

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI 1070 ÇELİĞİNDEN ÜRETİLEN İŞLEMSİZ, YÜZEY İŞLEMLİ
VE SERT YÜZEY KAPLAMALI KESİCİ TAKIMLARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN, MİKROYAPI VE KESME
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

Ahmet ÇAKAN

Tez Yöneticisi

Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM

DOKTORA TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2006

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI 1070 ÇELİĞİNDEN ÜRETİLEN İŞLEMSİZ, YÜZEY İŞLEMLİ
VE SERT YÜZEY KAPLAMALI KESİCİ TAKIMLARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN, MİKROYAPI VE KESME
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

Ahmet ÇAKAN

Doktora Tezi

Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez 11/09/2006 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği ile başarılı olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM

Üye: Prof. Dr. Gürel ÇAM

Üye: Prof. Dr. Halis ÇELİK

Üye: Doç. Dr. Mehmet H. KORKUT

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ahmet HAŞÇALIK

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../2006 tarih vesayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tezin önerilmesinde ve yönlendirilmesinde yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölüm Başkanı sayın Prof.Dr.M.Mustafa YILDIRIM' a, en içten teşekkürlerimi sunarım. Deney sisteminin kurulmasında ve malzeme temininde sağladığı değerli katkılardan dolayı Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi sayın Prof.Dr.Sedat BAYSEÇ'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Deney düzeneğinin hazırlanmasından deneylerin yapılmasına kadar her aşamada yardımlarını esirgemeyen Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Öğretim üyesi sayın Yrd.Doç.Dr.Vedat ÖZKANER'e en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Deneylerin yapılmasında laboratuvar imkanlarından yararlanmam hususunda ve malzeme temininde desteğini esirgemeyen Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dekanı sayın Prof.Dr.Gürel ÇAM'a en içten teşekkürlerimi sunarım, Deney cihazı temininde sağladığı değerli katkılardan dolayı Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Öğretim Üyesi Yrd.Doç.Dr.Ali Naci ÇELİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Isıl işlem için laboratuvar imkanlarından yararlanabilmem için kapılarını sonuna kadar açan Mustafa Kemal Üniversitesi İskenderun Meslek Yüksek Okulu Müdürü sayın Yrd.Doç.Dr.Selçuk MISTIKOĞLU ve Yüksekokul Sekreteri Yük.Müh.İlhan ÇELİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Sağlamış olduğu teknik destekten dolayı Selçuk Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof.Dr.Süleyman YALDIZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Numunelerin SEM resimlerinin çekilmesinde sağladığı değerli katkılardan dolayı Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Öğretim Üyesi sayın Yrd.Doç.Dr.Soner SOYLU'yu en içten teşekkürlerimi sunarım. Numunelerin Optik mikroskopta görüntülerinin alınmasını sağlayan Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Öğretim Üyesi sayın Yrd.Doç.Dr. Ekrem AKTOKLU'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Numunelerin kaplamalarının yapılmasında sağladıkları destekten dolayı TİNKAP sahibi sayın Fizik Yük.Müh.Kemal TOKMANOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Numunelerin nitrürasyon işlemlerinde sağladığı destekten dolayı İSTAŞ yöneticisi sayın Metalurji Müh.Fatih YALAVAÇ' teşekkürlerimi sunarım. Metalografik çalışmaların yapıldığı TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi çalışanlarından emeği geçenlere yakın ilgilerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Özellikle tezim için 1116 nolu proje kapsamında maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Birimi ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
ABSTRACT	XI
1. GİRİŞ	1
2. YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	3
2.1. Yüzeyin Kimyasal Bileşimini Değiştirmeden Yapılan Yüzey Sertleştirme İşlemleri	3
2.1.1. Fırında Isıtarak Yüzey Sertleştirme	3
2.1.2. Alevle Yüzey Sertleştirme	4
2.1.3. Endüksiyonla Yüzey Sertleştirme	4
2.1.4. Lazerle Yüzey Sertleştirme	5
2.2. Yüzeyin Kimyasal Bileşimini Değiştirerek Yapılan Yüzey Sertleştirme İşlemleri	7
2.2.1. Karbürleme.....	7
2.2.1.1. Toz İle Karbürleme	7
2.2.1.2. Tuz banyosunda karbürleme	8
2.2.1.3. Gaz Atmosferinde Karbürleme	8
2.2.1.4. Plazma Yöntemiyle Karbürleme	9
2.2.2. Karbonitrüleme	10
2.2.2.1. Ferritik Karbonitrüleme	11
2.2.2.2. Ostenitik Karbonitrüleme	11
2.2.2.3. Plazma İle Karbonitrüleme	11
2.2.3. Nitrüleme	12
2.2.3.1 Plazma ile Nitrüleme	13
3. İNCE FİLMLERİN TRİBOLOJİSİ	15
3.1. Tribolojik İşlemler	16
3.1.1. Filmlerin Sertliği	17
3.1.2. Filmin Kalınlığı	17
3.1.3. Yüzey Pürüzlülüğü.....	18
3.2. Dupleks İşlemler	19
4. KİMYASAL BUHAR BİRİKTİRME YÖNTEMİ (CVD)	21

4.1. CVD İşlem Parametreleri	22
4.2. Kimyasal Maddeler ve Kimyasal Reaksiyonlar	23
4.3. CVD’de İşlem Mikroyapı ve Özellik İlişkileri	23
4.4. CVD Yönteminin Değişik Türleri.....	24
4.4.1. Isıl Aktive Edilen CVD (TACVD)	25
4.4.2. Plazma Zenginleştirilmiş CVD (PECVD)	26
4.4.2.1. İşlem Prensipleri	26
4.4.3. Işık Etkili CVD (PACVD)	26
4.4.4. Metal Organik Kimyasal Buhar Biriktirme (MOCVD)	26
4.5. Endüstride CVD’nin Kullanılması	27
4.5.1. Sementit Karbür Takım Endüstrisinde CVD Kullanımı	27
4.5.2. Korozyona Karşı Direnç Uygulamaları	27
4.5.3. Tribolojik Uygulamalar İçin Kompozit Kaplamalar	28
4.5.4. Biyomedikal Uygulamalar	28
4.5.5. Nükleer Uygulamalar	29
4.5.6. Seramik Koruyucu Kaplamalar	29
4.5.7. Difüzyon Kaplaması.....	30
4.5.7. 1. Alüminyum Kaplama	31
4.5.7. 2. Optik Fiberler	31
4.5.7. 3. Seramik Tek Flamanlı Fiberler	32
4.6. CVD’nin İnce Film ve Kaplama Uygulamaları	32
4.7. Değişik CVD Yöntemlerinin Karşılaştırılması	33
4.8. CVD’nin Avantaj ve Dezavantajları	33
4.8.1. CVD’nin Avantajları	33
4.8.2. CVD’nin Dezavantajları.....	34
5. FİZİKSEL BUHAR BİRİKTİRME (PVD) YÖNTEMLERİ.....	35
5.1. PVD Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	35
5.1.1. Vakum Buharlaştırma Yöntemi	36
5.1.1.1. Vakum Buharlaştırma Yönteminin Avantajları	38
5.1.1.2. Vakum Buharlaştırma Yönteminin Dezavantajları	39
5.1.2. Saçınım Biriktirme Yöntemi	39
5.1.2.1. Saçınım Biriktirmenin Avantajları	42
5.1.2.2. Saçınım Biriktirmenin Dezavantajları.....	42
5.1.3. Ark Buhar Biriktirme	43
5.1.3.1. Vakum Ark Buharlaştırma Teknikleri	43

5.1.3.1.1. Anodik Ark Buhar Biriktirmenin Avantajları	44
5.1.3.1.2. Anodik Ark Buhar Biriktirmenin Dezavantajları	44
5.1.3.1.3. Katodik Ark Buhar Biriktirmenin Avantajları	45
5.1.3.1.4. Katodik Ark Buhar Biriktirmenin Dezavantajları	45
5.1.4. İyon Kaplama	45
5.1.4.1. İyon Kaplamanın Avantajları	47
5.1.4.2. İyon Kaplamanın Dezavantajları	48
6. TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİNİN ESASLARI	49
6.1. Talaş Kaldırma Mekanığı	49
6.2. Talaş Kaldırmaya Etki Eden Faktörler	50
6.2.1. Kesici Takım Geometrisi	50
6.2.2. Talaş Geometrisi	51
6.2.3. Kesme Hızı	52
6.2.4. Kesme Kuvveti	52
6.2.5. Kesme işleminde Oluşan Isı	53
6.3 Kesici Takımın Aşınması	54
6.4 Kesici Takım Ömrü	54
7. AŞINMA	55
7.1. Aşınmada Etkili Olan Faktörler	56
7.2. Aşınma Mekanizmaları	57
7.2.1. Adhesiv Aşınma	57
7.2.2. Abrasiv Aşınma (Mikro Kesilme, Şekil Değiştirme Aşınması)	57
7.2.3. Yorulma Aşınması	57
7.2.4. Korozyon aşınma	58
7.2.5. Termik aşınma	58
7.2.6. Kaviteasyon aşınması	58
7.3. Aşınma Test Mekanizmaları	58
7.3.1. Pim-Disk Aşınma Test Yöntemi	58
7.4. Aşınma Deneyleri ve Ölçme Yöntemleri	59
7.4.1. Ağırlık Farkı Yöntemi	60
7.4.2. Kalınlık Farkı Yöntemi	60
7.4.3. Bilgisayar Destekli Aşınma Test Yöntemi (BDAT)	60
7.4.4. Radyonüklid Tekniği İle Aşınmanın Ölçülmesi (RNT)	61
7.4.5. Akustik Emisyon Tekniği İle Aşınmanın Ölçülmesi (AET)	61
7.4.6. On-line İzleme Yöntemi	62

8. SERTLEŞTİRİLEBİLİR KARBONLU ÇELİKLER	63
8.1 % 0.10 - 0.25 Karbonlu Çelikler	63
8.2 % 0.25 -0.55 Karbonlu Çelikler	64
8.3 % 0.55 – 1.00 Karbonlu Çelikler	64
9. LİTARATÜR ARAŞTIRMASI	66
10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	70
10.1. Numunenin Hazırlanması ve Ön Sertleştirme.....	71
10.2. Nitrürlenme İşlemi Uygulamaları	72
10.3. Kaplama İşlemi Uygulamaları	72
10.4. Kesme Koşullarının Belirlenmesi	72
10.5. Kesici Takımlar	72
10.6. İş Parçası	73
10.7. Deneysel Teknikler	73
10.8. On-line İzleme Yöntemi.....	73
10.9. Tornalama Testleri	74
11. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	76
11.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçları.....	78
11.1.1. Yüzey İşlemsiz Numunelerin Mikroyapı İnceleme Sonuçları	78
11.1.2. Nitrürlenen Numunelerin Mikroyapı İnceleme Sonuçları.....	80
11.1.3. TiN kaplı Numunelerin Mikroyapı İnceleme Sonuçları	81
11.1.4. TiCN kaplı Numunelerin Mikroyapı İnceleme Sonuçları.....	87
11.1.5. CrN Kaplı Numunelerin Mikroyapı İnceleme Sonuçları	94
11.2. TiN-TiCN-CrN Kaplanarak Üretilen Kesici Takımların	
Aşınma Deneyi Sonuçları	100
11.2.1. TiN Kaplı Kesici Takımların Aşınma Deneyi Sonuçları	100
12. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER.....	110
13. KAYNAKLAR	114

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Isıl ve kimyasal yüzey işlemlerinin sınıflandırılması	3
Şekil.2.2 Alevle yüzey sertleştirme işlemi.....	4
Şekil 2.3 Lazerle yüzey sertleştirme işleminin şematik görünüşü	6
Şekil 2.3 Plazma karbürleme sisteminin şematik resmi.....	9
Şekil 2.4 Plazma nitrürleme işleminin şematik resmi.....	14
Şekil 3.1 Çeşitli yüzey işlemleri ve film biriktirme tekniklerinin sınıflandırılması	16
Şekil 3.2 Yumuşak bir baz malzeme üzerinde oluşan sert filmin kırılması.....	17
Şekil 3.3 Düz ve pürüzlü temas yüzeyleri için temas basınç dağılımı.....	18
Şekil 4.1 CVD kaplamanın şematik gösterimi.....	22
Şekil 4.2 CVD yönteminde kaplama işlemi süresince önemli işlem basamaklarının şematik gösterimi.....	23
Şekil 4.3 CVD, kaplama özellikleri ve işlem parametrelerinin ilişkisi.....	24
Şekil 4.4 Taneciklerin kaplanmasında kullanılan CVD reaktörünün şematik görünümü.....	29
Şekil 4.5 CVD yöntemi kullanılarak fiber optik üretimi	32
Şekil 4.6 Teknolojik kullanımı olan bir düşük basınç CVD ünitesinin görünüşü	34
Şekil 5.1 PVD işlem teknikleri.....	35
Şekil 5.2 Bir vakum buharlaştırma sisteminin ana elemanları.....	37
Şekil 5.3 Biriktirilen malzemenin dağılımı.....	38
Şekil 5.4 Ark buhar biriktirme yöntemleri.....	44
Şekil 5.5 Plazma ve vakum esaslı iyon kaplama konfigürasyonu	46
Şekil 5.6 HCD İyon kaplama sistemi.....	47
Şekil 6.1 Takım modeli ve ortagonal kesme.....	49
Şekil 6.2 Kesici takım geometrisi	50
Şekil 6.3 Talaş geometrisi.....	51
Şekil 6.4 Talaş kaldırma kuvvetleri	53
Şekil 6.5 Talaş kaldırma işleminde ısı dağılımı.....	53
Şekil 7.1 Habig ve Cizighos’a göre tribo sistemin şematik gösterimi	57
Şekil 7.2 Pim-Disk Aşınma Mekanizmasının Görünüşü	60
Şekil 10.1 Deney aşamaları.....	70
Şekil 10.2 Deneylerde kullanılan kesici ucun boyutlandırılması.....	71
Şekil 10.3 Optik algılama sistemi	74
Şekil 11.1 Isıl işlemsiz numunenin mikroyapısı ferrit+perlit (a) X 2000, (b) X 7500 SEM .	79

Şekil 11.2 Sertleştirilmiş numunenin mikroyapısı.....	79
Şekil 11.3 Nitrülenerek oluşturulan TiN kaplı bir numunenin mikroyapısı (SEM)	81
Şekil 11.4 TiN kaplı numunenin mikroyapısı (a) X 7500, (b) X 20000 SEM.....	83
Şekil 11.5 EDS analizlerinin alındığı noktaları gösteren SEM resmi.....	83
Şekil 11.6 Kaplama tabakası üzerinde (a) noktasından alınan EDS analizi	84
Şekil 11.7 Beyaz tabaka üzerinde (b) noktasından alınan EDS analizi	84
Şekil 11.8 Matris üzerinde (c) noktasından alınan EDS analizi	85
Şekil 11.9 TiN kaplı numunenin EDS çizgisel analiz sonuçlar	86
Şekil 11.10 TiN Kaplı kesici takımın X ışını difraksiyonu (XRD).....	86
Şekil 11.11 TiCN kaplı numunenin mikroyapısı (a) X 20000, (b) X 45000 SEM	88
Şekil 11.12 EDS analizlerinin alındığı noktaları gösteren SEM resmi.....	89
Şekil 11.13 Kaplama tabakası üzerinde (a) noktasından alınan EDS analizi	90
Şekil 11.14 Beyaz tabaka üzerinde (b) noktasından alınan EDS analizi	90
Şekil 11.15 Matris üzerinde (c) noktasından alınan EDS analiz.....	91
Şekil 11.16 TiCN kaplı numunenin üzerinden alınan çizgisel EDS analizi	92
Şekil 11.17 TiCN kaplı kesici takımın X ışını difraksiyonu.....	93
Şekil 11.18 CrN kaplı numunenin mikroyapısı X 20000 SEM	95
Şekil 11.19 EDS analizlerinin alındığı noktaları gösteren SEM resmi.....	96
Şekil 11.20 Kaplama tabakası üzerinde (a) noktasından alınan EDS analizi	96
Şekil 11.21 Beyaz tabaka üzerinde (b) noktasından alınan EDS analizi	97
Şekil 11.22 Matris üzerinde (c) noktasından alınan EDS analizi	98
Şekil 11.23 CrN kaplı numunenin üzerinden alınan çizgisel EDS analizi.....	98
Şekil 11.24 CrN Kaplı kesici takımın X ışını difraksiyonu	99
Şekil 11.25 TiN kaplı kesici takımlarda farklı devir sayılarında 0,052 mm/dev sabit ilerleme hızında oluşan voltaj değişimlerinin karşılaştırılması	102
Şekil 11.26 TiN kaplı kesici takımda kesme işlemi süresince uçta oluşan aşınmanın SEM resmi.....	102
Şekil 11.27 TiCN kaplı kesici takımların farklı devir sayılarında 0,052 mm/dev ilerleme hızında aşınma karşılaştırılması	103
Şekil 11.28 CrN kaplı kesici takımların farklı devir sayılarında 0.052 mm/dev ilerleme hızında aşınma karşılaştırılması	104
Şekil 11.29 190 dev/dak'lık sabit devirde, 0.052 mm/dev ilerleme hızında farklı malzemelerle kaplı kesici takımlarda voltaj değişimlerinin karşılaştırılması	104
Şekil 11.30 240 dev/dak sabit devirde 0.052 mm/dev ilerleme hızında farklı malzemelerde kaplı kesici takımların aşınmalarının karşılaştırılması.....	106

Şekil 11.31	320 dev/dak sabit bir devirde 0.052 mm/dev ilerleme hızında farklı malzemelerle kaplı kesici takımların aşınmalarının karşılaştırılması	106
Şekil 11.32	TiN kaplı kesici takımların 0.081 mm/dev ilerleme hızında farklı devir sayılarında oluşan aşınmaların karşılaştırılması.....	107
Şekil 11.33	TiCN kaplı kesici takımların 0.081 mm/dev ilerleme hızında farklı devir sayılarında oluşan aşınmaların karşılaştırılması.....	108
Şekil 11.34	CrN kaplı kesici takımların 0.081 mm/dev ilerleme hızında farklı devir sayılarında oluşan aşınmaların karşılaştırılması.....	108
Şekil 11.35	Farklı malzemelerle kaplı kesici takımların 190 dev/dak sabit devirde 0.081 mm/dev ilerleme hızında oluşan aşınmaların karşılaştırılması	109
Şekil 11.36	Farklı malzemelerle kaplı kesici takımların 240 dev/dak sabit devirde 0.081 mm/dev ilerleme hızında oluşan aşınmaların karşılaştırılması	109
Şekil 11.37	Farklı malzemelerle kaplı kesici takımların 320 dev/dak sabit devirde 0.081 mm/dev ilerleme hızında oluşan aşınmaların karşılaştırılması	110

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Yüzey sertleştirme işlemlerinin karşılaştırılması	6
Tablo 10.1 AISI 1070 çeliğinin kimyasal bileşimi.....	70
Tablo 10.2 Deneylerde kesme amaçlı kullanılan otomat çeliğinin kimyasal bileşimi	73

ÖZET
Doktora Tezi

**AISI 1070 ÇELİĞİNDEN ÜRETİLEN İŞLEMSİZ, YÜZEY İŞLEMLİ VE SERT YÜZEY
KAPLAMALI KESİCİ TAKIMLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN, MİKROYAPI
VE KESME PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

Ahmet ÇAKAN

**Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı
2006, Sayfa: 125**

Mekanik özellikler açısından iyi ve ucuz olan malzemelerden, değerli makine parçalarının üretilmesi malzeme teknolojisinde ayrı bir yere ve öneme sahiptir. Kesici uçların, üretim sanayinde kullanılması ve atölye sarf malzemesi olarak tüketimi, gelişmesini henüz tam olarak tamamlamamış diğer ülkeler gibi, ülkemizde de maliyet giderleri açısından büyük paya sahiptir. Çünkü kesici uç için yapılan fazla masraf, doğrudan üretilen ürüne yansyarak onun maliyetini artırmakta ve ülkenin üretimdeki rekabet gücünü büyük ölçüde azaltmaktadır.

Son on yıl içerisinde; tornalama işlemlerinde kullanılan pahalı ve klasik kesici uçların yerine, onlardan daha ucuz, yüzey mühendisliği teknikleri kullanılarak üretilen kesici uç malzemelerin kullanılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Kesici uçların üretiminde daha kullanışlı, pratik, ucuz ve özellikleri iyileştirilebilen yeni teknoloji ürünü malzemelerin kullanılması, bu sanayi koluna büyük yenilikler getirmiştir. Nitekim böyle uygun mekanik özelliklere sahip kesici uçların makine teknolojisine girmesi ve geniş çaplı kullanımı ile talaşlı imalatla büyük kolaylık ve avantajlar sağlanmıştır.

Özellikle % 0.7-0.8 C içeren orta karbonlu; ısıt işlemlerle bile kesme performansı yeterince iyileştirilemeyen, ucuz, kısa kesme ömürlü adi takım çeliğinden yararlanılarak; bunlardan değerli kesme kalemlerinin üretilmesi, tornalama tekniği açısından büyük önem taşımaktadır. Temini oldukça kolay olan, bir kalem malzemesi olarak kendisinden istenen bir çok özelliğe sahip bu malzemelere; iç kısımlarının az oranda sünek ve tok, yüzeylerinin ise sert ve aşınma etkilerine dayanıklı olması sağlanarak; bunlardan değerli, ucuz ve uzun ömürlü kesici uçların elde edilmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmada; % 0.7 sade karbonlu bir kalite çeliğinden, ısıt işlemlerle sertleştirilip 180 °C sıcaklıkta gerginliğini atması sağlanan orijinal malzemeye nitrürasyon işlemi uygulanmış, daha sonra nitrürlenmiş kesici uç numuneleri fiziksel buhar biriktirme tekniklerinden (PVD),

katodik ark buhar biriktirme yöntemi kullanılarak TiN, TiCN ve CrN kaplanıp; üretilen kesici uçların 190, 240 ve 320 dev/dak farklı devirlerde ve ayrı ayrı 0.052 ve 0.081 mm/dev farklı ilerleme hızlarındaki kesme performansları ve bir on line izleme sistemi kullanılarak aşınma davranışları araştırılmış, araştırmadan elde edilen bilimsel sonuçlar birbirleriyle detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır.

Çalışmalarda; üretilen kesici uçlar arasında en iyi sonuç TiN kaplı numunede 190 dev/dav devir, 0.052 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. Uçların kesici bölgelerinden alınan taramalı elektron mikroskobu resimlerinden; kaplama bölgesine uygulanan ısı işlemlerin başarılı bir şekilde gerçekleştiği, arzu edilen yapıların oluştuğu, homojen ve dengeli dağıldığı, mekanik olarak oluşturulan katların birbiriyle uyumlu bir şekilde, gözeneksiz ve aşırı gevreklik göstermeden bağlandığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey modifikasyonu, PVD, On line izleme, Modern kesici takımlar, TiN kaplama, TiCN kaplama, CrN kaplama.

ABSTRACT
PhD Thesis

**INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES, MICROSTRUCTURES AND
CUTTING PERFORMANCES OF CUTTING TOOLS PRODUCED FROM SURFACE
HARDENED AND COATED AISI 1070 STEEL**

Ahmet ÇAKAN

**Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Metallurgy Education
2006, Page: 125**

The production of valuable machine parts from materials which are not expensive and have good mechanical properties in materials technology is very important. Use of cutting tools in production industry and their consumption in metal workshop are expanding every year. The production costs of cutting tools in countries, which are not fully developed such as Turkey, play an important role in total manufacturing costs. The extra costs for cutting tools add to the cost of products directly, raising their costs, and thus decrease the competitiveness of countries.

The use of cheaper new-type cutting tools, which have been produced by means of surface coating techniques, instead of expensive and classic cutting tools, has become a rule in last ten years. Use of these new, cheap, useful and novel materials in the production of cutting tools has brought about an innovation in the manufacturing industry. Introduction of such cutting tools, which have suitable mechanical properties, to chip removal industry is very important as they offer various advantages over more conventional cutting tools, such as lower cost and longer service life.

In this study, the cutting tools have been produced from medium-carbon steel containing 0.7-0.8 % C, which is not expensive and not easy to heat treat, and generally used as simple classic cutting tool due to its low cutting performance and short service life, using modern surface coating techniques. This tool material can be found easily in the market and shows good tool material properties. As well known, the interior parts of cutting tools must be reasonably tough and possess acceptably high tensile strength and, on the other hand, the surfaces must be hard and exhibit a good wear resistance. The cutting tools produced from medium carbon steel with surface coating methods have been shown to be less costly and valuable, and exhibited long service life.

In this study, raw cutting tools have been cut from a medium carbon steel with 0.7 % C. These tool parts have been then water hardened and tempered at 180 °C for stress-relieving, followed by nitriding in a liquid cyanide salt bath. Finally, the tips of the tool parts have been coated by cathodic arc vapour deposition method which is a special type of PVD coating technique. By this technique, TiN, TiCN and CrN thin coating layers have been produced on the surface of cutting tools.

The cutting performance of such produced cutting tools has been tested at 190, 240 and 320 rev/min turning cycles with feeding rates of both 0.052 and 0.081 mm/rev for each turning cycle. The wear behaviour of cutting tools has been investigated by using an on-line monitoring technique. The results of wear tests conducted under different conditions have been compared with each other comprehensively.

TiN-coated specimens have exhibited the best wear performance under the conditions of 190 rev/min turning cycle and 0.052 mm/rev feeding rate. The microstructures of the tips of the cutting tools were investigated by means of scanning electron microscopy (SEM). The microstructures indicated that the heat treatments and coating processes were successful. The phases present in the coating layers are uniform, homogeneous and well-dispersed in the coated zone. The coated layers show a small amount of porosity and a good binding to substrate material and are not brittle.

Keywords: Surface modification, PVD, On-line monitoring, Modern cutting tools, TiN coating, TiCN coating, CrN coating.

GİRİŞ

Malzeme teknolojisinde; geleneksel malzemelere oranla daha kullanışlı, pratik, ucuz ve özellikleri iyileştirilebilen yeni malzemelerin geliştirilmesi her zaman araştırmacıların temel hedefleri arasında yer almıştır.

Bugüne kadar geniş çapta kullanım alanı bulmuş, alışlagelmiş malzemelerin çoğundan istenen performans özellikleri, günümüzde artık mümkün olan en uygun, mekanik özellik sınırları zorlanacak ölçülerde belirlenebilmekte ve bilimsel tekniklerle elde edilen bu optimum büyüklüklerden hareket edilerek, böyle malzemelerin değişik amaçlar için üstün bir verimle kullanılabilirliği mümkün olabilmektedir (Sobiecki ve diğ., 2004). Ancak modern ve gelişen makine ve malzeme teknolojisi, her gün yenilenen ve ileri düzeyde araştırılıp geliştirilen malzemelerin bulunmasını ve üretimini zorunlu duruma getirmekte ve yine sanayinin bu yöndeki talebi, her geçen gün daha da artan bir eğilimle, kesintisiz olarak sürmektedir.

Makine malzemeleri seçilirken; hammaddenin kolay ve ucuz temin edilmesi, ürünün mümkün mertebe kaliteli olması, kendisinden istenecek bazı mekanik ve kimyasal özellikleri büyük ölçüde sağlaması, standartlara az çok uygunluğu ve özellikle ısıl işlemlerle özelliklerinin değiştirilip geliştirilebilmesi istenir (Yıldırım ve diğ., 2001).

Bileşimlerinde % 0.7-1.3 C bulunduran sade karbonlu çelikler, kesici uç olarak kullanılabilen çelikler arasında en ucuz olanıdır. Bunlardan özellikle % 0.7-0.8 C'lu olanları; ısıl işlemlerle bile kesme performansı fazla iyileştirilemeyen ve geliştirilemeyen, ucuz, kısa kesme ömürlü adi takım çeliği olarak kullanılabilen malzemeler arasında yer alır (Lin ve diğ., 2002; Ollilainen ve diğ., 2003; Simoneau ve Elbestawi, 2005 a,b; Reza Bateni ve diğ., 2006; Wang ve diğ., 2006).

% 0.8-1.3 C içeren sade karbonlu takım çeliklerinin kesme performansının iyileştirilmesinde; bu çeliklerin kesici ucuna uygun yumuşatma tavlama yapıldıktan sonra sertleşme (su verme) işlemi uygulanması ve demir-sementit metastabil faz diyagramının A_{c1} sıcaklığında yaklaşık iki saat süren, 15-20 °C sıcaklık aralığında, sürekli kısa süreli ısıtma ve soğutma işleminden sonra, lamelli seimentitin parçalanarak taneli seimentite dönüştürülmesi, yani perlitin küreleştirilmesi gerekmektedir (Yıldırım ve diğ., 2001, Bargel ve Schulze, 1980).

Son yıllarda gelişen ısıl işlem teknolojileri ve yüzey mühendisliğindeki yeni uygulama teknikleri; temini kolay, aranan özelliklere sahip, ya da özellikleri kolayca değiştirip geliştirilebilen klasik malzemelerin değerlendirilmesinde büyük önem taşımaktadır (Wang ve diğ., 1999; Li ve diğ., 2000; Modi ve diğ., 2003; Sun ve diğ., 2005; Benarioua ve diğ., 2006). Tornalama işlemlerinde kesici uç olarak kullanılan çok pahalı hız çelikleri, sinterlenmiş karbür,

sert metal ve bazı seramik kesici takımların yerine, onlardan daha ucuz olan, yüzey işlemleri görmüş, en az onlar kadar verimli kesici uçların geliştirilip üretilmesi zaman içerisinde bir zorunluluk arz etmiştir. Talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan; iyi mukavemet özelliği, düşük süneklik ve tokluk özelliğine sahip % 0.7-0.8 C'lu çeliklere, iç kısımlarının az oranda da olsa süneklik ve tokluk göstermesi ve yüzeylerinin sert ve aşınma etkilerine dayanıklı olması sağlanarak; bunlardan çok değerli, ucuz ve uzun ömürlü kesici uçların elde edilmesinin mümkün olabileceği düşünülmüştür. Ancak bu çeliklerin verimli bir şekilde kesici uç olarak üretilip kullanılması için, öncelikle orijinal kesici uç yüzeylerinin sertleştirilip gerginliğinin atılmasının sağlanması, daha sonra kaplama tabakası ile iyi bir bağın oluşmasını sağlayacak sert ve az da olsa belli bir değerde süneklik özelliğine sahip taşıyıcı bir ara tabakanın meydana getirilmesi ve en dışta da ucun kesme yeteneğini en üst düzeye ulaştırabilecek bir seramik tabakanın oluşturulması gerekmektedir (Narojczyk ve diğ., 2005). Yapılacak tüm bu ek işlemlere karşın, üretilen kesici uçların üretim maliyetleri, çok sayıda üretilip kullanılmak kaydı ile, yukarıda adı geçen diğer tüm pahalı uçlardan daha düşük olmaktadır. Yine bu uçların en dış kısmına yapılacak kaplamanın, nasıl bir kaplama olması gerektiğinin araştırılması da, bilimsel ve ülke ekonomisi açısından büyük bir değere sahip bulunmaktadır.

