksidin sıcakta indirgenmesi ve nikel tuzu

banyosunda katalitik indirgenme olarak üç teknikle yapılmaktadır.

2.2.1.5 Vakum kaplama

Vakum ortamında, ergitilmiş metalin, kaplanmak istenilen soğuk yüzeye temas ettirilmesi sonucu, metal yüzeyin her tarafı kaplanır. Yöntem hem metalik hem de metalik olmayan yüzeylerin kaplanmasında kullanılabilir.

2.2.1.6 İyon kaplama

Vakum ortamında yapılan kaplama işleminde yüksek enerjili iyon bombardımanı altında yüzey hem temizlenir hem de kaplanır.

2.2.1.7 İyon aşılama

İyon aşılama, bir katı maddenin yüzeyine uygun atomları gömerek onun yüzey özelliklerini değiştirme işlemidir. Malzemenin elektrik, optik, mekanik, tribolojik ve korozyon davranışı iyon aşılama ile değiştirilebilir.

Aşılacak element önce iyonize edilir. Daha sonra istenmeyen iyonlardan ayrılır ve bir ekseleratörde hızlandırılır. Elde edilen iyon demeti kendi yoluna dik olarak yerleştirilmiş olan hedef malzemeye oldukça yüksek hızla çarparak içine doğru ilerler. Aşılama derinliği, şartlara bağlı olmakla beraber, 0.1 mikrometre civarındadır ve yayılmaya bağlı değildir. Bu sebeple, kristal hatalarından ve oksit tabakalarından etkilenmez.

2.2.2 Organik kaplamalar

Organik kaplamalar genel olarak dekoratif ve korozyondan koruma amacıyla kullanılırlar. Ayrıca özellikle yüksek polimer kaplamalar tribolojik özellikleri geliştirmek amacıyla da kullanılır.

Polimerler iyi aşınma ve korozyon dirençlerinin yanı sıra kendinden yağlama, düşük ses emisyonu ve ucuz üretim maliyetiyle stratejik öneme sahip tribolojik malzemelerdir.

Organik kaplamaları temelde dört ana gruba ayırmak mümkündür.

- Boyalar ve cilalar
- Vernikler ve fırınlanmış emayeler
- Ziftli kaplamalar
- Plastik kaplamalar

2.2.3 İnorganik kaplamalar

İnorganik kaplamaları, anodik oksidasyon, kromatlama gibi değişim kaplamalar, seramik kaplamalar, camlar, camsı emayeler gibi çeşitli gruplara ayırmak mümkündür. Bu türler içerisinde iyonik kaplama yöntemi ile üretilen seramik kaplamalar grubu içinde yer alan ince film sert seramik kaplamalar yüksek aşınma dirençleri ve sürtünme özelliklerinin yanında iyi yapışma ve kolay üretilebilirlikleri gibi faktörlere bağlı olarak endüstride kullanılan kesici ve delici takımların kaplanmasında ön plana çıkmışlardır.

Sert seramik kaplamaların üretiminde buhar fazından, vakum altında yapılan kaplamalar sahip oldukları özellikleri ile yoğun şekilde tercih edilmektedirler. Bu özellikler şöyle sıralanabilir; vakum sistemleri ile beraber üretimlerinde düşük maliyet, çok ince ve yüksek saflıkta kaplanabilmeleri, iyi yapışma özelliği göstermeleri ve kaplama malzemesinin tercih sayısının yüksek oluşudur.

Buhar fazında yapılan kaplamalar üç ana grupta toplanabilir;

- Fiziksel – kimyasal buhar biriktirme
- Kimyasal buhar biriktirme
- Fiziksel buhar biriktirme

2.2.3.1 Fiziksel – kimyasal buhar biriktirme

Söz konusu her iki tekniğin karışımı olup kimyasal buhar biriktirme işlemini harekete geçirmek için plazmanın (glow discharge) şerare etkisinden faydalanılır.

2.2.3.2 Kimyasal buhar biriktirme (CVD)

Kimyasal buhar biriktirme yöntemi vakum altında (65 Pa - 0.1 MPa) uygulanabilen, malzemenin bir reaksiyon hücresi içine buhar olarak gönderilmesi ve karşı malzeme üzerinde biriktirilmesi esasına dayanır. Fiziksel buhar biriktirme teknikleriyle kıyaslandığında en büyük dezavantajı çok yüksek sıcaklıklarda (1000-1200 °C) uygulanabilmesidir. Dolayısıyla kullanım alanı WC-Co sert metal malzemelerle sınırlı kalmaktadır.

2.2.3.3 Fiziksel buhar biriktirme (PVD)

PVD kaplama yöntemi, biriktirilecek elemanların transferi ve bu elemanların atom ve molekül formunda biriktirilmesi şeklinde oluşur.

Fiziksel buhar biriktirme yöntemi literatürde daha çok “Physical Vapor Deposition” kısaltması olan PVD olarak karşımıza çıkmaktadır.

PVD kaplama yöntemi literatürde ilk olarak CF Powell, JH Oxley ve JM Blocher Jr. tarafından 1966 yılında basımı yapılan “Vapor Deposition” adlı kitapta adlandırılmıştır. Mamafih PVD kaplama yönteminin icadı bu eserden daha önceye dayanmaktadır. [21]

3 PVD KAPLAMA YÖNTEMİ

PVD yöntemi ile yapılan kaplama yöntemleri atomik düzeyde biriktirme yöntemleridir. PVD yöntemi; kaplama materyali sıvı ya da katı halden atom ya da molekül formda buharlaştırılarak, vakum ya da düşük basınç altında bulunan yüzeye biriktirilmesi yolu ile gerçekleştirilir.[9]

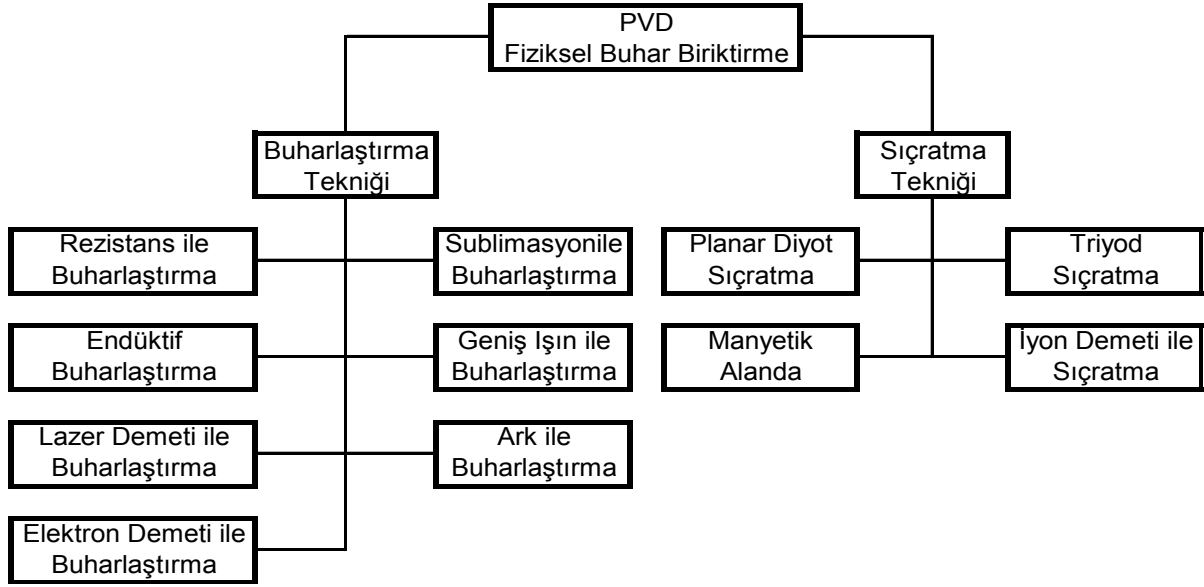
PVD kaplamaların maliyete etkilerini, kesici takımlara ve işlenen parçaya kazandırdıkları özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Yüksek sertlik (2400 – 4000 HV) (\approx 80 – 90 HRC)
- Artan aşınma mukavemeti
- Düşük sürtünme katsayısı (Yüksek yüzey kayganlığı)
- Düşük ısı iletkenlik nedeniyle takım ısınmasının azalması
- İşlenen parçaların yüzey kalitesinde artış
- Kaplamayı takım yüzeyinden dökülmemesi
- İşlenen parçanın takıma yapışmasını engelleme
- Çok düşük kaplama kalınlığı ile takım toleranslarına etkisinin azlığı (1 – 10 mikron arası)
- Artan takım ömrüne bağlı olarak parça başına takım maliyetinde azalma
- Takım değiştirme sırasında zaman kaybının yol açacağı masraflarda azalma
- Kaplama kalınlığının her bölgede homojen olması
- Kaplama sıcaklığı takım çeliklerinin meneviş sıcaklığının altında (180–400°C) kaldığından çelikte yumuşama ve deformasyon oluşmaması.

3.1 PVD kaplama teknikleri

En çok kullanılan PVD kaplama teknikleri püskürtme ve buharlaştırma teknikleridir(Şekil 3.1). PVD yöntemlerinin en başında gelen püskürtme tekniği; bir malzemenin, kaynaktan çıkan yüksek voltaj ile hızlandırılmış gaz iyonlarının kaplanacak yüzeye bombardıman edilmesi ile gerçekleşir. Atomlar, gelen iyonlar ve kaynak arasındaki momentum transferi yardımı ile kaynaktan dışarı çıkarlar. Bu partiküller vakum çemberini geçerek kaplanacak

yüze birikirler. İlk kullanılan PVD yöntemi olan buharlaştırma tekniği; kaplamayı oluşturmak amacıyla buharlaştırma yöntemi ile malzeme transferini içerir. Devamlı buhar oluşumu, vakum çemberi içerisinde elektron ışını ile kaplama malzemesi bloğunun eritilmesi ve buharlaştırılması ile oluşturulur. PVD kaplamaları genel olarak kesme takımlarında aşınma, sürtünme ve sertlik özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılır.



Şekil 3.1 PVD tekniklerine göre sınıflandırma

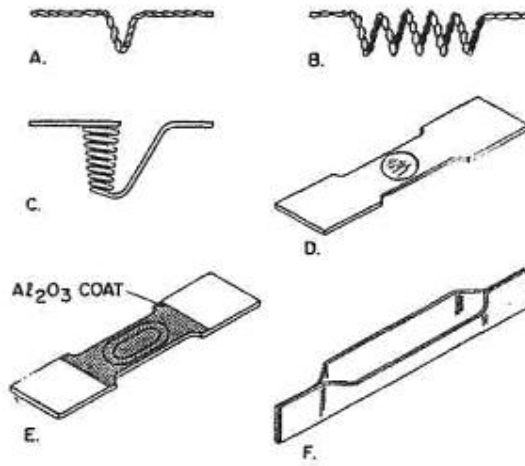
3.1.1 Buharlaştırma teknikleri

Buharlaştırma yönteminde kaplama malzemesi bir termal ısı kaynağı ile vakum ortamında buhar haline getirilir. Buharlaştırma kaynağına bağlı olarak aşağıdaki sınıflara ayrılır;

- Rezistans ile Buharlaştırma
- Endüktif Buharlaştırma
- Lazer Demeti ile Buharlaştırma
- Elektron Demeti ile Buharlaştırma
- Sublimasyon ile Buharlaştırma
- Geniş Işın ile Buharlaştırma
- Ark ile Buharlaştırma

3.1.1.1 Rezistans ile buharlaştırma

Rezistanslı buharlaştırma tekniğinde; ısı kaynağı üzerinden elektrik akımı geçirilen W, Mo, Ta gibi düşük buharlaşma sıcaklığına sahip metallere yapılmış tel, levha ya da potalardır(Şekil3.2). Kimi zaman potaların etrafına sarılan tellerle ısıtma yapılırsa sistem ışınım kaynaklı olarak nitelendirilir. 1000° C'nin altındaki sıcaklıklarda bazen Pt, Fe ya da Ni gibi metaller kullanılabilir. Tel ya da levha formları buharlaştırılacak malzeme ve kullanılma yerlerine göre değişiklik gösterir. Sıcaklık kontrolü devreye uygulanan akımın ayarlanmasıyla yapılır.



Şekil 3.2 Çeşitli Tel ve levha rezistans şekilleri: a) Tel Bükümlü Rezistans, b) Helis Bükümlü Rezistans, c) Sepet sarılmış Rezistans, d)Çukurlaştırılmış levha, e) Alumina kaplı çukurlaştırılmış levha, f) Kano tipi levha.

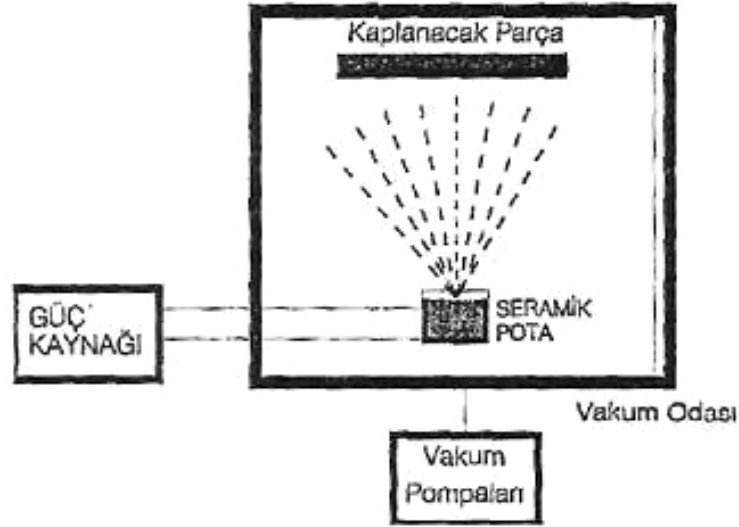
3.1.1.2 Endüktif buharlaştırma

Endüktif Buharlaştırma ise su soğutmalı bakır tellerin BN-TiB₂ refrakter potalara sarılması ve bu tellere radyo frekansı akım uygulanmasına dayanır.

Endüksiyonla buharlaştırma direk ve ışınım rezistanslı buharlaştırmaya göre şu avantajlara sahiptir:

- Isı buharlaşma malzemenin kendisi üzerinde olduğundan rezistanslı sistemlerin aksine buharlaşma sıcaklığının çok üstüne çıkılmasına gerek kalmaz. Bu da kontrollü buharlaştırma sağlar
- Düşük ısı kayıpları nedeniyle buharlaşma verimi yüksektir.

Rezistans ve endüktif buharlaştırma sistemi Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Rezistans veya endüktif buharlaştırma tekniği kullanan PVD sistemi

Bu yöntemlerde kaplama kalınlığının homojenliği pota önünde oluşan buhar bulutu ve akışına bağlıdır.

Yöntemler buharlaştırma yöntemleri arasında en basit ve ucuzları olmasına karşın uygulamalar açısından bazı sınırlamalar vardır:

Geometrik faktörler nedeniyle büyük çaplı üretimler mümkün olmamaktadır.

Bu yöntemlerle yüksek buharlaştırma sıcaklığına çıkılamadığı için kaplama malzemesi olarak genelde düşük buharlaşma sıcaklığına sahip malzemeler kullanılır.

Buharlaştırılacak malzemenin yerleştirildiği pota da buharlaşarak film safiyeti bozulabilir.

Bileşik buharlaştırmada; buharlaşma basıncı daha yüksek olan bileşim önce buharlaşmakta, bu da kaplama malzemesi ile film bileşiklerinde farklılaşmalara, yapı homojenliğinin bozulmasına neden olur.

Yukarıdaki dezavantajları nedeniyle rezistans ya da endüksiyon buharlaştırma yöntemleri performans artırımına yönelik konvansiyonel kaplamalardan ziyade dekoratif ve optik uygulamalarıyla basit metalizasyon işlemlerinde kullanılmaktadır.

3.1.1.3 Lazer demeti ile buharlaştırma

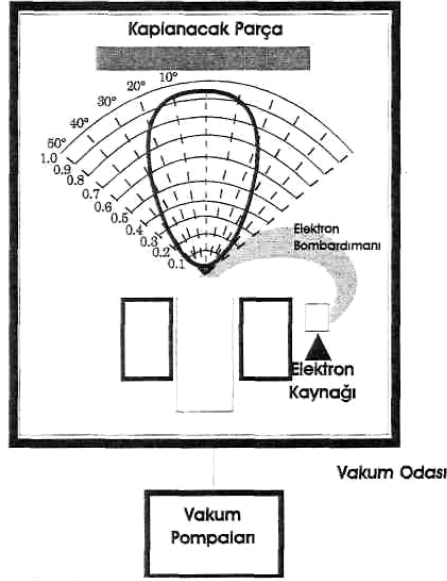
Lazer demeti ile buharlaştırma yönteminde kaplama malzemesi lazer demeti ile buharlaştırılır. Buharlaştırılacak malzemenin ışınım absorpsiyon karakteristiği kullanılacak lazerin dalga boyunu belirler. Yüksek güç yoğunluklarının gerekli olduğu durumlarda genellikle pulse lazer kaynağı kullanılır. Yüksek saflık , hassasiyet ve kontrollü bileşimli ince film uygulamalarında tercih edilen bir yöntemdir.

Lazer demeti ile buharlaştırma yönteminin sahip olduğu dezavantajların maliyeti çok yükseltmesinden dolayı, yöntem sınırlı kullanıma sahiptir. Vakum odasının dışında yer alan lazer kaynağından buharlaştırma yapılacak malzeme üzerine ışının ulaştırılması için kompleks geçirgenlik ve odaklama sistemlerinin dizaynı gerektirmesi, ayrıca ışının vakum odasına geçirimini sağlayacak malzemenin hem lazerin dalga boyuna uygun olması , hem de kaplama haznesi içindeki buhar tarafından kolay bir şekilde kaplanmaması isteği dezavantajların başında gelmektedir.

3.1.1.4 Elektron bombardımanı ile buharlaştırma

Bir elektron kaynağı vasıtası ile sağlanan elektronların, buhar fazın elde edileceği malzeme üzerine yönlendirilmesi neticesinde ısıtma işlemi gerçekleştirilir. Elektronların odaklanmasının rahat olarak yapılabilmesi, yüksek güç yoğunluğunun elde edilmesini sağlayarak yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerin dahi buhar fazına geçirilmelerini mümkün kılar.

Elektron bombardımanı yöntemiyle hemen her türlü kaplama yapılabilir. Kontrollü ve homojen buharlaştırma ve kaplama yapılabilmesi sayesinde özellikle hassas optik kaplamaların yapımında tercih edilirler. Ancak yatırım maliyetinin yüksekliği dezavantaj oluşturur. Şekil 3.4'te elektron tabancasıyla buharlaştırmanın yapıldığı temel donanım görülmektedir.



Şekil 3.4 Elektron bombardımanı ile buharlaştırma tekniği kullanılan PVD sistemi

Elektron bombardımanı yöntemi iki temel avantaj sunar:

Yüksek güç yoğunluğuna sahip olup çok düşükten çok yüksek buhar yoğunluğuna ulaşma imkanı sağlar.

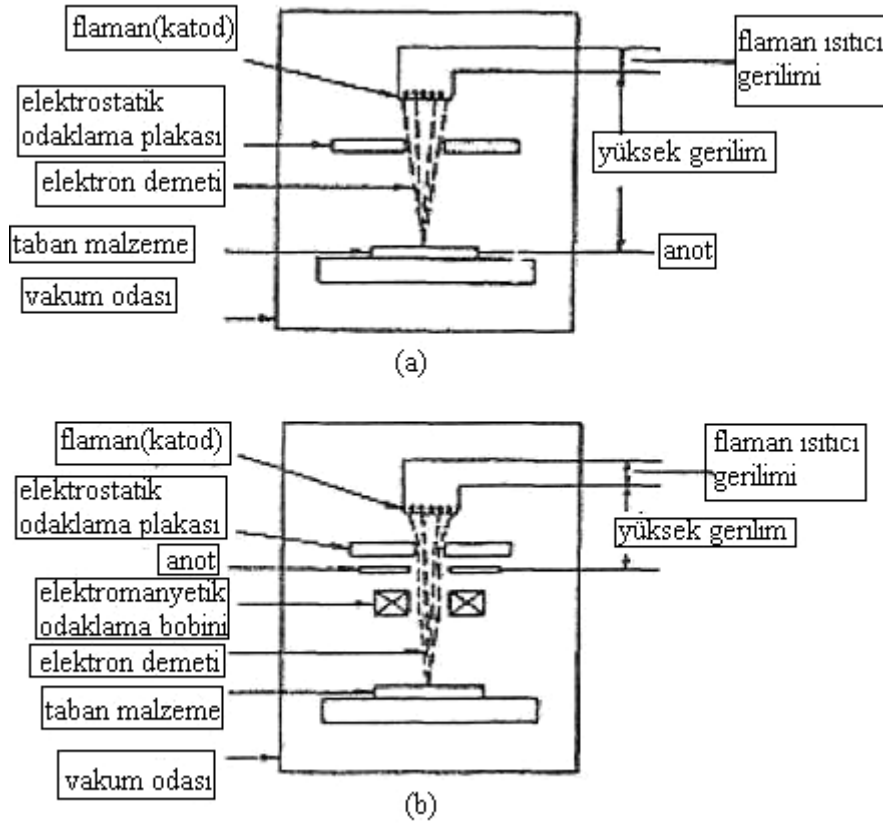
Buharlaştırma malzemesi su soğutmalı bir pota ya da tutucu üstünde yer alıp sadece kaplama malzemesinin yüzeyinde buharlaşma gerçekleşir. Böylece malzeme ve oluşan ince film arasında bileşim farklılığı görülmez.

Temel bir elektron tabancası bir katod ve bir de anottan oluşur. Katoddan elde edilen elektronlar katod ve anot arasında oluşturulan yüksek potansiyel (20-40 kV'a kadar) yardımıyla hızlandırılarak buharlaştırılacak malzeme üzerine düşürülür. Buharlaştırılacak malzemenin anot olarak kullanıldığı hızlandırma sisteminin yanında, bağımsız anot ve odaklama bobinlerine sahip kendinden odaklamalı adı verilen sistemlerde kullanılır.

Elektron tabancaları, elektronların oluşturulmasına göre; termoiyonik tabanca ve plazma elektron bombardımanı tabancası olarak ikiye ayrılmaktadır.

Hızlandırma sistemine göre elektron tabancaları ise şekil 3.5' te görüldüğü gibi ikiye ayrılmaktadır.

- Taban malzemeye hızlandırmalı elektron tabancası
- Kendinden hızlandırmalı elektron tabancası



Şekil 3.5 Hızlandırma sistemine göre elektron tabancaları a) Taban malzemeye hızlandırmalı b) Kendinden hızlandırmalı.

3.1.1.5 Süblimasyon ile buharlaşma

Bir malzeme ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta yüksek buhar basıncına sahipse süblimleşebilme yani katı halden direk gaz haline geçebilme özelliği gösterir. Cr, Mo, Pd, V, Fe ve Si gibi elementler 10^{-2} Torr basınçlarda ergime noktasının altında süblimleşerek ince film oluşturabilme özelliğine sahiptir. Yine rezistanslı ısıtıcı kaynaklarıyla süblimasyon hızlandırılarak ince film oluşumu da hızlandırılabilir.

Bu teknik sadece deneysel çalışmalarda kullanılır ve endüstriyel uygulaması yoktur.

3.1.1.6 Geniş ışın (broad beam) iyon kaynakları ile buharlaştırma

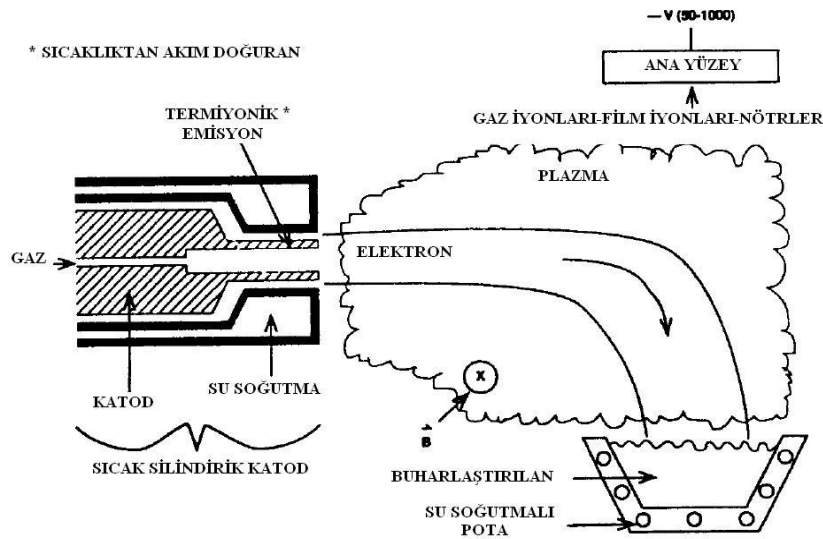
Elektron bombardımanı yöntemine benzemekle birlikte burada anot ve katod arasında uygulanan gerilimle ortamdaki gaz iyonize edilir ve hızlandırılarak buharlaşacak malzeme üzerine yönlendirilir. Hızla çarpan iyonlar sayesinde malzeme ısınarak buharlaşır, iyon bombardımanı sağlanması için kaynak önünde birbirine paralel çok sayıda delik olması nedeniyle bu yönteme Broad-Beam adı verilmiştir.

3.1.1.7 Ark ile buharlaştırma

Ark ile buharlaştırma yöntemi; ark oluşturma koşulları altında bir elektrodun buharlaştırılması prensibini kullanır. Ark oluşturma koşulları; bir gaz ya da elektrod malzemesinin buharı içerisinde geçen yüksek-akım düşük-voltaja sahip bir elektrik akımından ibarettir. Ark voltajı gaz ya da buharın iyonizasyon potansiyeline yakın olmalıdır (>25 volt). Ark ile buharlaştırma yöntemini; anodik ark, vakum ark ve katodik ark buharlaştırma yöntemi olarak dörde ayırabiliriz[8].

3.1.1.7.1 Anodik ark buharlaştırma yöntemi

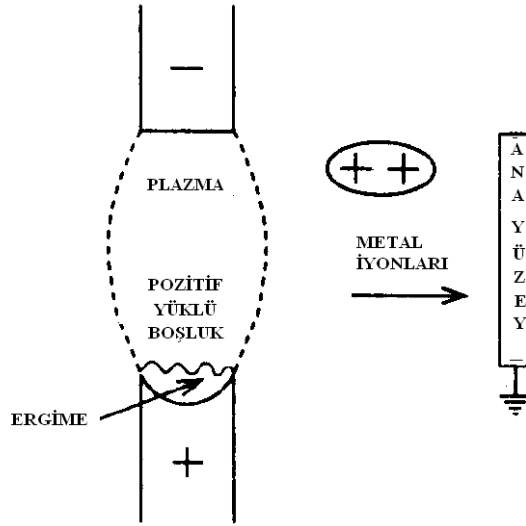
Bir ark boşalması, eğer anod eriyik ise, materyal eriyik anod yüzeyinden ark içine buharlaştırılır ve bu kaynak anodik ark kaynağı olarak adlandırılır. Anod üzerindeki amper yoğunluğu katod merkezindeki amper yoğunluğundan çok düşük olduğunda anodik ark yöntemi, “dağılmış ark” yöntemi olarak da isimlendirilir[8]. Şekil 3.6 da berilyum üzerine anodik ark buharlaştırma yöntemi ile gümüş kaplama yönteminin şematik görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.6 Berilyum üzerine anodik ark yöntemi ile gümüş biriktirilmesi

3.1.1.7.2 Vakum ark buharlaştırma yöntemi

Vakum ark buharlaştırma yönteminde magnetik alan içindeki metal katod üstüne gönderilen elektrik arkı küçük bir noktaya odaklanarak bu bölgelerde metal buharlaştırılır ve aynı anda iyonize edilir. İyon buharı elektrik alanda hızlandırılarak kaplanacak malzeme yüzeyinde reaktif gaz ile reaksiyona sokularak istenilen kaplama elde edilir[19]. Birbirinden az aralıklarla ayrılmış vakum altındaki elektrodların arasında oluşan yoğun yüksek akım düşük voltaj, elektrod yüzeylerinin buharlaşmasına ve elektrodlar arasında buharlaşan malzemenin plazmasının şekillenmesini sağlayarak düşük basınçlı vakum altındaki ark buharlaşmasını meydana getirir. Şekil 3.7 de vakum ark ile buharlaştırma yönteminin şematik yapısı verilmiştir.

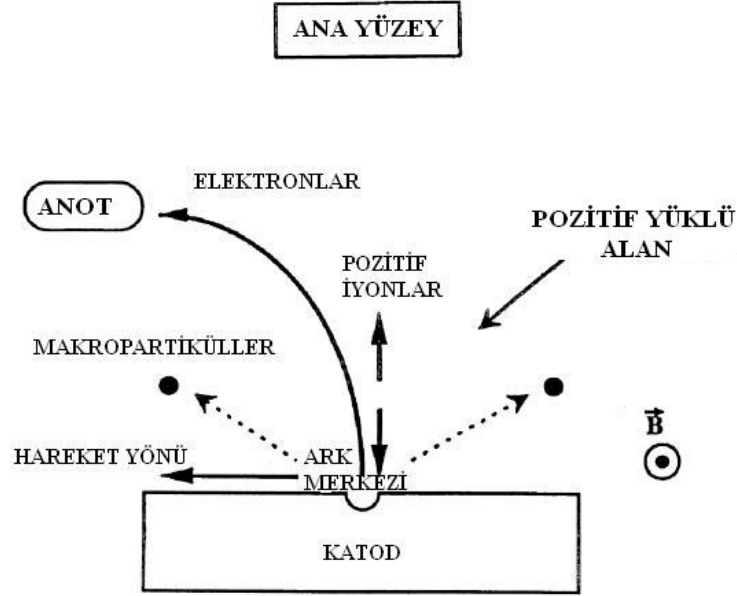


Şekil 3.7 Vakum ark ile buharlaştırma yönteminin şematik yapısı

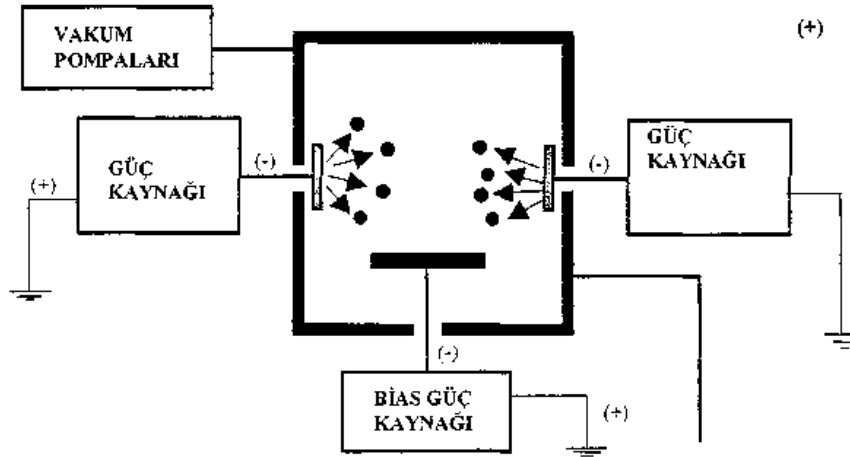
3.1.1.7.3 Katodik ark buharlaştırma yöntemi

Katodik arklı PVD tekniğinde, buhar fazının elde edileceği malzeme vakum odasına katot olarak asılırken, kaplanacak olan malzemeler anot olarak asılırlar. Katodik ark ile kaplamanın yapıldığı PVD tekniğinin şematik yapısı Şekil 3.8'de verilmiştir. Şekil 3.9 da ise iki katodlu bir PVD sistemin şematik yapısı verilmiştir. Sisteme uygulanan düşük voltajın (20-30 V) ve yüksek akımın (100-200 A) etkisi ile katot yüzeylerinde ark meydana gelir. Katot yüzeyinde arkin meydana geldiği noktalarda, sıcaklığın çok yüksek değerlere ulaşması, bu noktalarda ergimeleri ve buharlaşmaları meydana getirir. Bu sayede elde edilen buhar fazı, katot önünde yüksek elektron yoğunluğunun olduğu bölgede çarpışmalara maruz kalarak, hızlı bir şekilde

iyonize olur ve oluşan iyonlar, üniform olmayan potansiyel dağılımı ve plazma genişmesi nedeniyle bu bölgeden hızlı bir şekilde taşınırlar.



Şekil 3.8 Katodik ark ile buharlaştırma yöntemi şematik yapısı



Şekil 3.9 İki katodlu katodik ark PVD sistemi şematik yapısı

Katodik ark buharlaştırma tekniği genel olarak TiN gibi sert ve aşınmaya dirençli kaplamaların üretiminde başarıyla uygulanmaktadır. Tekniğin avantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Kaplama elemanları yüksek oranda iyonize edilebilir
- Karmaşık şekilli parçalar üzerine yeterli homojenlikte kaplama yapılabilir.
- Sistemde ergimiş bir banyo oluşmadığı için, buharlaştırma kabini herhangi bir doğrultuda;

hatta baş aşağı bile konumlandırılabilir.

- Basit konstrüksiyon ve basit güç kaynak üniteleri yeterlidir.
- Katot uzun süre kullanılabilmektedir.

Katodik arklı sistemin en büyük dezavantajı, katot yüzeyinde oluşan arkın etkisi ile 0.1-100mm boyutlarındaki makro partiküllerin kütsel olarak kopması neticesinde, kaplama yüzeylerinde damlacık olarak anılan hataların oluşmasıdır.

Katodik ark yöntemi ile yapılan kaplamaların yüzeylerinde, damlacık oluşumunu azaltmak için katotların arkasına kuvvetli mıknatıslar yerleştirilmektedir. Mıknatısların oluşturdukları manyetik alan, iyon gibi yüklü partiküllerin üzerinde etkili olurken, yüksüz olan makro partiküller üzerinde etkisi yoktur. Bu farklılık ile manyetik alan sistemde iyonlar ile makro partiküller arasında filtre görevi görür. Manyetik alanın iyonlar üzerindeki etkisi, iyonların hızlarını artırır ve bununla orantılı olarak film biriktirme hızları da artarak, kaplama süresi kısalır. Sonuç olarak kısalan kaplama süresi ile film yüzeyine düşen makro partikül sayısı da azalacaktır.

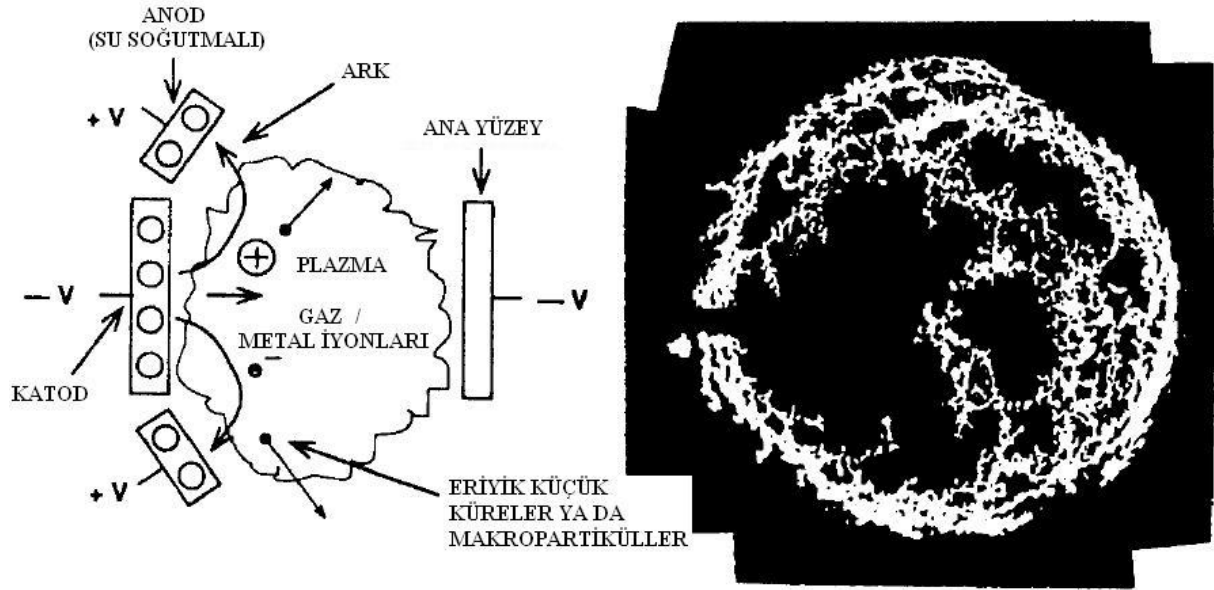
Ark karakteristiğine göre katodik ark yöntemi ile metal buharı ve kaplama eldesindeki yöntemleri 3 gruba ayırılır.

- Rastgele ark
- Kontrollü ark
- Manyetik alan odaklamalı ark

3.1.1.7.3.1 Rastgele ark

Rastgele ark yönteminde ark kaynağı, bir koruma ile kaplanmak sureti ile ya da hedefin üzerindeki yalıtkan bir malzeme ile yardımı ile hedeften ayrılır(Şekil 3.10). Ark, hedef ile koruma arasındaki boşluğa girdiğinde ya da yalıtkan yüzeyine hareket ettiğinde durdurulmuş olur[8]. Alçak gerilim ve yüksek akımda negatif kutuplu katod ve pozitif kutuplu anot arasında gaz ortamında ve sabit magnetik alan da oluşturulan ark elektrik özelliklerini kaybetmeksizin vakum ortamında katod üzerine yönlendirilir. Bu ark katod üzerinde mikron mertebesindeki bir noktaya odaklanır ve bu noktanın buharlaşması sağlanır. Bu nokta buharlaştırıldıktan sonra ark başka bir noktaya sıçratılır ve 200 ns (nanosaniye) civarında bir sürede ark spotu tekrar oluşturulur. Katot üzerinde yüksek hızda oluşan bir ark ışığı gözlenir. Böylece katı haldeki katod metali buharlaştırılıp aynı anda iyonize edilir ve katod önünde plazma içinde (elektrik alan yardımıyla) yüksek hız kazandırılarak kaplanacak malzeme

üzerine gönderilir. Manyetik olmayan katodik rastgele ark yönteminin patenti Sablev tarafından alınmıştır.[8]



Şekil 3.10 Rastgele katodik ark şematik yapısı ve yüzey üzerindeki ark hareketinin resmi

Katodik ark tekniklerinin tümünde, katod yüzeyden erozyona uğrar ve üç tipte malzeme akışı olur:

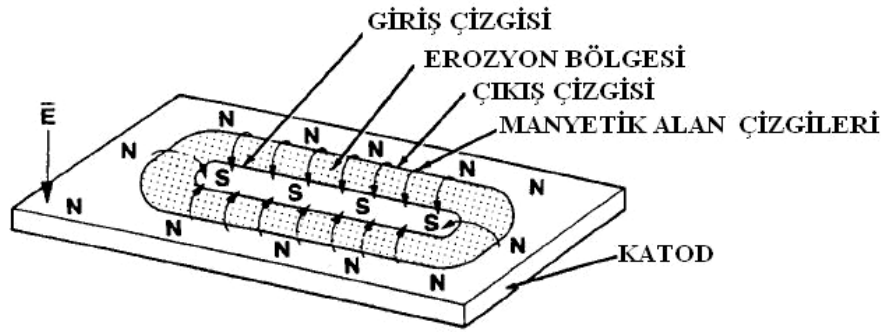
- İyonlar: Buharlaşan metalin atomlarının son yörüngesindeki elektronlardan 1 veya 2'si kopartılır, elektron kaybeden atom ve atomların meydana getirdiği metal buharı (+) yüklenmiş olur. Bu + yükle yüklenen atomlara iyon adı verilir.
- Yüksüz metal buharı: Buharlaşma sırasında bazı atomlardan elektron koparılamaz ve yüksüz kalır. Bu atomların oluşturduğu buhara metal buharı denir.
- Damlacık oluşumu: Buharlaşma anında sıvı halden buhar hale geçememiş makro metal damlacıkları da oluşur. Damlacıkların boyu 0.1µm ile 20µm arasında değişir.