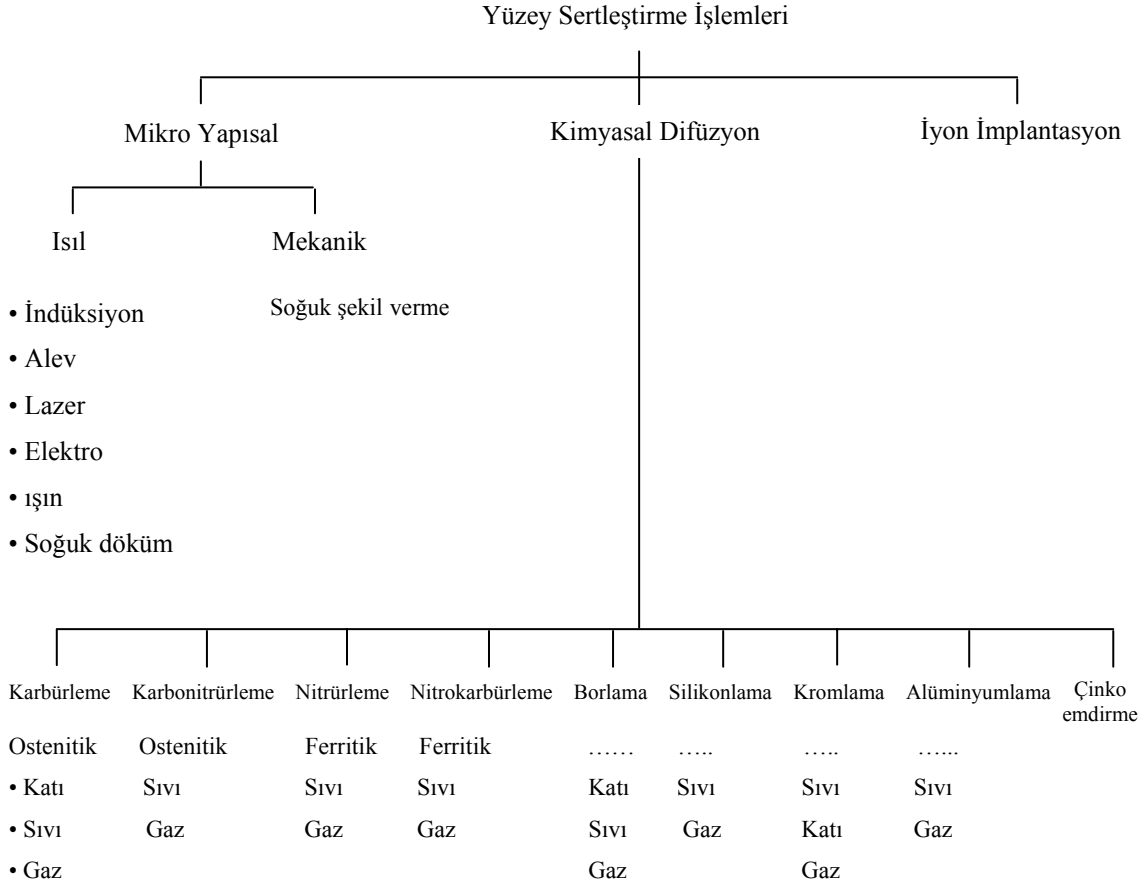
Tarafımızdan yapılan literatür araştırmaları; yüzey mühendisliği kaplama teknikleri açısından en kolay ve uygun kaplama katlarının; titanyum nitrit, titanyum karbonitrit ve krom nitrit katlarının olabileceğini göstermiş; bu doğrultuda tüm kesici numunelerin uç kısımlarına son kaplama tabakası olarak bu üç farklı bileşimdeki kaplama malzemesinin kaplanması uygun bulunmuştur.

Maliyet, yapı homojenliği, iyi sertlik özelliğinin yanı sıra yeterli süneklik, üstün kesme yeteneği, aşınmaya karşı çok iyi direnç özelliği, kolay temin edilebilirlik, uzun kesme ömrü gibi etkenler göz önünde bulundurularak; oluşturulacak bu kaplama katlarından hangisinin ya da hangilerinin en iyi kesme koşullarını sunduğunun belirlenmesi ise araştırmaya değer ve son derecede önemli, çağdaş bir konu olarak görülmüştür.

Bu çalışmada; % 0.7 C içeren ucuz adi takım çeliğinden torna kalemi şeklinde hazırlanan kesici uçların uç bölgesine sertleştirme, gerginlik giderme temperlemesi, nitritasyon işlemi uygulanmış ve daha sonra farklı kaplama malzemeleriyle yüzey bölgesine kaplama yapılmış; kaplanan malzemelerin seçilen bir otomat çeliği üzerinde kesme performansları araştırılmış ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

2. YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Yüzey sertliği aşınma direnci ve yorulma dayanımını artırmak amacıyla kullanılan yüzey işlemleri (Kennedy ve diğ., 2004; Chiang ve Chen, 2005; Sari ve Yılmaz, 2006); Şekil 2.1’de görüldüğü gibi mikroyapısal değişimlere yol açan işlemler, kimyasal difüzyon ve iyon implantasyonu olmak üzere üç grupta incelenebilir (Ruset ve Grigore, 2002; Wang ve Chiu, 2002; Manory ve diğ., 2002; Öztarhan ve diğ., 2004). Mikroyapısal yüzey işlemlerinde, malzeme yüzeyinin mikroyapısı değişirken, malzemenin iç kısmında herhangi bir değişiklik olmamaktadır. Kimyasal difüzyon yoluyla yapılan yüzey işleminde, yüzeyin mikroyapısı ile birlikte kompozisyonu da değişmektedir.



Şekil 2.1 Isıl ve kimyasal yüzey işlemlerinin sınıflandırılması (Çelik ve diğ., 2002)

2.1. Yüzeyin Kimyasal Bileşimini Değiştirmeden Yapılan Yüzey Sertleştirme İşlemleri

Çelik malzeme yüzeyinin kimyasal bileşimini değiştirmeden sertleştirilebilmesi, ancak malzeme yüzeyindeki karbon oranının sertleşebilme için yeterli olmasına bağlıdır. Yüzeyde sertleşme sınırı olan % 0,3 C’den daha fazla karbon içeren çeliklerin yüzeyi değişik yöntemlerle

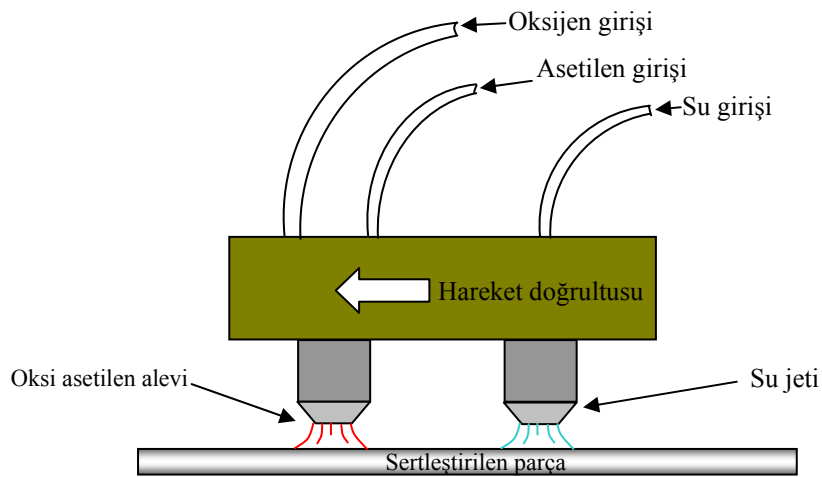
ostenitleme sıcaklığına kadar ısıtılıp, sonra belli bir ortamda hızlı bir soğutma işlemi ile yüzey sertleştirme gerçekleştirilebilir (Yıldırım ve diğ., 2001).

2.1.1. Fırında Isıtarak Yüzey Sertleştirme

Bu yöntemde, parçanın dış kısmı karbon içeriğine göre A_{C3} veya A_{C1} , sıcaklıklarının hemen üzerindeki bir sıcaklığa; iç kısım ise ferrit-ostenit dönüşümü tamamlanmayacak şekilde ısıtılır. Belli bir bekleme süresinin sonunda parça uygun bir ortamda yüzeyi sertleşecek şekilde soğutulur. Uygulanan bu işlemle parça yüzeyine sertlik ve aşınma dayanımı kazandırılırken, parçanın iç kısmındaki özelliklerde fazla bir değişiklik olmaz (Yıldırım ve diğ., 2001).

2.1.2. Alevle Yüzey Sertleştirme

Bu yöntem, karbon oranı % 0,3-0,7 C arasında bulunan sade karbonlu çelikler ile krom-molibden ve krom-nikel-molibdenli düşük alaşımlı çeliklere uygulanabilir. Uygulanan bu işlemde, çelik yüzeyi oksii-asetilen aleviyle hızlı bir şekilde ostenitleme sıcaklığına kadar ısıtılır ve martenzitik bir yüzey tabakası elde etmek için ısıtılan bu bölgenin üzerine hızlı bir şekilde su püskürtülür. Su püskürtme düzeni, sürekli sertleştirme düzeneklerinde, yüzey sertleştirme uygulamalarında ısıtma düzeninin devamını oluşturur. Alevin şiddeti ve parçanın alevde tavlama süresini ayarlayan hareket mekanizmasının hızı, ulaşılmak istenilen sertlik derecesine göre ayarlanır. Bu işlem değişik çap ve boyutlardaki parçalara başarı ile uygulanmaktadır. Yapılan işlemin istenilen sonucu vermesi için, işlemin uygulanmasında üfleç alevinin sertleşecek olan yüzeyi tamamen kaplayacak şekilde ayarlanması ve çok hızlı bir ısıtma yapması gerekir.



Şekil.2.2 Alevle yüzey sertleştirme işlemi (Yıldırım ve diğ., 2001)

İşlemin silindirik parçalara uygulanmasında, parça alevin önünde uygun bir dönme hızıyla bir düzenek aracılığı ile döndürülmelidir. Bu yöntemle malzemenin iç kısımlarının önceki ferritik-perlitik yapısı değişmezken yüzeyde sert martenzitik bir yapı elde edilir.

2.1.3. Endüksiyonla Yüzey Sertleştirme

Esas itibari ile alevle yüzey sertleştirmeye benzerse de, bu yöntem parçaların ısıtma düzeninin farklı olması nedeniyle, alevle yüzey sertleştirmeden ayrılır.

Parça yüzeyinde sert bir martenzitik tabaka elde etmek için hızlı bir biçimde parçanın yüzeyi ısıtılma sıcaklığının üzerine ısıtılıp, parça ani bir soğutma işleminden geçirilir (Yıldırım, 1983; Kessler ve diğ., 2003). Bu işlemin uygulanmasında gerekli olan ısı, elektrik enerjisinin kılın etkisiyle ısı enerjisine dönüşümünden sağlanır. Parçalarda iç gerilme ve çatlak oluşumunu önlemek için soğutma işleminde 50-60 °C sıcaklıkta su, tuz ya da yağ banyosu kullanılmaktadır. Parça sertleştirme işleminden sonra sertleşme sonucu oluşan iç gerginlikleri gidermek için 150-200 °C sıcaklıklarda temperleme işlemine tabi tutulur.

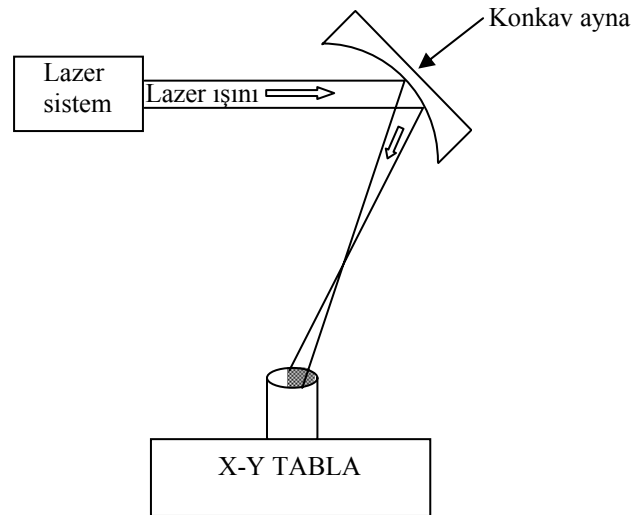
Endüksiyonla yüzey sertleştirme işlemi % 0,3-0,70 C' lu çeliklere uygulanır (Yıldırım ve diğ., 2001). Bu yöntemle; krank milleri, eksantrik milleri, kavrama tırnakları, supaplar ve supaplara ait tahrik milleri, tahrik zincirleri, dişli çarklar, şanzıman parçaları, hadde tamburları, zorlama ve aşınmaya maruz kalan bağlantı elemanları, raylar, cıvatalar, gibi makine parçaları sertleştirilebilir (Buytoz, 2004).

2.1.4. Lazerle Yüzey Sertleştirme

İş parçası yüzeyinin lazer ışınından yararlanılarak çok kısa bir süre içerisinde yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtılabilmesi ve bu yolla parça yüzeyinin, sertleşme için gerekli ısıtılma sıcaklığına hızlı bir şekilde ulaştığı yüzey sertleştirme işlemidir. İş parçası yüzeyi ile lazer ışını arasında kısa süreli etkileşimden dolayı geçen enerji, yalnızca iş parçasının yüzeyinde yoğunlaşmakta ve bu nedenle malzemenin iç kısmı ise soğuk kalmaktadır (Grum ve Kek, 2004). Parçanın soğuk olan iç kısmı bir soğutucu gibi davranmakta ve yüzeyde ergime sıcaklığına kadar ulaşmış kısmen ergiyen bölgenin aniden soğuyup sertleşmesini sağlamaktadır. Lokal ısı girişi, ihmal edilebilir boyutlardaki çarpılma, belirli bölgelere işlem uygulayabilme yeteneği ve işlem süresinin kısıllığı, % 0.1 C içerikli bir çeliğin bile yüzey sertleştirilebilmesi; lazerle yüzey sertleştirmenin avantajlarını oluşturmaktadır. Maliyetlerinin yüksek olması ise yöntemi sınırlamaktadır (Yıldırım, 1993; Copola ve diğ., 2002; Pantelis ve diğ., 2002; Pashby ve diğ., 2003; Grum ve Kek, 2004). Ticari olarak mevcut yüzey sertleştirme tekniklerinin genel olarak avantaj ve dezavantajları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Yüzey Sertleştirme işlemlerinin karşılaştırılması (Yıldırım, 2001; Pashby, 2003).

Metot	Avantajlar	Dezavantajlar
Lazer	Minimum çarpılma Bölgesel sertleştirme Ayrıca su verme işlemi gerekmez Sertleştirme derinliği kontrol edilebilir Sınırlı işlem kalınlığı	Yüksek maliyet Küçük etki alanı Çoklu geçişlerde lokal ergimelere yol açması Kalifiye eleman gerektirmesi Sertleşen tabakanın ana malzemeye uyumlu bir geçiş göstermemesi
İndüksiyon	Hızlı işlem yapma yeteneği Derinliğine sertleşme tehlikesinin bulunmaması Lazerden daha az kuruluş maliyeti Daha yüksek kapsama alanı Seri üretime uygunluk	Bobin değişimi için zamanın kısıllığı Boyutları farklı her parça için yeni bir bobin gereksinimi Su verme işlemi gerektirmesi Kısmi çarpılma tehlikesi Elektromanyetik kuvvetlerin yüzey kalitesini etkilemesi Özel durumlarda karmaşık bobin üretim gereksiniminin maliyeti artırması
Alev	Ucuz, kolay uygulanabilir ve yeri kolaylıkla değiştirilebilir	Yetersiz yinelenabilirlik Hızlı soğutma ortamı gereksinimi Kısmi çarpılma tehlikesi olasılığı Kısmi çevresel sorunlar
Arkla kaplama (TIG)	Ucuz ve kolay uygulanabilir	Kaplama katı kalınlığı sınırlıdır Geniş ısı etki derinliği Kaplama katı ile ana malzeme arasında karışım oluşturmaları Ergiyiğin kontrolü güçtür
Elektron ışıını	Minimum çarpılma tehlikesi Seçici yerel sertleştirme yeteneği Ayrıca su verme işlemi gerektirmez	Yüksek yatırım maliyeti Vakum gereksinimi Küçük üretim oranı Yüksek işlem maliyeti



Şekil 2.3. Lazerle yüzey sertleştirme işleminin şematik görünüşü (Kaul ve diğ., 2005)

2.2. Yüzeyin Kimyasal Bileşimini Değiştirerek Yapılan Yüzey Sertleştirme İşlemleri

Parça yüzeyindeki karbon miktarı sertleşme sınırının altında (% 0,2-0,3 C) bulunan çeliklerde ve bazı özel amaçlı malzemelerde yüzeyde yeterli sertlikte bir tabaka elde etmek için yüzeyin kimyasal bileşimi değiştirilir (Yıldırım ve diğ., 2001). Bunlar genellikle parça yüzeyinden içeriye karbon, azot ve bor gibi arayer elementlerinin geçirilmesi ve metal iyonlarının yüzeye bağlanması şeklinde olmaktadır (Buytoz, 2004). Parça yüzeyinde oluşan yapıyı ve sertliğini; bekleme süresi, parça sıcaklığı, soğutmanın gerekli olduğu işlemlerde soğutmanın hızı ve şekli ile yüzeye geçişen elementin miktarı belirlemektedir (Avner, 1984; Yıldırım ve diğ., 2001).

2.2.1. Karbürleme

Karbürleme, parçanın iç kısmı ile yüzey tabakası arasında karbon konsantrasyon farkı oluşturmak amacı ile, ostenitleme sıcaklığında metal yüzeyinden içeriye doğru karbon geçiriltme işlemidir. Karbürleme ~ 900 °C sıcaklıkta düşük karbonlu çeliklerin yüzeyine karbonun ilavesidir. Fe-Fe₃C faz diyagramına göre bu sıcaklıkta çelik ostenit fazındadır ve karbürlemeden önce % 0.2-0.3 karbon içerir. Kuramsal olarak yüzeyde en çok % 1.3 karbon eritebilir. Yüzeye geçişen karbon oranının ise, süre kontrol edilerek % 0.8 dolaylarında bulunması istenir. Aksi halde sertleşen tabaka, proötektoidik karbürlerin oluşması nedeniyle, aşırı gevrek ve kırılgan olur (Bargel ve Schulze, 1980; Hoppe, 1998; Menthe ve Rie, 1999; Qiang ve diğ., 1999; Jacquet ve diğ., 2002; Pertek ve Kukla, 2003; Lee, 2004; Georgiev ve diğ., 2004). Yeterli karbon içeriğine sahip γ katı eriyik fazı hızlı soğutulduğunda yüzeyde sert martenzitik bir yapı oluşur. Öz, ince taneli çelik iken, yüzeyde sert ve aşınma dayanımı yüksek bir tabaka elde edilir. Karbon içeriği % 0.9'dan daha büyük olduğunda tabaka kalıntı ostenit ve gevrek martenzit içerir. Bu sorunun, sıvı ortamda karbürleme tekniği kullanılarak üstesinden gelinebilir (Chowdhury ve diğ., 1999).

2.2.1.1. Toz İle Karbürleme

Yüzeyi sertleştirilecek parçalar karbürleyici toz ile karıştırılarak hava geçirmeyen sementasyon kutularında 900°C'de tavlânır. Karbürleyici toz; odun kömürü, kalsiyum karbonat ve kemik kömürü ile alkali baryum ve stronsiyum bileşiklerinin tozundan oluşur. Toz halindeki tanelerin ortalama irilikleri 3–6 mm'dir. Kutu içerisinde, yüksek sıcaklıklarda oksijence fakir atmosferde CO ve CO₂'den oluşan bir gaz karışımı elde edilir. Baryum ve stronsiyum bileşikleri alkali bileşikler olarak, karbürizasyonu hızlandırıcı aktivasyon maddeleridir. Yüksek sıcaklıklarda Boudouard reaksiyonu uyarınca;



yüzeyde açığa çıkan aktif karbon difüzyonla metal yüzeyine geçişerek, demir karbür şeklinde çeliğin bileşimine girer. Önceleri yüzeyde hızla yükselen karbon miktarı daha sonra gittikçe hızını kaybeder ve belirli bir değere ulaşır (Yıldırım ve diğ., 2001).

Kolay bir işlem olan toz ile karbürizasyonun pratik ve fazla ekonomik olduğu söylenemez. Ayrıca parça yüzeyinde kömür tanelerinin yüzeye yapışmasından ileri gelen kirlenme görülür. Bu nedenle uygulamalarda parçalara doğrudan doğruya su verilememektedir.

2.2.1.2. Tuz banyosunda karbürleme

Tuz banyosunda karbürlemede, parçalar 850-930 °C sıcaklıklar arasında siyanürlü alkali tuz eriyikleri içerisine daldırılırlar. Tuzların bileşiminde karbon verici olarak NaCN, ayrışmayı frenleyici olarak görev yapan klorürler (özellikle KCl), aktifleyici olarak da stronsiyum ve baryum bileşikleri bulunur.

Karbürleme sıcaklığında siyanür parçalanarak karbon ve az miktarda da azot verir. Tuz banyosunda parçaların bekletilme süresi kısadır. Karbürleme bittikten sonra parça doğrudan doğruya sertleştirilebilir. Siyanürlerin zehirli olmaları nedeni ile tuz banyosunun yüzeyi grafit ile örtülmelidir.

Tuz banyosunun konmasında en dayanıklı kap, refrakter örgülü bakır levhalarla kaplı olan sıvı tuz banyolarıdır. Bunun dışında seçilecek kaplar siyanür tuzları tarafından kısa sürede kemirilerek kullanılmayacak duruma gelirler (Yıldırım ve diğ., 2001; Krishnaraj ve diğ., 1997; Qiang ve diğ., 1998).

2.2.1.3. Gaz Atmosferinde Karbürleme

Gaz ortamında karbürleme, parça yüzeyine karbon içerikli gazdan karbon elementinin geçiştirilmesi ile yapılmaktadır (Yıldırım ve diğ., 2001; Edenhofer ve diğ., 2001). Karbürleme için H₂ ve CO içeren gaz karışımının kullanılması kontrollü karbürlemeye olanak sağlar. Bu gazların kullanıldığı reaksiyon;



Metan ve propan gibi saf hidrokarbon gazların kullanılması da mümkündür. Bu durumda, metal yüzeyindeki karbon geçişi hidrokarbon moleküllerinin karbon şeklinde absorpsiyonu sonucunda gerçekleşir ve bu gazların ayrışması aşağıdaki denklemlere göre olur.



Günümüzde endüstriyel uygulamada iki tür plazma karbürleme işlemi kullanılmaktadır. Bunlar;

- 1- Hidrojen ve argon ile hafifletilen propan gazı karışımının kullanıldığı işlem,
- 2- Hidrojen ile seyreltilmiş metan gazının kullanıldığı işlemdir.

Plazma karbürleme işleminde uygun çalışma koşullarının kontrolü, parça yüzeyinden içeriye mümkün olduğu kadar çok karbonun geçişmesinin sağlanması ve parça yüzeyindeki bu yüksek karbon akışının, ostenitin karbon eritme sınırına ulaşana kadar sürmesidir. Soğutma vakum ortamında yapıldığı için, işlem yapılan parçadaki çarpılmalar yok denecek kadar azdır. Karbürleme zamanının kısalığı, karbürleme esnasında gaz tüketiminin az oluşu, her boyuttaki malzemede homojen bir kalınlık elde edilmesi ve hatta parça üzerindeki kör deliklerin bile karbürlenebilmesi gibi avantajlarından dolayı geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Li ve diğ., 2004).

2.2.2. Karbonitrürleme

Karbonitrürleme, mühendislik uygulamalarında kullanılan çeşitli çeliklere; aşınma direnci, yorulma dayanımı ve korozyon direncini artırmak için çelik yüzeyine azot ve karbonun birlikte geçişmesinin sağlandığı termokimyasal bir işlemdir (Zlatonovic ve diğ., 2004 a,b; Wang ve diğ., 2004; Zeghni ve Hashmi, 2004).

Karbonitrürasyon, karbürleme ve nitrürleme yöntemlerinin bir karışımı olup, işlem ya bir gaz karışımının oluşturduğu gaz atmosferinin kullanılmasıyla ya da siyanür ve karbonatlar içeren bir sıvı tuz banyosunda yapılabilmektedir (Lee ve diğ., 2003). Plazma karbonitrürasyon teknikleri, işlem kontrolünün kolaylığı ve çevreye daha az zarar vermesi nedeniyle günümüzde daha çok kullanılmaktadır (Krishnaraj ve diğ., 1997; Yıldırım ve diğ., 2001). İşlem süresi; elde edilecek tabaka derinliği ve uygulanan sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Karbonitrürleme ile parça yüzeyinde 10–20 µm kalınlığında hegzogonal sıkı paket (hcp) kafes yapılu epsilon karbonitrür [ϵ -Fe_{2.3}(N,C)] bileşik tabakası üretilir. Bu işlemle parça yüzeyinden içeriye azot ve karbonun birlikte geçişi sağlanır.

İşlem, genellikle 593 °C'nin altında, Fe-N-C sisteminin ferritik faz alanı içindeki sıcaklıklarda yapılmaktadır. Bu işlem, ϵ - karbonitrürün [(Fe_{2.3}(C,N))] baskın bir biçimde yüzeyde oluşması nedeniyle, sürtünme aşınması için iyi bir direnç geliştirir (Li ve diğ., 2004). Bileşik tabakanın hemen altında yer alan N'un geçtiği bölge, parçanın yorulma özelliklerini iyileştirmektedir (Krishnaraj ve diğ., 1997). Karbonitrürleme; düşük işlem sıcaklığı, işlem süresinin kısalığı, boyut ve şekil kararlılığının yüksekliği, işlem güvenliği ve işlemin tekrarlanabilirliği gibi pek çok avantaja sahiptir. Sahip olduğu bu üstün özellikler nedeniyle karbonitrürleme; başta tekstil makine parçaları, su pompası aksamı, dişli çarklar ve çok sayıda

otomotiv parçalarının kalitesinin geliştirilmesinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Lee, 2004).

Karbonitrüleme işlemi uygulandığı sıcaklık değerine göre iki gruba ayrılmaktadır. Ötektoid sıcaklık olan 593 °C'nin altındaki sıcaklık değerlerinde yapılan karbonitrüleme işlemlerine ferritik karbonitrüleme, bu sıcaklığın üzerine çıkılarak yapılan karbonitrüleme işlemine ise, ostenitik karbonitrüleme denilmektedir (Qiang ve diğ., 2000).

2.2.2.1. Ferritik Karbonitrüleme

Ostenit bölgesinin altındaki sıcaklıklarda demirli malzeme yüzeylerinden içeriye N ve C'un difüzyonu ile yapılan termokimyasal bir işlemdir. Düşük işlem sıcaklığı ve süresinin kısalığı, şekil ve boyut kararlılığının yüksekliği, işlem güvenliği ve yenilenebilirlik gibi üstün özellikleri nedeniyle yaygın bir kullanım alanına sahiptir

Bu işlem; iş parçasının yüzey sertliğini, aşınma direncini ve yorulma özelliklerini iyileştirir. Başta sade karbonlu çelikler olmak üzere; alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, dökme demirler ve sinterlenmiş malzemelere yaygın olarak uygulanmaktadır (Qiang ve diğ., 2000).

Çok ince bir bileşik tabakasının oluşması ise, ferritik karbonitrüasyon işleminin dezavantajıdır. Bu da, onun noktasal yükleri karşılama yeteneğini sınırlamaktadır.

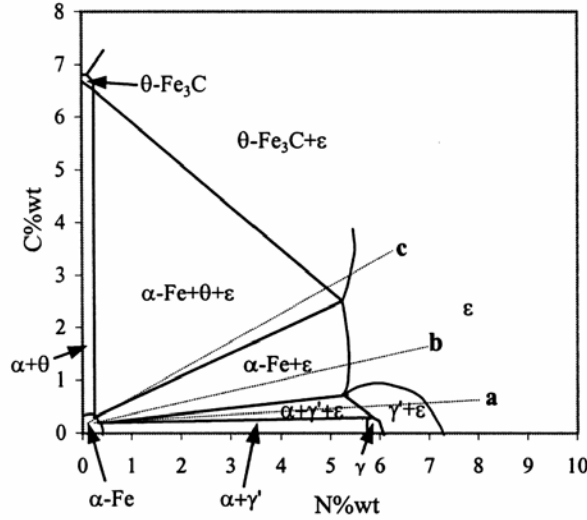
2.2.2.2. Ostenitik Karbonitrüleme

593-720 °C arasındaki sıcaklıklarda yapılan ostenitik karbonitrülemeye ferritik karbonitrülemeye göre daha kalın bir tabaka elde edilebilmektedir. Bu ise başta noktasal yükler olmak üzere daha büyük yüklerin karşılanmasında etkili olmaktadır (Krishnaraj ve diğ., 1997). Bu işlemde bileşik tabakalar ostenitlenir ve işlem sıcaklığından suya çekilerek martenzitik-beynitik sert mikroyapıya dönüştürülür. Ostenitik karbonitrüleme, daha yüksek bir yüzey sertliğinin yanı sıra, işlem süresinin kısa oluşu ile ferritik karbonitrülemeye üstünlük sağlar (Krishnaraj ve diğ., 1997).

2.2.2.3. Plazma İle Karbonitrüleme

Plazma aleviyle de karbonitrüleme işlemi yapılabilmektedir. Plazma ile karbonitrülemeye çalışma sıcaklığı 450-720 °C arasında bulunur. İşlem sonunda $[\epsilon\text{-Fe}_{2-3}(\text{N,C})]$ ve $\gamma'\text{-Fe}_4(\text{N,C})$ fazlarından oluşan bir bileşik tabakası üretilir (Zlatonovic ve diğ., 2004). Bu işlemde genellikle N_2 , H_2 ve karbon içeren CH_4 , CO_2 ve CO gibi gazların karışımları kullanılır. Şekil 2.4'de, 570-580 °C'de N ve C içeriklerine göre oluşan fazlar görülmektedir. Plazma ile

karbonitrürleme işlemi uygun işlem sıcaklığına göre iki gruba ayrılmaktadır. Burada da yine, 593 °C ötektoidik sıcaklığın altında yapılan işlemlere ferritik plazma karbonitrürleme işlemi, bu sıcaklığın üzerinde uygulanan işleme de ostenitik plazma karbonitrürleme işlemi denilmektedir (Bell ve diğ., 2000).