Bu teknik ile elde edilen buharın enerjisi ve iyon-akım yoğunluğu diğer tekniklerden 6-7 kat daha fazladır. Hızlandırma gerilimi (Bias gerilimi) ile iyonlar kolaylıkla çok yüksek hızlara çıkartılırlar. Titanyum için Random Ark'ta iyon/toplam buhar oranı %60 civarındadır. İyon enerjisinin yüksek olması çok düşük ısılarda kaplama elde edilmesini mümkün kılar. Kaplama 200 °C civarında yüksek sertlik ve takım yüzeyine mükemmel yapışma sağlar. Sonuç olarak soğuk iş çeliklerinde sertlik kaybına neden olmadan iyi bir kaplama elde edilebilir. Bu buharlaştırma tekniğine rastgele ark adı verilir.

Burada önemli sorun damlacık boyutu ve yoğunluğudur. Damlacık kaplama tabakasına ulaşarak kaplamanın yüzey pürüzlülüğünü artırır ve kaplamayı bozarlar. Bu damlacıklar kaplanan kesici takımın çalışması anında sürtünmeye negatif etki gösterdiklerinden özellikle kılavuz, broş ve parmak frezelerde kaplama sonrası kırılmasına neden olurlar. Damlacık boyutu rastgele arka 20 μm ' ye kadar çıkmaktadır. Bu da kaplama kalınlıkları 2-7 μm arasındaki sert seramik filmlerde, yüksek yüzey pürüzlülüğüne neden olmaktadır. Random ark tekniği ile yapılan kaplamada yüzey pürüzlülüğü, polisaj yapılmak suretiyle düzeltilmeye çalışılmaktadır. Polisaj yapılan takımların kesme uçlarında körelmelere ve kaplama yüzeyinde çukurlar oluşmasından dolayı takımın kaplama sonrası yüzey kalitesi bozulmaktadır.[10]

3.1.1.7.3.2 Kontrollü ark

Kontrollü ark ile söz konusu damlacıkların oluşmasına fırsat vermeden buhar oluşturulur. Bunun için katodun arkasında oluşturulan magnetik alan değerleri ark oluşumu sırasında değiştirilerek ve döndürülerek katod üzerinde oluşan ark spotu kontrol edilir(Şekil 3.11). Bu şekilde katod yüzeyindeki kraterleşmeler azaltılarak sıvı bölgeler yok edilir. Elde edilen metal buharında damlacık miktarı azalır ve kaplama yüzey pürüzlülüğü minimuma indirilir. Bu teknik özellikle TiAlN gibi karışık kaplamalarda iyi sonuç vermektedir. Fakat kaplama hızı düşük olduğundan ve kaplama kalınlığının homojen olmasındaki problemler nedeni ile kaplamalarda güçlükler ile karşılaşmaktadır[10].



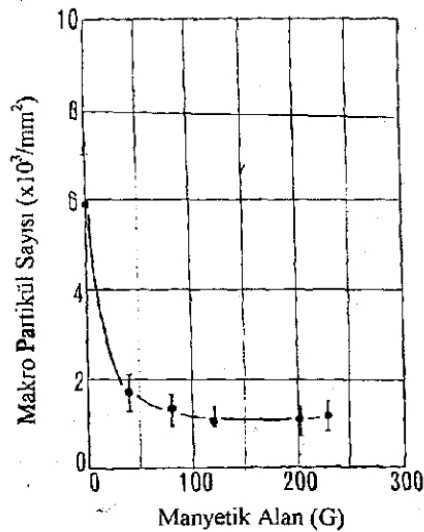
Şekil 3.11 Kontrollü ark şematik gösterimi

3.1.1.7.3.3 Manyetik alan odaklamalı ark

Manyetik Alan Odaklamalı ark tekniğinde buharlaşma sırasında oluşan damlacık boyutu küçültülür ve elenerek damlacıklar azaltılır. Bu teknik ile katodun önünde oluşturulan değişken magnetik alan ile iyonize olmuş buhar yönlendirilerek damlacıktan arındırılır ve kaplanacak malzeme üzerine sadece iyon buharının gitmesi sağlanır. Elde edilen kaplamanın yüzey pürüzlülüğü minimuma indirilmiş olur. Manyetik alan sayesinde oluşan damlacığın boyutu maksimum 5µm ile sınırlandırılır. Kaplama hızı iyon buharının odaklanması sebebiyle arttığı için manyetik alan odaklamalı ark tekniği sanayide diğer ark buharlaştırma tekniklerinden daha iyi sonuçlar vermektedir.

Yüksek gerilim ve iyon bombardımanı altında takımın üst yüzeyi 0.1 µm derinlikte yapı değişikliğine uğrar ve kaplama takım yüzeyine nüfuz eder. Kaplama sırasında kaplama kalınlığı çoklu buharlaştırıcılar sayesinde eşit kalınlıkta elde edilebildiğinden kaplamada oluşacak mikro çatlaklar ve gerilmeler önlenir. Tüm Ark tekniklerinde kaplamanın taban malzemeye yapışması diğer tekniklerden oldukça yüksektir. Magnetik alan odaklamalı Ark buharlaştırmanın yukarıda bahsedilen özellikleri dışında magnetik alan sayesinde reaktif gazın iyonizasyonu ile kaplama sertlikleri daha yüksek çıkmaktadır.

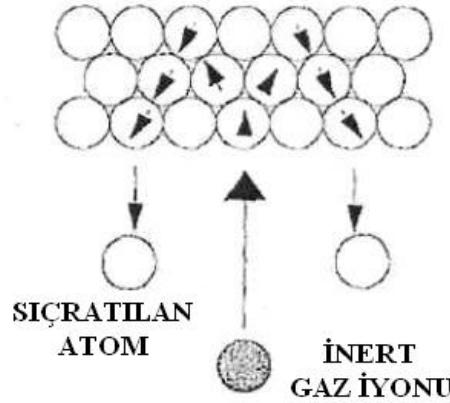
Katodik ark PVD sistemine yerleştirilen mıknatısların oluşturduğu farklı şiddetlerdeki manyetik alanlar neticesinde kaplama yüzeyindeki damlacık sayılarında meydana gelen değişim Şekil 3.12 de verilmiştir. Şekil 3.12' den de görülebileceği gibi, yaklaşık 150 G civarındaki manyetik alanda damlacık sayısı minimuma inmektedir.[11]



Şekil 3.12 Manyetik alan – damlacık sayısı arasındaki ilişki

3.1.2 Sıçratma teknikleri

Sıçratma tekniğinde, buhar fazının elde edileceği hedef malzeme, Şekil 3.13' te görüldüğü gibi pozitif gaz iyonları ile bombardımana tutularak, hedef malzeme yüzeyinden atom veya atom grupları kopartılır [12], Hedef malzeme yüzeyinden kopartılan atom veya atom grupları, oluşan plazma içerisinde buhar fazına geçerler. Buhar fazının, alt malzeme yüzeyinde biriktirilmesi neticesinde sıçratma ile buhar fazının elde edildiği PVD kaplama gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 3.13 Sıçratma tekniği mekanizması

Sıçratma tekniğinin en önemli dezavantajı sıçratma amacıyla kullanılan enerjinin ancak %1'inin sıçratma işlemini gerçekleştirmesidir. Bunu önlemek için iyonların hedefe çarpma açısı 70° den düşük tutulur.

Sıçratma tekniğinde aşağıdaki etkenler kaplama hız ve özelliklerine doğrudan etki eder:

- Sistem geometrisi
- Kaynak-Hedef uzaklığı
- Kullanılan inert gazın saflığı
- Hedef malzemenin sıcaklığı
- Ortam temizliği

Sıçratma yönteminde, buharlaştırma yöntemine göre basınç yüksek olmasına rağmen çekirdekleşme ve çekirdek gelişimi hemen hemen aynıdır. Sıçrayan atomlar kaplanacak parça yüzeyine ulaştıklarında ortalama kinetik enerjileri 10-40 eV 'tur. Buharlaştırma yönteminde ise bu 0.3-1 eV civarındadır.

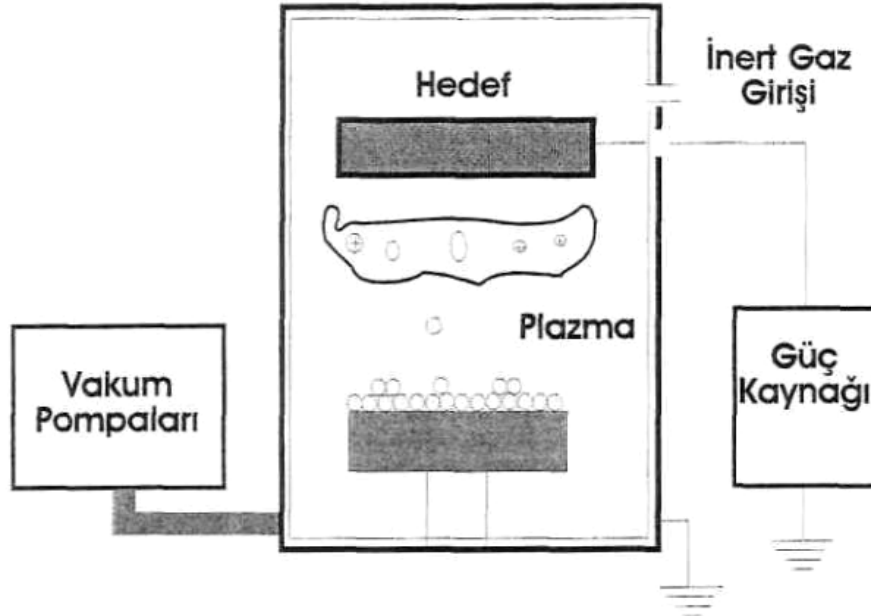
Sıçratma tekniği kullanılan PVD sistemleri uygulanabilirlik açısından çok geniş kullanım alanı bulmuştur. Bu yöntemler kullanılarak magnetik ve optik kayıt uniteleri, kompakt disk, çok katlı elektronik kaplamalar, ayna ve filtreler için çok katlı optik kaplamalar, antirefleks ve reflekte kaplamalar,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

Sıçratma tekniği ile kaplama yöntemlerini 3 ana başlıkta inceleyebiliriz.

- Diyot sıçratma
- Triyot sıçratma
- Manyetik alanda sıçratma

3.1.2.1 Diyot sıçratma

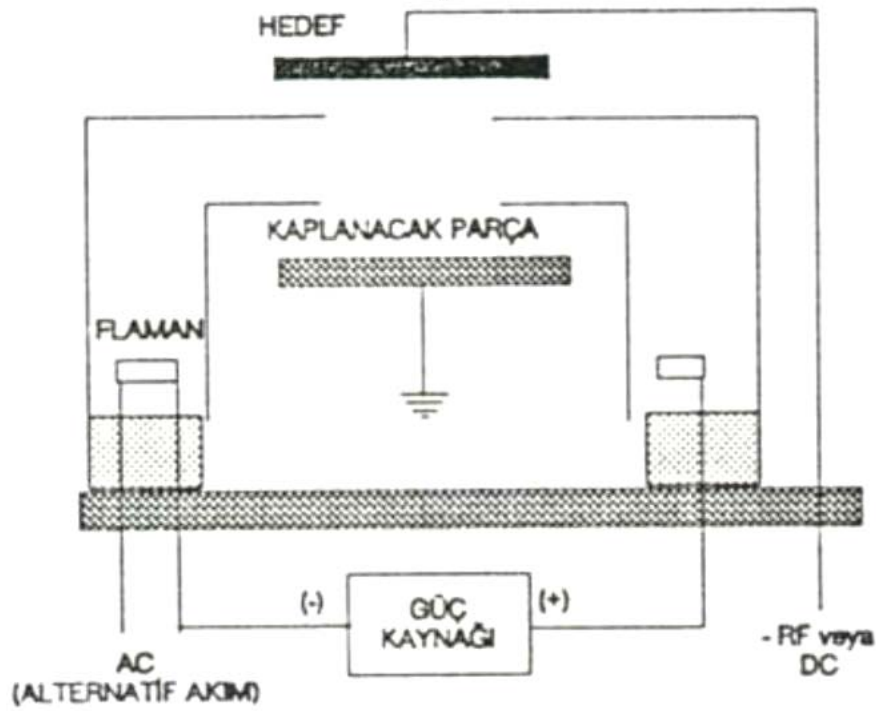
Bu yöntemde kullanılan hedef düz yüzeylidir ve hedef ile vakum odası arasına 1-5 kV 'luk bir potansiyel uygulanmıştır. Kaplama hızı diğer yöntemlere göre düşüktür. İnce kompleks kaplamalar ve küçük boyutlu laboratuvar tipi uygulamalar için uygundur. Çok basit bir sistem olması en büyük avantajıdır(şekil 3.14).



şekil 3.14 Diyot sıçratma tekniği

3.1.2.2 Triyot sıçratma

Triyot sıçratma yönteminde ise, diyot sıçratma sisteminden farklı olarak anot ve katot arasına elektron yayan bir flaman ve elektron toplayıcı ilave edilmiştir(Şekil 3.15). Bu sayede plazmanın iyon akım yoğunluğu arttırılmış başka bir deyişle plazma empedansı düşmüştür. Bu sayede sistemdeki elektron miktarı ile doğru orantılı olan uygulama potansiyeli de düşürülebilmektedir. Bu düzeneğin bir diğer avantajı da uygulama potansiyelinin düşürülmesi sayesinde kaplamadaki radyasyondan kaynaklanan hasarlar azaltılmıştır. [13]

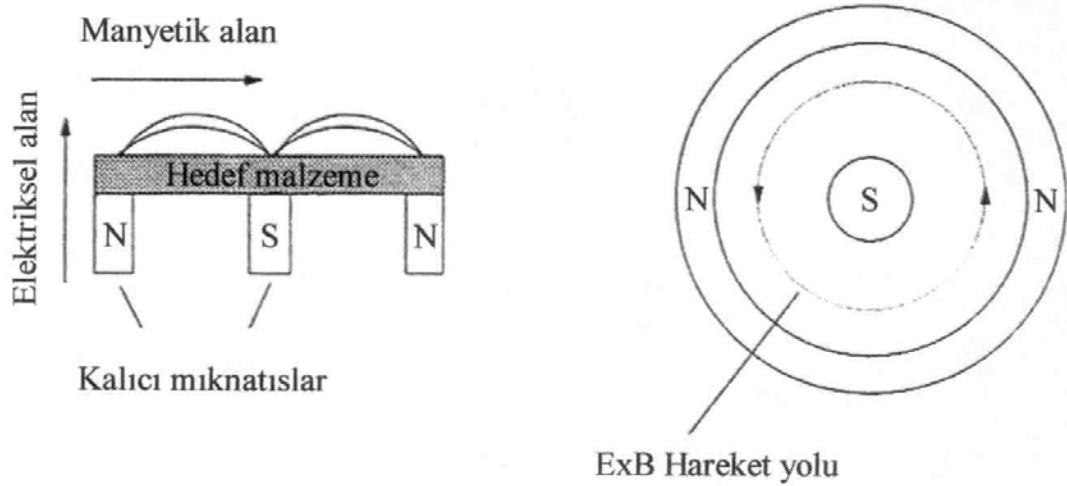


Şekil 3.15 Triyot sıçratma

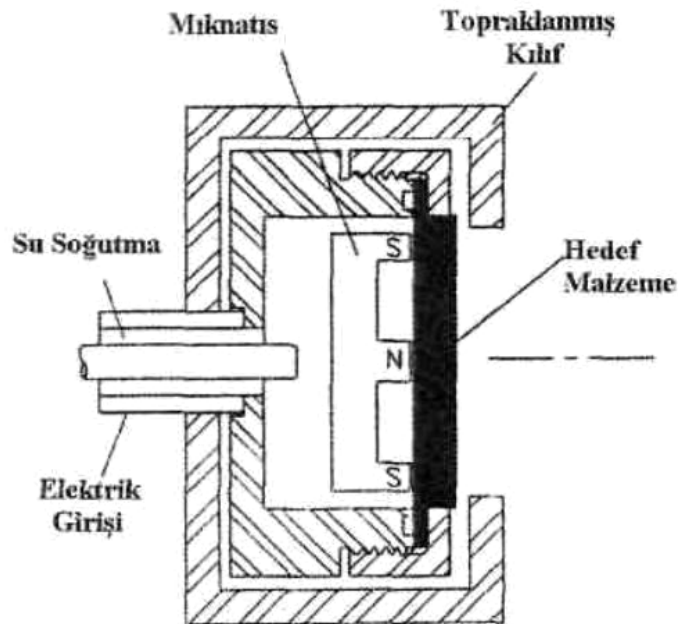
3.1.2.3 Manyetik alanda sıçratma

Manyetik alanda sıçratma yöntemi, farklı bileşimde sert kaplamalar biriktirmek için kullanılmasına rağmen, önceleri takım kaplama yöntemi olarak başarılı olamamıştır. Ancak daha sonra, manyetik alanda sıçratma sisteminde yapılan değişiklikler, yöntemi en gelişmiş sıçratma sistemi haline getirmiştir. Bu yöntemde hedef malzemesi, su soğutmalı mıknatıs veya elektromıknatıslardan oluşan tutucunun üzerine yerleştirilmiştir. Hedefin merkez eksenini, mıknatısın bir kutbunu oluşturur. İkinci kutbu ise, hedefin kenarlarına yerleştirilen mıknatıslar tarafından halka şeklinde oluşturulur. Mıknatısların bu şekilde düzenlenmesi, elektrik ve manyetik alanların hedef üzerinde birbirine dik olmasını sağlar. Manyetik alanlar dairesel

veya dikdörtgen şeklinde düzenlenebilir. Dairesel düzenli manyetik alanlardaki manyetik alanın şekli ve hareket yolu Şekil 3.16 da gösterilmiştir. Hareket yolunu ifade eden $E \times B$ değerinde, E elektrik alanı, B ise manyetik alanı ifade etmektedir. $E \times B$ hareket yolu hedef yüzeyine paraleldir ve kapalı halka oluşturur. Böylece iyon bombardımanı ile katod yüzeyinden yayılan ikincil elektronlar, bu bölgede özellikle tutularak iyonizasyonun artmasına ve plazmanın daha yoğun olmasına neden olurlar.[14] Şekil 3.17 de ise düzlemsel manyetik alanda sıçratma kaynağının kesit görünümü verilmiştir.



Şekil 3.16 Dairesel düzenli manyetik alan



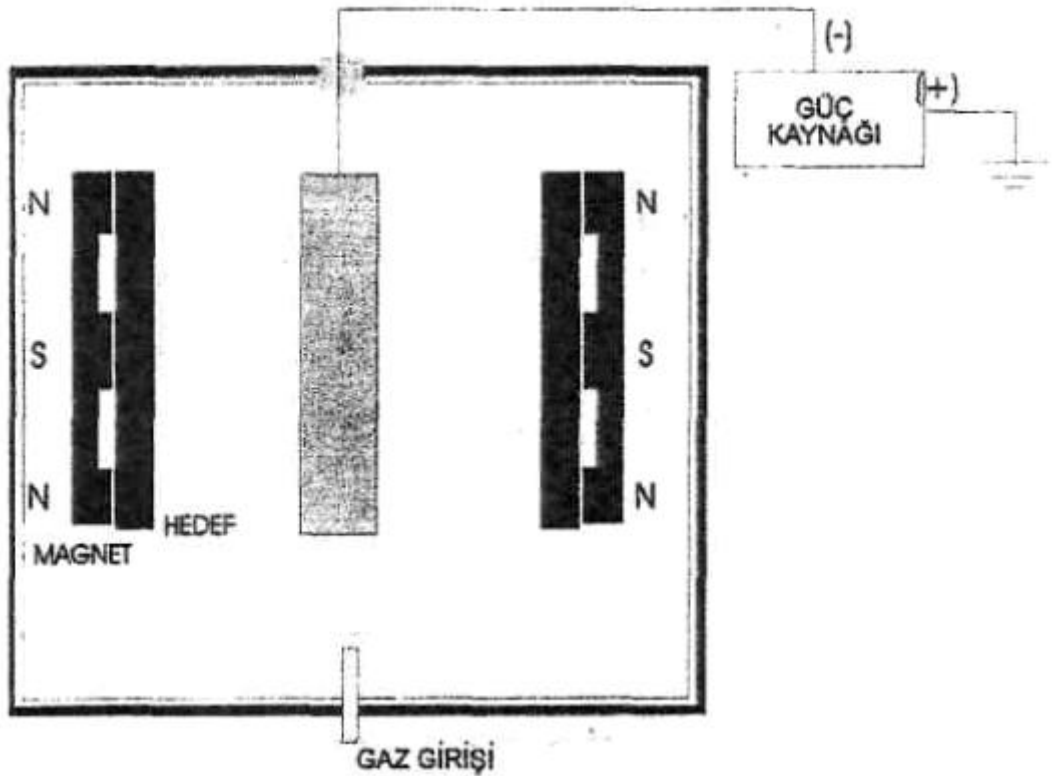
Şekil 3.17 Düzlemsel manyetik alanda sıçratma kaynağının kesit görünümü

Manyetik alanda sıçratma tekniği kullanılan PVD sistemlerinde; iyonizasyon verimini ve kaplama hızını arttırabilmek, ayrıca kaplama kalitesini arttırmak için değişik manyetik alan özellikleri gösteren kaynaklar geliştirilmiştir.

Manyetik alan elde etmek için genelde doğru akım kullanılır. Ancak yalıtkan malzemeler üzerine potansiyel uygulanmadığından bu malzemelerde yukarıdaki sıçratma işlemleri işe yaramaz. Ancak çok yüksek frekanslarda gerilim uygulanmasıyla malzeme yüzeyinde bir kapasite oluşturulur ve iyonize inert gazların hedef malzeme üzerine çarpması sağlanabilir. Bu sayede yalıtkan kaplamaların sıçratma tekniğiyle uygulanması sağlanır.

Radyo frekansı dışında darbeli ve çift yönlü darbeli güç kaynakları kullanılarak da yalıtkan özellikte malzemeler kaplanabilir.

Şekil 3.18 de çift magnetronlu bir manyetik alanda sıçratma tekniğiyle çalışan PVD sisteminin şeması görünmektedir.



Şekil 3.18 Çift magnetronlu manyetik alanda sıçratma sisteminin şematik görünümü

3.2 PVD sistem donanımları

PVD kaplamanın gerçekleştirildiği sistemlerde bulunan belli başlı donanımlar vakum odası, vakum pompaları, vakum ölçüm sistemleri taşıyıcılar olarak sıralanabilir.

3.2.1 Vakum odası

PVD kaplama yönteminde; laboratuvar tipi uygulamalarda genelde sıcaklığa dayanıklı küçük cam kavanoz ya da çelik kutular, endüstriyel uygulamalarda ise prizmatik ya da silindirik çelik vakum odaları kullanılır. Vakum odası hem negatif basınca, hem de tekniğin uygulanması için çıkılacak maksimum sıcaklığa dayanıklı olmalıdır. Ayrıca ısıtma ve soğutma işlemleri için vakum odası çeperlerinde su kanalları bulunur.

Vakum odası; kaplanacak parçayı, taşıyıcı, ısıtıcı ve buharlaştırılacak kaplama malzemesini içine alacak büyüklükte olmakla beraber kullanılacak buharlaştırma ya da sıçratma tekniğine göre maksimum verimi ve kaplama kalitesi elde edilecek geometride dizayn edilmelidir. Özellikle vakum odası malzemesinin magnetik özellikleri de iyonların hareketini etkileyeceğinden malzeme seçiminde dikkatli olunmalıdır.

Vakum odasına yapılan vakum pompaları, gaz girişleri vb. bağlantılarda sızdırmazlık için o-ring kullanılır. Düşük vakumlarda viton silikon ya da iyi kalite organik çemberler, 10^{-8} Torr gibi yüksek vakumlarda ise yumuşak metal olanları tercih edilir.

3.2.2 Vakum pompaları

Kaplama sisteminin vakuma alınabilmesi için vakum pompaları kullanılır. İlk vakuma alma kademesinde mekanik pompalar devredeyken belirli bir basınca düşülmesinin ardından difüzyon pompaları ya da turbomoleküler pompalar devreye alınır. 10^{-9} Torr ve üzeri gibi çok yüksek vakum değerleri için ise iyon pompaları kullanılır.

3.2.3 Vakum ölçümleri

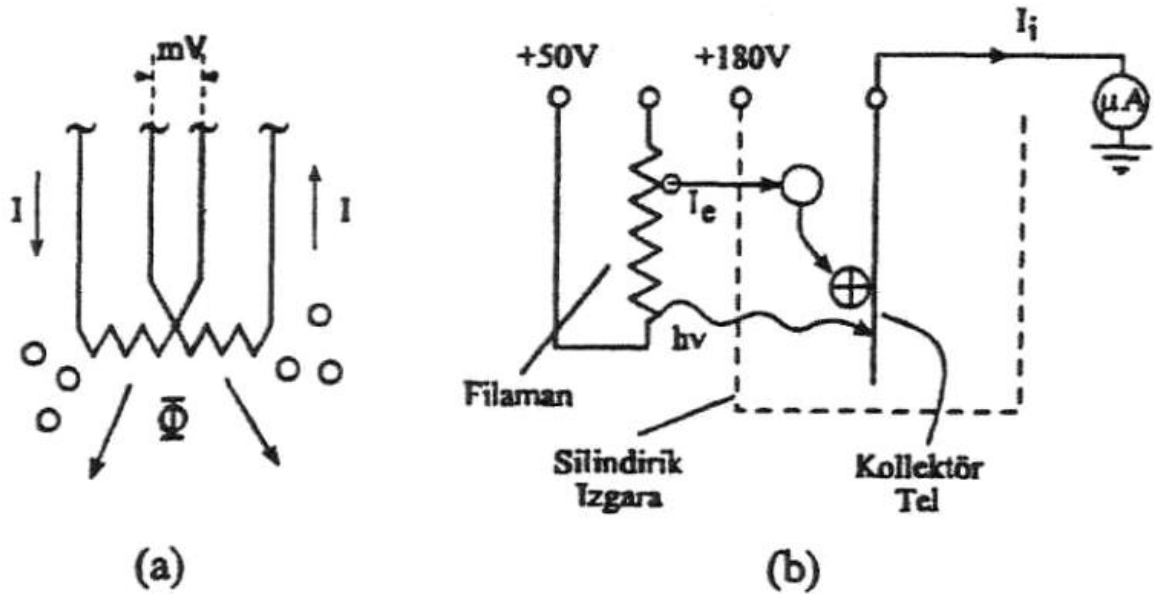
Kaplama işleminin gerek öncesinde vakum alma ve ısıtma sırasında, gerekse kaplama esnasında sistem basıncının kontrolü kaplamanın özellikleri açısından büyük önem taşımaktadır.

Pompa ucu ve kimi zaman seri olarak bağlanan pompaların arasındaki basınç ölçümleri Pirani Gauge adı verilen termokupl ölçü aletleriyle yapılır. Bu çok ucuz ve basit bir sistemdir. Cihaz ortamdaki gazların ısıyı alma prensibine göre çalışır. İnce bir tel sabit akım geçişiyle ısıtılır.

Bu arada telin sıcaklığı bir termokupl ile mV olarak ölçülür. Basınç düştükçe ortamdaki gazlar azalır ve telin sıcaklığı artar. Cihaz ancak düşük vakum kademelerinde etkili olup kalibrasyonu da zordur.

Vakum odasının basıncı ise “ion gauge” adı verilen iyonizasyon ölçü cihazı ya da baratron adı verilen kapasitans nanometresiyle ölçülür.

İon Gauge sisteminde ise bir flaman vasıtasıyla üretilen elektronlar yönlendirilerek ortamdaki atomları iyonize eder. İyonların başka bir toplayıcı plakaya çarpmasıyla oluşan akım geçişi sistemin basınç değerini belirler. Basınç düştükçe flaman akımı kademeli olarak artırılır, böylece elektron sayısı çoğaltılarak iyonizasyon gerçekleşmesi sağlanır. Sistemin çalışma aralığı $1 \text{ Pa} - 10^{-9} \text{ Pa}$ arasında değişir. Pirani ve İon gauge Şekil 3.19'da şematik olarak verilmiştir.



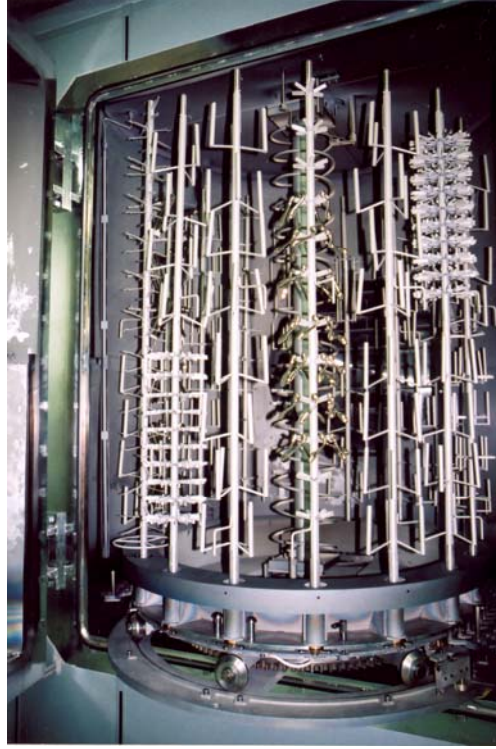
Şekil 3.19 Basınç ölçüm sistemleri a) Termokupl (Pirani gauge) b) İyonizasyon vakum ölçüm sistemi (İon gauge)

Baratron adlı vakum ölçüm sisteminde ise ortamdaki atom sayısının azalmasıyla dielektrik katsayı değişimi kapasitif değişime yol açar. Sistemin okuma ünitesinden kapasitif değişime bağlı olarak basınç değeri okunur.

3.2.4 Taşıyıcılar

PVD kaplama sistemlerinde buharlaşan ya da sıçratılan kaplama malzemesinin yönü kaynaktan kaplanacak taban malzemesine doğru yönlendirilir. Taban malzemesinin istenilen her yerinin üniform bir şekilde kaplanabilmesi için taban malzeme vakum odası içinde genelde döndürülerek hareket ettirilir. Bu işlem sırasında taban malzemenin istenilen ölçüde hareket ettirilebilmesi, kaplanmak istenmeyen kısımların da korunabilmesi için özel taşıyıcı sistemleri geliştirilir. Taşıyıcının yapıldığı malzemenin kaplama ve ısıtma sıcaklıklarına dayanıklı olması, ayrıca BIAS hızlandırma voltajı uygulanan tekniklerde elektriksel iletkenlik özelliğine sahip olması da istenmektedir.

Şekil 3.20 de PVD kaplama sisteminde kullanılan taşıyıcılar için örnek bir resim verilmiştir.



Şekil 3.20 PVD kaplama sisteminde kullanılan taşıyıcı örneği

4 KESİCİ TAKIMLAR

Talaşlı şekil verme işleminde, iş parçasından talaş kaldırmak amacıyla kullanılan kesici ağız veya ağızlara sahip takımlar, kesici takım olarak tanımlanabilir.

4.1 Kesici takımların özellikleri

Talaşlı imalat, genelde, iş parçası ile takım malzemesi arasındaki bir rekabet olarak görülebilir. Bu bakımdan, takım malzemesi ile iş parçasının özelliklerinin birbirinin tersi olması beklenir. Bir takım malzemesinde aranan özellikler şunlardır:

- Takım sadece oda sıcaklığında değil, çalışma sıcaklıklarında da iş parçasının en sert bileşeninden daha sert olmalıdır(Çizelge 4.1). Takım geometrisinin bozulmasını önleyen yüksek kızıl sertlik, talaş oluşum yöntemi sırasındaki ağır şartlar altında muhafaza edilmeli ve hatta aşınma direncine yardımcı olmalıdır. Aralı kesmede mekanik şoklara (darbeli yükleme) dayanmak için tokluk,
- Aralı kesme işlemlerinde hızlı ısınma ve soğumalar meydana geldiği için yüksek termal şok direnci,
- Lokalize kaynak teşekkülünü önlemek için iş parçasına karşı düşük yapışkanlık (iş parçası ile reaksiyona girmemelidir),
- Takım bileşenlerinin iş parçasına difüzyonu, hızlı aşınmaya yol açar; bu bakımdan takımın iş parçasındaki çözünürlüğü düşük olmalıdır.

Düşük sertlik ve adezyon arzu edilmez. Zira bunlar takım profilinin bozulmasına yol açar, takım burnu yuvarlaklaşır. Uygun olmayan tokluk ve termal şok direnci takım ağzının talaşlanması ve hatta tamamen hasarına sebep olur. Ne var ki, malzemenin sertlik ve ısıl direnci, genellikle, ancak tokluğun azalması ile sağlanabilir; denilebilir ki, yukarıdaki niteliklerin tamamını sağlayan en iyi bir takım malzemesi yoktur . Çizelge 4.2 de çeşitli takım malzemelerin mekanik özellikleri gösterilmiştir.[15]

Çizelge 4.1 Tipik takım malzemeleri veya bileşenlerinin sertlikleri

<u>Takım Malzemesi veya Bileşeni</u>	<u>Sertlik, HV</u>
Martenzitik çelik	500-1000
Nitrürlenmiş çelik	950
Sementit (Fe ₃ C)	850-1100
Sert krom kaplama	1200
Alumina	2100-2400
WC (kobalt bağlı)	1800-2200
WC	2600
W ₂ C	2200
(Fe, Cr) ₇ C ₃	1200-1600
Mo ₂ C	1500
VC	2800
TiC	3200
TiN	3000
B ₄ C	3700
SiC	2600
CBN	6500
Polikristalin elmas/WC	5500-8000
Elmas	8000-12000

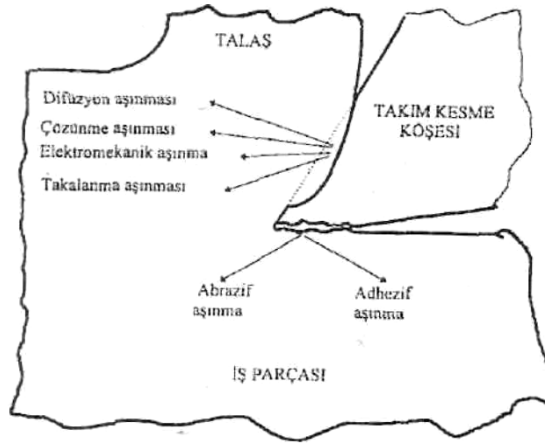
Çizelge 4.2 Takım malzemelerinin mekanik özellikleri

Özellik	<u>Yüksek Hız Çeliği</u>	<u>Döküm Alaşımı</u>	<u>WC</u>	<u>TiC</u>	<u>Al ve Si Esaslı Seramik</u>	<u>CBN</u>	<u>Elmas</u>
Sertlik (Gpa)	8.5	8.0	14-24	18-32	20-30	40-50	70-80
Basma mukavemeti (MPa)	4100-4500	1500-2300	4100-5850	3100-3850	2750-4500	6900	6900
Darbe mukavemeti (J)	1.35-8	0.34-1.25	0.34-1.35	0.79-1.24	<0.1	-	-
Elastisite Modülü (Gpa)	200	200	520-600	310-450	310-410	850	820-1050
Yoğunluk (g/cm ³)	8.6	8-8.7	10-15	5.5-5.8	4-4.5	3.4	3.5
Ergime/Bozunma Sıc. (C)	1300	-	1400	1400	2000	1300	700
Isıl iletkenlik (W/m ² C)	-	-	42-125	17	17-29	13	70
Isıl Genleşme Katsayısı (x10 ⁻⁶ / ¹ C)	12	-	4-6.5	7.5-9	3.2-8.5	4.8	1.2

4.2 Kesici takımların aşınma mekanizması

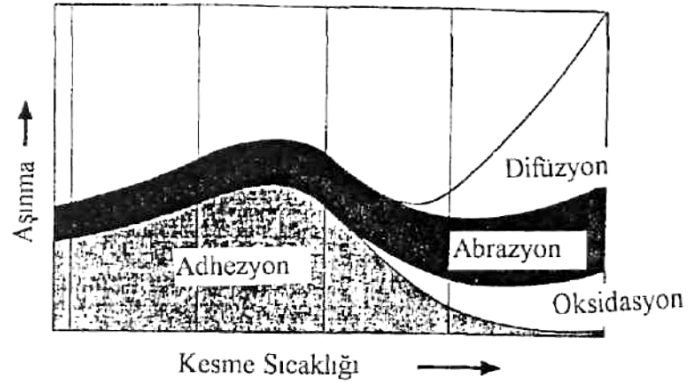
Kesici takımların aşınması, takım yüzeylerindeki yüklerin fazla olması ve bu yükleri uygulayan talaş ve iş parçasının takım yüzeyleri üzerinde çok hızlı hareket etmesi sonucu meydana gelir. Talaş kaldırma işlemi sırasında temas yüzeylerinde oluşan sürtünme takım malzemesinin sıcaklığını arttırır. Bu ısınma da takımın aşınmaya karşı direncini azaltan ve aşınmayı hızlandıran bir etkidir. Kesici takım aşınması, parçanın talaşlı imalatında gözönüne alınması gereken önemli bir ekonomik unsurdur.