Şekil 2.4 Fe-N-C üçlü faz diyagramı (Bell ve diğ., 2000)

Sıcaklık ve zaman durumları, yapılar ve oluşan bileşik tabakanın kalınlığı; çalışma gerilimi, akımı, basıncı, karbonitrürlemede kullanılan gazların karışım oranları ve soğutma etkinliğini kapsayan çeşitli plazma işlem parametreleriyle belirlenir. Bir ε- fazlı tabaka elde etmek için, 570 °C'de Fe-N-C üçlü faz diyagramına göre, azot ve karbon konsantrasyonu ε ve ε + α tek ve iki fazlı yapıları ile azot ve karbon içeriğine bağlı olarak ε + δ' ve ε + θ karışımı faz yapılarından oluşan iki farklı bir bileşik tabaka üretir. Yapılan çalışmalar, tek başına ε-faz yapısından oluşan kalın bir bileşik tabaka üretmek için plazmada yüksek N içerikli (% 80-90) bir atmosfere gerek olduğunu göstermiştir. Atmosfere % 1-2 CH₄'ın ilavesi, plazmada yeterli karbon aktivitesi için gereklidir. Ancak CH₄'ın bileşik tabakadaki (θ) kırılğan sementitin oluşumunu da desteklediği görülmüş ve daha sonraki çalışmalarda ortama CO₂ gazı verilerek bu sorun giderilmiştir. Bu nedenle C aktivitesinin kontrolü ve θ oluşumunun bastırılmasında CH₄' dan daha fazla CO₂ ve CO gibi C içerikli gazlar kullanılmaktadır (Bell ve diğ., 2000). Tabaka yapıları üzerindeki işlemlerden sonra yapılacak uygun soğutma işlemi oluşacak yapıyı belirleyen diğer bir unsurdur. Yapılan çalışmalarda plazma karbonitrürleme sonrası soğutma; fırında yavaş soğutma, azot gazı ile soğutma, yağda soğutmayı içine alan çeşitli ölçütlerde soğutmanın yapılmasına izin verir.

Karbonitrürleme sıcaklığında ϵ - faz biçimlenmesi, düşük azot ve yüksek karbon içerikleriyle ilişkilidir. Böyle bir faz oda sıcaklığında kararsızdır ve yavaş soğutma gibi kinetik olarak destekli durumlarda $\delta' + \alpha$ demir içerisinde ayrışacaktır. Yalnız hızlı soğutma durumlarında ϵ - faz tabakası üstün gelerek oda sıcaklığında yapıda kalabilecektir.

2.2.3. Nitrürleme

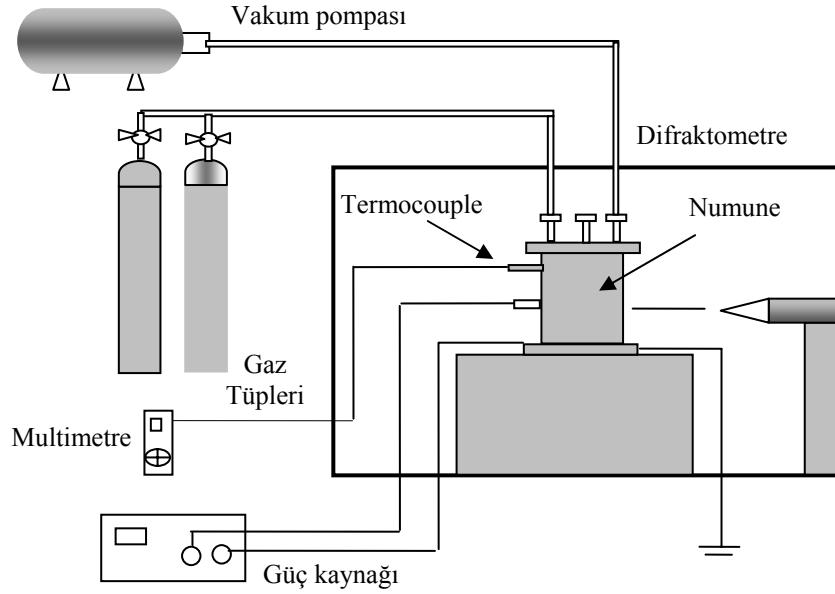
Nitrürleme 500-550 °C aralığında bir sıcaklıkta çelik yüzeyinden içeriye azotun geçirildiği bir yüzey sertleştirme ısıl işlemidir. Bu sıcaklıkta çelik ferritik yapıdadır ve bu yüzden tane boyutunda hiçbir değişiklik yoktur. İşlem diğer yüzey sertleştirme teknikleriyle karşılaştırıldığında çarpılma az olmakta ve boyutsal kontrol ise mükemmel sağlanmaktadır (Chowdhury ve diğ., 1999; Wang ve diğ., 2006). Azot demir içerisinde sınırlı bir çözünürlüğe sahiptir. Fe-N faz diyagramına göre; azotun yaklaşık % 6'ya kadar olan içeriklerde, azot demir ile bir katı eriyik oluşturabilmektedir. Yaklaşık % 6 N oranında Fe_4N bileşiği ve γ bileşiği oluşur (Bell ve diğ., 2000). % 30'dan daha büyük azot içeriklerinde denge reaksiyon ürünü ϵ bileşiği Fe_3N 'dir. γ tabakası (beyaz tabaka olarak bilinir) aşırı gevrekliği yüzünden arzu edilmez. Özel nitrürleme teknikleri kullanılarak γ tabakasının oluşumu minimize edilebilir (Chowdhury ve diğ., 1999).

2.2.3.1 Plazma ile Nitrürleme

Plazma nitrürleme metal yüzey modifikasyon teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle aşınma direncinin ve yorulma dayanımının artırılmasında; demir, alüminyum ve titanyum alaşımlarının anti-korozyonik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır (Karakan ve diğ., 2003; Öztürk ve diğ., 2004). Plazma nitrürleme aynı zamanda çevre açısından oldukça temiz bir işlemdir. Sahip olduğu bu üstün özellikler nedeniyle; imalat sanayi, kesici takımlar, bazı motor parçaları, sıcak ve soğuk iş takımları, makine parçaları, dişliler ve dövme kalıplarının üretimi olmak üzere endüstride geniş bir kullanım alanına sahiptir (Alsaran ve diğ., 2002).

Nitrürlemeden önce tüm numuneler, nitrürleme odası, numune tutucu ve paslanmaz çelik duvar; ark boşalmasını önlemek için kir ve yağdan temizlenir. Nitrürleme işleminde değişik oranlarda argon, azot ve hidrojen gaz karışımları kullanılmaktadır. İşlem; 100 Pa basınç ve 380–650 °C sıcaklık değerlerinde 3-6 saat, % 100 N_2 , % 76 N_2 -% 24 H_2 vb. değişik oranlarda gaz karışımlarında uygulanabilmektedir. % 100 N_2 ortamında yapılan plazma nitrürlemede elde edilen sertlik değerleri, diğer karışımlardan elde edilen sertlik değerinden daha yüksek olmaktadır (Clarke ve diğ., 2005; Sobiecki ve diğ., 2004). Orta karbonlu çeliklerde plazma nitrürleme sonrası 1400 HV_{50g} gibi yüksek sertlik değerlerine ulaşmak mümkündür (Sato ve

diğ., 2003). Plazma nitrüleme sisteminin şematik resmi Şekil 2.4.de görülmektedir (Clarke ve diğ., 2005). Alışlagelmiş yöntemlere göre, oluşan bileşik tabakanın kimyasal bileşiminin kolay kontrol edilebilirliği dışında, daha hızlı bir nitrüleme, daha temiz ve oldukça ekonomik uygulanabilirliği sistemin avantajlarını oluşturmaktadır (Genel ve Demirkol, 2004). Diğer yandan sistemi oluşturan her bir elemanın çok dikkatli çalışma parametrelerini gerektirmesi sistemin dezavantajını oluşturmaktadır.



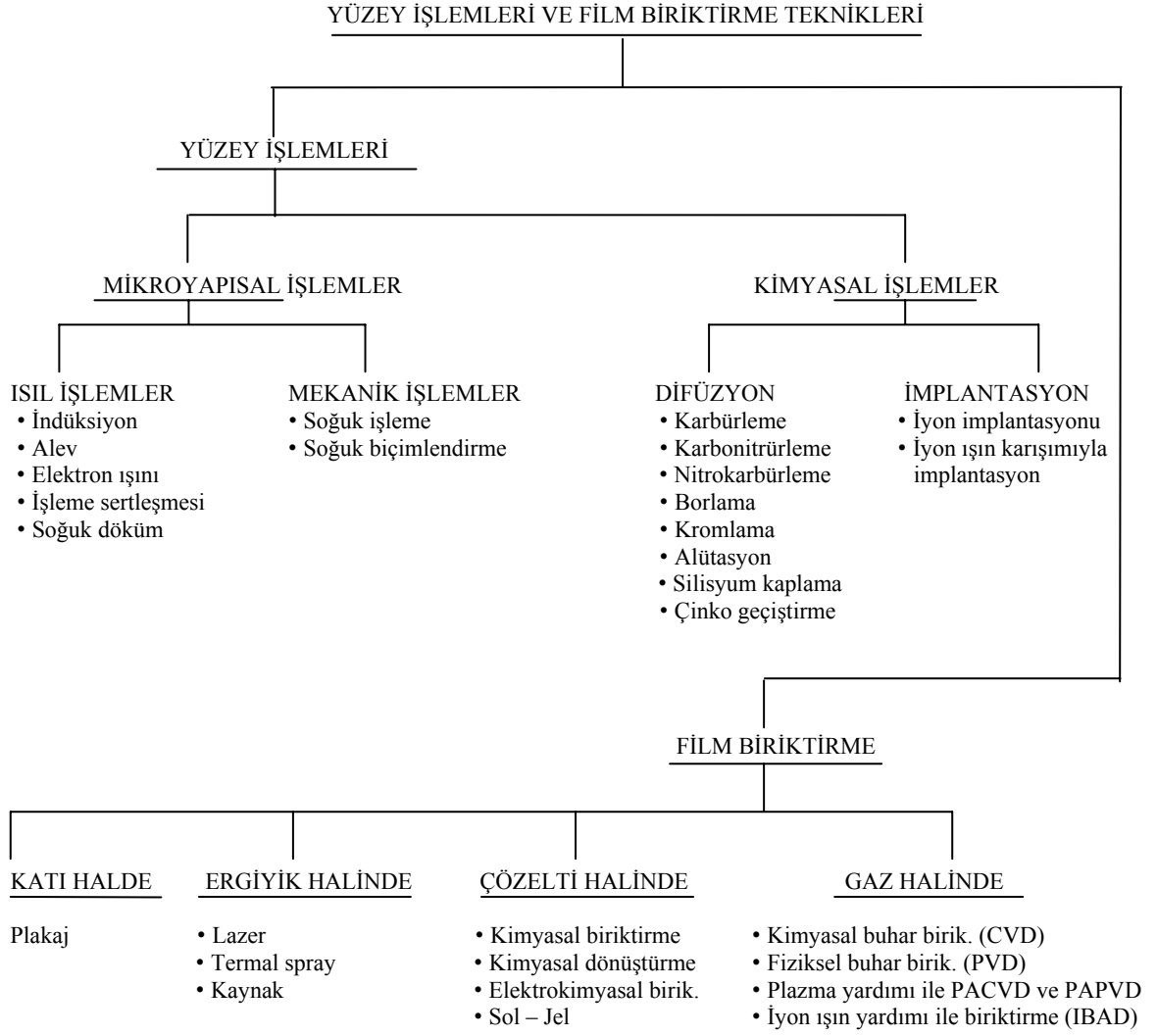
Şekil 2.4. Plazma nitrüleme işleminin şematik resmi (Clarke ve diğ., 2005)

3. İNCE FİLMLERİN TRİBOLOJİSİ

Yüzey özelliklerinin iyileştirilmesinde, Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi, çok sayıda farklı yüzey işlemi ve ince film biriktirme tekniği vardır. Eğer malzeme yüzeyde biriktirilirse, işlem bir kaplama ya da film biriktirme işlemi olarak belirtilir. Malzeme yüzeyinin kimyasal yapısı değiştirilirse, o zaman işlem bir yüzey işlemi olarak adlandırılır. Filmlerin etkinliği (yük taşıma kapasitesi, aşınma direnci ve sürtünme katsayısı) ve yüzey işlemleri özellikle yüzey modifikasyon tekniğine bağlıdır (Chowdhury ve diğ., 1999; Chou ve diğ., 2002; Podgornik ve Vizintin, 2003).

Yüzey işlemlerinin istenilen sonucu vermesi; uygun bir yüzey işlem tekniğinin seçilmesi, fonksiyonel istekler, kolay bulunabilirlik, amaca uygunluk, uyarlanabilirlik ve adhezyon düzeyi vb. pek çok farklı parametrelere bağlıdır. Yüzey işlemleri ve film biriktirme teknikleri baz malzeme ile uyumlu olmalı ve modifiye edilen tabaka istenilen kalınlığı sağlayabilmelidir. Bu nedenle; yüzey sertliğinin yanında yüzey işlemi ve film biriktirme teknikleri için en önemli iki karakteristik parametre, modifiye edilen tabakanın kalınlığı ve çalışma sıcaklığıdır. Geniş bir alanda uygulanan yüzey işlemlerinde; spreycaplamalar için 250-300 HV, nitrülenmiş çelikler için 1000 HV, PVD ve CVD kaplamalar için 3500 HV'ye kadar, elmas benzeri karbür kaplama filmlerinde doğal elmasa yaklaşan sertliğe ulaşılabilmektedir. Tipik olarak modifiye edilen tabaka kalınlıkları nanometre boyutundan milimetreye, biriktirme sıcaklıkları da oda sıcaklığından 1000 °C'ye kadar değişebilmektedir (Podgornik ve Vizintin, 2003).

Tribolojik gereksinimleri karşılamak için işlenmiş ya da kaplanmış yüzeyin; sertlik, elastikiyet, kesme dayanımı, kırılma tokluğu, ısıl genleşme ve adhezyon gibi özelliklere ya da bunların uygun bir kombinasyonuna sahip olması gerekir. Yüzey tasarımında en önemli sorun, istenilen çok sayıda özelliğin eş zamanlı olarak elde edilememesidir. Mevcut malzemelerin çeşitliliği ve teknolojik yeniliklere rağmen, büyük ve değişken yüklerde yüzey tabakalarının daha uzun süre korunması yalnızca özel geliştirilen tabakalarla mümkün olabilmektedir. Bundan başka endüstride ucuz ve kolay elde edilebilir baz malzeme üzerine sert koruyucu filmlerin kaplanması talebinin artması, yeni ileri film ve yüzey mühendisliği teknolojilerinin daha da gelişmesine yol açmıştır. Özel profillere uyan filmlerin tasarım ve uygunluğunda istenilen temel özellikler; kuvvet aktarım mekanizmaları için mikro yapının optimizasyonu, film alt tabaka sistemleri ile ara yüzeyin oluşumu ve niteliği değiştirilmiş yapıların üretilmesini gerektirir.



Şekil 3.1. Çeşitli yüzey işlemleri ve film biriktirme tekniklerinin sınıflandırılması (Podgornik ve Vizintin, 2003).

3.1. Tribolojik İşlemler

Tribolojik işlemler; birbiriyle temasta iken hareket etmekte olan iki farklı yüzeyde yer alır. Zamanın bir fonksiyonu olarak, tribolojik işlem hem geometri, hem malzeme bileşiminde ve hem de sürtünme, aşınma, hız, sıcaklık ve dinamik davranışta değişikliklere neden olur. Tribolojik işlem; aşınma ve karşılıklı çalışan iki farklı yüzeyde ortaya çıkan deformasyon mekanizmaları, makro ve mikro ölçekteki mekanik etkiler, tribokimyasal etkiler ve malzeme transferinin gerçekleştiği oldukça karmaşık bir tekniktir (Kuzucu ve diğ., 1999; Podgornik ve Vizintin, 2003).

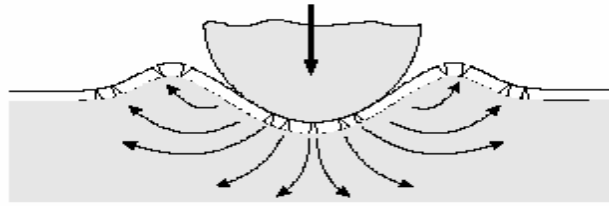
Biri veya ikisi kaplı iki yüzey arasındaki temasta, tribolojik davranışların kontrolü dört ana parametreyle belirlenebilir. Bu parametreler; film sertliği, film kalınlığı, baz malzemenin yüzey pürüzlülüğü ve temas halindeki aşınmış taneciklerin sertlik ve irilikleridir.

3.1.1. Filmlerin Sertliği

Kaplanmış yüzeylerin tribolojik davranışlarına etki eden en önemli parametrelerden biri filmin sertliği ve alt tabaka sertliği ile ilişkisidir. Yumuşak film kullanılması sürtünmenin azaltılmasında avantaj sağlamaktadır (Bull, 1999;). Yumuşak bir yüzey üzerinde biriktirilen sert bir film çizilmeyi önleyerek aşınmayı azaltır. Bu yüzden sert filmler özellikle abrasiv etkili aşındırıcı ortamlarda yararlıdır. Eğer baz malzeme üzerinde, elmas benzeri karbon filmler (DLC) gibi yüksek kesme dayanımlı bir film oluşturulursa, bu yolla düşük sürtünme etkili ve geliştirilmiş aşınma direncine sahip koruyucu sert filmler elde edilebilir (Mills ve Knutsen, 1998; Park ve diğ., 1999; Podgornik ve Vizintin, 2001; Yoon ve diğ., 2002; Podgornik ve Vizintin, 2003; Alsaran ve diğ., 2003; Badisch ve diğ., 2003; Badisch ve diğ., 2004; Su ve diğ., 2004; Hua ve diğ., 2005).

3.1.2. Filmin Kalınlığı

Sert filmin işlevi, yüzeyin üst tabakasını sertleştirerek aşınma etkilerini azaltmak ve kaplanan yüzeyden aşındırıcı yüzeyi ayırmaktır. Ana malzemenin yüzeyi, üzerine etkiyen yükü taşıyabilmeli ve filmi desteklemek için yeteri kadar sert olmalıdır. Baz malzemenin alt tabakası yeteri kadar sert değilse, oluşan film kısa sürede fonksiyonunu kaybeder. Yükleme esnasına, alt tabakanın deformasyon yeteneğinin az ya da çokluğuna göre, oluşan film yükü dağıtır. Film içinde veya film ve ana malzeme ara yüzeyinde artan gerilmeler, malzeme dayanımından daha yüksek değerlere ulaşabilir. Bu durum Şekil 3.2’de görüldüğü gibi, filmde çatlak başlaması ve yayılmasına yol açabilir ve sonuçta koruyucu film işlevini yapamaz (Podgornik ve Vizintin, 2003).

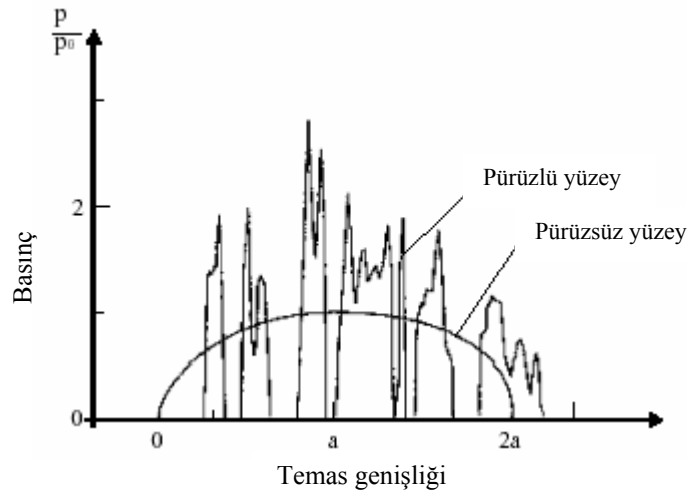


Şekil 3.2. Yumuşak bir baz malzeme üzerinde oluşan sert filmin kırılması (Podgornik ve Vizintin, 2003).

Yük taşımada, yumuşak alt tabakaya yardım edecek filmin kalınlığının artırılması ile bu sorun çözülebilir. Sert filmler karakteristik sütunlu bir yapıya sahip oldukları için; normal bir çatlak, kalın bir filmde yüzeyden içeriye doğru ilerler ve daha sonra çatlak boyu kritik çatlak uzunluğunu aşarak parçanın görevini yapmasını engeller.

3.1.3. Yüzey Pürüzlülüğü

İstenen düzlükte yüzeylere, mühendislik uygulamalarında nadiren ulaşılabilir. Bu yüzden, yüzey pürüzlülüğü her zaman tribolojik davranışlar iyi analiz edilerek oluşturulmalıdır. Bu durum kaplanmış yüzeyler için de geçerlidir. Pürüzlü bir yüzey sert bir filmle kaplandığında, yüzey pürüzlülüğü biriktirme metoduna bağlı olarak bazı değerleri değiştirebilir, ya da aynı kalabilir. Kayma süresince sıklıkla karşı yüzeydeki sert pürüzlerde kazınma meydana gelir ve aşınan parçacıklar bir abrasiv gibi davranarak, sürtünme ve aşınma etkilerini artırır. Pürüzlü sert yüzeylerin pürüzlü sert film üzerinde hareket ettirilmesi, bu durumda geniş elastik veya plastik deformasyonların olmaması nedeniyle, azalan bir temas alanı ve oldukça yüksek bir temas gerilmesine yol açar. Şekil 3.3’de pürüzlü ve pürüzsüz temas yüzeyleri için, temas basınç dağılımı verilmiştir.



Şekil 3.3. Düz ve pürüzlü temas yüzeyleri için temas basınç dağılımı (Sainsot ve diğ., 1990)

Şekil 3.3.’de; yüzey pürüzlülüklerinin, aralıklı temas bölgeleri göstermesinin, üç kata kadar ulaşan yüksek yerel basınç değerleri doğurabildikleri kolaylıkla görülmektedir. Yüksek temas gerilmesine ve filmin aşınma etkilerine yeterli bir dayanıklılık göstermesi gerektiğinden, yük taşımak için sert bir yüzey tabakasına gereksinim vardır. Diğer yandan, çoğu kez ince sert tabakalarda kalıntı gerilmeler, üretim süreçlerinin bir sonucu olarak meydana gelmektedir. Bu kalıntı gerilmeler, daha sonra parçanın kullanımı sırasında, ortaya çıkan başka gerilmelerle birleşerek parçada istenmeyen olumsuz gelişme ve hasarlara yol açabilir (Yıldırım, 1989).

Diğer yandan oluşan tabakalar pürüzsüz ve düz bir yüzey üzerine biriktirilirse, kalıntı gerilmeler genellikle ince filmlerin aşınma özelliklerini geliştirir; kenarlı, keskin köşeli ve simetrik olmayan makine parçaları için büyük bir problem oluşturmaz. Ancak bu geometrilere, artık gerilme uzama ve ara yüzey çatlağını artıran kesme kuvvetini harekete geçirebilir.

Kaplanan bir yüzeyde, kaplama katı çalışma süresince üzerine yerleşecek kalıntı gerilmelerin ilave yükünün üstesinden gelir. Fakat bu geometrik düzensizliklerin etkisiyle belli noktalarda yoğunlaşan kalıntı gerilmeler, istenmeyen gerilme yığılmalarına yol açabilir (Kim ve diğ., 2003; Hua ve diğ., 2005). Bu yüzden, film tabakasının zamanla bozunmasını önleyecek miktarda bir minimum yüzey pürüzlülüğünün olması gerekir.

Tribolojik koşullar altında, kaplanmış bir yüzeyin bozunması, alışlagelmiş aşınma etkileriyle nadiren gerçekleşir. Bozunma; ancak alt tabakadan filmin ayrılması ile (adhesiv bozunma) filmin kırılmasıyla, ya da alt tabaka kırılmasıyla (ana malzeme bozunması) olmaktadır. Her durumda, içte ya da film yakınında çatlak başlama ve yayılması bozunmaya neden olur (Podgornik ve Vizintin, 2003). Kırılgan yapılarda, iç kuvvetler tarafından üretilen gerilmeler belli bir düzeye ulaştığında, kusurlardan çatlaklar yayılabilir.

Film, ana malzeme Young modülü oranı;

$$E_f / E_s = 2 \quad (3.1)$$

$$h/a \quad (3.2)$$

$$\sigma_{yf} / \sigma_{ys} \quad (3.3)$$

Sürtünme katsayısının düşük değerlerinde ($\mu \sim 0,25$) çok ince filmler için alt tabakada kaplamanın ana malzemenin akma mukavemetine olan oranı dikkate alınmadan yerel uzama ortaya çıkar.

Kalın filmler sert tabakalar üzerinde biriktirildiğinde, uzama filmde de görülebilir. Ancak akma mukavemet oranlarına ve film kalınlıklarına bağlı olarak uzama ara yüzeyde de başlayabilmektedir. Alt tabakada ya da filmde uzamanın görülme olasılığı, sürtünme katsayısının artmasıyla artma göstermez. Oransal olarak en çok uzama kalın filmler ve yumuşak ana malzemelerin eşleşmesinde ortaya çıkar. Bu yüzden yüzeyde mikro çatlak oluşumu gibi başlangıç kusurları ve ara yüzeyde ise aşınmaya yol açan gerilme yoğunlaşma farklılıkları oluşabilir (Podgornik ve Vizintin, 2003).

3.2. Dupleks İşlemler

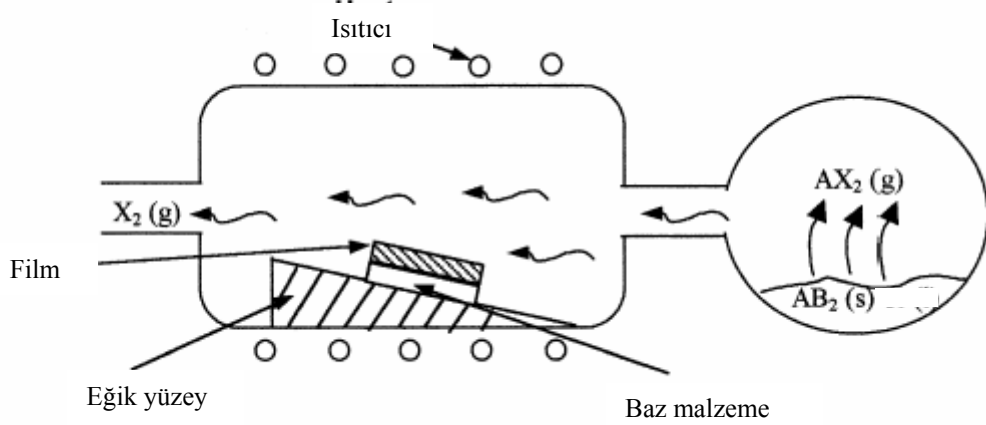
Malzemelerde aşınma dayanımı, yorulma dayanımı ve yüksek korozyon direnci; mekanik, ısı, termokimyasal ve ince film biriktirme yöntemlerinden biri ya da birkaçı farklı işlem kullanılarak elde edilebilir. Değişken yükler altında metallerin direnci, pek çok durumda gerektiği kadar yüksek değildir. Yorulma ve aşınma direncinin geliştirilmesi açısından makine elemanlarının alışlagelmiş tasarımında etkili olan karbürleme veya nitrürleme işlemleri, çok iyi yük taşıma kapasitesinin yanı sıra; yüksek yorulma ve eğilme mukavemeti, yüksek sıcaklık dayanımı, düşük aşınma ve sürtünme yüzeyleri gibi kombine özelliklerin gereklerini tam olarak

karşılayamamaktadır. Diğer taraftan sert aşınma dirençli filmler, genellikle kırılgan ve ince oldukları için; ana malzeme, uygulanan yükün büyük bir bölümünü taşımak zorunda kalır. Alt tabaka yeterli mukavemete sahip değilse, oluşacak plastik deformasyon ince filmin bozunmasına yol açabilir (Holmberg ve diğ., 2003; He ve diğ., 2005).

Plazma nitrürleme ve sert kaplamanın oluşturduğu dubleks işlem, makine elemanlarının tribolojik özelliklerini geliştirmek için büyük bir potansiyele sahiptir (Podgornik ve Vizintin, 2003). Plazma nitrürleme, ince bir ϵ bileşik tabakasını bir difüzyon bölgesi üzerinde oluşturduğunda ana malzemede bir sertlik artışı sağlar. Artan sertlik, kaplamayı etkili bir biçimde destekleyen alt tabakanın yük taşıma kapasitesini iyileştirir. Bundan başka alt tabakada N ve Ti, plazma nitrürleme ara tabakasında difüzyon yolu boyunca kaplama ana malzemesinin mikroyapısını, dolayısı ile adhezyonu geliştirmektedir (Podgornik ve diğ., 2000). Düşük alaşımlı çeliklerde, termokimyasal işlem ya da sert kaplamalarla elde edilemeyen iyi tribolojik özellikler ve yük taşıma kapasitelerinin iyileştirilmesi işlemi, plazma nitrürleme yöntemi ve ana malzeme yüzeyinde ince sert bir film tabakasının oluşturulmasıyla elde edilebilmektedir.