Aşınmanın miktarı, aşınma yöntemi bilgileri ışığında talaş kaldırma işlemi planlanıp, kontrol edildiğinde ve kesme koşulları doğru olarak seçildiğinde en aza indirgenebilir. Aşınma miktarını etkileyen yöntem parametreleri; kesme derinliği, kesme hızı ve ilerleme hızıdır. Yöntem planlama aşamasında işlenecek malzeme seçimi, doğru takım malzemesi ve uygun takım geometrisi seçimi ve doğru kesme sıvısı türünün belirlenmesiyle ilgili değerlendirmeler yapılmalıdır. Bu seçimleri yapmak için talaş kaldırma işleminde meydana gelen aşınma ortamının iyi bilinmesi gerekmektedir. Şekil 4.1 de tek ağızlı bir kesici takımın çeşitli bölgelerinde etkin olan aşınma mekanizmaları gösterilmiştir.[12]



Şekil 4.1 Tek ağızlı bir kesici takımın çeşitli bölgelerinde etkin olan aşınma mekanizmaları

Kesici takımların aşınmalarına sebebiyet veren bütün aşınma mekanizmalarının, kesme ve besleme hızlarına bağlı olarak değişen kesme sıcaklıklarına göre kesici takım aşınmasını nasıl etkilediği Şekil 4.2' de verilmiştir. Şekil 4.2' den görüldüğü gibi abrazif aşınma, bütün kesme şartlarında etkili olurken adhezif aşınma, düşük kesme sıcaklıklarının olduğu düşük kesme hızlarında yapılan talaşlı imalat işlemlerinde etkin olarak meydana gelmektedir. Yayınma, oksidasyon gibi kimyasal kararsızlıklar sebebiyle meydana gelen aşınmalar, yüksek sıcaklıkların olduğu yüksek kesme hızlarında etkin olan aşınma mekanizmalarıdır.[12]

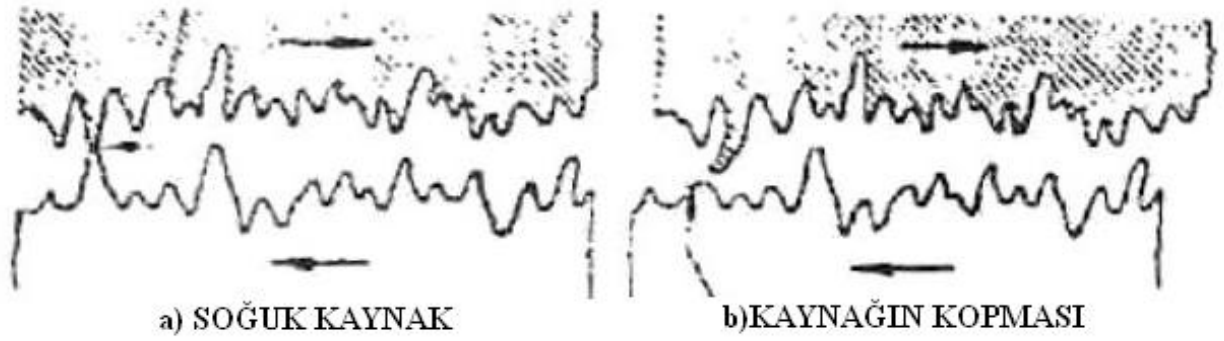


Şekil 4.2 Kesme sıcaklığına bağlı olarak aşınma mekanizmalarının takım aşınmasına olan etkinlikleri

4.2.1 Adhezif aşınma

Malzeme yüzeyleri makroskobik olarak incelendiklerinde düz gözükselerde, mikroskobik olarak yapılan incelemelerde malzeme yüzeylerinin önemli derecelerde yüzey pürüzlülüğü içerdiği gözlenir. Yüzey pürüzlülüğü içeren malzemelerin birbirleri üzerinde hareket etmeleri sırasında her iki yüzeyde bulunan çıkıntılar, sistemde bulunan kuvvetlerin etkisi altında birbirlerine kaynarak bağ oluştururlar (Şekil 4.3 a) [12].

Bu şekilde meydana gelen bağlar, soğuk kaynak olarak adlandırılır. Sistemdeki hareketin sürekliliği neticesinde oluşan bağlar kopar (Şekil 4.3 b). Kopmanın bağın olduğu kaynama noktasının haricindeki bir noktadan meydana gelmesi ile bir yüzeyden diğerine malzeme transferi söz konusu olur . Bu mekanizmanın bir çok kereler tekrarlanması neticesinde, malzeme yüzeylerinden önemli miktarlarda malzeme kayıpları olabilmektedir. Bu türde bir mekanizma ile meydana gelen aşınma, adhezif (yapışma) aşınması olarak adlandırılır.

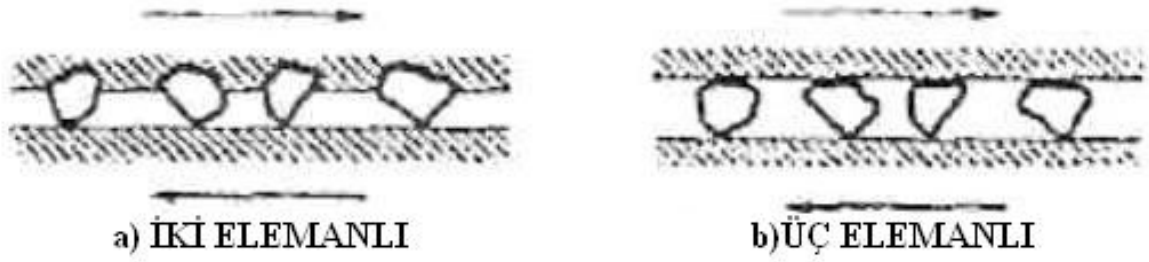


Şekil 4.3 Adhezif aşınma oluşumu (a- soğuk kaynak, b- kaynağın kopması)

Adhezif aşınma, düşük sıcaklıkların olduğu düşük kesme hızlarında yapılan kesme işlemleri sırasında takım serbest yüzeyinde meydana gelir. Adhezif aşınma büyük oranda takımın sahip olduğu yüzey pürüzlülüğü değeriyle ve temas halindeki malzemelerin birbirleri içerisindeki çözünürlükleri ile alakalıdır.

4.2.2 Abrazif aşınma

Abrazif aşınma, farklı iki sertlik değerine sahip malzemelerin karşılıklı etkileşimi sırasında, sert olan malzemenin diğerinin yüzeyini çizerek malzeme yüzeyinden parçalar koparması esasına dayanır. Abrazif aşınmayı kendi içerisinde iki kategoride incelemek mümkündür. İlk olarak Şekil 4.4 a' da görüldüğü gibi bir malzeme üzerinde bulunan sert partikülün, diğer malzemeyi çizmesi ile meydana gelen abrazif aşınma, iki elemanlı abrazif aşınma olarak adlandırılır. Üç elemanlı olarak meydana gelen abrazif aşınma ise iki malzeme yüzeyi arasında serbest olarak hareket edebilen sert partiküller tarafından meydana getirilir (Şekil 4.4 b) [16].



Şekil 4.4 Abresif aşınma oluşumu (a- iki elemanlı b- üç elemanlı)

İş parçası içerisinde takımdan daha sert olan karbür veya oksit partikülleri, büyük oranlarda deformasyon sertleşmesi gösteren malzemelerde oluşan talaş ve yığıntı köşesinden kopan sert partiküller, kesici takımda abrazif aşınmaları meydana getirir .

Metal kesme işlemlerinde abrazif aşınma, kesici takımın özellikle serbest yüzeyinde etkin olan bir aşınma mekanizmasıdır ve abrazif aşınma ile meydana gelen takım aşınmasının miktarı, doğrudan kesici takımın sertliği ile alakalıdır [12].

4.2.3 Tabakalaşma aşınması

Tabakalaşma aşınmasının temel mekanizmasını, yük altında bulunan bir sistemde meydana gelen plastik deformasyonlar sonucunda, malzeme yüzeyi altında çatlakların çekirdeklenmesi ve büyümesi ile malzeme yüzeyinden parçaların koparak ayrılması neticesinde meydana gelen malzeme kayıpları oluşturur .

Tabakalaşma aşınması, düşük kesme hızlarında kullanılan kesici takımların iş parçası ile ilk temasın olduğu takım kesme köşesinde yaygın olarak görülür [12].

4.2.4 Yayınma aşınması

Yayınma aşınması, yüksek sıcaklıklarda temas halinde bulunan farklı malzeme atomlarının bir metalden diğerine transfer olması şeklinde meydana gelen bir aşınma mekanizmasıdır.

Yayınma aşınması, kesme işlemleri sırasında oluşan yüksek sıcaklıkların kesici takım atomlarının aktivasyon enerjilerini arttırması ile kesici takım atomlarının talaşa geçmelerine sebebiyet vererek, kesici takımda aşınma hasarlarını oluşturan mekanizmalardan bir tanesidir. Yayınma aşınmasının hissedilebilir derecelerde meydana gelebilmesi, takım talaş arayüzeyinde metalurjik bir bağın ve yüksek sıcaklıkların oluşmuş olmasını gerektirir . Takım

talaş arayüzeyinde oluşan bağ atomlarının serbest olarak taşınmalarına olanak verirken, yüksek sıcaklıkta yayınma hızını belirleyen temel parametredir [12].

Yayınma aşınması, kesme işlemi sırasında maksimum sıcaklığın olduğu takım talaş yüzeyinde meydana gelir ve bu bölgede krater oluşumuna sebep olan mekanizmalardan bir tanesini teşkil eder. Krater boyutunun, belirli boyutlara erişmesi ile takım kesme köşesi ani olarak kırılır.

4.2.5 Elektrokimyasal aşınma

Elektrokimyasal aşınma, metal kesme işlemi sırasında sürekli temas halinde bulunan takım ile iş parçasının elektromotif seride farklı kategorilerde bulunmaları sonucunda, kesici takım yüzeyinde bulunan iyonların iş parçasına geçmesiyle kendini gösteren bir aşınma mekanizmasıdır.

Metal kesme işlemleri sırasında takım talaş yüzeyi - talaş ve takım serbest yüzeyi -iş parçası arasındaki temas noktalarında termoelektriksel bir akım meydana gelir ve oluşan bu akımın şiddetinin, 5 A değerlerine kadar ulaştığı tespit edilmiştir.[12]

4.2.6 Triboksidasyon aşınması

Yüksek sıcaklıklarda yapılan kesme işlemlerinde, kesici takımın ortam ile çeşitli reaksiyonlara girmesi neticesinde, takım yüzeyinde oksit tabakası oluşur. Kesici takım yüzeyinde oluşan oksit tabakasının kararlı olması, oksitlenmenin sürekliliğini engellemesine rağmen oksit tabakası kesme işlemi sırasında meydana gelen mekanik etkiler sonucunda kırılmaktadır. Bu şekilde meydana gelen oksitlenme ve oksit tabakasının kırılması çevrimi neticesinde, kesici takımın aşınmasına sebebiyet veren malzeme kayıpları oluşur.

Triboksidasyon aşınması, kesme işleminde maksimum sıcaklığın olduğu takım talaş yüzeyinde yaygın olarak görülen bir aşınma mekanizmasıdır.

4.3 Kesici takımlara uygulanan kaplamalar

Kesici takımlar için PVD pazarı her geçen gün büyümektedir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak, kesici takım yüzeylerinin fiziksel ve teknolojik özelliklerinin iyileştirilmesine, takım ömrü ve performansı artırılarak maliyetlerinin azaltılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde ,PVD tekniği ile sert seramik ince film kaplama uygulamaları, kesici takım ve yüzey özelliklerini ve aşınma direncini geliştirerek , ekonomik fiyat, yüksek performans, seri

üretim yönünden yeni yatırımlar yapılmakta, kaplama ekipmanları ve kaplama çeşitleri her geçen gün geliştirilmektedir.

Makina parçalarının ömürleri ve takımların kullanım süreleri, aşınma nedeni ile sınırlıdır. Günümüzde aynı parçanın gittikçe daha büyük sayıda üretilme talepleri yaygınlaşan otomasyona karşılık aşınma nedeni ile metal işleme makinalarının durma süreleri, maliyet faktörünü devamlı arttırmaktadır. Bu nedenle aşınmanın önlenmesi her geçen gün ekonomik anlamda daha büyük önem kazanmaktadır. Aşınan bir takımı yenisiyle değiştirmek yerine, yalnız yüzeyin aşınma özelliklerini geliştirmek ise soruna ekonomik ve pratik bir yaklaşımdır. Bu alanda sert seramik film kaplamalar ile son yıllarda büyük aşamalar sağlanmıştır. Sert seramik kaplamaların takım ve kalıp yüzeylerine başarıyla yapılabildiği yöntemlerin başında Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) tekniği gelmektedir(Şekil 4.5).



Şekil 4.5 TiN, TiCN, AlTiN kaplamalı parmak freze örnekleri

Uygulanacak talaşlı işlem türü ve iş parçasının malzeme özellikleri takım yüzeyine uygulanacak olan kaplamanın çeşidini belirler(Çizelge 4.3). Bu seçimde kaplama çeşidinin özellikleride başrol oynamaktadır(Çizelge 4.4)[17].

Çizelge 4.3 Talaşlı işlem türü ve iş parçasının malzeme özelliklerinin kaplamalar ile ilişkisi

İŞ PARÇASI	UYGULAMALAR					
	Delme	Tornalama	Frezeleme	Diş Açma	Raybalama	Oluk Açma
Çelik ve Yaygın Türleri	TiAIN AlTiN	TiAIN AlTiN	TiAIN TiCN	TiCN TiN	TiAIN TiCN	TiCN TiN
Yüksek Alaşımli Çelikler- Paslanmaz Çelikler(SS) - Süper Alaşımli Çelikler (Ni-Bazlı)	TiAIN AlTiN	TiAIN AlTiN	AlTiN TiAIN	TiCN TiAIN	TiAIN TiCN	TiCN TiAIN
Mg-Alaşımli	TiAIN AlTiN	TiAIN AlTiN	AlTiN TiAIN	TiCN TiAIN	TiAIN TiCN	TiCN TiAIN
Dökme Demirler	TiAIN AlTiN	TiAIN AlTiN	TiAIN TiCN	TiAIN TiCN	TiAIN TiCN	TiAIN TiCN
Ti-Alaşımli	ZrN	ZrN	ZrN	ZrN	ZrN	ZrN
Al-Alaşımli	ZrN	ZrN	ZrN	ZrN	ZrN	ZrN
Bakırlar	CrN	CrN	CrN	CrN	CrN	CrN
Pirinç / Bronz	TiCN	TiCN	TiCN	TiCN	TiCN	TiCN
Plastikler	TiN AlTiN	TiAIN	TiAIN	TiN	-	-

Çizelge 4.4 Yaygın kullanılan kaplama çeşitlerinin genel kullanım yerleri ve özellikleri

<u>KAPLAMA</u>	<u>KULLANIM YERİ</u>	<u>KAPLAMA KALINLIĞI</u> (μm)	<u>SERTLİK</u> (HV)	<u>OKSİDASYON SICAĞI</u> ($^{\circ}\text{C}$)	<u>SÜRTÜNME KATSAYISI</u>
TiN	Çelik malzemelerin işleminde ve medikal uygulamalarda	1 – 4	2800-3200	400 – 450	0.65 – 0.70
TiCN	Kesik talaş kaldırılan çelik malzemelerde	1 – 2	3300-3600	300 – 350	0.45 – 0.55
TiAlN	Çelikte delme işlemi ve döküm malzemelerde	1 – 4	3000-3400	800 – 900	0.70 – 0.80
AlTiN	Bütün talaş kaldırma işlemlerinde, CNC, kuru kesim işlemlerinde, kaba ve kalın talaş kaldırma işlemlerinde	1 – 3	3800-4200	900 – 1100	0.60
ZrN	Demir dışı malzemelerin talaşlı işleminde ve medikal uygulamalarda	1 – 4	3200	400 – 450	0.40

4.3.1 AlTiN kaplamalar

Yüksek Aluminyum içeriğine sahip siyaha yakın mor renkli AlTiN kaplama, soğutma sıvısı kullanılmayan yüksek kesme hızlarında ve sürekli talaş kaldırma işlemlerinde çok iyi sonuçlar vermektedir. AlTiN kaplamalar 4200 HV gibi çok yüksek sertliğe sahip olmasına rağmen oldukça tok ve darbelere dayanıklıdır. Aynı zamanda çok yüksek oksidasyon sıcaklığına sahip olan AlTiN kaplamalar, ısıl kalkanı etkisi sebebi ile yüksek sıcaklıkların olduğu kesme işlemlerinde başarı ile uygulanmaktadır. Şekil 4.6 da çeşitli kesici takımlara uygulanmış AlTiN kaplamalara örnekler gösterilmiştir.



Şekil 4.6 AlTiN kaplamalı kesici takım örnekleri

AlTiN kaplamanın yüksek Aluminyum içeriği, çalışma sırasında yüzeyde Alümina (Al_2O_3) katmanı oluşumuna yol açarak, takımın ısıl dayanım özelliğini artırır. Bunun sonucunda yüksek kesme ve ilerleme hızlarında takım srunsuz olarak çalıştırılabilir. AlTiN kaplamanın yüksek sertliği ile beraber tokluğunda yüksek olması, özellikle dökme demir gibi sert iş parçalarının yüksek hızda tornalanması ve frezelenmesi gibi şiddetli işlem koşullarında, seri üretime olanak verir. Çizelge 4.5 te AlTiN kaplamanın genel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.5 AlTiN kaplamanın genel özellikleri

RENK	SİYAH – MOR
OKSİDASYON SICAKLIĞI	900 – 1100 °C
SERTLİK	3800 – 4200 HV
SÜRTÜNME KATSAYISI	0.60
KALINLIK	(7 – 9 KAT) 1 – 4 MİKRON

4.3.2 TiAlN kaplamalar

TiAlN 900 °C sıcaklığa kadar okside olmayan, yüksek sertliğe sahip ve çok katlı (7 – 9 kat) olması nedeniyle tokluk ve aşınma dayanımı özelliklerini bir arada taşıyan bir kaplama çeşididir. Sertlik ve oksidasyon sıcaklığının yüksek olması nedeniyle, (özellikle sürekli talaş kaldıran, düşük karbonlu ve paslanmaz çelik işleyen) sert metal plakelerin kaplamasında TiAlN en yaygın kullanılan kaplamadır. Şekil 4.7 de çeşitli kesici takımlara uygulanmış TiAlN kaplamalara örnekler gösterilmiştir.[17]



Şekil 4.7 TiAlN kaplamalı kesici takım örnekleri

Titanyum nitrür tabakaya alüminyum ilavesi ile abaka sertliğinin artırılmasının (3600HV) yanısıra kaplamanın oksitlenmeye karşı mukavemeti de artar. TiAlN kaplama ile kesici

takımlarda yüksek kesme hızlarında ve takım ısınmasının fazla olduğu sürekli talaş kaldırma işlemlerinde yüksek verim elde edilmektedir. Kaplama tabakasının özellikleri Alüminyum katkı miktarına göre değişmektedir. Alüminyum oranı yükseldikçe kaplamanın sertliği artmakta ancak kaplamanın tokluğu azalmaktadır. Bu katkı miktarı takımın cinsine göre belli bir sınıra kadar artırılabilir. Sürekli kesme işlemlerinde kaplama yüzeyinde oluşan Al_2O_3 tabakası nedeniyle düşük ısı iletkenlik özelliğini almakta ve kesici takımın ısınmasına engel olmaktadır. Bu sayede kesici takımın daha yüksek kesme hızlarında çalışması sağlanmaktadır. Sürekli talaş kaldırma takımlarda diğer kaplamalara göre %70 oranında ömür artışı elde edilmektedir. Çizelge 4.6 da TiAlN kaplamanın genel özellikleri verilmiştir.[17]

Çizelge 4.6 TiAlN kaplamanın genel özellikleri

RENK	BAKIR – BRONZ
OKSİDASYON SICAKLIĞI	800 – 900 °C
SERTLİK	3000 – 3400 HV
SÜRTÜNME KATSAYISI	0.70 – 0.80
KALINLIK	(7 – 9 KAT) 1 – 4 MİKRON

4.3.3 TiCN kaplamalar

Yüksek sertlik ve düşük sürtünme katsayısına sahip olan TiCN kaplamalar mavi – gri renkte bir kaplamadır. Kılavuzlar, zımbalar ve freze bıçakları gibi orta seviyede kesme sıcaklıklarında yapılan talaş kaldırmada tercih edilir. Şekil 4.8 de çeşitli kesici takımlara uygulanmış TiCN kaplamalara örnekler gösterilmiştir.[17]

Özellikle süreksiz, kısa talaş veren sert malzemelerin talaşlı imalatında iyi sonuç verir. TiCN kaplamalar ek katlı veya çok katlı olarak uygulanabilir. Özellikle çok katlı TiCN kaplama uygulamaları hem yüksek sertlik hem de yüksek tokluk özelliğini bir arada taşıdığından daha yüksek darbe ve aşınma dayanımına sahiptir. Bu özellikleri ile kılavuz, silindirik ve kanal frezeler ile dişli çakıllarında da iyi sonuç verir. TiCN kaplama özellikle çok yüksek sıcaklıkların oluşmadığı ve uygun soğutmanın yapıldığı orta kesme hızlarında frezeleme işlemleri için tavsiye edilir. Yüksek tokluğu sebebiyle takım ucundaki kırılmaları engellediği için darbeli kesme işlemleri için idealdir. Çizelge 4.7 de TiCN kaplamanın genel özellikleri verilmiştir.[17]



Şekil 4.8 TiCN kaplamalı kesici takım örnekleri

Çizelge 4.7 TiCN kaplamanın genel özellikleri

<u>RENK</u>	MAVİ – GRİ
<u>OKSİDASYON SICAKLIĞI</u>	350 – 400 °C
<u>SERTLİK</u>	3400 – 3700 HV
<u>SÜRTÜNME KATSAYISI</u>	0.45 – 0.55
<u>KALINLIK</u>	1 – 4 MİKRON

4.3.4 TiN kaplamalar

Yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı ve oksidasyon mukavemetine sahip olan TiN, her çeşit kesici takım, kesme, sıvama kalıbı ve sert metal uçların yüzeyine 1 – 4 mikron kalınlığında kaplanan, genel amaçlı bir kaplama çeşididir. Şekil 4.9 da çeşitli kesici takımlara uygulanmış TiN kaplamalara örnekler gösterilmiştir.[17]

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



Şekil 4.9 TiN kaplamalı kesici takım örnekleri

Matkap ucu, kılavuz, freze, broş, azdırma, sert metal plakelerde ve her çeşit kalıpta tercih edilen bir kaplama türüdür. Çizelge 4.8 de TiN kaplamanın genel özellikleri verilmiştir.[17]Dünyada aşınmaya karşı yapılan kaplamaların başında gelen TiN kaplamanın avantajları ve özellikleri şöyle sıralanabilir;

- Yüksek sertliği (2800–3200 HV) ve ısıl geçirgenliği düşük olması nedeniyle talaşın takıma ısı transferini engeller ve takımın ısınarak yumuşamasını önleyerek aşınmasını geciktirir.
- Kimyasal stabilitesi yüksek olduğundan iş parçasına yapışmaz, kayganlık özelliği yükselir.
- Kimyasal reaksiyolara girmediğinden iş parçasının çalışma yüzeyi uzun süre aktif kalır.
- Kalınlığı 1 – 4 mikron arasında olduğundan takımların toleranslarını değiştirmezler.
- Kaplama yüzeye mükemmel yapıştığından sıvama kenarlarında ve kesici kenarlarda kaplama dökülmesi olmaz. Yüksek tonajlı preslerde dahi yüzeyden dökülmezler.

Çizelge 4.8 TiN kaplamanın genel özellikleri

RENK	ALTIN SARISI
OKSİDASYON SICAKLIğI	450 – 500 °C
SERTLİK	2800 – 3200 HV
SÜRTÜNME KATSAYISI	0.65 – 0.70
KALINLIK	1 – 4 MİKRON

4.3.4.1 TiN kaplama için endüstriden uygulama örneği

Bir dişli üretim fabrikasında TiN kaplamalı ve kaplamasız takılarla yapılan uygulamadan elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10 da verilmiştir.[17]

Çizelge 4.9 Parça başına düşen takım maliyetleri

<u>PARÇA İSMİ</u>	<u>KAPLAMASIZ</u> <u>İŞLENEN</u> <u>PARÇA</u> <u>SAYISI</u> <u>(ADET)</u>	<u>KAPLAMALI</u> <u>İŞLENEN</u> <u>PARÇA</u> <u>SAYISI</u> <u>(ADET)</u>	<u>PARÇA</u> <u>BAŞINA</u> <u>DÜŞEN</u> <u>MALİYET</u> <u>(KAPLAMASIZ)</u> <u>(USD)</u>	<u>PARÇA</u> <u>BAŞINA</u> <u>DÜŞEN</u> <u>MALİYET</u> <u>(KAPLAMALI)</u> <u>(USD)</u>	<u>KAZANÇ</u> <u>(%)</u>
Dönen dişli mili çakısı	3500	35000	0.16	0.06	271
Traktör geri vites dişli çakısı	2700	29400	0.29	0.08	359
2. vites dişli çakısı	4800	50700	0.18	0.06	295
Planet pinyonu çakısı	6400	123000	0.08	0.02	396
Prizdirek çakısı	3400	37300	0.11	0.05	212
Zaman dişlisi çakısı	4100	24500	0.23	0.15	122

TiN kaplama ile azdırma freze çakılarında, iki bileme arasında işlenen dişli sayısında ortalama 18 kat artış sağlanmıştır. Parça başına düşen takım maliyetinde ortalama %254 azalma meydana gelmiştir. Ayrıca her takım için tezgah ayar süresi ortalama 13 saat azalmış, bileme süresinden de her takım için ortalama 5 saat kar edilmiştir.

Çizelge 4.10 Takım değiştirme frekansları ve zaman kazançları

<u>PARÇA İSMİ</u>	<u>KAPLAMALI TAKIM DEĞİşTİRME FREKANSI (ADET)</u>	<u>KAPLAMASIZ TAKIM DEĞİşTİRME FREKANSI (ADET)</u>	<u>KAZANÇ (%)</u>	<u>TEZGAH AYAR KAZANCI (SAAT)</u>	<u>BİLEME KAZANCI (SAAT)</u>
Dönen dişli mili çakısı	170	2300	1352	10	4
Dönen dişli mili çakısı	75	1125	1500	11	4
Prizdirek çakısı	70	1218	1740	13	5
Geri vites dişli çakısı	65	1400	2150	16	6
Geri vites dişli çakısı	120	1300	1083	8	3
Dönen dişli mili çakısı	120	2166	1800	13	6
Mağrutı bıçağı	80	2648	3300	25	6
Geri vites avara dişli çakısı	120	1950	1625	12	5
Grup mili çakısı	170	1730	1017	8	4
Planet pinyonu çakısı	85	3070	3600	27	7
Tahrik dişlisi çakısı	120	1700	1416	10	4
Geri vites avara dişli çakısı	130	2030	1561	12	4
Prizdirek çakısı	110	1520	1381	10	4
2. vites dişli çakısı	110	1640	1490	11	4
Prizdirek çakısı	110	1285	1168	9	3

5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada; PVD katodik ark buharlaştırma yöntemi kullanılarak TiN kaplama yapılan, HSS malzemeden imal edilmiş, helisel matkap uçları ile C45 malzemeden imal edilmiş iş parçası yüzeyine delik genişletme işlemi uygulanmıştır. Matkap uçları PVD yöntemi ile TiN kaplanabilmesi amacıyla komple taşlamalı olarak temin edilmiştir. Delik genişletme işlemi için iş parçası yüzeyine önce 15mm aralıklarla 5mm çapında delikler delinmiştir. 5mm çapındaki deliklerin 13mm ye genişletilmesi ile delik genişletme işlemi gerçekleştirilmiştir. Delik genişletme işlemi için üçer adet TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS helisel matkap ucu kullanılmıştır.

Delik genişletme işlemi sonrasında matkap uçlarının kesme ağzı tarafından, taramalı elektron mikroskopunda görüntü alınabilmesi amacıyla, 25mm parça kesilmiştir. Kesilen parçaların yüzey temizliği yapılarak taramalı elektron mikroskopuna yerleştirilmiş ve görüntüleri alınmıştır.

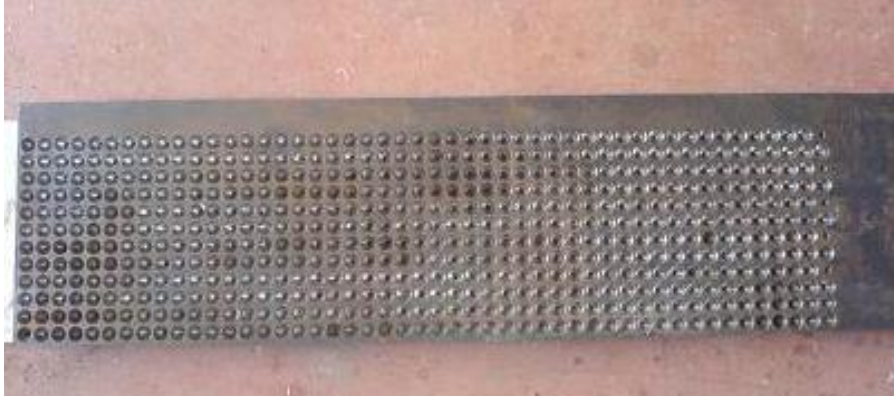
Delik genişletme işlemi sonucunda elde edilen deliklerde yüzey pürüzlülük ölçümü gerçekleştirilmiştir. Delik genişletme işleminin uygulandığı iş parçası şerit testere ile kesilerek yüzey pürüzlülük ölçümüne uygun hale getirilmiştir.

5.1 İş Parçası Özellikleri

Delik genişletme işlemi uygulanacak olan iş parçası C45 (Çizelge 5.1)malzemeden imal edilmiştir. Malzeme sertliği 205HB (\approx 15 HRC) dir. Şekil 5.1 de iş parçasının delik genişletme işlemi sonrası görüntüsü verilmiştir.

Çizelge 5.1 C45 çeliği kimyasal analizi

Malzeme	C	Mn	Si	P	S
C45	0,46	0,8	0,35	0,045	0,045



Şekil 5.1 Delik genişletme işlemi uygulanmış iş parçası

5.2 Matkap Ucu Özellikleri

Delik genişletme işleminde kullanılan matkap ucu 1.3343 kalite yüksek hız çeliğinden imal edilmiş ve yüzeyi kaplamaya uygun olabilmesi amacıyla komple taşlamalıdır. Matkap uçlarının uç kısımları taramalı elektron mikroskopunda görüntü alınabilmesi için 25mm kesilmiştir. Çizelge 5.2 de 1.3343 HSS matkabın kimyasal analizi verilmiştir. Matkaba ait diğer özellikler ise Çizelge 5.3 te verilmiştir. Şekil 5.2 de matkap uçlarının taramalı elektron mikroskopuna uygun olması amacı ile kesilmiş uçları ve gövdelerinin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.2 Çalışmada kullanılan matkap uçlarının kesilmiş uç ve gövdeleri

Çizelge 5.2 DIN 1.3343 HSS matkap ucu malzemesi kimyasal analizi

HSS	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	W
1.3343	0,87	0,30	0,20	0.023	0,002	3,84	4,72	0,19	1,75	6,09

Çizelge 5.3 Deneylerde kullanılan matkap uçlarının özellikleri

MATKAP UCU ÖZELLİKLERİ	
MATKAP UCU MALZEMESİ	1.3343 HSS
MALZEME SERTLİĞİ	63 HRC (\approx 705 HB)
MATKAP UCU ÇAPI	13 mm
MATKAP UCU UZUNLUĞU	150 mm
MATKAP UCU UÇ AÇISI	118 ⁰
MATKAP UCU HELİS SAYISI	2

5.3 Matkap Uçlarına Uygulanan Kaplama İşlemleri

Kaplama işlemi eski sovyet malı olan Novatech marka kaplama sisteminin NVT11 modelinde gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi katodik ark buharlaştırma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.3 te temsili bir PVD kaplama sisteminin resmi verilmiştir.



Şekil 5.3 PVD kaplama sistemi

Kaplama işlemi başlanmadan önce matkap uçları bir kalıba yerleştirilerek vakum odası içerisinde sabit durmaları sağlanmıştır. PVD kaplama işlemi 1 saat boyunca 10^{-5} TORR vakum altında $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ da gerçekleştirilmiştir. Kaplama parametreleri Çizelge 5.4 de verilmiştir.

Çizelge 5.4 Kaplama parametreleri

KAPLAMA PARAMETRELERİ	
KATOD AKIMI	55 A
BİAS VOLTAJI	200V
YÜKSEK VAKUM	10^{-5} TORR
SICAKLIK	$400\text{ }^{\circ}\text{C}$
KAPLAMA SÜRESİ	1 SAAT
KAPLAMA KALINLIĞI	$\sim 2,8\ \mu\text{m}$
SERTLİK	~ 3060 Vickers

5.4 Delik Genişletme İşlemi

Delik genişletme işlemi için iş parçası universal freze tezgahının tablasına sabitlenmiştir. İş parçası yüzeyine 15mm aralıklarla 5mm çapında delikler delinerek delik genişletme işleminin ilk safhası tamamlanmıştır. Delik genişletme işleminde merkez kaçıklığını engellemek için delik genişletme işlemi sona erene kadar iş parçasını sabitleyen elemanlar sökülmemiştir. 0,005mm hassasiyetli freze tezgahında, 13mm çapa sahip matkap uçlarıyla delik genişletme işlemi, delik merkezlerinin koordinatları kaçırılmadan gerçekleştirilmiştir.

5.4.1 Universal Freze Tezgahı

Delik genişletme işlemi Şekil 5.4'te resmi verilen Laguna marka universal freze tezgahında gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6 da universal freze tezgahının devir ve ilerleme kademeleri verilmiştir.



Şekil 5.4 Universal freze tezgahı

Çizelge 5.5 Universal freze tezgahı devir kademeleri

UNİVERSAL FREZE TEZGAHI DEVİR KADEMELERİ (dev/dak)					
DÜŞÜK DEVİR	1. KADEME	66	112	175	270
	2. KADEME	133	225	350	541
YÜKSEK DEVİR	1. KADEME	550	925	1458	2266
	2. KADEME	1100	1850	2916	4533

Çizelge 5.6 Universal freze tezgahı ilerleme kademeleri

UNİVERSAL FREZE TEZGAHI İLERLEME KADEMELERİ (mm/dev)		
0,04	0,08	0,13

5.4.2 Delik Genişletme Parametreleri

Delik genişletme işlemi için iş parçası yüzeyine önce 15mm aralıklarla 5mm çapında delikler delinmiştir. 5mm çapındaki deliklerin 13mm ye genişletilmesi ile delik genişletme işlemi gerçekleştirilmiştir. Delik genişletme işlemi için tezgah devri 550 dev/dak ve takım ilerlemesi 0,13 mm/dev olarak ayarlanmıştır. Delik genişletme ile ilgili parametreler izelge 5.7 de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Delik genişletme parametreleri

DELİK GENİŞLETME PARAMETRELERİ	
TEZGAH DEVRİ	550 dev/dak
İLERLERME	0,13 mm/dev
DELİK SAYISI	95 ADET
KESME HIZI	22,4 m/dak
DELME DERİNLİĞİ	15 mm

5.5 Matkap Uçlarının İsimlendirilmesi

Delik genişletme işlemi için üçer adet TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS helisel matkap ucu kullanılmıştır. Ayrıca kontrol amaçlı birer adet TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS helisel matkap ucu daha bulunmaktadır. Matkap uçlarına uygulanan ölçüm sonuçları bu isimlere göre hazırlanmıştır. Delik genişletme işleminde kullanılan matkap uçlarının isimlendirilmesi izelge 5.8 de verilmiştir.

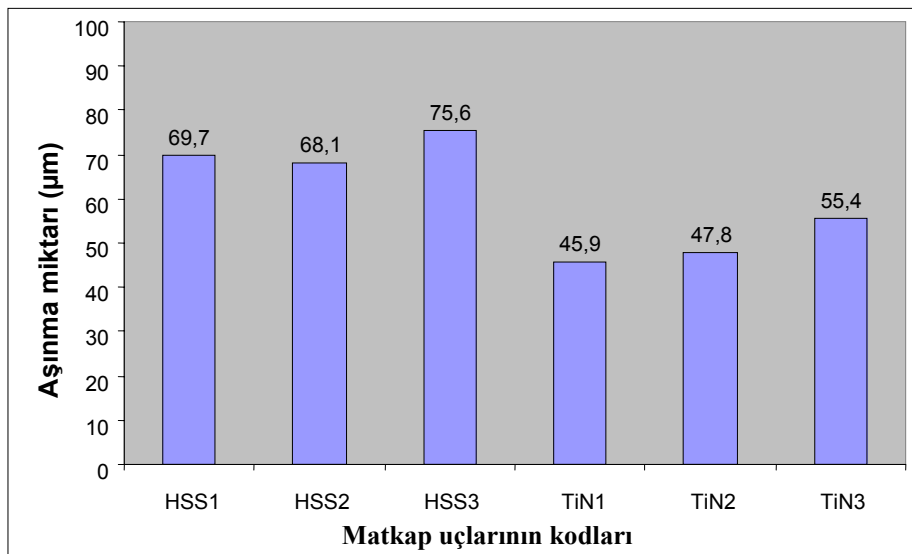
Çizelge 5.8 Delik genişletme işleminde kullanılan matkap uçlarının isimlendirilmesi

HSS0	Delik genişletme işleminde kullanılmayan TiN kaplamasız HSS matkap ucu
HSS1	Delik genişletme işleminde kullanılan 1 numaralı TiN kaplamasız HSS matkap ucu
HSS2	Delik genişletme işleminde kullanılan 2 numaralı TiN kaplamasız HSS matkap ucu
HSS3	Delik genişletme işleminde kullanılan 3 numaralı TiN kaplamasız HSS matkap ucu
TiN0	Delik genişletme işleminde kullanılmayan TiN kaplamalı HSS matkap ucu
TiN1	Delik genişletme işleminde kullanılan 1 numaralı TiN kaplamalı HSS matkap ucu
TiN2	Delik genişletme işleminde kullanılan 2 numaralı TiN kaplamalı HSS matkap ucu
TiN3	Delik genişletme işleminde kullanılan 3 numaralı TiN kaplamalı HSS matkap ucu

5.6 Makroyapı çalışmaları

Matkap uçlarının makro yapı çalışmaları Jeol 5410 model (Şekil 5.5) taramalı elektron mikroskobunda (SEM) gerçekleştirilmiştir. Taramalı elektron mikroskobunda TiN kaplamalı ve kaplamasız takımların delik genişletme işleminden sonraki 350X büyütme ölçümlü ve ölçümsüz görüntüleri elde edilmiştir. Çizelge 5.9 da matkap uçlarındaki aşınma miktarları verilmiştir.