4. KİMYASAL BUHAR BİRİKTİRME YÖNTEMİ (CVD)

Film ve kaplamaların kimyasal buhar biriktirmesi (CVD); kararlı bir katı ürünün biçimlendirilmesinden sonra; malzemenin ısı, ışık ve plazma ortamında aktiveleştirilen gaz tepkimeleri sonucu ortaya çıkan kimyasal reaksiyonlarla yapılan kaplama tekniklerini içerir. Bu atomik biriktirme yöntemiyle atomik ya da nano boyutta yapısal kontrolle, oldukça yüksek saflıkta kaplama katları elde edilebilmektedir. Bu yöntem ayrıca; tek ve çok katlı tabakası olan, kompozit yapılı ve nano boyutlu fonksiyonel kaplama malzemelerinin düşük sıcaklıklarında üretilmesine olanak sağlar. Üstelik diğer kaplama tekniklerinden farklı olarak CVD yöntemi, karmaşık şekilli makine parçalarının ve nano boyutlu parçaların üretimi ile, C-C kompozit üretimi ve seramik matrisli kompozit (CMC_s) üretimine de izin verir. CVD' nin çok yönlülüğü, onun kullanımının hızla yayılmasına yol açmış ve ince film şeklindeki kaplamaların yapılmasında ana üretim yöntemlerinden biri olmasını sağlamıştır. Mikroelektronik çipler, optoelektronik çipler, enerji dönüştürücü gereçler; dielektrikler için (Si, Ge, Si_{1-x}Ge_x) refrakter seramik malzemeler (SiO₂, AlN, Si₃N₄), sert kaplamalar ve korozyon dayanımını artıran, oksidasyonu ya da oksijen gazının difüzyonunu engellemek için kullanılan SiC, TiN, TiB₂, Al₂O₃, BN, MoSi₂, Zr₂O₂ vb. malzemelerin kaplanması, CVD'nin temel uygulama alanlarındandır. CVD yöntemi öncelikle; Ti, Nb, Zr ve Ta gibi yüksek saflıkta ergiyebilen metallerin üretimi için pirometalurji veya ekstraktif metalurji teknikleriyle bu metallerin ekonomik olarak üretimleri için geliştirilmiştir. CVD'nin geniş çaplı uygulaması son kırk yıl içerisinde gerçekleşmiştir. Son yıllarda CVD teknolojisi, kaplamacılık açısından önemli ve yeni bir boyut kazanmıştır. Kaplamacılığa yönelik böyle bir gelişme, yarı iletken ince filmlerin bu yolla üretimini, önemli bir teknoloji haline getirmiştir. Kaplanan yüzeyler; aşınma, korozyon, oksitlenme, kimyasal reaksiyonlar, ısıl şoklar gibi etkilere karşı iyi bir koruyuculuk görevleri üstlenebilmektedir. Bu kaplamalar; B, C, N, O, Si ve S geçirilmesi ile oluşan borürler, karbürler, nitrürler, oksitler, silisidler ve sülfürleri içerir. CVD yöntemi; uzay, savunma ve mühendislik alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kaplamaların, pek çok yeni teknoloji ürünü malzemeyi içine alacak şekilde kullanılması için çalışmalar devam etmektedir. Kısaca CVD teknolojisinin şu anki uygulaması; ekstraktif ve pirometalurji üretim teknikleri, elektronik ve optoelektronik malzemelerin üretimi, yüzey modifikasyon kaplamalarının hazırlanması, seramik lifler ve seramik matrisli kompozitlerin (CMC_s) özelliklerinin geliştirilmesi gibi dört farklı kategoride toplanabilir. CVD yöntemi kullanılarak yapılan kaplamanın şematik resmi Şekil 4.1'de görülmektedir.



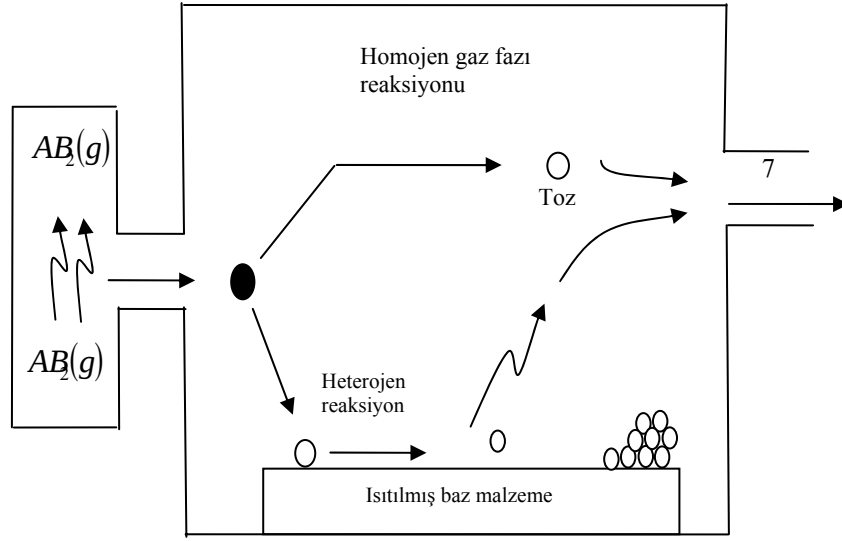
Şekil 4.1 CVD kaplamanın şematik gösterimi (Choy, 2003)

4.1. CVD İşlem Parametreleri

Sıcaklık, basınç, tepkimeye giren gaz yoğunluğu ve toplam gaz akışı gibi ana CVD parametreleri; doğru kontrol ve izlenmeyi gerektirir. CVD; ısıl bozunma, oksidasyon, redüksiyon, hidroliz ya da bunların bir kombinasyonunu kapsayan kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşmaktadır. Gerçekte kimyasal reaksiyon, gerekli olan sıcaklık aralığını belirler. Bu yüzden kaplama işleminde sıcaklık, hem termodinamik hem de kaplama işleminin kinetiği açısından ayrı bir öneme sahiptir. İşlem sıcaklığı, ana malzeme üzerinde oluşan reaksiyonların işlerliğini sağlayacak şekilde seçilmeli ve sürdürülmelidir.

Elde mevcut gaz fazında oluşturulamayan bir mikroyapının ve uygun tane boyutunun ana malzeme üzerinde oluşabilmesi için gerekli reaksiyonlar, önlem alınarak başarıyla gerçekleştirilebilmeli ve sürdürülebilmelidir. Sıcaklıktaki küçük değişiklikler (örneğin $\pm 25^\circ\text{C}$) reaksiyonu ve onun kinetiğini değiştirebilmektedir. Tepkime gazlarının ana malzeme yüzeyine ulaşma yeteneği ve onun reaksiyon sıcaklığı kaplamanın üniform olarak elde edilmesinde oldukça etkilidir (West ve diğ., 1987; Kessler ve diğ., 1999; Badisch ve diğ., 2003; Kajikawa ve Noda, 2005; Dubar ve diğ., 2005). Ana malzeme yüzeyine tepkime gazlarının taşınması; gazın kısmi basıncı, toplam reaktör basıncı, reaktörün boyutu ve ana malzemenin kimyasal bileşimiyle kontrol edilebilir.

CVD atmosfer basıncından başlayarak daha yüksek basınçlara kadar değişen basınç değerlerinde yapılabilmektedir. Ana malzemenin sıcaklığı, gaz akış oranı, reaktör geometrisi ve gaz viskozitesi gibi parametreler, sınır tabakada kütle taşınım olayını belirler. Bu değişkenler, biriktirilen kaplamaların yapı ve bileşimini etkiler. CVD reaktörlerinde büyüme oranını ve film tabakasının bileşimindeki hidrodinamik bağımlılığı azaltmak için, filmlerin karakteristiklerini belirlemede çok önemli olan kimyasal reaksiyonlar, 1 atmosfer toplam gaz basıncında yapılmaktadır (Choy, 2003).



Şekil 4.2. CVD yönteminde kaplama işlemi süresince önemli işlem basamaklarının şematik gösterimi (Choy, 2003)

CVD işlemi; termodinamik, kimyasal kinetik, kütle taşınım işlemlerinden oluşur. Ancak CVD kararsız (non-equilibrium) reaksiyonlar ile karmaşık bir kimyasal yöntemdir. CVD'nin kinetiği, ana malzemenin üzerinde, gaz fazında gerçekleşen kimyasal reaksiyonları içerir.

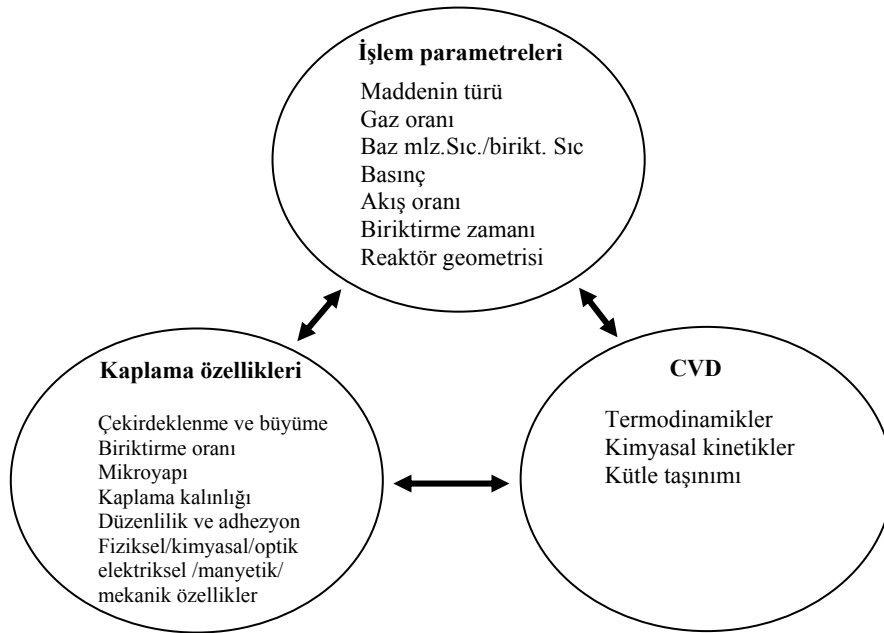
4.2. Kimyasal Maddeler ve Kimyasal Reaksiyonlar

CVD işlemlerinde yaygın olarak kullanılan maddeler; metaller, metal hidritler, halojenler, halojenhidritler ve metal organik bileşiklerdir. Genellikle, metal tuzları ve halojenhidritler benzer hidritlerden daha karardır. Bu metal organik maddeler, halojenler ve hidritlerden daha düşük reaksiyon ve işlem sıcaklıklarında uygulanabilme ve daha az zehirli olma gibi avantajlara sahiptir. Metal organikler sahip oldukları bu avantajlar nedeniyle, CVD işlemlerinde yaygın olarak; özellikle süper iletken ve yarı iletken kaplamaların üretilmesinde kullanım alanına sahiptir. CVD işleminde kullanılan temel kimyasal maddeler, kimyasal reaksiyonlarla ilişkili reaksiyon türleri izlenerek sınıflandırılabilir. Bunlar; ısı ayrışma (piroliz), indirgenme, oksidasyon, hidroliz, nitrürasyon, oransız sentezdir.

4.3. CVD' de İşlem Mikro Yapı ve Özellik İlişkileri

Biriktirme işlemi ve işlem parametreleri, sırasıyla mikroyapıyı ve kaplamanın özelliklerini belirleyen çekirdeği etkiler. Çekirdeklenme ve büyüme kinetiği, biriktirme sıcaklığı ve aşırı doyma (saturation) tarafından etkilenirken, bu aşırı doyma da reaktördeki bölgesel basınç ve toplam basınç tarafından etkilenmektedir. Sıcaklıktaki artma, ana malzeme yüzeyinden içeriye doğru geçirilen atomların yüzeydeki hareketliliğini artırır. Şekil 4.3'de

CVD işlemi ve kaplama özellikleri ile işlem parametrelerinin ilişkileri şematik olarak gösterilmiştir. CVD işlemi süresince kimyasal reaksiyonlar, gaz fazında veya ısıtılan ana malzemenin yüzeye yakın bölgesinde gerçekleşmektedir. Reaksiyonların gaz fazında gerçekleşmesi, gaz fazından katının homojen çekirdeklenmesini sağlayabilir. Halbuki homojen çekirdeklenme, yüksek biriktirme sıcaklıklarında ve aşırı doygunluk durumunda oluşmakta ve çok ince toz biçiminde kararlı katı reaksiyon ürünü oluşumuyla sonuçlanmaktadır. Bu tür biçimlenme tekniğinden çok ince taneli tozların üretilmesinde yararlanılmaktadır. Ana malzemenin yüzeye yakın bölgesinde oluşan heterojen reaksiyonlar, malzeme yüzeyinde hareketli atomların malzemeye geçişini kolaylaştırır.



Şekil 4.3 CVD, kaplama özellikleri ve işlem parametrelerinin ilişkisi (Choy, 2003)

4.4. CVD Yönteminin Değişik Türleri

Isıl aktive edilmiş CVD (TACVD) olarak belirtilir. TACVD alışlagelmiş ve yaygın kullanılan CVD yöntemi olup, bu yöntem kimyasal reaksiyonları harekete geçirmekte ısı enerjisini kullanmaktadır. Ancak CVD reaksiyonları farklı enerji kaynakları da kullanılarak başlatılabilmektedir. Bu tür CVD yöntemleri, geliştirilmiş plazma CVD (PECVD) ve foto-yardımlı CVD (PACVD) yöntemleri olup; bunların uygulanmasında, kimyasal reaksiyonların harekete geçmesi için sırasıyla plazma ve ışık kullanılmaktadır (Park ve diğ., 2003; Stoiber ve diğ., 2003 a,b; Badisch ve diğ., 2003).

4.4.1. Isıl Aktive Edilen CVD (TACVD)

Isıl aktive edilen CVD, inorganik kimyasal maddelerin kullanıldığı reaktörlerde kimyasal reaksiyonların ısı enerjisiyle başlatıldığı geleneksel bir CVD işlemidir. Bu işlem; uygulanan basınca bağlı olarak farklılık göstererek, atmosferik basınç altına yapılan CVD (APCVD), düşük basınçlı CVD (LPCVD), ya da aşırı yüksek vakumlu CVD (UHCVD)'yi oluşturmaktadır.

Isıl aktive edilen CVD, ince film kaplama uygulamalarında, düşük işlem sıcaklıklarından yüksek işlem sıcaklıklarına kadar değişen geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu nedenle TACVD yöntemi, teknoloji ve endüstri açısından büyük önem taşır. Kullanım alanı olarak, elektrik ve elektronik endüstrisinde ince kaplama katı üretimi başta olmak üzere, koruyucu kaplama uygulamaları ile seramik fiberler ve seramik matrisli kompozitler gibi kompozit malzemelerin üretim uygulamalarında kullanılmaktadır.

Yöntem W, Mo, Pt, Al, Cu gibi metalik ince tabakaların korozyondan korunmasına ek olarak; optik araçlar ve optoelektronik, mikroelektronik cihazların üretiminde de önemli bir yere sahiptir. Alışıl gelmiş CVD işlemleri, oldukça yüksek bir çalışma sıcaklığında gerçekleşir. Bu nedenle fonksiyonel uygulamalar için; Al, Cu ve Ni gibi metalik filmler, düşük işlem sıcaklıkları nedeniyle, püskürtülerek ya da elektrokaplama tekniği kullanılarak oluşturulabilir. Isıl aktive edilen CVD, W ve Mo gibi yüksek sıcaklıklara dayanıklı ve ergime sıcaklıkları oldukça yüksek olan metallerin yüzeye kaplanmasında kullanılmaktadır.



Çok ince olan bu volfram ve molibden katları, karbon ve oksijenin geçişini engellemek için 450 °C'nin üzerinde bir sıcaklıkta ısı aktive edilen CVD kullanılarak biriktirilebilmektedir. Molibden, güçlü lazer yansıtıcıları ve güneş kolektörleri için kaplama katlarının üretimlerinde de kullanılmaktadır.

CVD, geleneksel metalurjik işlemler kullanılarak elde edilmesi zor olan biçimlendirilebilir W kaplama filmlerinin yüksek saflıkta üretilebilmesine olanak tanımaktadır. Volfram filmler, indirgenmiş basınçta H₂ içinde volfram tuzunun (WF₆) redüksiyonu ile biriktirilebilir ve bu da hidrojenin çok güçlü bir redüksiyon gazı olması nedeniyle, (WF₆)'un redüksiyonu ~ 550 °C gibi düşük bir sıcaklıkta gerçekleşmektedir (Choy, 2003; Yıldırım, 1974).



4.4.2. Plazma Zenginleştirilmiş CVD (PECVD)

4.4.2.1. İşlem Prensipleri

Plazma zenginleştirilmiş CVD (PECVD), akkor boşalma kimyasal buhar biriktirme olarak da bilinir. Bu yöntemde, düşük bir işlem sıcaklığında istenilen özellikte bir kaplama katı üretebilmek için plazma oluşturan elektron enerjisi kullanır. Ortamın vakumla azaltılan gaz basıncında ($< 1.3 \cdot 10^{-2}$ bar) oldukça yüksek bir gerilimde elektriksel güç sağlanması, elektronlar ve iyonların oluşturduğu bir plazma boşalması yaratır ve gazın bozunmasına yol açar. Buhar tepkimeleri iyonize olur ve elektron çarpmasıyla ayrışır. Bu nedenle kimyasal olarak aktif iyonlar ve heterojen kimyasal reaksiyonlar sonucunda, ısıtılan ana malzeme yüzeyinin yakınına ulaşan atom ya da bileşikler, ince kaplama katını üretir. Basınca bağlı akkor boşalma işleminde, buhar tepkimelerinin sıcaklığı oda sıcaklığında olabilirken, elektronların sıcaklığı 20000 °K veya daha yüksek olabilmektedir.

4.4.3. Işık Etkili CVD (PACVD)

Işık etkili kimyasal buhar biriktirme (PACVD), ana malzeme sıcaklığını artırmadan ışık enerjisinin absorpsiyonuna bağlı olan bir yöntemdir. Bu yöntemle, gaz fazında ve/veya malzeme yüzeyinde kimyasal bileşiklerin ısıl ayrışmaları söz konusudur. Ayrışan ara ürünler, kaplama oluşumu için ana malzeme yüzeyinde heterojen kimyasal reaksiyonlara girer. PACVD işlemi atmosfer basıncında veya 0.01–1 bar gibi düşük basınçlarda gerçekleştirilebilir. Düşük çalışma sıcaklığına sahip olması, belli ve seçilmiş bir alanda biriktirme veya desenli film tabakalarının elde edilebilmesi, radyasyon etkilerinin yok denecek kadar az olması ve istenmeyen reaksiyonlar azaltılarak film özelliklerinin daha iyi kontrol edilebilmesi yöntemin avantajlarıdır.

4.4.4. Metal Organik Kimyasal Buhar Biriktirme (MOCVD)

Metal organik kimyasal buhar biriktirme (MOCVD), bileşik halde metal organiklerin kullanılmasına göre sınıflandırılabilen CVD'nin bir türüdür. Organik köklere bağlı metal atomlarını içeren bileşikler metal organikler olarak bilinir. Bir veya daha çok metal-karbon kovalent bağa sahip bileşikler, organometalikler olarak ifade edilirler. MOCVD; amorf, epitaksiyal ve polikristalli kaplamaların üretiminde kullanılmaktadır. Metal organik veya organometalik maddeler genellikle piroliz veya ayrışma reaksiyonlarına uğrar. Genelde metalorganikler ve organometalik maddeler: tuzlar, hidritler veya halohidritlerden daha düşük ayrışma veya piroliz sıcaklıklarına sahiptir. Bu nedenle MOCVD işlemi, genellikle tuzlar ve hidritler kullanılarak, geleneksel CVD yönteminden daha düşük bir kaplama sıcaklığında

gerçekleştirilebilir. 500 °C'nin altındaki kaplama sıcaklıklarında uygulanan MOCVD ve OMCVD işlemlerinde ise, reaksiyon kinetik olarak sınırlanmaktadır.

4.5. Endüstride CVD'nin Kullanılması

4.5.1. Sementit Karbür Takım Endüstrisinde CVD Kullanımı

Isıl aktive edilmiş CVD yöntemi kullanılarak, oldukça yüksek çalışma sıcaklıklarına karşı direnç elde edilebilmekte ve bu yöntemle yüksek sıcaklık mukavemetine sahip kobalt bağlı volfram kaplama katı üretilmektedir.

CVD yöntemi kullanılarak sementit karbür takımların üzerine TiC'ün kaplama uygulaması her geçen gün sürekli olarak artmaktadır. Son yıllarda, CVD yöntemiyle kaplanmış sementit karbür takımların toplam kaplamalar arasındaki payının % 90'ın üzerinde bulunduğu tahmin edilmektedir. Al_2O_3 , TiN, TiC gibi seramik kaplamada kullanılan malzemeler; sementit karbür takımlarda aşınma, korozyon ve oksidasyona etkilerine karşı uygun koruyucu kaplamalar olarak kullanılmaktadır. TiN, TiC ve Ti(C,N) ve Al_2O_3 sırasıyla $TiCl_4/NH_3/N_2$, $TiCl_4/CH_4/H_2$, $AlCl_3/CO_2/H_2$ gazlarının karışımı kullanılarak geçirtilmektedir. Bunlara ek olarak TiN, TiC, CrC ve TiB_2 gibi seramik kaplamalar; taşıyıcılar, supaplar ve lüleler gibi değişik makine elemanlarının tribolojik özelliklerini geliştirme uygulamalarında kullanılmaktadır (Choy, 2003).

4.5.2. Korozyona Karşı Direnç Uygulamaları

TiB_2 gibi borürler özellikle sıvı alüminyum gibi ergimiş durumdaki metallere dirençlidir ve metallerin buharlarından potaları korumak için yaygın olarak kullanılmaktadır. TiB_2 kaplama genellikle $TiCl_4/BCl_3/H_2$ 'nin bir karışımı kullanılarak biriktirilir.

Korozyon dirençleri düşük olmasına rağmen karbürler; sıvı metallere, sülfürik asit, deniz suyu ve endüstriyel atıklara karşı iyi bir dirence sahiptir (Ürgen ve Çakır, 1997; Liu ve Chang, 1997; Menthe ve Rie, 1999; Lee ve diğ., 2003). Örneğin krom karbür, pasif tabaka oluşturarak metale çok iyi bir korozyon direnci kazandırdığından, yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. SiC kaplı molibdenli çelikten üretilen ısı pompaları 830–1130 °C'de oksitleyici bir atmosferde yüksek sıcaklık korozyonuna karşı iyi bir koruma sağlayabilmektedir (Choy, 2003).

BN gibi nitrürler, en iyi korozyon dirençli kaplama malzemelerinden biridir ve koruyucu kaplama malzemesi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle $MoSi_2$ silisidler, 1900 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda, aşırı oksidasyon etkilerinden silisidleri koruyan oksitlere bağlı ince koruyucu tabaka oluşumu ile iyi bir yüksek sıcaklık oksidasyon direnci sağlar. Bu yüzden molibden silisid ($MoSi_2$); CO_2 , SO_2 ve N_2O gibi korozif etkili gaz atmosfere maruz makine parçaları için, yüksek sıcaklık korozyonuna karşı iyi bir koruyucu kaplama görevi

üstlenmektedir. MoSi_2 ; 650–950 °C’de $\text{MoCl}_5/\text{SiH}_4$ veya 250–300 °C’de $\text{MoF}_6/\text{SiH}_4$ ’in karışımlarıyla, düşük basınç ortamında CVD kullanılarak biriktirilebilir (West ve Beeson, 1987).

Al_2O_3 ve SiO_2 gibi oksitler, karbonlu çelikleri yüksek sıcaklıklarda oksidasyondan ve paslanmaz çelikleri de 1000 °C’ye kadar olan çalışma sıcaklıklarında CO_2 gibi korozyif ortamlardan etkin bir koruma sağlamak için yaygın bir kullanıma sahiptir (Bennett ve diğ., 1982).

4.5.3. Tribolojik Uygulamalar İçin Kompozit Kaplamalar

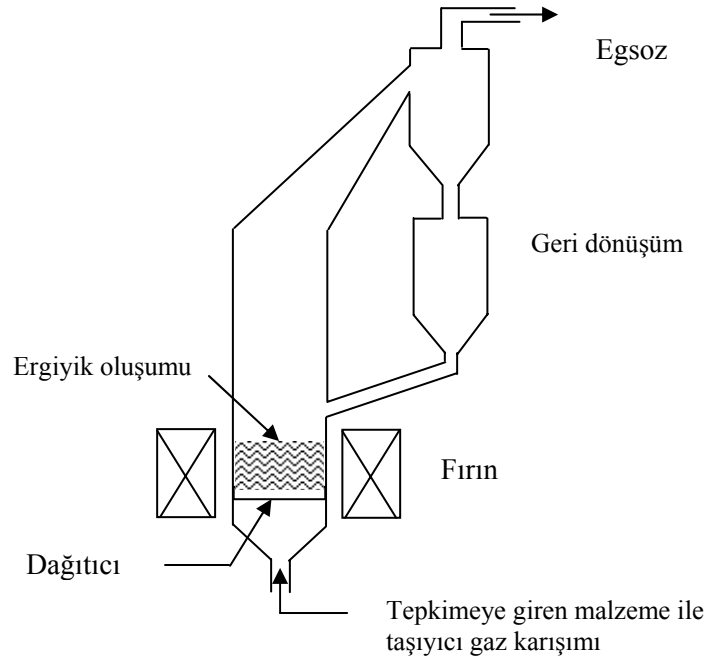
Tribolojik uygulamalar için kompozit kaplamalar, CVD işlemi süresince farklı toz ve taneciklerin birlikte biriktirilmesiyle kompozit kaplamalar yapılabilir. Toz, kaplama süresince gaz karışımı içine sevk edilir veya homojen gaz reaksiyonlarından yararlanarak kaplama yapılır. Örneğin tribolojik uygulamalar, alüminyum gibi sünek bir matriste silisyum karbür gibi sert taneciklerin katkısını (Bennett ve diğ., 1982), metalleri korozyonik etkilere korumak için de metal yüzeyinde oluşturulan koruyucu oksit şeklindeki tabakaları kapsar (Choy, 2003).

4.5.4. Biomedikal Uygulamalar

İzotropik karbon, biyolojik açıdan pasif bir davranış sergiler. Düşük yoğunluğu ($2,19 \text{ g/cm}^3$) ve yüksek kopma gerilmesi (% 1,2) değerleriyle izotropik karbon; CVD kalp kapakçıkları ve ısıtma protezleri gibi tıbbi gereçlerin üretiminde önemli bir karbon biriktirme tekniğidir. İzotropik karbon bir hidrokarbonun, örneğin metanın, genellikle 1200-1500 °C’de gerçekleştirilen pirolizi sonucunda yüzeyde biriktirilmektedir.

4.5.5. Nükleer Uygulamalar

Nükleer uygulamalar TiB_2 , TiC ve B_4C gibi düşük atom numaralı kimyasal açıdan pasif refrakter malzemeler, ısıtma donanımlarını kaplamak için kullanılmaktadır. Örneğin TiB_2 ve B_4C , reaktörün dış duvar kaplamasında kullanım alanı bulmuştur (Choy, 2003). CVD nükleer yakıt taneciklerinin (U-235, U-233) kaplamasında büyük değer taşımaktadır. Yakıt taneciklerinin karbonla kaplanması da CVD işlemiyle yapılmaktadır. Kaplanacak yüzeylere 1350 °C’de; metan (CH_4), etan (C_2H_6) ve propan (C_3H_8) gibi bir hidrokarbonun ayrışmasıyla karbon biriktirilmektedir.



Şekil 4.4 Taneciklerin kaplanmasında kullanılan CVD reaktörünün şematik görünümü (Choy, 2003).

4.5.6. Seramik Koruyucu Kaplamalar

CVD'nin bir diğer uygulaması; makine parçalarının difüzyon, aşınma, sürtünme, oksidasyon ve korozyon etkilerinden korumak için SiC, TiC, B₄C, TiN, BN, Si₃N₄, TiB₂, MoSi ve Al₂O₃ gibi kalın seramik kaplamalarla kaplanmasıdır. CVD yöntemi, çok sayıda makine elemanının kaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Makine parçalarının yüzeylerinin seramikle kaplanmasında fiziksel buhar biriktirme PVD ve plazma sprej gibi başka koruyucu kaplama yöntemleri de vardır. Ancak bunlardan plazma sprej; mikroçatlaklar, yüzey pürüzlülüğü ve gözenekliliğin yüksek olduğu bir yapının ortaya çıkmasına yol açmaktadır.

Kalın kaplama, aşınma ve korozyona karşı yeterli korumayı sağlamak için gereklidir. PVD yöntemi, çalışma koşulları açısından sınırlayıcı özellikler gösteren bir kaplama işlemidir. Bu nedenle PVD yöntemiyle; karmaşık şekilli parçaların üzerinde düzgün bir kaplama katı oluşturabilmek için, işlem süresince dönen bir ana malzeme ve çoklu biriktirme hedef noktalarının kullanılmasını gerektirir. CVD'de böyle bir sınırlama yoktur. CVD yöntemi kullanılarak seramik kaplamaların üretilmesi, kaplama katının iyi bir şekilde yüzeye tutunabilmesi için yüksek sıcaklık değerlerinde çalışmayı gerektirir. Kaplama katının iyi olması ve çalışma ortamlarına uygunluğu; ısı, kimyasal korozyon, difüzyon, aşınma ve abrasyon direnci gibi özelliklerin geliştirilebilmesi için önemlidir. Ancak yöntemde çalışma sıcaklığının yüksek olması, sıcaklığa duyarlı olan ana malzeme ve makine parçalarında CVD'nin kullanılmasını sınırlamaktadır. Örneğin ısıl aktiviteli CVD kullanılarak yüksek hız çeliğinden

üretileen kesici takımların üzerinde; kalın, sert, aşınma direnci yüksek kaplamaların oluşturulması, bu çelikler düşük bir ostenitleme sıcaklığına (450-550 °C) sahip oldukları için daha az uygundur. TiC ve TiN gibi koruyucu kaplamaların CVD yöntemi kullanılarak biriktirilmesi çeliklerin büyük bölümünün temperleme sıcaklığının üzerinde olan yüksek çalışma sıcaklıklarını (> 800 °C) gerektirir. Bu sıcaklık değeri çelik malzemenin yumuşamasına yol açar, ana malzeme boyutlarının değışmesine ve deformasyona neden olabilecek yeniden bir sertleşme işleminin zorunlu olarak yapılmasını gerektirir ve üretim maliyetini artırır. Plazma ile yapılan CVD ve metalorganik CVD gibi diğer CVD yöntemleri; düşük biriktirme sıcaklıklarında çalışılması nedeniyle, takım çeliğinden yapılmış ana malzemeler bozulmadan, bunların üzerlerine yüksek kalitede seramik koruyucu kaplamalar yapılabilir. CVD yöntemlerinin üretim maliyetleri diğer kaplama tekniklerine kıyasla oldukça yüksektir. Bu nedenle, günümüz üretim teknolojisinde PVD gibi düşük sıcaklıkta uygulanan daha ucuz kaplama yöntemleri (< 450 °C) tercih edilmektedir.