Çizelge 5.9 Matkap uçlarındaki ortalama aşınma miktarları

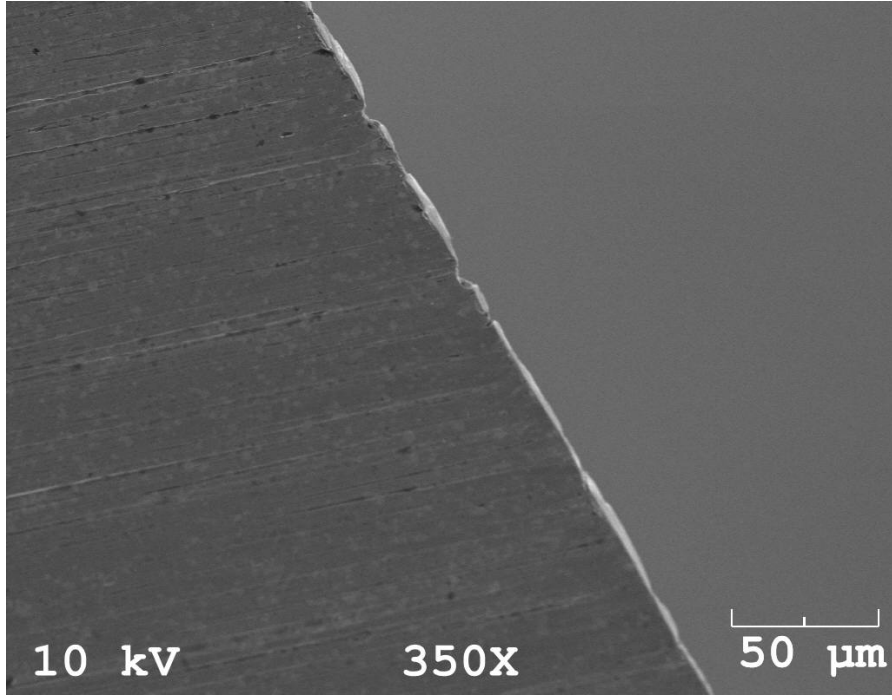


Çizelge 5.9 a baktığımızda en yüksek aşınma değeri HSS3 isimli matkap ucunda $75,6\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. En düşük aşınma ise TiN1 isimli matkap ucunda $45,9\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. TiN kaplamasız HSS matkap uçları için ortalama aşınma değeri $71,2\mu\text{m}$, TiN kaplamalı matkap uçları için ortalama aşınma değeri $49,7\mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır.

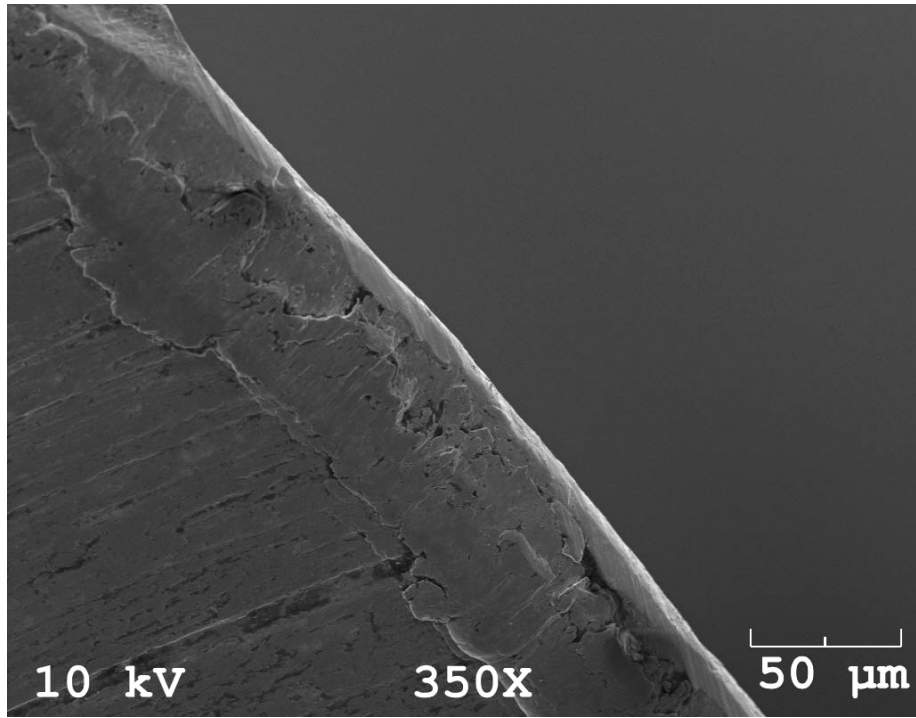


Şekil 5.5 Jeol 5410 Taramalı elektron mikroskobu

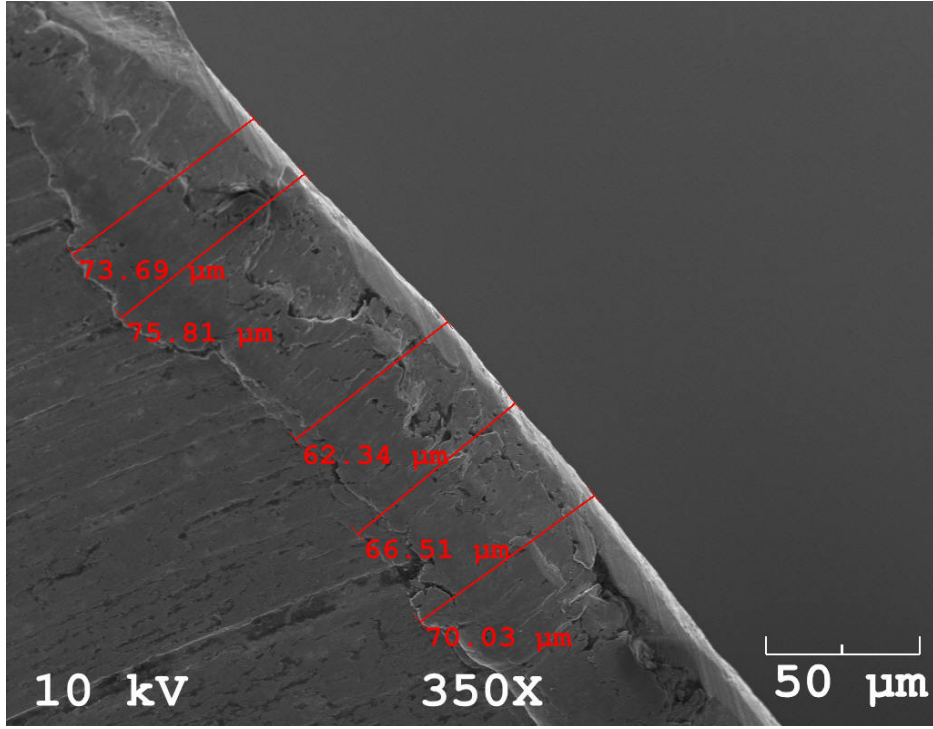
Şekil 5.6 ile Şekil 5.18 arasındaki görüntülerde taramalı elektron mikroskobundan elde edilen delik genişletme işlemine tabi tutulmuş ve tutulmamış matkap uçlarının görüntüleri verilmiştir.



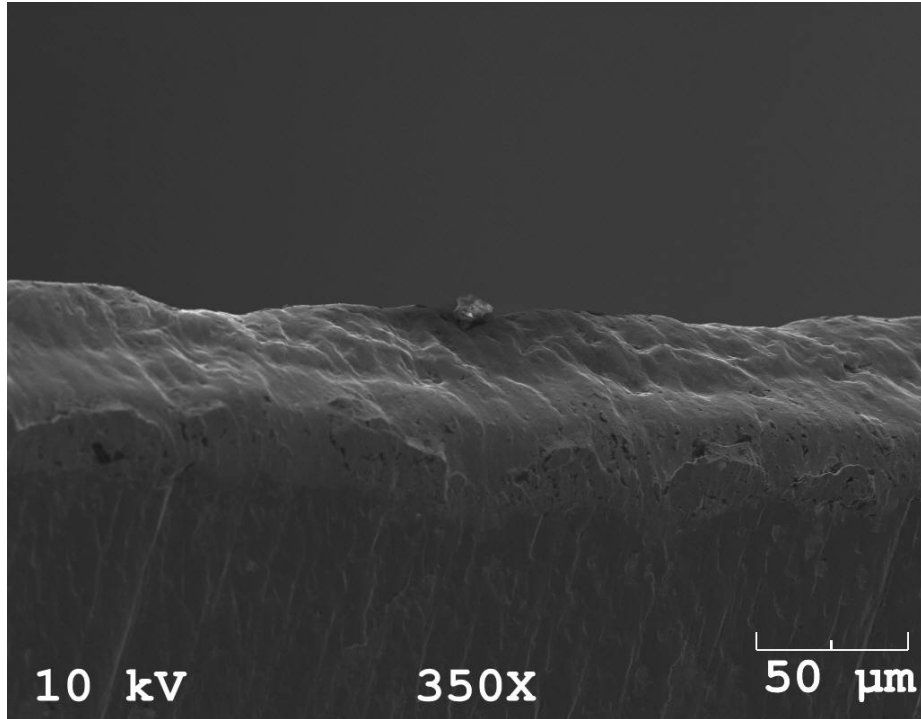
Şekil 5.6 HSS0 350X SEM görüntüsü



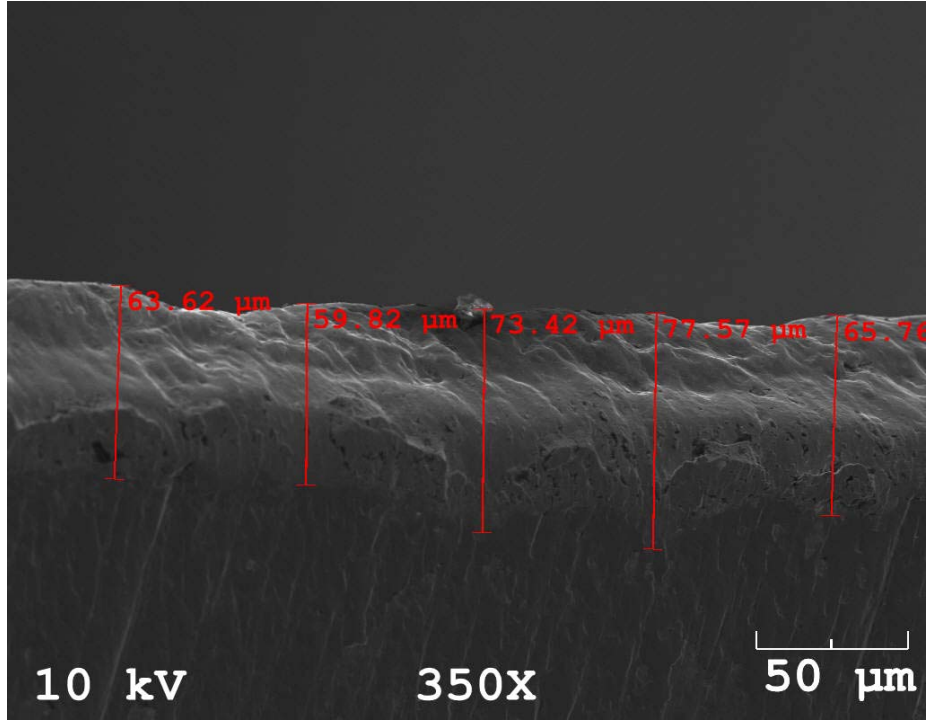
Şekil 5.7 HSS1 350X SEM görüntüsü



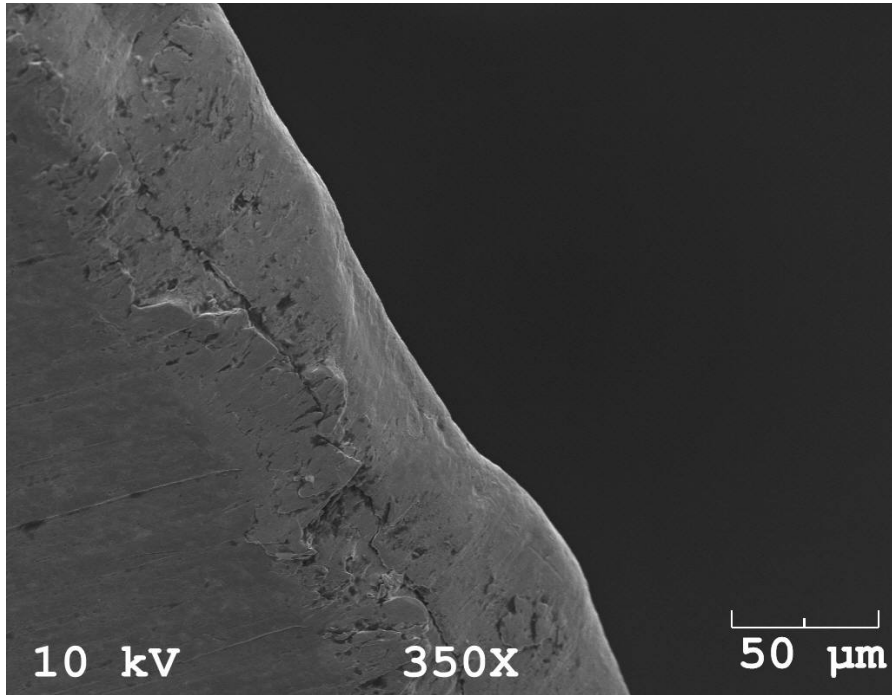
Şekil 5.8 HSS1 350X ölçümlü SEM görüntüsü



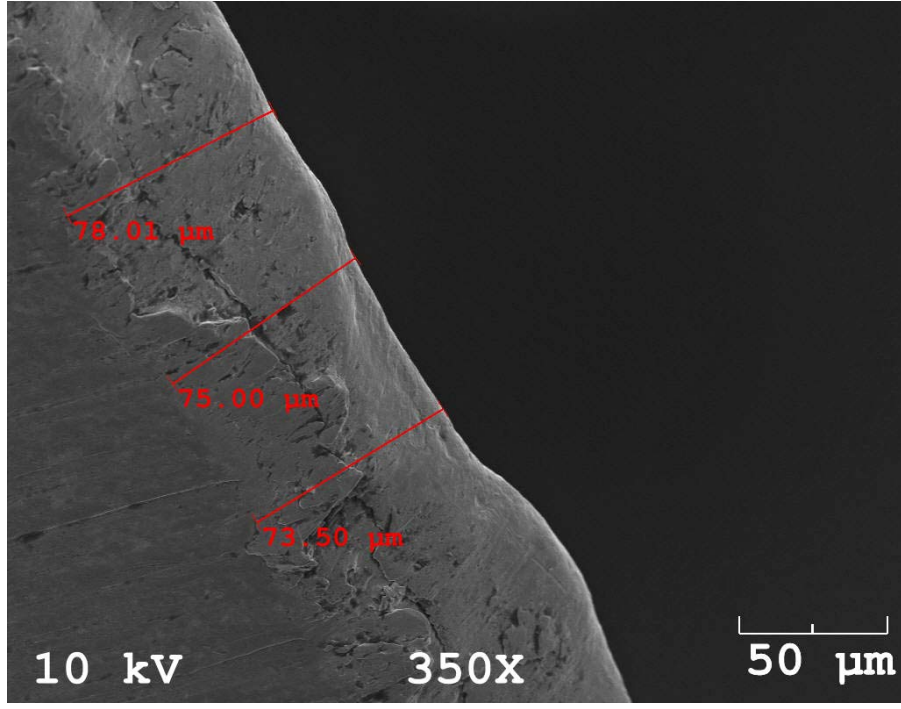
Şekil 5.9 HSS2 350X SEM görüntüsü



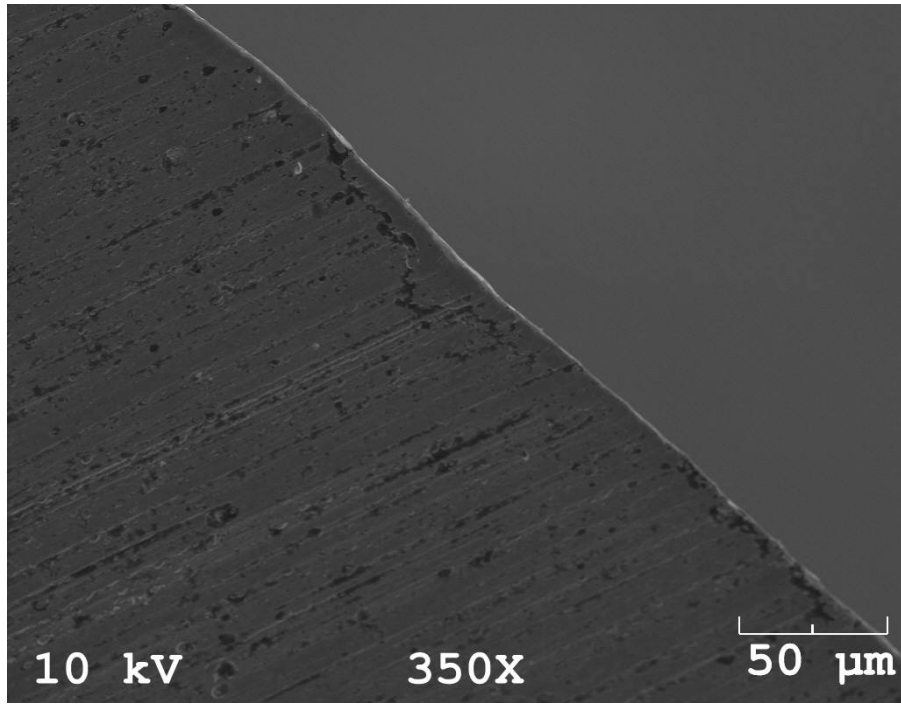
Şekil 5.10 HSS2 350X ölçümlü SEM görüntüsü



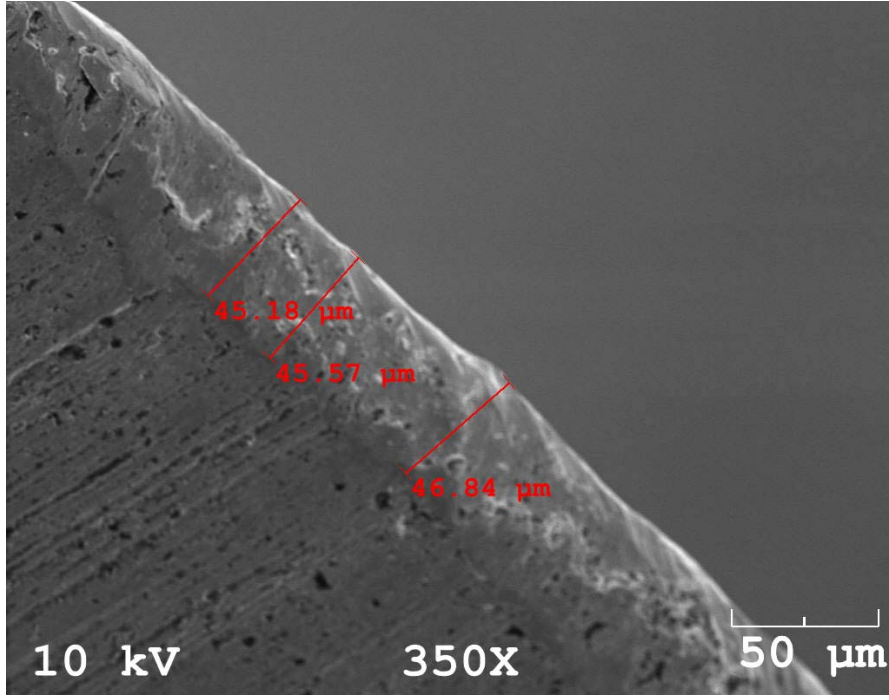
Şekil 5.11 HSS3 350X SEM görüntüsü



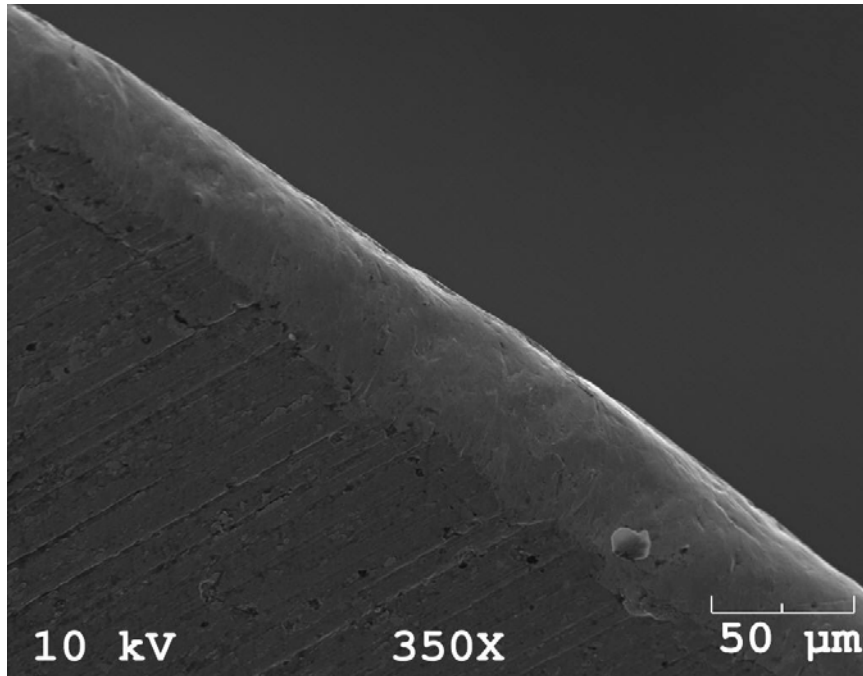
Şekil 5.12 HSS3 350X ölçümlü SEM görüntüsü



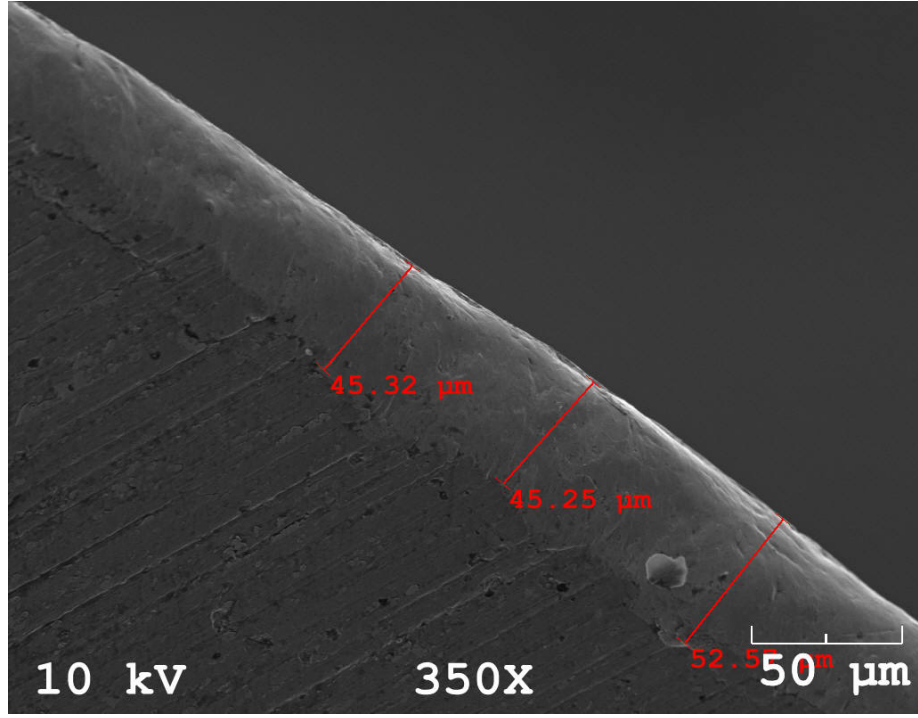
Şekil 5.13 TiN0 350X SEM görüntüsü



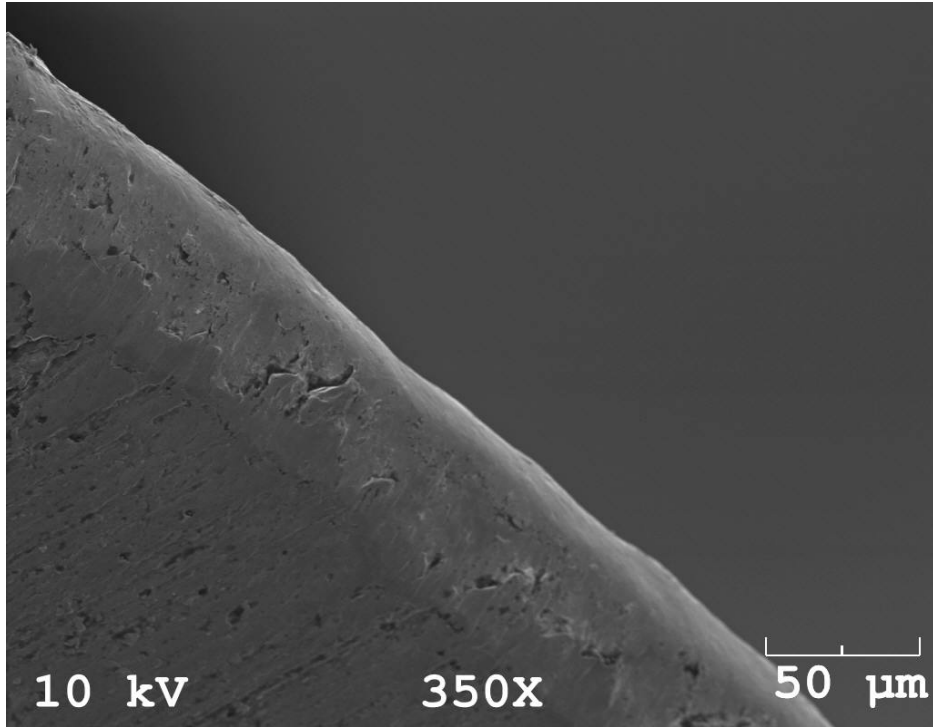
Şekil 5.14 TiN1 350X ölçümlü SEM görüntüsü



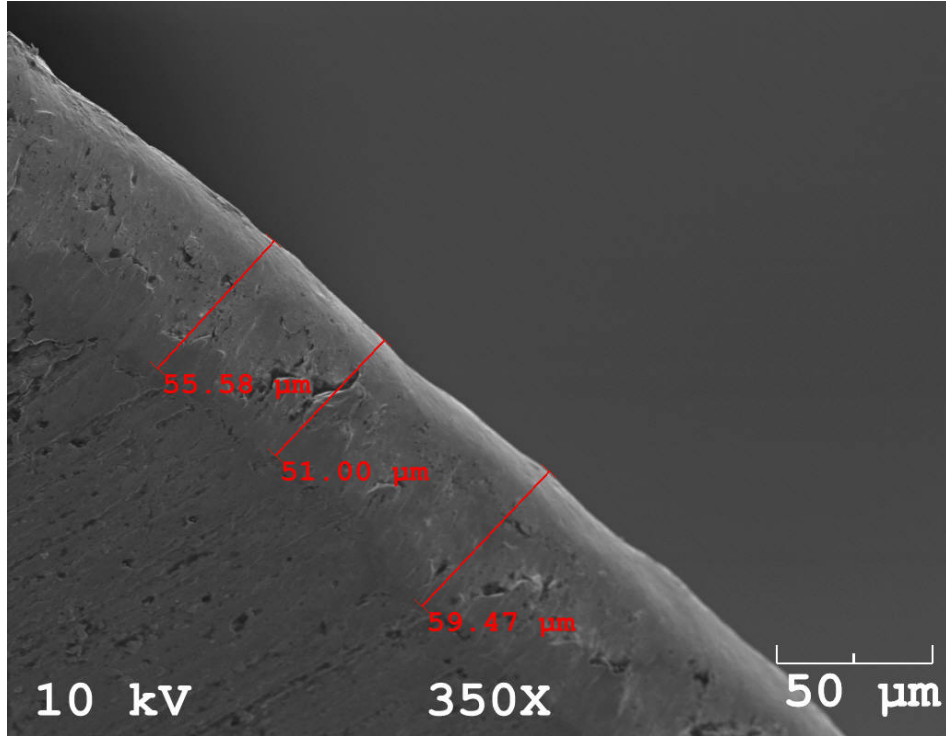
Şekil 5.15 TiN2 350X SEM görüntüsü



Şekil 5.16 TiN2 350X ölçümlü SEM görüntüsü



Şekil 5.17 TiN3 350X SEM görüntüsü



Şekil 5.18 TiN3 350Xölçümlü SEM görüntüsü

5.7 Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri

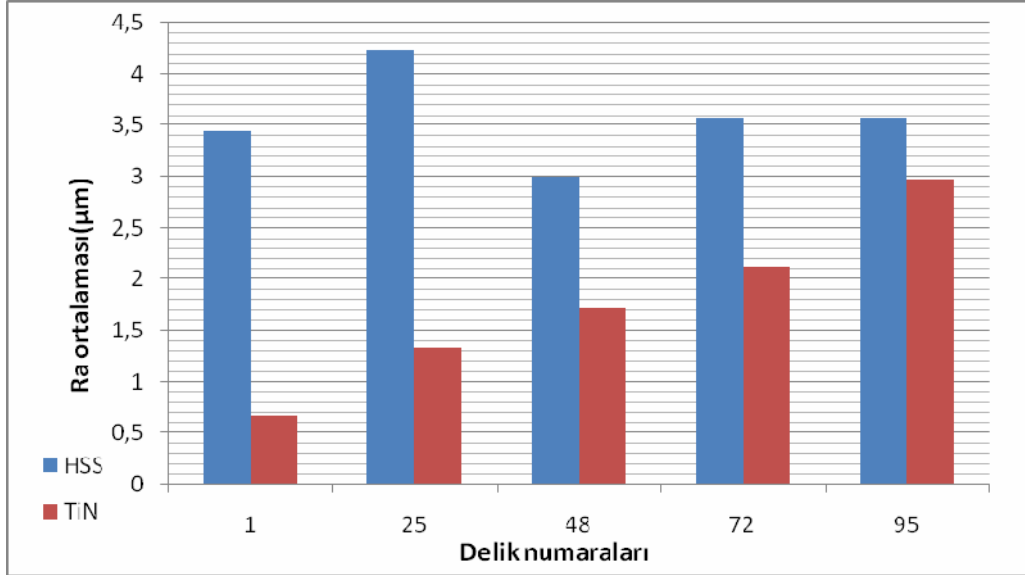
Çalışma sonucunda TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS matkap uçları ile elde edilen deliklerin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri Ufuk Kontrol Araçları Kalibrasyon (UKAK) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.19 da yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının temsili bir fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 5.19 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Ölçümler her matkap ucu için; 1, 25, 48, 72 ve 94'üncü deliklerden olmak üzere toplam 5 delikten alınmıştır. Yüzey pürüzlülük tayini için 1,75 mm ilerleme değeri (L_t) kullanılmıştır. Ölçüm sonucunda ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) elde edilmiştir.

Çizelge 5.10 Her delik numarası için R_a değerlerinin ortalamasının grafiksel karşılaştırılması



Çizelge 5.11 Her delik numarası için R_a değerlerinin ortalamasının tablosal karşılaştırılması

Matkap Ucu	Delik No				
	1	25	48	72	94
HSS R_a ortalaması(μm)	3,442	4,231	2,995	3,566	3,565
TiN R_a ortalaması(μm)	0,669	1,331	1,720	2,124	2,960

Yüzey pürüzlülüğü ölçüm değerlerine göre; her delik numarası için, kullanılan üç matkap ucunun delikte oluşturduğu ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalaması hesaplanmıştır(Çizelge 5.11). Çizelge 5.10'da TiN kaplamalı ve kaplamasız matkap uçları ile oluşturulan deliklerdeki yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalamasının grafiksel olarak karşılaştırılması verilmiştir. TiN kaplamalı HSS matkap uçları ile genişletilen delik yüzeylerindeki pürüzlülüğün delik sayısı arttıkça yükseldiği Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11'de görülmektedir. TiN kaplamasız HSS matkap uçları ile genişletilen delik yüzeylerindeki pürüzlülüğün delik sayılarıyla orantılı olmadığı saptanmıştır. Bunun nedeni olarak; matkap

uçlarının imalatı esnasında kesme ağızında oluşabilecek ufak girinti ve çukurcuklar ile iş parçasının kimyasal yapısının homojen olmaması düşünölmektedir. Ayrıca, delik genişletme işlemi esnasında talaşın TiN kaplamasız HSS matkap ucu helisine tutunarak delik yüzey pürüzlölüğünü etkilediğı söylenebilir. Her delik için TiN kaplamalı ve kaplamasız matkap uçlarının deliklerde oluşturduğu ortalama yüzey pürüzlölük değerlerinin ortalaması karılaştırıldığında; TiN kaplamalı matkap uçları ile oluşturulan delik yüzeylerindeki ortalama yüzey pürüzlölük değerleri, kaplamasız matkap uçları ile oluşturulan delik yüzeylerindeki ortalama yüzey pürüzlölük değerlerine göre düşük kalmaktadır.

6 SONUÇLAR

Çalışmada, 13mm çapındaki HSS helisel matkap uçlarına, PVD katodik ark buharlaştırma yöntemi kullanılarak yapılan TiN kaplanmasının takım aşınmasına etkileri incelenmiştir. İş parçası yüzeyine 5mm çapında delikler delinmiştir. Matkap uçlarındaki aşınma 5mm çapındaki deliklerin TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS matkap uçları ile 13mm ye genişletilmesi sonucu sağlanmıştır. Çalışma sonucunda talaşlı şekil verme işlemleri için TiN kaplamalı takımlarla, kaplamasız HSS takımlar arasındaki aşınma davranışı kıyaslanarak şu sonuçlara varılmıştır:

- 1) Matkap uçlarının, taramalı elektron mikroskobundan alınan görüntülerinde yapılan aşınma ölçümleri sonucunda; en yüksek aşınma değeri HSS3 isimli matkap ucunda 75,6µm olarak ölçülmüştür. En düşük aşınma ise TiN1 isimli matkap ucunda 45,9µm olarak ölçülmüştür.
- 2) Aşınma değerlerinin ölçümlerine göre, kaplamasız HSS matkap uçları için ortalama aşınma değeri 71,2 µm, TiN kaplamalı HSS matkap uçları için ortalama aşınma değeri 49,7µm hesaplanmıştır. Bu sonuca göre kaplamasız matkap uçlarındaki aşınma, TiN kaplamalı matkap uçlarındaki aşınmanın 1,5 katıdır.
- 3) Taramalı elektron mikroskobu incelemelerinde TiN kaplamalı matkap uçlarının kesme ağzında talaş yapışmasının nedeni olarak kesme hızı TiN kaplamalı takımlar için düşük kalmış olması söylenebilir. TiN kaplamalı takımlar ile daha yüksek kesme hızlarında kesim yapılması ile kesme ağzında talaş yapışması ortadan kaldırılabilir.
- 4) Delik genişletme işlemi esnasında TiN kaplamalı matkap uçlarında çıkan sürekli talaşın çoğunlukla matkap ucu helisine tutunmadığı gözlenmiştir. Kaplamasız matkap uçlarında ise çıkan sürekli talaş çoğunlukla matkap ucu helisine tutunarak delik genişletme işlemi sonucunda matkap ucu helisinde kalmıştır. Yapılan gözlemin sonucuna TiN kaplamaların, uygulandığı yüzeyin sürtünme katsayısını düşürdüğü bilgisi doğrulanabilir.
- 5) TiN kaplamalı matkap uçlarındaki yüzey pürüzlülük değerleri kaplamasız matkap uçlarına oranla daha düşük olduğu ölçülmüştür. Yüzey kaliteleri arasındaki fark genel olarak gözle görülebilecek niteliktedir. Elde edilen değerlere bakılarak TiN kaplamasının delik yüzeyi kalitesine olumlu yönde etki ettiği söylenebilir.
- 6) Yüzey pürüzlülük değerlerinin TiN kaplamalarda düşük çıkması, TiN kaplamanın uygulandığı yüzeyin sürtünme katsayısını düşürdüğünü doğrulayan bir diğer sonuç olarak yorumlanabilir.

KAYNAKLAR

- 1) <http://www.formetgroup.com/UrunDetay.asp?groupID=1&groupSubID=58>
- 2) www.yachtworks.info/turkce/galvaniz.htm
- 3) <http://www.elkap.com.tr/TR/termal.html>
- 4) Yaşar, H.,(1995) "Metaller İçin Yüzey İşlemleri", KOSGEB, Ankara
- 5) <http://chromiting.surtec.com/>
- 6) Mills, K., Kruger, G., Sanders, B.,(1982) "ASM Handbook 9th Edition Volume 5. Surface Cleaning, Finishing, and Coating"
- 7) Kendall, L. A., "Friction and wear of Engineering Materials", Metals Handbook, 10th Edition, Vol 18.
- 8) Mattox, D. M., (1998) "Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing. Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination Control"
- 9) Cotell, M., James Sprague, A., Fred Smidt, A. (1994), "ASM Handbook 10th Edition Volume 5. Surface Engineering"
- 10) Ertürk, E., Heuvel, H.-J., Dederichs, H.-G. (1989), "Comparison of the steered arc and random arc techniques"
- 11) K. Akari, H. Tamagaki, T. Kumakiri, K. Tsuji, E. S. Koh, C. N. Tai (1990), "Reduction in macroparticles during the deposition of TiN films prepared by arc ion plating"
- 12) Holmberg, K., Matthews, a., (1994) , "Coating Tribology", Elsevier
- 13) Eryılmaz, O.L.,(1996) “ZrN-ZrBN Çok katlı Kaplamaların Korozyon Davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul , Turkey,
- 14) <http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2001/mayis/manyetik.htm>
- 15) <http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2000/agustos/kesici.htm>
- 16) Hutchings, I. M.,(1992) "Tribology: Friction and wear of engineering materials", London
- 17) IonBond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic A.Ş. doküman ve teknik bilgi broşürleri

- 18) Akün, F., (1957) “Takım Tezgahları”, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi sayı 370, İstanbul
- 19) depo.muhendisim.net/17mayis/CNCKESiCiTAKIMLARDAKiKAPLAMAcEsiTLERi.pdf
- 20) <http://www.elkap.com.tr/TR/imalat.html>
- 21) http://www.pvd-coatings.co.uk/history-of-pvd-coatings.htm#Physical_Vapour_Deposition

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	12.06.1981	
Doğum yeri	İstanbul-Üsküdar	
Lise	1996-1999	Özel Doğu Fen Lisesi
Lisans	1999-2004	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2004-Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2001-2006 İNÇAL Mühendislik ve Otomasyon