4.5.7. Difüzyon Kaplaması

Türbin kanatlarının iç soğutma kanalları ile dış yüzeylerinde; kanatların üzerinde oluşturulan alütasyon tabakasının hemen üzerinde difüzyonla nikel içerikli bir Ni süper alaşım katı ve en üstte de Y₂O₃-ZrO₃'dan ibaret seramik kaplama katları oluşturulur. Burada, Ni-süper alaşım katı ana malzeme ile üst kaplama arasındaki ısıl genleşme uyumsuzluğunu giderirken, arzu edilen yüksek sıcaklık oksidasyonu ile malzemenin korozyonuna karşı direncini artırır ve kaplama katının yüzeye daha iyi tutunmasını sağlar. Alütasyon, CVD yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Alütasyon işlemleri, kutu alütasyonu ve ısı aktive edilmiş CVD işlemleri şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Kutu alütasyonu, CVD'nin bir türüdür. Bu yöntemde, CVD'nin buhar dönüşümleri toz kutuları içerisinde oluşmaktadır. İşlem; saf bir metal veya alaşım kaplama malzemesiyle bir reaksiyon hızlandırıcının (tuz, alümina) toz halindeki karışımında kaplanabilen, kutuya konan parçaları kapsar. Bu yöntem türbin parçalarının hem iç hem de dış aksamalarının kaplanmasında kullanılmakta ve önem taşımaktadır.

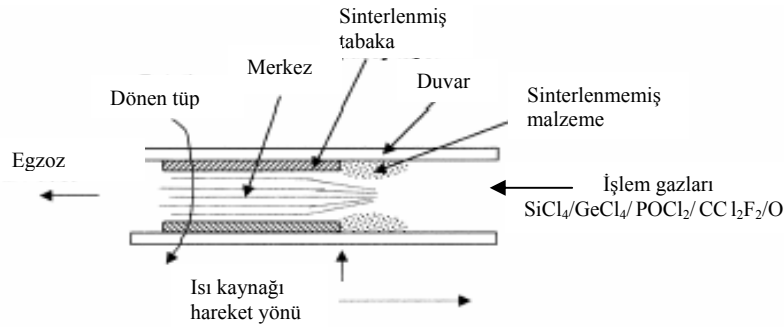
4.5.7. 1. Alüminyum Kaplama

Alüminyum kaplama, kutu alütasyonuna bezememektedir. Isıl aktive edilen CVD (TACVD) parçaların uzağında buhar tepkimeleri oluşturulmakta ve burada kirleticileri ve kirliliği ortamdaki uzaklaştırmak için hidrojen gazı kullanılmaktadır. Bundan başka, TACVD tam olarak daha kısa bir işlem süresi gerektirmesine ek olarak, biriktirme sonrası Al kaplı parçaların temizlenmesini gerektirmez. Alüminyum kaplama için, AlCl₃ ve H₂ moleküllerinin

karışımı yaklaşık 900 °C de tepkimeye girer. AlCl₃ buharı, alüminyum tozları üzerine hidrojen klorür akıtılmasıyla veya AlCl₃ çözeltisinin buharlaşmasıyla oluşturulabilmektedir. Türbin parçaları ve uzay araçlarının bazı aksamına alüminyum kaplanması, yöntemin uygulama alanlarını oluşturmaktadır.

4.5.7. 2. Optik Fiberler

Optik fiberler için ticari olarak doğrudan ergitme ve tüp içerisinden buhar geçirilerek üretme yöntemleri olmak üzere iki çeşit üretim yöntemi vardır. Doğrudan ergitme yöntemi, ~ 420 µm çapa kadar kalın optik fiberlerin üretimi için yöntem basit ve işlem maliyeti düşüktür. Ancak işlem süresince fiber, içerisine saflığı bozan bazı maddeleri alma eğilimi gösterir. Ergitme yöntemiyle üretilen fiberler, sadece kısa mesafeler için kullanılabilir. Halbuki CVD ile optik fiber üretimim hem tekli ve hem de çoklu uzun mesafe uygulamaları için uygundur. Yöntem, ince ve yüksek kaliteli optik fiberlerin üretilmesine çok yatkındır (Choy, 2003). Optik fiberlerin TACVD süresince, SiCl₄/GeCl₄/POCl₃/O₂CCl₂F₂'nin yüksek saflıkta gaz karışımı, Şekil 4.5'de görüldüğü gibi, bir taraftan diğer tarafa ısı kaynağı geçirilerek ısıtılan bir silika tüpün içine verilmiştir. SiO₂ tanecikleri homojen gaz fazı reaksiyonu yoluyla oluşur. İşlem, 1800°C'de yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir.



Şekil 4.5 CVD yöntemi kullanılarak fiber optik üretimi (Choy, 2003)

4.5.7. 3. Seramik Tek Flamanlı Fiberler

CVD; B ve SiC'lu tek flamanlı fiberlerin üretiminde, ticari bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu fiberler, C veya W gibi yüksek ergime sıcaklıklı filamanların üzerine B veya SiC'ün biriktirilmesiyle üretilmektedir. Özellikle SiC, aerojet parçaları ve kompresör kanatları için temel nitelikli bir malzeme iken, Ti-esaslı metal matrisli kompozitler (Ti-MMCs) yüksek sürünme direnç özelliklerine ek olarak, düşük yoğunluk ve yüksek dayanımlı malzemelere takviye olarak kaplanmaktadır.

PVD gibi diğer kaplama yöntemleriyle karşılaştırıldığında; CVD, ana malzeme ile kaplanan malzeme arasında yüzey morfolojisi ve içeriği bakımından, düzgün ve dengeli bir kaplama katı üretebilme yeteneğine sahiptir. Üstelik bu teknik, hızlı ve seri üretim açısından iyi bir potansiyel sunar.

4.6. CVD'nin İnce Film ve Kaplama Uygulamaları

CVD'nin kendine özgü avantajları, onun dezavantajlarından daha ağır basar. Genelde CVD çok yönlü bir biriktirme tekniğidir. Tek kristal, polykristal ince filmler ve amorfaların biriktirilmesine ilave olarak, yöntem çok geniş bir alanda kaplama uygulamalarında da ana işlem metotlarından birini oluşturmaktadır.

CVD'nin uygulama alanları;

- Mikroelektronik, optoelektronik, güneş pilleri gibi enerji dönüştürücü araçlar için yarı iletken malzemelerin (Si, Ge, III-V, II-VI) üretimi,
- Mikroelektronik için yalıtkan (SiO_2 , AlN, Si_3N_4 vb.) malzemelerin üretimi,
- Elektronik için metalik filmlerin (W, Pt, Mo, Al, Cu, vb.) üretimi,
- Aşınma, korozyon, oksidasyon, kimyasal reaksiyon ve ısı şoklarına karşı difüzyon bariyeri görevi yapan sert kaplama olarak kullanılan (TiB_2 , SiC, B_4C , BN, TiN, Al_2O_3 , ZrO_2 , MoSi_2 , elmas vb.) refrakter seramik malzemelerin üretimi,
- Seramik fiberler (SiC ve C) ve seramik matrisli kompozitlerin (SiC/SiC, SiC/C) üretimleridir.

4.7. Değişik CVD Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Geleneksel CVD yöntemi, ısı aktive edilen CVD inorganik kaynakların kullanmasına dayanır. Bu biriktirme yönteminde işlem, ısı enerjisinin etkisiyle başlatılmaktadır. İşlem atmosfer basıncı, düşük basınç veya yüksek vakum etkisi altında gerçekleşmektedir. Kullanılan inorganik bileşiğin cinsine bağlı olarak CVD yönteminin kaplama sıcaklığı 500–1400 °C aralığında değişmektedir. Düşük sıcaklık CVD uygulamaları için CVD'nin diğer türleri; örneğin zenginleştirilmiş plazma ile CVD, foto-yardımlı CVD, atomik tabaka, elektrokimyasal buhar biriktirme, metal organik CVD teknikleri geliştirilmiştir. Bunlara ek olarak düşük maliyetli CVD yöntemleri; vakumsuz CVD esaslı teknikler, aerosol yardımlı CVD ve alev yardımlı CVD gibi üretim teknikleri, seri üretim başta olmak üzere, geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu yöntemlerin büyük çoğunluğu, atmosfer basıncı veya düşük basınç değerlerinde oluşturulabilmektedir. Ancak zenginleştirilmiş plazma CVD yönteminde, plazmanın oluşturulması düşük basınçta çalışmayı gerektir.

4.8. CVD'nin Avantaj ve Dezavantajları

4.8.1. CVD nin Avantajları

CVD karmaşık bir kimyasal sistem olmasına rağmen, kendine özgü bazı avantajlara sahiptir. Bunlar;

- Oldukça yüksek yoğunluk ve saflıkta malzemelerin üretilebilme kapasitesi,
- Yenilenebilir üniform kaplamaların üretilmesi ve kalın kaplama katlarında bile yüksek tutunma yeteneğine ulaşılması,
- CVD yöntemi kaplanan yüzey geometrisine ve yüzey şekline bağımlı olmayan bir kaplama katı verir. Bu nedenle, karmaşık şekilli parçaların düzgün ve dengeli olarak kaplanmasında, PVD yöntemine belirgin bir şekilde üstünlük sağlar.
- CVD yöntemi, işlem parametrelerinin kontrolüyle, CVD ile elde edilen ürünlerin uyumluluğu, istenilen yüzey morfolojisi ve kristal yapı kontrolünün sağlanmasına olanak sağlar.
- Biriktirme oranı kolayca ayarlanabilir. Düşük biriktirme oranı, mikroelektronik uygulamalar için epitaksiyal ince kaplamaların gelişmesi ile desteklenmektedir. Ancak, kalın koruyucu kaplamaların biriktirilmesi yüksek biriktirme oranı ister ve 10 μm 'den daha kalın olabilir. Bu da, plazma sprej gibi tekniklerle ancak aşılabılır.
- Geleneksel CVD yöntemi için düşük işlem maliyeti gerekir.
- Kimyasal maddeleri geniş bir alanda kullanma esnekliği vardır.
- Düşük biriktirme sıcaklık oranları ve buhar fazı reaksiyonları sürecinde düşük enerjide, istenilen fazlar biriktirilebilir. Bu yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerin, ergime sıcaklıklarından daha düşük bir sıcaklık değerinde kaplanabilirliği sağlanabilir. Örneğin ergime sıcaklığı 2700 °C olan SiC, CVD yöntemi kullanılarak, kimyasal reaksiyonlarla 1000 °C'de kaplanabilmektedir.

4.8.2. CVD'nin Dezavantajları

- Zehirli, korozif, yanıcı ve/veya patlayıcı gazların kullanılmasının neden olduğu kimyasal ve güvenlik tehlikelerinin bulunması tehlike arz eder. Ancak bu dezavantajlar değişik metotlar kullanılarak azaltılabilmektedir.
- CVD yönteminde; farklı buharlaşma oranlarına sahip, değişik gaz karışımlarının kullanıldığı, stökiyometrik ayarlamaların iyi kontrol edilebildiği çok elemanlı malzemelerin biriktirilmesi güçtür.

- Çok karmaşık reaktör kullanılma zorunluluğu ve düşük basınç veya aşırı yüksek vakum gereksinimi CVD yönteminin diğer bir dezavantajını oluşturur.



1 2

Şekil 4.6. Teknolojik kullanımı olan bir düşük basınç CVD ünitesinin görünüşü (Choy, 2003)

5. FİZİKSEL BUHAR BİRİKTİRME (PVD) YÖNTEMLERİ

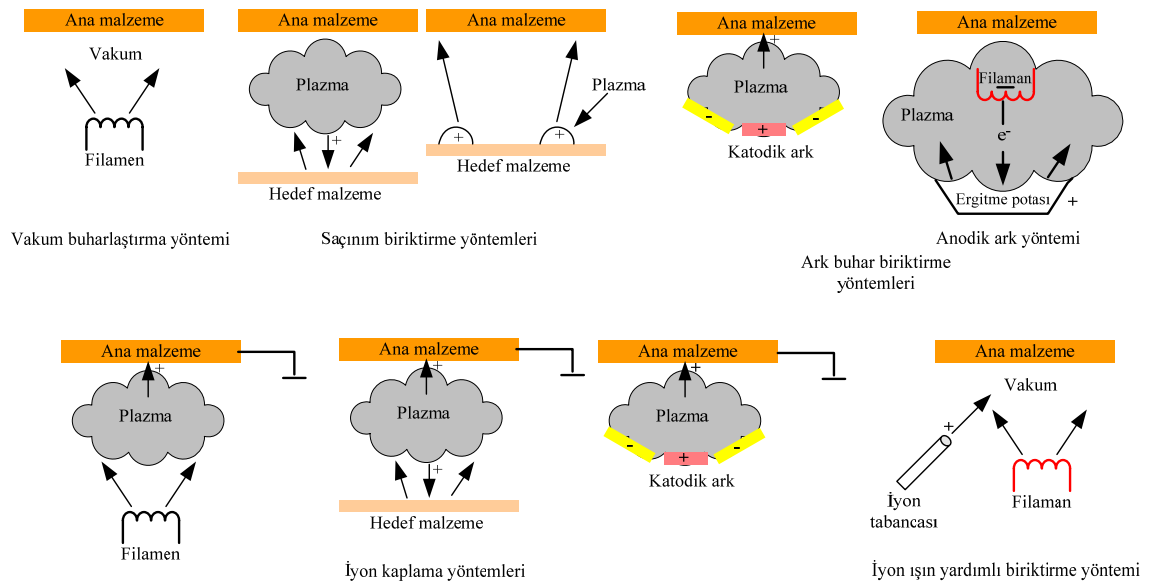
Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemleri, katı veya sıvı kaynaktan buharlaştırılan malzemenin atom veya moleküllerinin vakum ya da düşük basınçlı gaz ortamında buhar fazında taşınarak bir ana malzeme üzerine yoğunlaştığı biriktirme işlemidir. Gaz kirlenmesi önlenmiş PVD yöntemleri, bazı polimerik malzemelerin yanı sıra element, alaşım ve bileşiklerin kaplama işlemlerinde kullanılmaktadır. Tipik olarak PVD yöntemleri, ana malzeme üzerine birkaç angströmlük kalınlıkta kaplama filmlerinin üretilmesinde kullanılmaktadır. PVD kaplama yöntemi kullanılarak, ana malzeme yüzeyinde inorganik malzeme neredeyse hiç biriktirilemezken, pek çok organik malzeme bu yolla biriktirilebilmektedir. Bu yöntem; tek ve çok katlı olarak, istenilen kalınlıklarda kaplamaların üretilmelerine olanak tanır (Mattox, 1998; Bouzakis ve diğ., 2001; Mattox, 2002; Prakash ve diğ., 2002; Malyer ve Öztarhan, 2004; Sokovic ve diğ., 2004).

5.1. PVD Yöntemlerinin Sınıflandırılması.

PVD yöntemleri;

- Vakum buharlaşma,
- Püskürtme biriktirmesi,
- Ark buhar biriktirme,
- İyon kaplama,

olmak üzere dört şekilde uygulanmaktadır.



Şekil 5.1. PVD işlem teknikleri (Mattox, 2002)

5.1.1. Vakum Buharlaştırma Yöntemi

Vakum buharlaştırma yöntemi ile bir ısı buharlaşma kaynağında oluşturulan buhar; gaz molekülleriyle, kaynak malzeme ve ana malzeme arasındaki boşlukta çarpışma olmaksızın ana malzemeye ulaştırılır. Vakum ortamı, kaplama sisteminde oluşan gaz kirlenmesini belirli bir düzeyde tutma özelliğine sahiptir. Vakum buharlaşma ile biriktirilen tipik bir film tabakası, gaz kirlenmesinin düzeyine bağlı olarak, basıncı $1.3 \cdot 10^{-8}$ - $1.3 \cdot 10^{-12}$ bar aralığında tutulup ayarlanabilen bir gaz ortamında gerçekleşir. Şekil 5.2’de bir direnç ısıtmalı filaman buharlaşma kaynağı kullanılarak ısı vakum buharlaşma/biriktirme düzeni ve biriktirme sisteminin başlıca elemanları gösterilmektedir (Chang ve Wang, 2002; Öztarhan ve diğ., 2004).

PVD yönteminde ana malzeme tutucusu, önemli bir biriktirme elemanıdır. Bu eleman ana malzemeyi belirli bir konumda tutar ve kaplama işlemi süresince ana malzemenin belirlenen hareketine izin vererek, ana malzeme üzerinde düzgün ve dengeli bir kaplama katı elde edilmesine etki eder. Kesici, ilk kaynaktan buharlaşabilen uçucu ve kirlenici etkili malzemelere maruz kalmaksızın ısıtılabilen buhar kaynağına izin verdiği için önemli bir elemandır. Buhar kaynağından ısı yayılımını en aza indirir. Kapak açılarak ve kapatılarak biriktirme zamanı kontrol edilebilmektedir. Biriktirme odasında, ana malzeme yüzeyinin doğal durumda temizliğinin sağlanabilmesi için sistemde plazmanın oluşumuna izin verir.

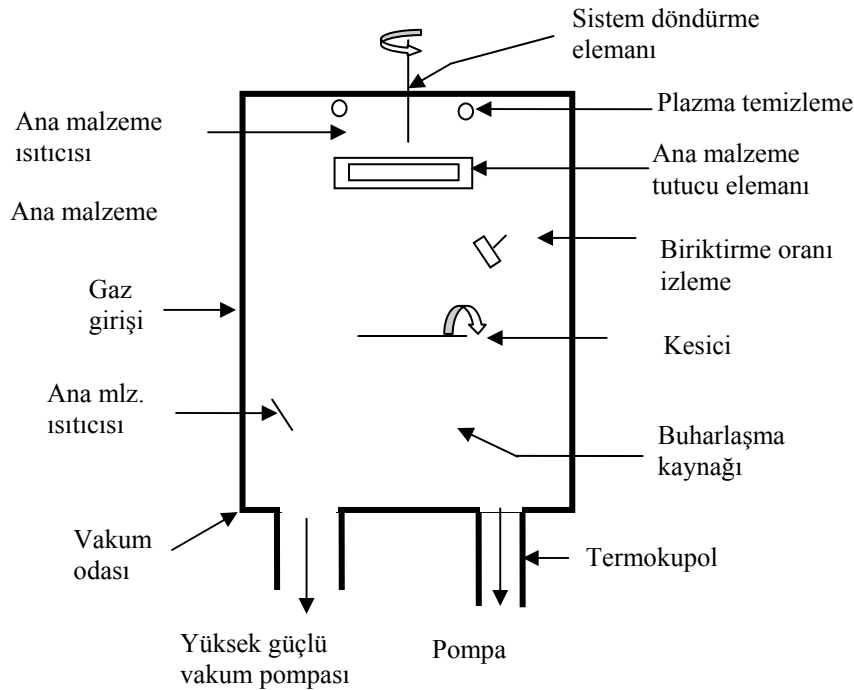
Buhar basınç dengesi, ısı olarak buharlaştırılabilir malzemenin önemli bir özelliğidir. Kapalı bir konteynerde yüzeyi dengelemek için pek çok atom yüzeye geri döner ve yüzeyin üzerinde dengeli bir buhar basıncının oluşmasını sağlar. Buhar basıncı sıcaklığa bağlı değişim gösterir. Serbest sıcak bir yüzeyden vakum ortamına sağlanan buharlaşma oranı; sıcaklığa ve o sıcaklıkta malzemenin buhar basınç dengesine bağlı olarak değişim gösterir. Düşük sıcaklıklarda yüksek bir buhar basıncı ile ısıtılan malzemeler, tipik olarak kaynaktan buharlaşır. Buharlaşma için yüksek bir sıcaklık gerektiren malzemelerin buharlaştırılmasında, ısıtıcı olarak yüksek enerjili elektron ışını kullanılmaktadır.

Vakum buharlaşmada, eğer serbest yüzey buharlaşma oranı yüksek ise, uygun bir biriktirme elde edilebilir. $13 \cdot 10^{-6}$ bar bir buhar basıncı iyi bir biriktirme oranı sağlamak için uygun bir değer olarak önerilmektedir (Mattox, 2002). Katı üzerinde buhar basıncı etkisi ile buharlaşma gösteren malzemeler süblimleşmiş malzemeler olarak tanımlanır ve yine sıvının üstündeki buhar basıncı ile buharlaşma göstermiş malzemeler buharlaşan malzemeler olarak tanımlanır. Titanyum gibi pek çok malzeme, kaynağın sıcaklığına bağlı olarak ya süblimleştirilerek ya da buharlaştırılarak biriktirilebilir. Alaşım için alaşımı oluşturan her bir elementin buharlaşma oranı, Raoult yasasına göre, buhar basıncına bağlı oranlarda bulunur. Bu yüzden buharlaşma süresince, yüksek buhar basıncında malzeme çok daha hızlı bir şekilde

buharlaşacak ve kaynak, buharlaşmanın devamında düşük buhar basınçlı malzemelerle sürekli zenginleşme gösterecektir.

Elementler genellikle atom olarak buharlaşır. Fakat antimon, karbon ve selenyum gibi bazı elementler atom demeti halinde buharlaşmaktadır.

Silisyum monoksit, silisyum nitrür, hafniyum karbür, titanyum dioksit, bor nitrür, kurşun sülfür ve vanadyum dioksit gibi bazı bileşikler süblimleşir. Pek çok bileşik malzeme, buhar içerisinde kısmen ayrışırken bir kısmı da molekül halinde buharlaşabilir. Moleküler ayrışma olmaksızın buharlaşabilen silisyum monoksit ve magnezyum flüorür, optik kaplama teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir bileşiğin ayrışma derecesi buharlaşma sıcaklığına sıkı sıkıya bağlıdır.



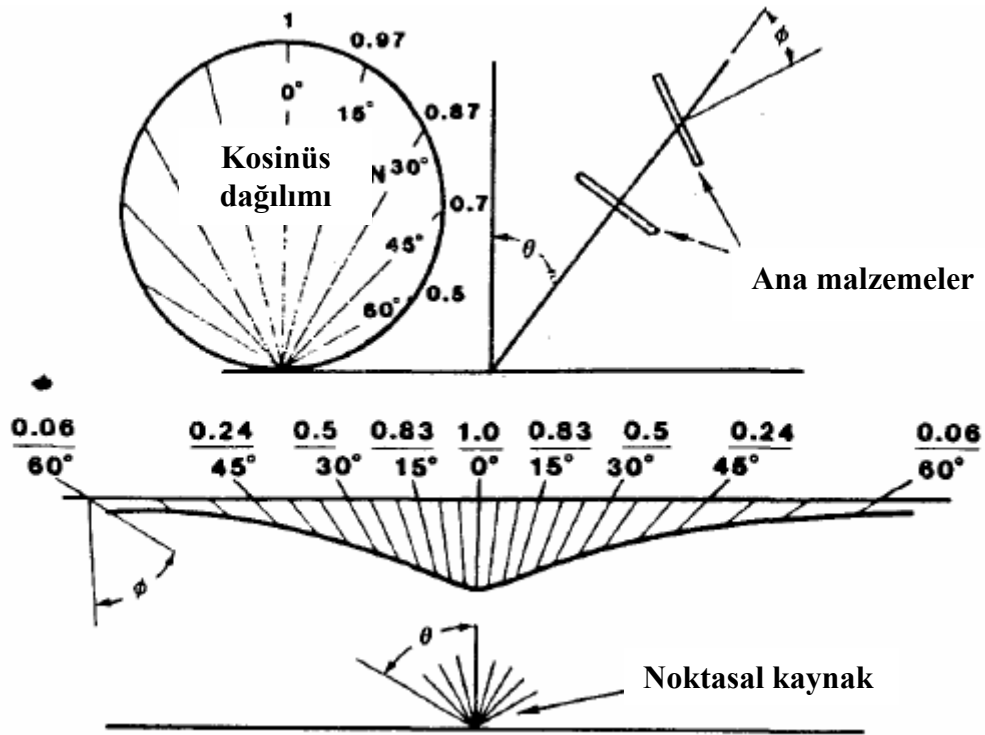
Şekil 5.2. Bir vakum buharlaştırma sisteminin ana elemanları (Mattox, 2002)

Ayrışabilir bileşik biriktirmesi, gazlı bileşenlerde film biriktirme amaçlı biriktirmeler için genellikle yetersizdir. Örneğin silisyum dioksitin (SiO_2) buharlaşmasında, kaplama oluşumuna SiO_{2-x} verilmesiyle oksijence eksik bir yapı oluşur ve kaplama kahverengi bir renk alır. Buharlaşma süresince gazı oluşturan bileşenlerin bu kaybı, reaktif buharlaşma kullanılarak veya biriktirme ortamına reaktif gazın plazması ya da bir iyon tabancasından biriktirme malzemelerine sürekli reaktif iyon bombardımanı yapılması ile kısmen giderilebilir. Kaplamanın bu türü, kısa süreli reaktif biriktirme olarak da ifade edilmektedir.

Düşük buharlaşma oranlarında, buhar kaynağının bir noktasından, malzeme verilen kosinüs biriktirme bağıntısıyla, ana malzemedan uygun bir uzaklıkta ana malzeme üzerinde

biriktirilir. Şekil 5.3 noktasal bir kaynaktan buharlaşan atomların dağılımını ve noktasal kaynaktan ayrılarak düzlemsel bir yüzey üzerinde biçimlenen filmin kalınlık dağılımını göstermektedir.

Kaplama film kalınlığının düzgün ve dengeli olarak artırılması, kaplama süresince ana malzeme konumunun rasgele seçilebilmesine; biriktirme oranı ise, ana malzeme geometrisi ve kaplama süresine sıkı sıkıya bağlıdır. Buhar akışı ile ana malzeme yüzeyi üzerinde biriktirilen molekül ya da atomlar, ana malzemeyle temas açısının rasgele olmasının sonucu olarak, kaplama düzgün ve dengeli olarak oluşmaktadır.



Şekil 5.3 Biriktirilen malzemenin dağılımı (Mattox, 2002)

5.1.1.1. Vakum Buharlaştırma Yönteminin Avantajları

Bu yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir:

- Yüksek sıcaklıkta filmler, yüksek saflıkta malzemelerden biriktirilebilir.
- Buharlaştırılan malzemenin kaynağı herhangi bir biçim, saflıkta ve katı olabilir.
- Yüksek buharlaşma oranları elde edilebilir.
- Biriktirmenin izlenmesi ve kontrolü oldukça kolaydır.
- Vakum ortamında gazlar ve buharlar kolayca izlenebilir.
- Bu yöntem muhtemelen PVD yöntemlerinin maliyeti en düşük olanıdır.

5.1.1.2. Vakum Buharlaştırma Yönteminin Dezavantajları

Bu yöntemin dezavantajları aşağıdaki gibidir:

- Pek çok alaşım ve bileşikler bu yöntemle zorlukla biriktirilebilir.
- Ana malzeme hareketinin yetersiz olması durumunda, işlem karmaşık yüzeyler üzerinde üretilen zayıf kaplamalarla sonuçlanabilir.
- Kaynak malzeme kullanımı yetersiz olabilir.
- Biriktirme sisteminde, yüksek dağılımlı ısı yükleri oluşabilir.

Vakum buharlaşma yöntemi kullanılarak; ayna kaplamaları, dekoratif amaçlı süs kaplamaları, esnek paketlenmiş malzemeler üzerinde geçişi engelleyici bariyer filmlerin oluşturulması, elektriksel olarak iletken filmlerin üretimi, korozyondan koruyucu kaplamaların hazırlanması işlemleri yapılmaktadır.

5.1.2. Saçınım Biriktirme Yöntemi

Saçınım biriktirme yöntemi, fiziksel saçınım işlemiyle bir yüzeyden buharlaştırılan taneciklerin başka bir yüzeyde biriktirilmesi işlemidir. Fiziksel saçınım; plazma veya iyon tabancasından hızlı bir şekilde çıkan, genellikle atom boyutunda gaz iyonlarının kullanıldığı, yüksek enerjili bombardıman edilmiş taneciklerden moment aktarımıyla malzemenin yüzey atomlarının koparıldığı, ısı esaslı olmayan bir buharlaştırma tekniğidir (Kim ve diğ., 2002; Ruset ve diğ., 2002).

Eğer, yeteri kadar enerji elde etmek için yüzey atomlarına çarpma yapılırsa, bu çarpma yüzeye yakın bölgedeki diğer atomları da sarsacak ve bir çarpma dalgası gelişecektir. Çoklu çarpışmalar yüzeyden geriye doğru yönlendirilen benzer momentumla sonuçlanabilir. Eğer alttan vurulan bir yüzey atomu tarafından enerji elde edilirse; fiziksel olarak, atom yüzeyden çıkarılabilir. Çoklu çarpmalarda, yüzey atomu tarafından elde edilen enerji yeterliyse, atom yüzeyden fiziksel olarak kolayca çıkartılabilir. Bombardıman tanecikleri tarafından taşınan enerjinin çoğu yüzeyin yakınında ısıya dönüşür. Tüm bombardıman enerjilerinde, yüzeyden saçılan atomlar yüzeyi kosinüs dağılımı şeklinde terk ederler. Isıl olarak buharlaştırılan atomlarınkinden daha yüksek ve elektron voltun (eV) yirmi ile otuz katı bir ortalama kinetik enerjiye sahiptirler (Mattox, 1998).

Enerji yüklü taneciklerin her birinin etkisiyle saçılan çok sayıda yüzey atomu olur. Saçınım alanı; bombardımanla oluşan taneciklerin geliş açısı, hedefin türü ve bombardıman eden taneciklerin enerjisine bağlıdır. Saçınım için kullanılan en yaygın pasif, koruyucu gaz argondur. Yüksek çarpma açısının neden olduğu çok küçük momentum transferli bombardıman tanecikleri, belli bir noktaya kadar saçınım alanını 2-3 katına kadar ulaştırabilir. Bu koşullarda

bombardıman yapan taneciklerin tamamına yakını yüzeyden tekrar yansır. Pürüzlü bir yüzeydeki saçınım alanını, yüzey topografyası belirgin bir biçimde etkileyebilir. Saçılan taneciklerin yalnızca bir kısmı yüzey üzerinde biriktirilebilir.

Saçınım işlemi, atomik tabakaları peş peşe katı yüzeyinden kaldırır. Yüzeyden ayrılarak uzaklaşan buharın bileşimi, eğer hiç difüzyon yoksa saçılan malzemenin bileşimiyle aynıdır. Bileşiği meydana getiren maddelerin buhar basınçlarının büyük ölçüde farklı olması nedeniyle ısı olarak buharlaştırılamayan alaşım kompozisyonlarının saçınım buharlaşmasına izin verir.

Saçınım gösteren yüzeyler, sıklıkla oksit veya nitrür gibi tepkime ürünlerinin oluşturduğu bir yüzey tabakasına sahiptir. Bileşik malzemelerin kimyasal bağı element halinde bulunan malzemelerinkinden daha kuvvetli olduğu için, saçınım alanı yüzey tabakası kaldırılana kadar düşük olur. Eğer işlemde reaktif gazlar kullanılırsa, bunlar düşük saçınım alanları vererek yüzeyin üzerinde kaplama oluştururken, hedef yüzeyi sürekli bozabilirler. Düşük gaz basıncında hedef yüzeyden saçılan veya yansıyan tanecikler bir doğrultuda hareket eder. Bunun sonucu olarak, gaz basıncı yüksek olursa gaz fazda çarpışmalar olabilir. Bu nedenle, böyle durumda taneciklerin enerji seviyesinin düşürülmesi gerekir. Ana malzeme yüzeyinin enerji yüklü tanecikleri taşıyan gaz ile bombardımanı, kaplamanın oluşumunu ve biriktirilen kaplama malzemesinin özelliklerini etkilemektedir. Bu yüzden düşük veya yüksek bir gaz basıncında saçınım biriktirmesinin yapılması kaplama özelliklerinde belli bir fark yaratır.

Plazma oluşumunun temeli, DC diyot saçınımıdır. DC diyot saçınımında, negatif DC gerilimiyle gaz fazında plazma oluşturulur. Oluşturulan plazma iletken bir yüzeye uygulanarak pozitif iyonlar yüzeye doğru hızlandırılır.

DC diyotta enerji boşalması, katot yakınında da yüksektir ve uygulanan gerilimin neredeyse tamamı katot olarak belirtilen yüzey bölgesinin tam karşısına düşürülür. Bu bölge iyonlaşmanın asıl bölgesidir. Katot ve anot arasındaki boşluk plazma ile doldurulur. Plazmanın doldurduğu karanlık boşluk bölgesinde, iyonlar yüksek bir kinetik enerji ile hedef yüzeyin üzerine çarpacak şekilde plazma tarafından hızlandırılır. Güçlü boşaltımlar için gerekli olan elektron akışının oluşumuna neden olacak yeteri kadar iyon, sağlanan uygun elektron dengesiyle yaratılır. DC diyot plazma genellikle zayıf olarak iyonlaştırılır ve birkaç elektron voltluk ortalama tanecik sıcaklığına sahiptir.

Tipik olarak bir DC diyot argon saçınım plazması $1,3 \cdot 10^{-4} - 2,6 \cdot 10^{-4}$ bar gaz basıncında işlenebilecektir. Bu basınçta katottaki karanlık boşluk ~ 1 cm'lik bir genişliğe sahip olacaktır. Eğer bir yüzey katodun karanlık boşluk mesafesi içinde bulunursa, plazma iki yüzey arasında yok olacaktır. Arzu edilen bu saçınım, katot tarafından sınırlandırılan plazma boşaltım bölgelerinde kullanılabilen zemin koruyucuları açısından önem arz eder. Katot yüzeyi etrafında

aynı potansiyele sahip alan çizgileri düz veya hafif kavisli eğri yüzeyler üzerine uygulanır. Ancak, bu eş potansiyel çizgileri keskin köşeli kenarlar ve koruyucu tabaka oluşturmada uygulanamaz. İyonlar, tüm hedef yüzeyin üzerinde düzgün ve dengeli bir bombardıman olması için normal alan çizgilerine doğru hızlandırılır.

DC diyet konfigürasyonunda, hedef yüzeye çarpan iyonlar; gaz artıkları ve hızlandırılan iyonlar arasındaki çarpışmalardan ileri gelen momentum aktarımı ve yük değişim çarpışmalarını oluşturacak kadar yüksek gaz basıncı nedeniyle, düşük potansiyelli olan katoda ulaşamazlar. Bu durum, hedef yüzeye çarpan enerjili taneciklerin oluşturduğu saçınım ile yüksek enerjili yüksüz tanecik ve iyonlarda akım yaratır. Daha yüksek gaz basıncı, hedef yüzeyin üzerine çarpan taneciklerin ortalama enerjisini azaltır. Bu yüzden ortalama enerji, uygulanan gerilimin ürettiğinden çok daha azdır. Tipik olarak, hedef yüzeyden saçınan veya yansıyan enerji içerikli taneciklerin DC saçınım basınçları bir yüzeye çarpmadan önce düşük enerji seviyelerine ısı teknikleriyle indirgenir. Ancak, katottan hızlandırılan elektronlar yüksek enerjiye ulaşabilir ve verilen ısı ile yüzeyi bombardıman edebilirler. Tipik olarak DC diyet saçınım boşalımları, saçınımın gaz basıncı ile, Watt/cm^2 cinsinden ifade edilen, hedef güç tarafından kontrol edilmektedir. Bombardıman enerjisinin tamamına yakını hedef yüzeye ısı olarak bırakıldığı için saçınım hedefi soğutulmalıdır.

Bir plazmada reaktif veya kirletici gazlar; moleküllerin kök şeklindeki bileşiklere, iyonlara ve bazı diğer tür maddelere parçalanmak suretiyle aktiflenebilir. Aktive olan maddeler ve hedef yüzey üzerinde toplanan bileşiklerle hedefte toplanan zehirli bileşikler tepkimeye girebilirler. Titanyum nitrür gibi elektrik iletkenliğine sahip bir bileşiğin oluşumu, hedef yüzey üzerindeki saçınım alanını önemli ölçüde azaltacaktır. Titanyum dioksit gibi elektrik iletkenliği olmayan yalıtkan tabakaların oluşturulmasında, yüzeye şarj ve DC akkor boşalması olmayıp sönümlenme söz konusu olacaktır.

DC diyet saçınım dağılımı uzun zamanlı periyotlarda, düzgün ve dengeli olarak geniş alanlara saçınabilme avantajına sahiptir. Hedef, ana malzeme ile uyumlu yapılabilir ve hedef malzeme iyi değerlendirilebilir. Bunlara ek olarak DC diyet saçılımı, yerinde temizlemenin bir parçası olarak plazma ile yüzey temizleme işlemleri için kullanılabilir. Oldukça düşük saçınım oranı, reaktif kirleticilerle kirletilen hedef, hedeften uzaklaşarak ayrılan hızlandırılmış elektronlar yüzünden oluşan yüzey ısı ve saçınım hedefleri olarak yalnızca elektrik iletkenlerinin kullanılabilmesi, DC diyet saçınım biriktirmesinin en önemli dezavantajlarından.

Temel DC diyet saçınımı; altın, bakır ve gümüş gibi nispeten reaktif olmayan metallerin biriktirilmesi için en uygundur. Bu nedenle bu metallerin neredeyse tamamı, yaygın olarak kullanılmayan DC saçınım biriktirmenin ısı buharlaşma tekniği kullanılarak

biriktirmektedir. Yüksek oranlarda bileşik malzemeleri ve metalleri biriktirmede kullanılabilmesi, DC diyot manyetron saçınımının kullanılmasına olanak tanımaktadır. TiN gibi bileşik malzemelerin reaktif saçınım biriktirmesinde hedef çok aşılır. Sonuçta hedef bileşik filmi, malzemenin oluşumu için kullanılan reaktif gazlardan etkilenmez.

5.1.2.1. Saçınım Biriktirmenin Avantajları

Saçınım biriktirmenin avantajları şunlardır;

- Elementler, alaşımlar ve bileşikler saçınabilir ve biriktirilebilirler.
- Saçınım hedefi kararlı bir geometri ve uzun ömürlü bir buharlaşma kaynağı oluşturur.
- Bazı oluşumlarda saçınım hedefleri, geniş bir alanda buharlaşma kaynağı sağlar.
- Saçınım kaynağının bazı oluşumları, bir çizgi veya bir çubuk gibi bir şekil olabilir.
- Reaktif biriktirmenin bazı oluşumları, plazmada aktive edilen reaktif gaz türleri kullanılarak kolayca elde edilebilir.

5.1.2.2. Saçınım Biriktirmenin Dezavantajları

Saçınım biriktirmenin dezavantajları şunlardır;

- Saçınım biriktirme yöntemi ile üretilen tabakaların kalınlıkları ısı buharlaşmayla elde edilenlerle karşılaştırıldığında daha düşüktür.
- Pek çok oluşumlarda, biriktirmedeki akış dağılımı düzgün ve dengeli değildir ve böyle filmlerin elde edilmesi, ana malzemelerin konumlarının rasgele düzenlenmesini gerektirir.
- Saçınım hedefleri pahalıdır ve malzeme kullanımı yetersiz olabilir.
- Hedef nokta üzerine düşen enerjinin tamamına yakını ısıya dönüşmektedir.
- Genellikle, sistemin pompalama hızı saçınım süresince azaltıldığından, kirletici gaz sistemden kolaylıkla uzaklaştırılmaz.
- Gaz kirleticiler, plazmada aktive olur ve bu yüzden vakum buharlaşmasındakinden daha büyük bir problem olan film kirlenmesine yol açarlar.
- Plazma veya saçınım hedefinden, bombardıman ve radyasyon oluşumlarının bir kısmında ana malzemede bozunma olabilir.

Saçınım biriktirmesiyle ince film kaplama, ilk kez Wright tarafından 1877’de gerçekleştirilmiştir. Edison 1904’de gramofon silindirleri üzerine gümüş biriktirmek için bir saçınım biriktirme yönteminin patentini almıştır (Mattox, 2002). Saçınım biriktirmesi; malzemeler üzerine yarı iletken ince metal film, cam üzerine saydam iletken kaplamalar,

kompakt diskler üzerine yansıtıcı kaplamalar, manyetik filmler, kuru film yağlayıcılar, aşınma dirençli kaplamalar ve süs amaçlı dekoratif kaplamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

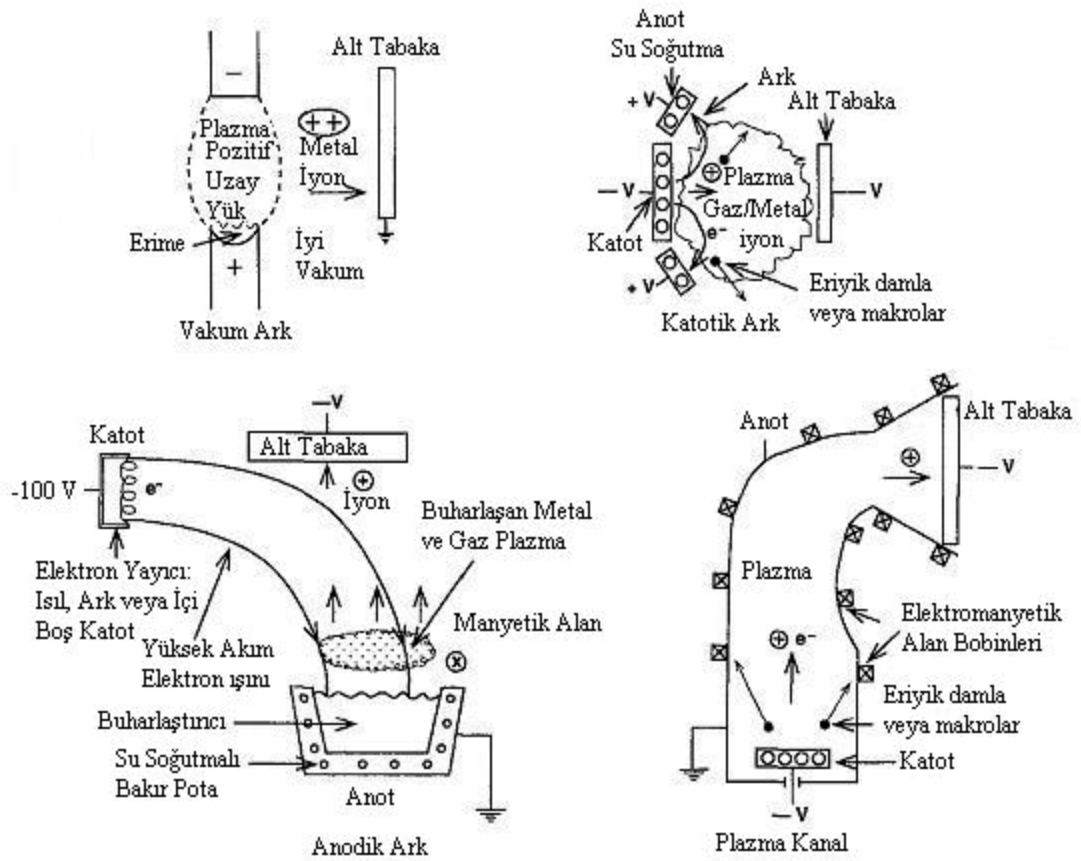
5.1.3. Ark Buhar Biriktirme

Ark buhar biriktirmede buharın biriktirilmesi, düşük basınçlı bir gaz atmosferinde, düşük gerilim, yüksek bir akım DC arkın anot veya katodundan biçimlendirilir. Katodik ark buharı, PVD ark buharlaşma yöntemlerinden en yaygın olanıdır. Yüksek akım yoğunluklu ark, lokal ısınma ve buharlaşma nedeniyle bir katı katodik elektrot üzerinde hareket eder. Bu ark hareketi rasgele veya bir manyetik alan kılavuzluğunda olabilir ve katodik ark buhar biriktirme sistemlerinin pek çoğunda geniş bir alan üzerinde biriktirme de kullanılmaktadır.

Anodik ark buhar biriktirmede, elektronlar anodik elektrodu ısıtır ve buharlaştırır. Anodik ark için elektronlar; sıcak bir katot, sıcak bir termoelektron, filaman ya da iyon bombardımanı gibi pek çok kaynaktan gelebilir. Bir anodik ark buhar biriktirme sisteminin oluşumu bir ısı buharlaşma sistemininkine benzerlik gösterir.

5.1.3.1. Vakum Ark Buharlaşma Teknikleri

Bazı malzemelerin katodik ark buharlaşmasında, oluşan ergiyik damlaları dışarı atılır. Kaplama malzemeleri üzerinde oluşan istenmeyen birikintiler yerinden çıkarıldığında küçük gözenekler yaratır. Bunları önlemek için Şekil 5.4'deki gibi bir sistem kullanılmaktadır. Plazma tarafında oluşturulan bir manyetik alan, elektronları yönlendirmekte ve film iyonları, plazmada volümetrik yükü yakalamak için elektronları izlemektedir. Bu yolla ergiyik damlaların daha fazlası, ana malzeme üzeri yerine boru çeperinde biriktirilir (Mattox, 2002; Ramalho ve Celis, 2002; Choy, 2003; Gammer ve diğ., 2004; Kajikawa ve Noda, 2005).



Şekil 5.4. Ark buhar biriktirme yöntemleri (Mattox, 2002)

5.1.3.1.1. Anodik Ark Buhar Biriktirmenin Avantajları

Bu yöntemde aşağıdaki avantajlar söz konusudur:

- Film iyonlarının oluşumu, yüksek enerjiler için hızlandırmaya olanak tanır.
- Ark plazma, reaktif türlerini aktive eder ve onları kimyasal açıdan daha da etkinleştirir.
- Yüksek buharlaşma oranı elde edilebilir.
- Ergiyik damla oluşumu gerçekleşmez.

5.1.3.1.2. Anodik Ark Buhar Biriktirmenin Dezavantajları

Bu yöntemde aşağıdaki dezavantajlar söz konusudur:

- Sisteme yüksek ısı ve ışık yayılımı sağlar.
- Ergiyik malzeme, sistemde kaynakların kullanımlarını sınırlar.

5.1.3.1.3. Katodik Ark Buhar Biriktirmenin Avantajları

Katodik ark buhar biriktirmenin avantajları şunlardır:

- Film iyonlarının oluşumu, yüksek enerji düzeyine hızlandırılabilmesine izin verir.
- Ark plazma, reaktif türleri aktifleştirerek, onları daha çok kimyasal açıdan reaktif yapar.
- Alaşımlı malzeme düzgün olarak buharlaştırılabilir.
- Sistem düşük ısı ve ışık yayımına neden olur.
- Katı buharlaşma yüzeyleri, sistemin herhangi bir konumunda kaynağın yerleştirilmesine izin verir.

5.1.3.1.4. Katodik Ark Buhar Biriktirmenin Dezavantajları

Katodik buhar biriktirmenin dezavantajı sadece şudur:

- Ergiyen damlanın biçimi bazı malzeme ve uygulamalar için belirleyici bir faktör olabilir.

Katodik ark buhar biriktirme altın renkli TiN ve pirinç renkli ZrN gibi aşınma direnci yüksek, dekoratif açıdan güzel görünümlü kaplamaların yapımında kullanılmaktadır. Anodik ark buhar biriktirme krom ve elmas benzeri karbon gibi aşınma direnci yüksek uygulama alanlarında ve optik kaplama uygulamaları için ana malzemeye bağlı biriktirmelerde kullanılmaktadır.

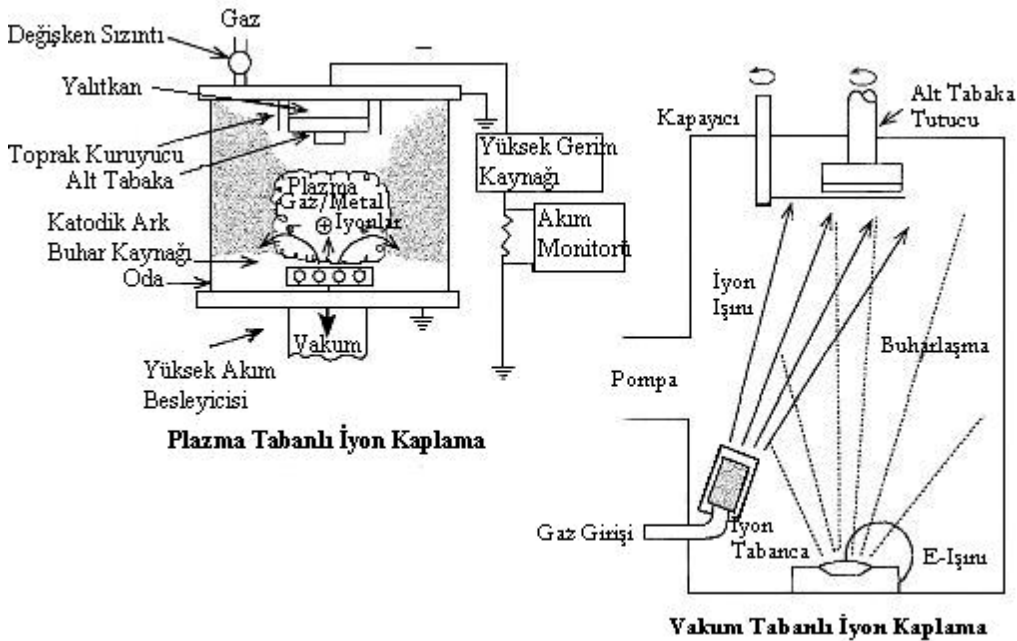
5.1.4. İyon Kaplama

1960'lı yılların başlarında gerçekleştirilen bu kaplama, malzeme özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılabilen atomik veya moleküler boyutlu taneciklerle kontrollü film biriktirme, enerji bombardımanı ile yapılan kaplama işleriyle eş zamanlılık göstermiştir. Böylece biriktirme süresince eş zamanlı veya periyodik bombardıman, PVD yönteminde büyük bir değişim sağlamıştır. İyon kaplama; film malzemesinin biriktirilmesinde biriktirilen kaplamanın özelliklerinin ve içeriğinin kontrolü için, eş zamanlı veya periyodik olarak enerji bombardıman taneciklerini kullanır. İyon kaplamada biriktirilen malzeme; buharlaşma, saçınım, ark erozyon, lazerle yapılan koparma işlemi veya diğer buharlaşma ürünlerinden oluşur. Bombardıman için kullanılan enerji yüklü tanecikler genellikle pasif koruyucu veya reaktif bir gazın iyonlarıdır. Ancak, bir ark erozyon kaynağı kullanıldığında, buharlaşan malzemenin büyük bir kısmı iyonlaşmakta ve bu kaplama malzemesi iyonları, kaplama oluşturmada bombardıman için kullanılmaktadır. İyon kaplama, plazma ortamında yapılabilmektedir. Bombardıman için iyonlar plazmadan alınır veya bir vakum ortamında üretilebilir. İyon

kaplama yöntemlerinden iyon ışın yardımlı biriktirme (IBAD) en çok bilinendir. Şekil 5.5 plazma bazlı ve vakum bazlı iyon kaplama işlemlerini göstermektedir.

İyon kaplamanın en yaygın biçimi plazma esaslı olan işlemdir. Eğer bir element veya alaşım malzemesi biriktirilebilirse, plazma oluşturan gaz pasif bir gaz ve genellikle de argon olabilir. Reaktif iyon kaplamada plazma; azot, oksijen veya karbon gibi reaktif türlerin iyonlarını temin eder. Bunlar; oksitler, nitrürler, karbürler veya karbonitrürler gibi, bileşiklerin malzeme yüzeyinde oluşumunu hızlandırır. Plazma esaslı iyon kaplamada, ana malzeme DC devresinin katodudur. Ancak; kaplama oluşturulan yüzeye, plazmadan hızlandırılan iyonlar ana malzemeden bağımsız olarak biçimlendirilebilir

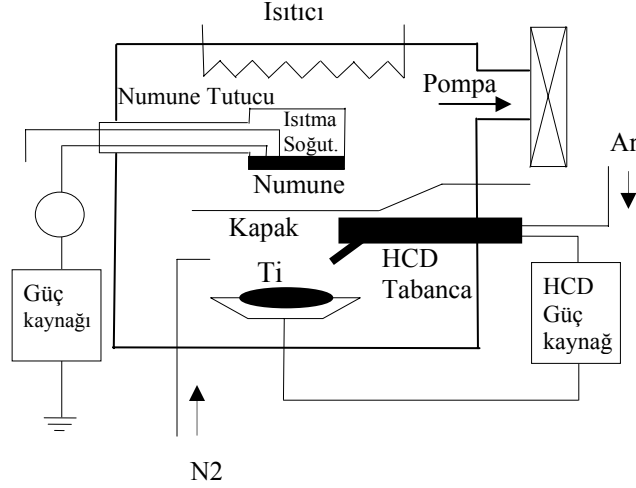
Kaplama süresince uygulanan eş zamanlı veya periyodik bombardıman, kaplama özelliklerini ayarlar. Enerji yüklü tanecik bombardımanı reaktif biriktirme durumunda kafes yapısı içine yüzey atomlarının geri çekilme implantasyonu ile etkili kaplama gerilmeleri sunabilir. Plazma esaslı iyon kaplamada veya iyon kaynaklarında reaktif biriktirme durumunda, reaktif türlerden bir plazma kullanılması reaktif türleri aktive eder. Bu da o yüzeyde olan kimyasal reaksiyonların kinetiklerini artırır.



Şekil 5.5. Plazma ve vakum esaslı iyon kaplama konfigürasyonu (Mattox, 2002).

Bombardıman iyonlarından argonun iyon bombardıman enerjisinin 300 eV'tan küçük ve 50 eV'tan da büyük olduğu belirlenmiştir (Mattox, 2002). Daha düşük iyon enerjilerinde momentum transferi; film atomlarını yerinden çıkarmak için yetersiz kalır ve daha yüksek iyon

enerjili bombardıman türlerinde, ana malzeme sıcaklığı yükselmedikçe atom filme bağlanır. Bu gazlı bileşik; filmde mikro gözeneklerin oluşumuna yol açar.



Şekil 5.6. HCD iyon kaplama sistemi (Chen ve diğ., 2002)

İyon kaplamada, tanecikler genellikle pozitif yüklü iyonlardır. Bunlar bir plazmadan çıkarılmış ve kaplama yüzeyi elde etmek için hızlandırılmıştır. Plazma esaslı iyon kaplamada, ana malzeme üzerine uygulanan negatif potansiyel sürekli olarak bir DC gerilim uygulanarak oluşturulabilir. Şekil 5.6’da HCD iyon kaplama sistemi gösterilmektedir.

Kaplama oluşumu süresince eş zamanlı bombardıman; kaplama ile ana malzeme adhezyonu, yoğunluk, yüzey alan, porozite, artık film gerilmeleri, reaksiyon indeksi ve elektrik özdirenci gibi faktörler, kaplamanın bütün özelliklerini yakından etkiler. Reaktif iyon kaplamada eş zamanlı bombardımanın kullanılmasıyla, düşük dayanımlı malzemelere titanyum nitrür (TiN) ve zirkonyum nitrür (ZrN) gibi yüksek yoğunluklu bileşikler kaplanabilmektedir.

5.1.4.1. İyon Kaplamanın Avantajları

Bu yöntemde aşağıdaki avantajlar söz konusudur;

- Enerji yüklü tanecik bombardımanı ile biriktirilen filmin yüzeyinden içeriye büyük enerji geçişi sağlanır.
- Gaz saçınımı ve saçınım ile yeniden birikme etkileri nedeniyle vakum buharlaşma ve saçınım biriktirme yüzey kaplamayı geliştirebilir.
- Kontrollü bombardıman; adhezyon, film yoğunluğu, artık film gerilmesi, optik özellikler gibi film özelliklerinin modifikasyonu için kullanılabilir.
- Film özellikleri biriktirilen malzemenin akış açısına saçınım biriktirmesi ve vakum buharlaşmadakinden daha az bağımlıdır.

5.1.4.2. İyon Kaplamanın Dezavantajları

Bu yöntemde aşağıdaki dezavantajlar söz konusudur;

- Ana malzeme yüzeyi üzerine düzgün dengeli iyon bombardımanının elde edilmesi zordur.
- Ana malzemede, istenmeyen aşırı ısı artışları olabilir.
- Benzer koşullar altında bombardıman gazı, gelişen kaplama filmi içinde bileşik oluşturabilir.
- Benzer koşullar altında bombardıman işlemi peş peşe kalıntı film gerilmesi oluşturabilir.
- Plazma esaslı iyon kaplamada pompalama hız sistemi zaman zaman sınırlanır ve bu yüzden filmin kirlenme problemi artmaktadır.

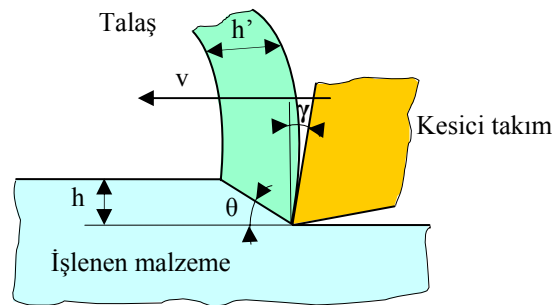
İyon kaplama yönteminin kullanımı, bileşik malzemelerin kaplanması başta olmak üzere, yüksek yoğunluklu optik kaplamalar ile sert metal kaplamalarda son yıllarda hızla artmaktadır.

6. TALAŞ KALDIRMA YÖNTEMLERİNİN ESASLARI

Talaş kaldırma; ucu keskin bir takım ile parça üzerinden malzeme kaldırma işlemidir. Bu işlemde kaldırılan malzemeye talaş denilir (Akkurt, 1998). Talaş kaldırma işleminin oluşumunda, takım ile parça arasındaki göreceli hareketler, takım ucunun geometrisi ve bazı kesme işlemlerinde kesici uç sayısı etkilidir. Takım ile iş parçası arasındaki göreceli hareketlerin sonucunda talaş kaldırma işlemi gerçekleşir. Bu işlem kesme, ilerleme ve ayar olmak üzere üç hareketten oluşur. Genellikle kesme hareketi dönme veya doğrusal, ilerleme ve ayar hareketleri ise doğrusal hareketlerdir. Bu hareketlerin parça veya takım tarafından yapılması çeşitli talaş kaldırma yöntemlerini meydana getirmektedir. Bu bakımdan tornalama, frezeleme, delme, planyalama, vargelleme ve taşlama olmak üzere beş farklı talaş kaldırma yöntemi uygulanmaktadır. Talaş kaldırma işlemleri sorunları ile ilgili olarak bir çok araştırmacı değerli çalışma ve araştırmalar yapmıştır (Grzesik, 1998; Grzesik, 1999; Liv ve Altıntaş, 1999; Yih-fong, 2000; Noordin ve diğ., 2001; Chang ve Tsai, 2003; Boud, 2006).

6.1. Talaş Kaldırma Mekanikliği

Talaş kaldırma; belirli bir boyut, şekil ve yüzey kalitesine sahip parça üretmek için, malzemenin amaca göre biçimlendirilmiş bir kesici takımla güç kullanarak işlenmesidir. İşlem sırasında malzeme yüzeyinden ayrılan tabakaya talaş denir. Fiziksel bakımdan talaş kaldırma işlemi elastik ve plastik şekil değiştirmeye dayanan sürtünme, ısı oluşumu, talaşın kırılması ve büzülmesi, işlenen parçanın yüzeyinin sertleşmesi, takım ucunun aşınması durumlarını kapsayan karmaşık fiziksel bir durumdur. Talaş kaldırma işleminin gerçekleşebilmesi için, yeterli bir kuvvet ile işlenen malzemeden daha sert bir malzemeden yapılmış takım gereklidir. Ayrıca takımın uç şeklinin kama biçiminde yapılması ise, kesmeyi kolaylaştıran bir faktördür. Uç kısmı biçimlendirilmiş bir takımla yapılan kesme işlemi Şekil 6.1’de görülmektedir.



Şekil 6.1 Takım modeli ve ortogonal kesme

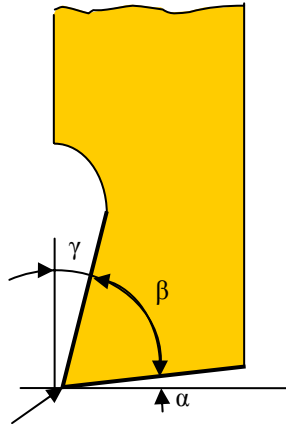
Takımın kesici kenarının, kesme hız vektörüne dik olduğu kesme biçimine talaş kaldırma tekniğinde ortogonal kesme denilmektedir. Kesici takımın bir parça üzerinde belli bir kuvvet etkisi ile bastırılarak hareket ettirilmesi sonucunda takım ucunun temas ettiği metal tabakasında önce elastik ve ardından oluşan plastik şekil değişimleriyle, metal tabakada akmalar başlar. Gerilmeler malzemenin kopma sınırını aştığı anda kesilen tabaka, talaş şeklinde belirli bir yüzey boyunca parçadan ayrılır. Bu işlemler sonucu oluşan talaşın biçimi, parça malzeme özellikleri ve işleme koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

6.2. Talaş Kaldırmaya Etki Eden Faktörler

6.2.1. Kesici Takım Geometrisi

Talaş kaldırma işleminin en önemli elemanı kesici takımdır. Kesici takımlar görünüşte birbirlerinden çok farklı olmalarına karşın, tüm takımlar kesici uç bölgesi ve sap olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Kesici uç, ağız ya da diş denilen kısım; tüm takımlar için aynı özellik taşır. Kama şeklinde olan kesici kısım, talaşın temas ettiği talaş yüzeyi, parçanın işlenmiş yüzeyine dönük serbest yüzey ile sınırlıdır. Kesici ucun talaş açısı (γ), kama açısı (β) ve serbest açısı da (α)'dır. Bu açılar arasında

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \text{ bağıntısı vardır.} \quad (6.1)$$



Şekil 6.2 Kesici takım geometrisi

6.2.2. Talaş Geometrisi

Metal tabakasının talaşa dönüşmesi sırasında meydana gelen plastik şekil değiştirmeler nedeniyle, talaş genişliği aynı kalmasına karşın talaş kalınlığında bir artış görülürken, talaşın uzunluğunda ise bir büzülme oluşmaktadır.

$$V = b.l.h = b.l'.h' \quad (6.2)$$

$$\lambda = \frac{h}{h'} = \frac{l}{l'} \quad (6.3)$$

$$h = A.B.\sin(\phi) \quad (6.4)$$

$$h' = A.B.\cos(\phi - \gamma) \quad (6.5)$$

$$\lambda = \frac{h}{h'} = \frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi - \gamma)} \quad (6.6)$$

$$\tan(\phi) = \frac{\lambda.\cos(\gamma)}{1 - \lambda.\sin(\gamma)} \quad (6.7)$$

$$\tan(\phi) = \frac{\cos(\gamma)}{\lambda - \sin(\gamma)} \quad (6.8)$$

$$A_s = b.h \quad (6.9)$$

V = talaş hacmi

l = boy

A_s = talaş kesiti

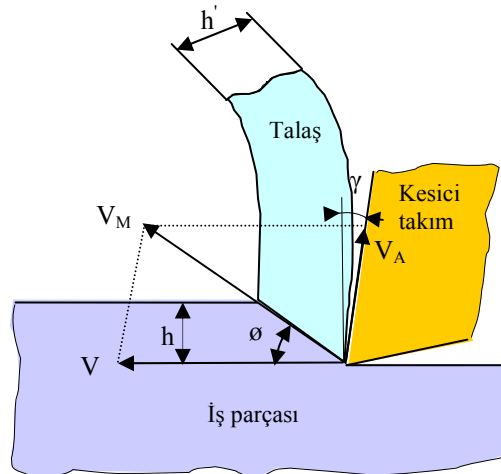
b = genişlik

h = kalınlık

λ = büzülme faktörü

ϕ = kesme açısı

A_s = talaş kesit alanı



Şekil 6.3 Talaş geometrisi (Akkurt, 1998)

6.2.3. Kesme Hızı

Talaş kaldırma işleminde takım, kesme yönünde kesme hızı (V) denilen bir hızla ilerler ve parçadan ayrılan talaş (V_A) hızı ile uzaklaşır. Bu iki hız, parça yüzeyinde talaş kaldırma hızını (V_M) oluştururlar. Bekleneceği gibi, talaşın büzülmesinden dolayı $V_A < V$ olacaktır.

$$\frac{V_A}{V} = \frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi - \gamma)} \quad (6.10)$$

$$V_A = V \cdot \lambda \quad (6.11)$$

Kesici takım malzemelerde; işlenecek malzeme, kullanılacak kesici takım biçimi ve uç sayısı gibi parametreler kesme hızının belirlenmesinde etkili olmaktadır. Talaş kaldırma işleminde oldukça büyük bir öneme sahip olan kesme hızı faktörü, işlem süresini ve işlemin maliyetini de belirler.

6.2.4. Kesme Kuvveti

Talaş kaldırma olayını gerçekleştirmek için kesme düzleminde meydana gelen dirençleri karşılayacak bir kuvvetin uygulanması talaş kaldırma kuvveti olarak belirtilmektedir.

Kesme düzlemindeki kuvvetler; kesme kuvveti, takım ile talaş ve takım ile iş parçası arasındaki sürtünme kuvvetlerinden oluşmaktadır. Düzlem boyunca yayılmış durumda olan bu kuvvetler, kesme düzleminin ortasında veya takımın ucuna uygulanan tek bir kuvvet olarak gösterilebilir. Bu durumda talaş kaldırma kuvveti; kesme kuvveti (F_s), bu kuvvete dik yönde radyal kuvvet (F_r), kesme düzleminde makaslama kuvveti (F_k) ve bu yöne dik basma kuvveti (F_b), sürtünme kuvveti (F_f) ve bunu oluşturan normal kuvvet (F_n) parametreleri etkili olmaktadır.

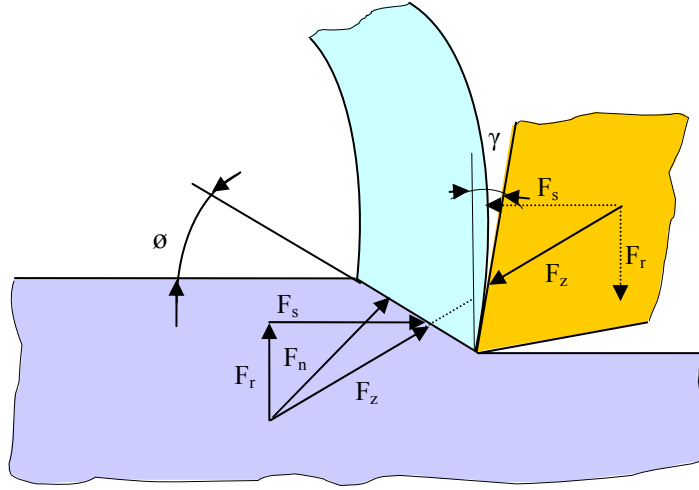
$$\mu = \frac{F_f}{F_n} = \tan(\rho) \quad (6.12)$$

$$F_k = A_k \cdot \tau_k \quad (6.13)$$

$$A_k = h \cdot b / \sin(\phi) \quad (6.14)$$

$$F_s = h \cdot b \cdot \tau_k \frac{\cos(\rho - \gamma)}{\sin(\phi) \cos(\phi + \rho - \gamma)} \quad (6.15)$$

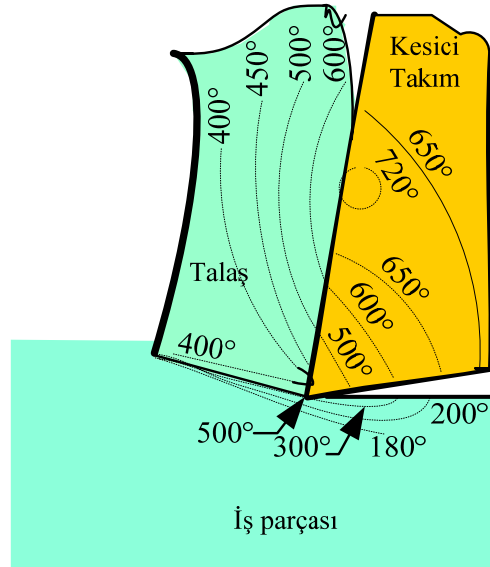
$$F_r = h \cdot b \cdot \tau_k \frac{\sin(\rho - \gamma)}{\sin(\phi) \cos(\phi + \rho - \gamma)} \quad (6.16)$$



Şekil 6.4. Talaş kaldırma kuvvetleri

6.2.5. Kesme işleminde Oluşan Isı

Talaş kaldırma işleminde, takım ile talaş ve işlenen yüzey arasında meydana gelen sürtünmeler ısı oluşumuna ve kesici takımın aşınmasına neden olmaktadır. Oluşan ısıнын önemli bir kısmı (% 50-80) talaş ile birlikte dışarı atılır. Diğer bir kısmı (% 3-10) parçaya ve geri kalanı (% 10-40) ise kesici takıma geçer ve kesici takımın ısınmasına neden olur. Bu iki durum, talaş kaldırma işleminde kesici takımın ömrünü tayin eder. Bununla birlikte, kesici takımın malzemesi, işlenen parçanın malzemesi ve işlemden kesme sıvısı kullanılıp kullanılmaması gibi faktörler takım ömrü üzerinde etkili olmaktadır.



Şekil 6.5. Talaş kaldırma işleminde ısı dağılımı (Akkurt, 1998)

Kesme hızının büyümesiyle talaş ile ortamdan uzaklaştırılan ısı hızlı bir şekilde büyümekte ve aynı zamanda parçaya geçen ısı azalmaktadır. Şekil 6.5’de belirtildiği gibi, takım üzerinde sıcaklık dağılımında en yüksek sıcaklık, takımın uç kısmına yakın talaş üzerinde meydana gelmektedir.

6.3. Kesici Takımın Aşınması

Talaş kaldırma sırasında oluşan sürtünmeler ve sıcaklık, takım aşınmasına neden olur. Takımın aşınmasında asıl neden sürtünmedir. Sıcaklık, takımın aşınmaya karşı direncini azaltması nedeniyle, aşınmayı hızlandıran bir etkidir. Sürtünme, talaş ile takımın talaş yüzeyi ve işlenen yüzey ile takımın serbest yüzeyi arasında meydana geldiği için aşınma da bu yüzeylerde oluşmaktadır. Burada bahsedilen sürtünme, makine elemanları arasında oluşan sürtünmeden farklı özellikler taşımaktadır. Farklılık; kesme sürtünmesinin sürekli olarak farklı yüzeylerde, yüksek sıcaklık, yüksek basınç koşulları ve nispeten küçük temas alanlarında oluşmasındandır. Bu nedenle kesici takımların aşınması; abraziv, adheziv, yenme, difüzyon (atom hareketleri) ve korozyon gibi çeşitli aşınma türlerini içermektedir. Talaş yüzeyi ve serbest yüzeylerdeki sürtünmelerin farklı olması deneniyle, yüzeylerin aşınmaları da birbirinden farklılık gösterir. Normal yüzeyde aşınma bir talaş kaldırılması şeklinde olurken, talaş yüzeyinde yüksek sıcaklıktaki talaş akmasının neden olduğu bir krater şekilli bir oyuk oluşmaktadır.

Kesici takımın aşınarak körleşmesini belirleyen durumlar; serbest yüzeyde aşınma bölgesinin belirli bir boyuta ulaşması, talaş yüzeyinde krater oluşumu, kesici kenardan küçük parçacıkların kopması, işlenen yüzey kalitesinin bozulması, kesme kuvvetinin ve gücünün ani artışı olarak sıralanmaktadır. Bunlardan birinin veya birkaçının olduğu durumlarda takım ya bilenir ya da değiştirilir.

6.4. Kesici Takım Ömrü

Takım ömrü, takımın belirlenen aşınma değerine kadar geçen talaş kaldırma zamanı olarak belirtilmektedir. İşlem biçimine göre takım ömrü delme, vargel, planya vb. işleme uzunluğu ile (L), Frezeleme de ise talaş hacmi ile ifade edilmektedir. Takım ömrünü etkileyen en önemli faktör kesme hızıdır. Kesme hızının takım ömrüne etkisini Taylor bağıntısı;

$$V = \frac{C_t}{T^n} \quad (6.17)$$

V = Kesme hızı n = Parça ve takım malzeme sabiti
T = Takım ömrü C_t = Taylor sabiti, ile belirlenmektedir.

7. AŞINMA

Makine parçalarının görevini yerine getirememesi ve hasar görmesinin en önemli nedenlerinden biri olan aşınma, sürtünme ile birlikte oluşmaktadır. Sürtünme ise, katı cisimlerin bir biri üzerinde hareketleri esnasında hareketi engelleyen kuvvet olarak bilinir. Aşınma, çeşitli mekanik etkiler sonucu küçük parçacıkların kopması neticesinde oluşan istenmeyen değişimlerdir. Başka bir ifadeyle aşınma malzeme yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların etkisi neticesinde malzemenin yüzeyinde mikro taneciklerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulmasıdır (Sellars ve Whiteman, 1974).

Genel olarak aşınma; yataklarda, balatalarda, pistonlarda, supaplarda, kesici uçlarda, dişli çarklarda, türbin kanatlarında, iş makinelerinde, tarım makinelerinde, vb. yerlerde meydana gelmektedir.

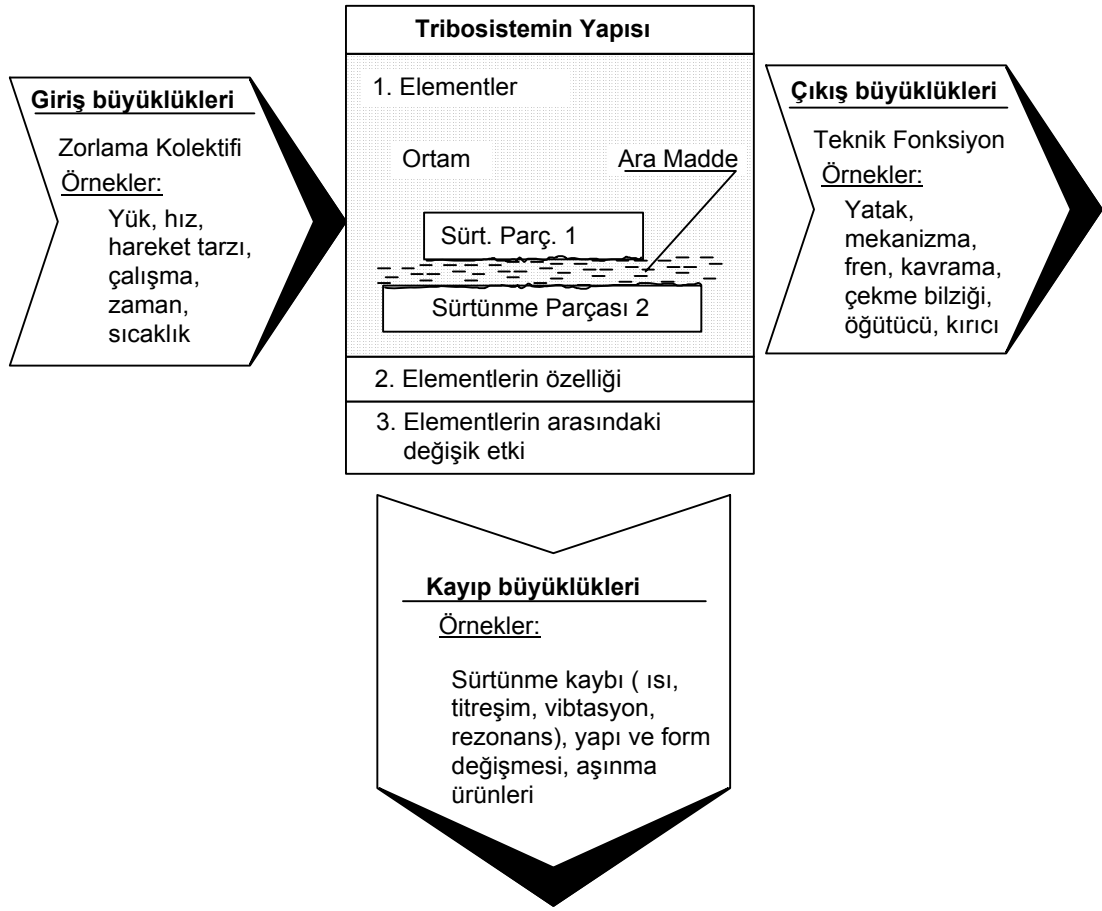
Sürtünme ve aşınma daima birlikte gerçekleşmektedir. Düşük miktarda aşınma istenebilirken, düşük oranda sürtünme her zaman istenmeyebilir.

Aşınmanın görünüm şekli de yalnız parçacıkların kopması değil, aynı zamanda sürtünme süreci esnasında yüzeyde kaynak olma, yapışma, bağlanma, şekil değiştirme, dayanım artışı, ergime, absorpsiyon, difüzyonla yayınma, yapı dönüşümü, oksitlenme vb. dönüşümler olabilir. Bu nedenle aşınma teriminin yeni bir yaklaşımla ifadesi; sürtünme sonucu oluşan, katı cisimde teknolojik olarak bilinen şekil değiştirme ya da madde değişimi dışında kalan kalıcı biçimlenme ve madde değişimidir (Topbaş, 1993). Aşınmanın gerçekleşmesi için tribolojik olarak aşağıdaki etkenlerin mutlaka var olması gerekir. Bunlar esas malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük, izafi hareket ve ortam şeklinde sıralanabilir.

Tribolojik olaylar sadece iştirak eden malzeme ve onların özelliklerine değil, aşınmaya katılan tüm maddelerin birbirine karşılıklı etkileri ve dıştan etki eden zorlama etkilerine bağlı olur (Höck ve diğ., 1996; Qiang ve diğ., 1998; Kuzucu ve diğ., 1999; Chang ve Chen, 2003; Kessler ve diğ., 2003; Georgiev ve diğ., 2004; Brahmi ve diğ., 2005; Kaul ve diğ., 2005).

Yükün sürekli artırılması durumunda başlangıçta orantılı ve az olan aşınmanın artan yük değeriyle birlikte hızlandığı görülmektedir (Çakan, 2000).

Şekil 7.1’de gösterildiği gibi bir tribo sistem; aşınan malzeme, aşındıran malzeme, ara madde ya da malzeme ve çevre ortamı elemanlarından oluşur.



Şekil 7.1 Habig ve Cizighos’a göre tribo sistemin şematik gösterimi (Topbaş, 1993).

Tribolojik süreçte çeşitli değişken etkiler ortaya çıkabilir ve aşınma çiftlerinin yüzey özelliklerinde değişimler olabilir. Dışarıdan etki eden yük, hız, hareket şekli, yol, zaman ve sıcaklık gibi değişkenler; kolektif zorlanma sonucunda, tribo sistem üzerine yararlı büyüklüklere de dönüştürülebilir. Buna örnek olarak hareketi durduran frenler verilebilir. Burada sürtünme ve aşınmanın sebep olduğu kayıplar görülebilir ve tribo sistem tekniğe uygun olarak düzenlenebilir.

Aşınma, tribo sisteme katılan elemanlarda değişken etki yaparak deformasyon, adhezyon, mikroskobik sınır tabaka sahasında çatlak oluşumu ve gelişimi gibi malzemede değişime neden olur.

7.1. Aşınmada Etkili Olan Faktörler

Esas Malzeme: Fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında yüzey yapısı, geometrik şekli ve aşınma durumu büyük önem taşıyan katı cisimdir.

Karşı Malzeme: Aşınmanın oluşmasında büyük önem taşıyan karşı sürtünme elemanı olup; katı, sıvı ya da gaz olabilir. Temel sürtünme elemanı (esas malzeme) ile aşınma çiftini oluşturur.

Ara Malzeme: Esas malzeme ile karşı malzeme arasında bulunan katı, sıvı , gaz ya da bunların karışımı şeklindeki maddedir.

Yük: Sisteme etki eden kuvvetin büyüklüğü, türü (statik, dinamik, darbeli), yönü ve zamana göre değişimi aşınma üzerinde etkili olur.

İzafi Hareket: Sürtünme elemanlarının birbirine göre hareketinin cinsi (kayma, yuvarlanma), büyüklüğü ve doğrultusu, aşınma üzerinde büyük bir etki gösterir.

Ortam: Sistemin içinde bulunduğu ve genelde sıvı veya gazdan oluşur ve aşınmanın oluşmasında büyük bir önem taşır.

Birbiri ile temas halinde olan iki cismin gerçekte temas yüzeyi görünenden daha azdır. Çünkü temas eden parçaların yüzeyleri ne kadar ince işçiliklerle işlenirse işlensin, bu parçaların yüzeylerinde pürüz diye bilinen girinti ve çıkıntılar mutlaka bulunacaktır. Temas halinde bulunan iki cisim pürüzler vasıtası ile birbirlerine temas ederler (Çakan ve Yıldırım, 2002) .

7.2. Aşınma Mekanizmaları

7.2.1. Adheziv Aşınma

Genellikle fazla zorlanan yüzeyde, enerji birikimi sonucu plastik deformasyon oluşur. Bu sırada temas eden yüzey tabakasında kopma, mikro ergime ve mikro düzeyde kaynak olayı meydana gelir. Bunlar, sürtünmenin devamı ile birlikte tekrar yok olur. Bu süreçle, aşındırıcı parçacıkları oluşturur. Sürtünme olayının ilerleyen safhalarında tam kilitleme ya da yatak sarma adı verilen durum ortaya çıkabilir (Topbaş, 1993).

Adheziv aşınma eş çalışan parçalarda metalin sürtünmesinden ileri gelmektedir.

7.2.2. Abrasiv Aşınma (Mikro Kesilme, Şekil Değiştirme Aşınması)

Sert olan aşınma çiftinin çıkıntıları yumuşak olan yüzeye batır, ya da sert parçacıklar, bir anlamda çizme ve mikro talaş kaldırma etkileri yaparlar. Bu suretle oluşan aşınma abrasiv aşınma olarak ifade edilir.

7.2.3. Yorulma Aşınması

Yüzeyin mikro alanında tekrar eden elastik ve plastik deformasyon durumları kritik gerilme ve dislokasyon yığılmalarına neden olur. Bunun sonucunda mikro çatlak oluşabilir. Deformasyona neden olan etkinin devam etmesi durumunda çatlakta büyüme olur ve aşınma parçacıkları kopar.

7.2.4. Koroziyon Aşınma

Tribolojik zorlamada oluşan enerji aşınma çiftinde kimyasal veya fiziksel-kimyasal reaksiyonlar meydana getirebilir. Burada ortamda bulunan yağ ve ara madde gibi değerler reaksiyona katalizör (aktifleştirici) etki yapabilir. Bu sırada yüzeyin özelliklerinde değişimler olabilir. Yüzeye sıkı tutunan filmleri meydana getiren kimyasal oluşumlar aşınmayı önleyebilir, aksi durumda aşınma hızlanabilir.

7.2.5. Termik Aşınma

Yüksek sıcaklığın etkili olduğu bir aşınma türüdür. Bu aşınmada ortamdaki gazların da etkisi söz konusudur. Bu aşınma türünün görüldüğü durumlar sıcak hadde silindirleri, valf klapeleri vb. makina elemanlarıdır.

7.2.6. Kaviteasyon Aşınması

Belirtilen önemli aşınma mekanizmalarının yanında aşırı zorlamalardan oluşan temas yüzeylerinde yumuşama ve ergime gibi ilave aşınma durumlarında görülebilir.

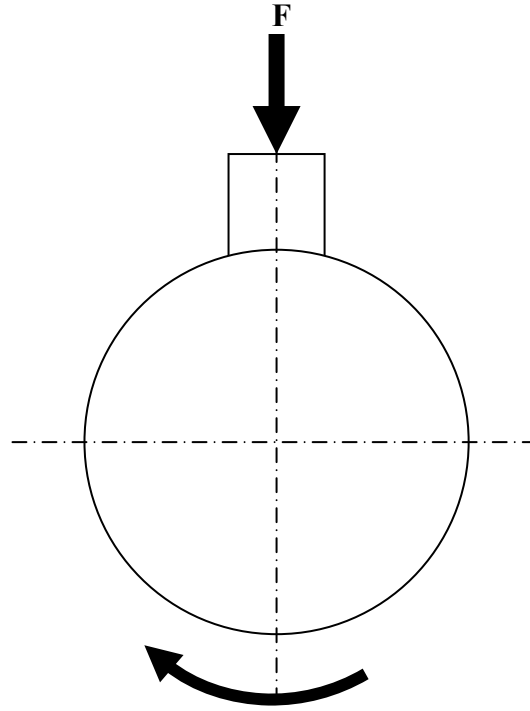
7.3. Aşınma Test Mekanizmaları

Farklı test yöntemlerinin sonuçlarının bir biri ile karşılaştırılmasında karşılaşılan güçlükler ve bunların ilişkilendirilmesinde yaşanan problemler nedeniyle, her bir test kendi şartlarında değerlendirilmektedir. Elde edilen bilgiler genellikle bireysel kalmakta ve bu konuda bilimsel genelleme yapılamamaktadır. Karşılaştırma yapabilmek için standart bir karşı malzeme ile aşınma testi uygulanabilir (İpek ve Karamış, 1999).

Aşınma test yöntem ve değişkenlerinde uluslararası düzeyde belli bir standardizasyon oluşturulmuştur. Örneğin aşınma değerlerinin gösterilişi DIN S0321’ de ve aşınma test yöntemi olarak da en çok kullanılan pim-disk mekanizması ASTM G99’ da tarif edilmiştir.

7.3.1. Pim-Disk Aşınma Test Yöntemi

Bu yöntemde karşı malzeme dönen bir disk ve pim ise, test numunesidir. Numune, pim üzerine etki ettirilen bir yükle ya da bir mekanizmayla karşı malzemeye (diske) basınçla temas ettirilir. Şekil 7.2’de görüldüğü gibi temas çizgisel sayılabilir. Numunenin aşınma profili dairesel olur. Aşınma belli bir kuvvet ve kayma hızında kayma yoluna göre malzeme kaybı yanında pim-disk üzerinde oluşan aşınma izinin analizi ile değerlendirilmektedir.



Şekil 7.2. Pim-disk aşınma mekanizmasının görünüşü (Çakan ve Yıldırım, 2002) .

7.4. Aşınma Deneyleri ve Ölçme Yöntemleri

Endüstride kullanılan makina ve ekipmanlarının kullanım süreleri son derece önemlidir. Makina parçalarının çabuk aşınması onların kullanım sürelerini kısalttığı gibi, maliyetlerini de artırmaktadır. Aynı zamanda bu makina ve ekipmanların bakım ve onarımı için geçen süreler ise, üretimde önemli ölçüde aksamalara neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, makine imalatında aşınmaya maruz kalacak parçaların imalinde kullanılacak malzemelerin aşınma direncinin yüksek olması gerekir.

Aşınmada esas olan, sabit kayma hızında ve sabit basınç kuvveti altında kütsel aşınma kaybının kayma yoluna göre tespit edilmesidir. Ayrıca aşınma süresince; sürtünme katsayısı ya da buna bağlı olarak sürtünme kuvveti, aşınan taneciklerin şekli, aşınan yüzey sıcaklığı, yüzey oksidasyonu ve yüzeyin sertlik değişimleri de değişken olarak kullanılmaktadır (İpek ve Karamış, 1999).

Uygun malzemenin tespiti için çok sayıda laboratuvar deneyinin yapılması gerekir. Laboratuvar deneylerinde ana malzemenin bir modeli ile çalışılır. Genellikle bu model basit bir geometrik şekle sahiptir. Numune bir deney cihazına monte edilerek her türlü aşınma ölçüm işlemleri bunun üzerinde yapılabilir. Abrasiv aşınma için en çok kabul gören test mekanizması, yukarıda şekli verilen pim-disk sistemidir.

Aşınma deneylerinde aşınmanın ölçüm yöntemleri aşağıdaki gibidir.

7.4.1 Ağırlık Farkı Yöntemi

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması nedeniyle, en çok kullanılan yöntem ağırlık farkı yöntemidir. Her ölçüm sonucunda deney numunesinin yerinden çıkarılıp işlem yapılması ise bu yöntemin dezavantajıdır.

Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-4} veya 10^{-5} gr hassasiyetinde, oldukça duyarlı bir terazi yardımı ile yapılabilir. Aşınma miktarı gram veya miligram cinsinden ifade edilirse metre ya da kilometre olarak tespit edilen sürtünme yoluna göre birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı (g/m) ya da (mg/m) ile ifade edilir. Ağırlık kaybı birim alan için ifade edilecekse, (g/cm³) gibi bir birim kullanılabilir. Ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istenirse, yine ağırlık kaybından hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı göz önüne alınmak suretiyle, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından gidilerek bulunur (Korkut, 1997). Bu tanımlardan hareket edilerek en çok kullanılan ağırlık farkı ölçme yönteminde kullanılan bağıntılar şunlardır:

$$W_a = \Delta G / d.M.S \text{ (mm}^3/\text{Nm)} \text{ (BHAT 1981)} \quad (7.3)$$

$$W_a = \text{Aşınma oranı (mm}^3/\text{Nm)}$$

$$\Delta G = \text{Ağırlık kaybı (mg)}$$

$$M = \text{Yükleme ağırlığı (N)}$$

$$S = \text{Aşınma yolu (m)}$$

$$d = \text{Cismin yoğunluğu (gr/cm}^3\text{)}$$

Aşınma oranının (W_a) tersi aşınma direncidir ve (W_r) olarak ifade edilir.

$$W_r = 1/W_a \text{ (Nm/mm}^3\text{)}, \quad (7.4)$$

7.4.2. Kalınlık Farkı Yöntemi

Aşınma süresince oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi başlangıç değeriyle karşılaştırılması neticesinde elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden hareket edilerek hacimsel kayıp ve birim hacimdeki aşınma miktarı tespit edilir (Korkut, 1997).

Kalınlık hassas ölçme aletleri yardımıyla $-1, +1 \mu\text{m}$ duyarlılıkta ölçülmelidir.

7.4.3. Bilgisayar Destekli Aşınma Test Yöntemi (BDAT)

Bu yöntemlerde aşınma ve aşınma değişkenlerine ait veriler, esas itibari ile pim disk aşınma test mekanizmasına ilave edilen veriler, kontrol kartı üzerinden bilgisayara aktarılır ve hazırlanan paket programlarda değerlendirilir. Bunlarda Implant Sciences Corp. tarafından

geliştirilen ISC-200PC real-time pim-disk aşınma test yöntemi en çok rağbet gören örneklerden biridir. Bu yöntemde numune, dönme sayısı değiştirilebilen bir tabla üzerine yerleştirilmekte ve yük, hız, sürtünme katsayısı veya dönme sayısı gibi değişkenler tespit edilebilmektedir. Ayrıca temas yüzeyinde oluşan Herz basıncı da ölçülebilmektedir. Aşınma çiftleri değiştirilebildiği gibi, tüm mühendislik malzemelerin de başarı ile test edilebilmektedir (İpek ve Karamış, 1999).

Aşınma kayıpları ve sürtünme katsayıları verileri, bilgisayara kontrol kartları üzerinden aktarılarak işlenir. Bu veriler, bir paket programla grafik formlara dönüştürülebilir, istatistiksel analizlere tabi tutulabilir ve diğer hesaplamalarda kullanılabilir. Ayrıca, pim üzerine uygulanan Herz basıncı sonucunda pim ve disk yüzeyinde oluşan aşınma izlerinin profili bir çizici ile belirlenmektedir.

Bu yöntemin en önemli üstünlüğü, aşınma testlerinin daha hızlı ve daha az numune ile yapılabilmesine olanak sağlamasıdır. Sistemin duyarlılığı, kullanılan sensörlerin ve kontrol kartının voltaj değerindeki doğrusal sapmaya bağlıdır (İpek ve Karamış, 1999).

7.4.4 Radyonüklid Tekniği İle Aşınmanın Ölçülmesi (RNT)

İlk defa Almanya'da Daimler-Benz AG tarafından geliştirilen bu metotla tribolojik sistem hakkında diğer ölçme yöntemlerinde elde edilemeyen daha detaylı bilgiler elde edilebilmektedir. Radyoaktif nükleidler yardımı ile aşınmanın belirlenmesi, aşınma esnasında aşınan tanecikler tarafından emilen gama ışınının ölçülmesi esasına dayanır. Bu yöntemde, test parçası atomik parçacıklar tarafından bombardıman edilir. Bunun neticesinde kararlı olan test parçası, radyoaktif (kararsız) çekirdeğe dönüşür. Atomik partiküller termal nötronlardır ve nükleer reaktörlerden elde edilir. Aşınma testi sonucu aşınan tanecikler yağ ile ölçme odasına gönderilir. Ölçme odasına taşınan aşınma partiküllerinin toplam radyoaktiflikleri scintillation detektörü ile belirlenir. Toplam radyoaktiflik ile toplam aşınma miktarı arasında doğrusal bir ilişki belirlenmiştir. Böylece, aşınma miktarı tespit edilen partikül aktifliğine kalibre edilerek bulunmaktadır.

Bu yöntemin en önemli avantajı, gerçek işletme şartlarında test yapılabilmesidir. Ayrıca, yüzeyde kısmi bir bölge aktif hale getirilerek sınırlı bir bölgede çok küçük aşınma miktarlarını ölçmek mümkündür. Yalnızca metalik malzemelere uygulanması, teknolojisi ve maliyetinin yüksekliği yaygın olarak kullanılmasını engellemektedir (İpek ve Karamış, 1999).

7.4.5. Akustik Emisyon Tekniği İle Aşınmanın Ölçülmesi (AET)

Akustik emisyon (AE), bir malzemenin şekil değiştirme enerjisinin hızla serbest kalması ile meydana gelen transient elastik gerilmesi olarak tarif edilir. Radyasyon gerilim dalgaları, uygun bir sensörle yüzeyde tespit edilir. Akustik emisyon verileri, pürüzlerin teması,

mikro çatlakların başlaması ve gelişmesi, plastik deformasyon ve akma gibi temas yüzeylerinde meydana gelen olaylara bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir (Boness ve McBride, 1991).

Aşınma esnasında yüzey pürüzlerinin teması sonucu ortaya çıkan giriş akustik emisyon voltajı $AE_{rms}^{1)}$ (rms: root mean square'in kısaltılmışıdır) voltajı ölçülür. Bu voltaj, aşınma mekanizmalarına göre değişmektedir ve doğrudan aşınma mekanizmalarını ortaya koymaktadır. Çoğunlukla bu değişimin analizi hiç de kolay değildir. Çünkü temas eden pürüzlerin arasında oluşan muhtemel aşınma mekanizmalarının tümü birlikte oluşabilir. Bu durum akustik emisyon sinyalinin oldukça karmaşık olması anlamına gelir. Böyle bir halde, akustik emisyon sinyalinin analizi ve yorumlanması daha fazla bilgi ve tecrübe gerektirir (Boness ve McBride 1991)

Ayrıca aşınma kaybı ile r.m.s. sinyali arasında doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir. Buna göre aşınma miktarı, rms sinyalin integrali ile sabit bir katsayının çarpımına eşittir [aşınan malzeme hacmi (mm^3) = sabit katsayı * $\int V_{rms}.dt$] (Boness ve McBride 1991)

7.4.6. On-line İzleme Yöntemi

Yöntem; lazer diyot tarafından üretilen ışığın fiber optik vasıtasıyla iş parçası üzerine gönderilmesi ve iş parçası üzerinden yansıyan ışığın başka bir fiber optik vasıtasıyla alınarak foto diyot üzerine düşürülmesi sonucunda foto diyot çıkışından alınan voltaj değerlerinin A/D dönüştürücü vasıtasıyla bilgisayarda depolanması esasına bağlı dolaylı bir ölçme yöntemidir. Yöntemin uygulanmasında fiber optik uçlarının iş parçası eksenine sabit bir uzaklıkta eksene paralel hareket ettirilmesi zorunludur. Kesici takımdaki aşınmaya bağlı olarak iş parçasının işlenen yüzeyinde oluşan boyutsal değişim ile bu yüzeylere çarparak yansıyan lazer ışınlarının algılayıcı fiber optiğe yansımada en önemli etkenlerdir. Kesici takımdaki aşınma, yansıyan ışık şiddeti ile orantılıdır. (Chodhury ve diğ., 1999).

Fiber optik, algılayıcı-yükseltici (foto diyot) ve analog dijital dönüştürücü, optik algılama sisteminin temel elemanlarını oluşturmaktadır. Bu iki fiberin görüş alanı, sistemin çalışma prensibini oluşturmaktadır.

8. SERTLEŞTİRİLEBİLİR KARBONLU ÇELİKLER

Karbonlu çelikler, maliyetlerinin düşüklüğü ve geniş kullanım alanı bulmaları nedeniyle diğer çeliklerden çok daha yaygın bir kullanım alanına ve büyük bir üretim hacmine sahiptir. 1940'lı yılların başlarında kısa bir süre alaşımlı çelik kullanımı yaygınlaşmış olmasına karşın, alaşım elementlerinin pahalı olması, aşırı derecede tüketilmesi ve üretimlerinin zamanla ihtiyaçlara yanıt veremez duruma gelmesi sonucunda, sade karbonlu çeliklerin kullanımı buna bağlı olarak hızla artmıştır. Karbonlu çelikler, üretim maliyetlerinin düşük olması ve ısıl işlem türlerine olan yatkınlıkları nedeniyle günümüzde pek çok parçanın üretiminde en büyük paya sahiptir. Bu da, pek çok parçanın üretimi için, alaşımlı çeliklere göre sade karbonlu çeliklerde ortaya çıkan daha az sertleşme yeteneği, kolay temin edilebilirlik ve ucuzluk, yüzey sertleştirmede derinliğin iyi kontrol edilebilirliği gibi özellikler, bu çelikler için bir avantaj olarak görülmektedir (ASM Handbook, 1988). Daha önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, sade karbonlu çeliklere klasik ısıl işlem yöntemlerini uygulamak kolaylıkla mümkündür (Yıldırım ve diğ., 2001).

Karbonlu çeliklerin 1000 serisi kükürdü giderilmemiş olarak 50 türde, 1100 ve 1200 serisi kükürdü giderilmiş olarak yaklaşık 30 değişik türde üretilmektedir. Bunlar karbon içeriğine göre üç temel grupta toplanmaktadır.

8.1 % 0.10 - 0.25 Karbonlu Çelikler

Bu grup çelikler için üç temel ısıl işlem türü kullanılmaktadır. Bunlar;

- a) Belli üretim işlemleri için çeliklerin fırınlanarak hazırlanmasında kullanılan ısıl işlem türleri,
- b) Yüzey sertleştirme işlem türleri ve
- c) Mekanik özellikleri geliştirmek için uygulanan temperleme ve sertleştirme işlem türleridir.

Düşük karbonlu çeliklerin temperlenmesi ve sertleştirilmesiyle elde edilebilen mekanik özellikler genellikle pahalı değildir. Fırınlama işlemine bir örnek soğuk çekilen telden yapılan soğuk haddelenmiş düşük karbonlu cıvataların üretim işlemleri verilebilir.

Bunların, talaşın uzun ve kıvrık çıkması, serbest ferrit oranının sementite, dolayısı ile perlite göre yüksek olması ve kesilen parçaya ait talaşın kesici takım yüzeyine sıvanması nedeniyle, tornada işlenebilirlikleri iyi değildir. İşlenebilme özelliklerinin geliştirilmesi için çoğu kez ısıl işlemler gerekebilir. Kükürt içeriği dışında kalan alaşım elemanları işlenebilirliği pek etkilemez. Ancak bu çeliklerin işlenebilirliği ısıl işlemlerle etkilenip geliştirilebilmektedir.

8.2 % 0,25 -0,55 Karbonlu Çelikler

Yüksek karbon içerikleri nedeniyle, % 0,25 -0,55 karbonlu çelikler genellikle sertleştirilmiş ve temperlenmiş olarak kullanılırlar. Bu çeliklerde, sertleştirme ve temperleme sıcaklığının uygun seçimiyle, çok farklı mekanik özelliklere ulaşmak mümkündür. Bunlar karbonlu çeliklerin üç grubunun en geniş kullanım alanına sahip olanıdır. Mekanik özelliklerinin uygunluğu nedeniyle, bunlardan; akslar, dişli çarklar, zincir baklaları, krank milleri, kaplinler, rotlar ve pek çok diğer makine parçasının üretiminde yararlanılmaktadır. Bu grup çelikler daha çok suda sertleştirilirler, ancak derinliğe sertleşmenin arzulanmadığı durumlarda, çatlama ve çarpılmanın önüne geçmek için yağda da sertleştirilebilmektedir. Yüzey ve derinliğine sertleşebilirlikleri; bileşimlerinde bulunan manganez, silisyum ve üretimden gelen diğer artık elementlerin miktarına göre oldukça hassas bir değişim gösterir.

8.3 % 0.55 – 1.00 Karbonlu Çelikler

Orta karbonlu ve perlitik çelik olarak kabul edilen bu çeliklerin; % 0.25-0.55 karbon içerikli çeliklerden işlenebilirlikleri sınırlı, soğuk biçimlendirilebilirlikleri çok zor ve kaynak yeteneklerinin düşük ve üretim maliyetlerinin yüksek olması nedenleriyle, kullanım alanları daha sınırlıdır. AISI 1070 gibi yüksek karbonlu çelikler, yorulma dirençlerinin yüksekliği nedeniyle, yay ve yüksek çekme dayanımlı halatların üretiminde kullanılabilmektedir. Bunlar tam olarak sertleştirilmiş durumda martemperlenerek, yaklaşık 55 ve daha yüksek Rc değerlerinde, aşırı aşınma etkilerine maruz yerlerde ve çeşitli kesici el aletlerinin yapımında başarı ile kullanılmaktadır (Yıldırım ve diğ., 2001). M.M. Yıldırım'a göre (2006 sözlü görüşme); bu grup çeliklerden üretilen parçaların ekserisi klasik sertleştirme yöntemleriyle sertleştirilebilmektedir. Ancak sertleştirmede zaman zaman ostemperleme ve martemperleme gibi özel ısıtım tekniklerinin kullanımı da gerekebilir. Hem yağ hem de suda sertleştirmede karbonlu çeliklerin zorlamaya maruz kalan bölümleri ve kesici kenarlar için su, sertliğin fazla gerekli olmadığı bölümlerde ise, yağ kullanılmaktadır. Yüksek sertlikte yeterli süneklik ve tokluğun elde edilebilmesi, çatlak oluşumunun engellenebilmesi ve çarpılmanın azaltılmasında özel işlemlerin titizlikle uygulanmasına bağlıdır. Şaftlar, biyel kolları gibi pek çok makine parçasının üretiminde 1055 ve 1060 gibi çelikler kullanılabilmektedir. Yapıdaki karbon ve manganez miktarına göre, diğer çeliklerin de bu tür uygulamalara elverişli olanları vardır. Yüksek karbonlu çelikler alaşımlı çeliklerle karşılaştırıldığında, onlara göre sertleşebilme yetenekleri daha azdır. Karbon ve manganezin uyumlu olmayan kombinasyonu nedeniyle, bu çelikler derinliğine sertleştirilmeye fazla yatkın değildirler (ASM Metals Handbook, 1988).

Çekiçler, vidalar, çizme takımları, kesici takımlar, baltalar, matkap uçları, bıçaklar ve bant kesicileri gibi pek çok alet ve takımlar bu tür çeliklerden yapılabilir. Bu takımların kesici kenarlarının sertleştirilmesi için genellikle ısıtılmış su ya da yağ banyoları kullanılmaktadır. Tarım aletlerinden abrasiv aşınmaya maruz kalan kısımların büyük bir bölümü bu grup çeliklerden üretilmektedir. Karbonlu çelikler, martenzitik yapı oluşturularak sertleştirilip, daha sonra temperlendiklerinde, aynı sertlikteki alaşımlı çeliklerle kıyaslanabilir çekme dayanımı özellikleri gösterebilmektedir. Sertlik açısından karşılaştırıldığında, sade karbonlu çeliklerin yüzey sertlikleri alaşımlı çeliklerinkinden daha yüksek olmakta, ancak derinliğine sertleşme yeteneği alaşımlı çeliğe göre daha düşük değerlerde bulunmaktadır (ASM Metals Handbook, 1988; Yıldırım ve diğ., 2001 b).

Yüksek karbon içeriğine sahip bu çeliklerin sünekliğinin ve tokluğunun çok az olması, bunların kesilme ve işlenmelerini güçleştirir. Söz konusu çeliklerin talaş kaldırma işlemlerine hazırlanması, ancak yumuşatma tavı uygulanması ile gerçekleştirilebilmektedir (Yıldırım ve diğ., 2001 a).

9. LİTARATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüze kadar yapılan bir çok bilimsel araştırma ve çalışmalarda; klasik kesici uç malzemelerinin performans özellikleri, mümkün olan optimizasyon sınırları içerisinde geniş ölçüde belirlenmiş bulunmaktadır. Ancak hala makine endüstrisinde bu yöndeki sürekli araştırma ve gelişmeler devam etmekte; daha iyi, modern ve daha gelişmiş malzemeler açısından talep sürmektedir. 1970'li yılların başında CVD teknikleriyle elektronik yarı iletkenlerin üretilmesi ve elektronik devreler için koruyucu kaplamaların geliştirilmesinde önemli başarılar elde edilmiştir. Özellikle yüksek sıcaklıklara dayanıklı kesici takımların, türbin kanatlarının, seramik fiber takviyeli kompozitlerin, yüksek verimli güneş pillerinin üretilmesi için geliştirilen seramikler de, CVD teknolojisinin hızla genişlemesini desteklemiş ve teknolojinin hızla kullanılmasına yol açmıştır (Sobiecki ve diğ., 2004).

Endüstrinin talep ettiği özelliklerin sağlanabilmesi için fiziksel buhar biriktirme yöntemi (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD) gibi teknolojide yaygın olarak kullanılan yöntemler kullanılarak, nitrür içerikli TiN, TiCN, TiAlN, CrN vb. sert yüzey kaplamaların kullanımı kesici takım endüstrisi başta olmak üzere, imalat sanayinde hızla artmakta ve yayılmaktadır. PVD yöntemi kullanılarak yapılan sert kaplamalar yüksek aşınma direnci ve düşük sürtünme katsayıları ile kaplandıkları malzemenin yüzeylerinin tribolojik özelliklerini geliştirmektedirler (Batista ve diğ., 2002). Son yıllarda bu özellikleri sağlamak amacı ile yüzey kaplamanın yapılabildiği ve kullanıldığı birçok sektör kurularak gelişmiştir. Kaplamalar arasında, titanyum nitrür kaplamalar; yüksek sertlik, düşük sürtünme ve 500 °C nin altındaki sıcaklıklarda iyi oksidasyon dirençleri nedeniyle özellikle kesici takım endüstrisinde geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Bull, 1999). Daha zor koşullardaki uygulamalarda kullanılmak üzere, TiN'in TiCN veya TiAlN gibi, farklı türleri geliştirilmiştir (Cairney ve diğ., 2003).

Otomatik üretim sistemlerinde, aşınmış takımlar işlenen malzeme yüzeyinin yüzey kalitesini olumsuz olarak etkiler ve genellikle işlem, bir takım kırılması ile sonlanır. Bu yüzden takım aşınmasını etkin bir şekilde belirleyip kontrol edebilecek bir sistemin nasıl kurulabileceğinin tayini, otomatik kesmenin temel hedefleri arasında yer alır. Bu amaçla iş parçası boyutundaki değişimin izlenmesi ve akustik emisyon, motorun çektiği akımın büyüklüğü, kesme momenti (tork) ve kesme kuvveti gibi kesme parametrelerinin izlenmesi ile takım aşınmaları belirlenmeye ve açıklanmaya çalışılmaktadır (Choudhury ve diğ., 1999; Dimla, 2000; Li ve diğ., 2000).

Bir malzeme yüzeyinin kimyasal bileşimini değiştirmeden yüzeyinin sertleştirilebilmesi, o malzeme yüzeyindeki karbon oranının, sertleşebilme için yeterli olmasına bağlıdır. Yüzeyinde

kabuk sertleşme için yeterli olan ve yüzey sertleştirme açısından en düşük karbon oranı olarak kabul edilen, % 0,3 C'den daha fazla C içeren çeliklerin yüzeyi, değişik yöntemlerle ostenitleme sıcaklığına kadar ısıtılıp sonra belli bir soğutma ortamında hızlı bir şekilde soğutularak sertleştirilebilir (Yıldırım, 1991; Yıldırım ve diğ., 2001). Endüksiyonla yüzey sertleştirme işlemi % 0,4-0,75 C'lu çeliklere uygulanabilmektedir (Yıldırım ve diğ., 2001). Bu yöntemle; krank milleri, eksantrik milleri, supaplar ve supaplara ait tahrik milleri, tahrik zincirleri, dişli çarklar, şanzıman parçaları hadde tamburları, zorlama ve aşınmaya maruz kalan bağlantı elemanları, raylar ve civatalar gibi makine parçaları sertleştirilebilir (Yıldırım, 1983; Buytoz, 2004). Parça yüzeyindeki karbon miktarı sertleşme sınırının altında (% 0,2-0,3 C) bulunan çeliklerde ve bazı özel amaçlı malzemelerde yüzeyde sert bir tabaka elde etmek için yüzeyin kimyasal bileşimi değiştirilir (Yıldırım ve diğ., 2001). Bu da genellikle parça yüzeyinden içeriye karbon, azot ve bor gibi arayer elementlerinin geçirilmesi ve metal iyonlarının yüzeye bağlanması şeklinde sağlanır (Buytoz, 2004). Parça yüzeyinde oluşan yapı ve yapının sertliği; bekleme süresi, parça sıcaklığı, soğutma hızı, soğutmanın şekli ve yüzeye geçirilen malzemenin tür ve miktarı ile belirlenmektedir (Yıldırım ve diğ., 2001). Yüksek karbon içeriği ile martenzitik yapı tane sınırında oluşan proötektoid karbürler (Fe_3C) nedeniyle, yapı gevrek olur. Bu sorunun, sıvı ortamda karbürleme tekniği kullanılarak üstesinden gelinebilir (Chowdhury ve diğ., 1999). Gaz ortamında karbürleme, parça yüzeyine karbon içerikli gazlardan karbon elementinin transfer edilmesiyle yapılmaktadır (Yıldırım ve diğ., 2001; Edenhofer ve diğ., 2001). Gaz karbürizasyonunda işlem süresi oldukça kısadır. Parçalar doğrudan sertleştirme ortamına alınabilirler. Karbürleme derinliği ve parça büyüklüğü arzu edilen şekilde seçilebilir (Buytoz, 2004). Karbürlemede iş parçasının sıcaklığı da etkili olmaktadır (Edenhofer ve diğ., 2001; Okumiya ve diğ., 2003). Karbürleme işlemi ostenitik bir termokimyasal işlem olup, işlem sıcaklığı 850–1200 °C aralığında bulunur. Ancak, en uygun çalışma sıcaklıkları 900 °C dolaylarında alınmaktadır (Edenhofer, 2001). Karbürleme zamanının kısalığı, karbürleme için gaz tüketiminin az oluşu, bu yöntemle her geometrideki malzemede homojen kalınlık elde edilebilmesi ve hatta parça üzerindeki kör deliklerin bile karbürlenebilmesi gibi avantajlarından dolayı geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Li ve diğ., 2004).

Karbonitrüleme mühendislik uygulamalarında kullanılan çeşitli çeliklerin aşınma direnci, yorulma dayanımı ve korozyon direncini artırmak için çelik malzemelerin yüzeyine azot ve karbonun difüzyon yoluyla yayınımlarını kapsayan termokimyasal bir işlemdir (Zlatonovic ve diğ., 2004). Karbonitrürasyon işlemi karbürleme ve nitrüleme işlemlerinin karışımı şeklinde bir işlem olup, ya bir gaz karışımının oluşturduğu gaz atmosferinin kullanılmasıyla ya da siyanür ve karbonatlar içeren bir sıvı tuz banyosunda yapılabilmektedir

(Yıldırım ve diğ., 2001; Lee ve diğ., 2003). Plazma karbonitrürasyon yöntemi, işlem kontrolünün kolaylığı ve çevre dostu oluşu nedenleriyle, oldukça popüler bir yöntemdir (Krishnaraj ve diğ., 1997; Yıldırım ve diğ., 2001). İşlem, genellikle 600 °C'nin altında Fe-N-C sisteminin ferritik faz bölgesi içindeki sıcaklıklarda yapılmaktadır. Bu işlem, ϵ - karbonitrürün $[\text{Fe}_{2.3}(\text{C},\text{N})]$ baskın bir biçimde yüzeyde oluşması nedeniyle, sürünme aşınması için bir direnç oluşturur (Li ve diğ., 1994). Bileşik tabakanın hemen altında yer alan azotun difüzyon bölgesi, hemen hemen tüm yüzey sertleştirilmiş malzemelerde olduğu gibi, parçanın yorulma özelliklerini iyileştirmektedir (Krishnaraj ve diğ., 1997). Ötektoid sıcaklık olan 593 °C'nin altındaki sıcaklık değerlerinde yapılan karbonitrürleme işlemi ferritik karbonitrürleme, bu sıcaklığın üzerine çıkılarak yapılan işleme ise ostenitik karbonitrürleme işlemi denilmektedir (Qiang ve diğ., 2000; Bell ve diğ., 2000). 593-720°C arasındaki sıcaklıklarda yapılan ostenitik karbonitrürlemede, ferritik karbonitrürlemeye göre daha kalın bir tabaka elde edilebilmektedir. Bu ise, başta noktasal yükler olmak üzere, daha büyük yüklerin karşılanmasında etkili olmaktadır (Krishnaraj ve diğ., 1997). Bu işlemde bileşik tabakalar ostenitlenir ve işlem sıcaklığından suya çekilerek martenzitik-beynitik sert mikroyapıya dönüştürülür (Cherry, 1987). Ostenitik karbonitrürleme daha yüksek bir yüzey sertliği ve işlem süresinin kısalığı ile daha büyük bir üstünlük sağlar (Krishnaraj ve diğ., 1997). Karbon elementinin (C'nin) aktivitesinin kontrolü ve θ oluşumunun önlenmesinde, metandan (CH_4 'dan) daha fazla CO_2 ve CO gibi C içerikli gazlar kullanılmaktadır (Bell ve diğ., 2000).

Nitrürleme 500-550 °C aralığında bir sıcaklıkta çelik yüzeyinden içeriye azotun geçirildiği bir yüzey sertleştirme ısı işlem prosesisidir. Bu sıcaklıkta çelik ferritik yapıdadır ve bu yüzden tane boyutunda herhangi bir değişiklik yoktur. İşlem, diğer yüzey sertleştirme teknikleriyle karşılaştırıldığında, minimum oranda çarpılma ve mükemmel boyutsal kontrolle onlardan ayrılır (Chowdhury ve diğ., 1999; Yıldırım ve diğ., 2001). Özel nitrürleme teknikleri kullanılarak γ tabakasının oluşumunu en alt düzeyde tutmak mümkün olmaktadır (Chowdhury ve diğ., 1999).

Plazma nitrürleme; aşınma direncinin ve yorulma dayanımının artırılması amacıyla yüzey modifikasyon teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Karakan ve diğ., 2003). Bu yöntem; özellikle demir, alüminyum ve titanyum alaşımlarının anti-korozyon özelliklerinin artırılması için kullanılmaktadır (Öztürk ve diğ., 2004). % 100 N_2 ortamında yapılan plazma nitrürleme sonucunda elde edilen sertlik, diğer karışımlardan elde edilen sertlik değerinden daha yüksek olmaktadır (Sobiecki ve diğ., 2004; Clarke ve diğ., 2005). Orta karbonlu çeliklerde plazma nitrürleme sonrası 1400 HV₅₀ gibi yüksek sertlik değerlerine ulaşılması mümkündür (Sato ve diğ., 2003). Alışlagelmiş sistemlere göre bileşik tabakanın kimyasal bileşiminin kolay

kontrol edilebilirliğine ilaveten, daha hızlı bir nitrürleme, daha temiz ve daha ekonomik olması bu sistemin avantajını oluşturmaktadır (Genel ve Demirkol, 2004).

Kaplama filmlerinin etkinliği (yük taşıma kapasitesi, aşınma direnci ve sürtünme katsayısı) ve yüzey işlem özellikleri, yüzey modifikasyon tekniğine bağlıdır (Podgornik ve Vizintin, 2003). Yumuşak film kullanılması sürtünmenin azaltılmasında avantaj sağlamaktadır (Bull, 1999). Yumuşak bir baz malzeme üzerindeki sert bir filmin kırılması, sert bir film üzerinde elde edilecek bir tabakanın kırılmasından daha güçtür (Podgornik, 2003). Yüzey pürüzlerinin, aralıklı temas bölgeleri göstermesi ve üç kata kadar yüksek düzeyde lokal basınç değerleri yaratabilmektedir (Chen ve diğ., 2002).

Kaplanan bir yüzey, çalışma süresince üzerine yerleşecek kalıcı gerilmelerin oluşturduğu ilave yükün üstesinden gelmeli, ancak bu geometrik düzensizliklerin yoğunlaştığı kaplama filmi geniş tabakalanma çekirdeklenmesine yol açmamalıdır (Stokes ve Looney, 2004). Pek çok tribolojik koşullar altında, kaplanmış bir yüzeyin bozunması klasik aşınma yoluyla nadiren gerçekleşir. Bozunma, ancak alt tabakadan filmin ayrılması ile adhesiv yoldan gerçekleşir. Ark; tellerin ucunu ergitirken, uygun bir gaz atomizasyonu tekniği ile ergiyik metal damlalar şeklinde, kaplanacak malzeme yüzeyine doğru hızlanır ve malzeme yüzeyinde katılarak kaplama tabakasını oluşturur (Matthew ve diğ., 2002). Patlamalı püskürtme yöntemi ile üretilen yüksek hızlı damlalar kaplanan malzeme yüzeyinde boşluk seviyesi düşük ve iyi bağlanmış kaplamalar meydana getirir (Bach ve Duda, 2000).

Organik bileşenlerden uzak bir jel tabakası için ince film katmanı 70 °C’de kurutulur ve oluşan kristal tabaka, amorf tabaka ve kalıntı organik bileşenleri pirolize etmek için 470-700 °C sıcaklık aralığında ısıtılır (Liu ve diğ., 2002).

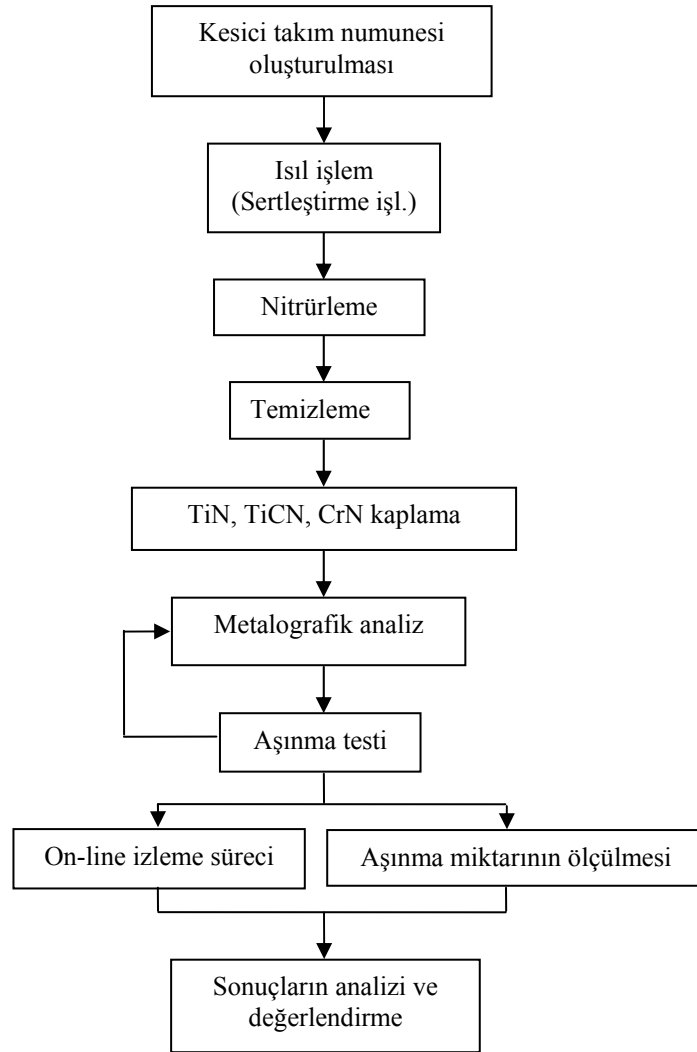
Vakum buharlaşma tekniğinde, biriktirilen malzemenin dağılımı, Raoult’s yasasına göre, alaşımı oluşturan her bir elementin buharlaşma aktivitesi, gazın yüksek konsantrasyonlarında buhar basıncıyla orantılıdır. PVD yöntemlerinin çeşitlendirilmesiyle endüstrinin talep ettiği modern malzemelerin üretimlerinde çok büyük yenilikler sunulmuştur (Mattox, 2002).

İyon kaplama, sert bileşik malzemelerin kaplanması, optik kaplamalar ile karmaşık yüzeylerin kaplanmasında kullanılabilmektedir (Chen ve diğ., 2002).

On-line izleme yöntemi ile kesici takımındaki aşınma yaklaşık % 94 doğrulukta tespit edilebilmektedir (Chodhury ve diğ., 1999).

10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

AISI 1070 çeliğinden talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak üretilen kesici takım numunelerine sırasıyla; sertleştirme ve temperleme ısı işlemlerinin ardından yüzeyde sert bir tabaka oluşumunu sağlamak için sıvı ortamda nitrürasyon işlemi uygulanmıştır. Nitrürasyon işlemine tabi tutulmuş kesici takım numuneleri yüzeyde gerekli temizlik işlemleri yapıldıktan sonra fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemlerinden ‘katodik ark buhar biriktirme yöntemi’ kullanılıp yüzeylerine TiN, TiCN, CrN kaplanarak, üç grup kesici takım numunesi üretilmiştir. Bu çalışmada; üretilen kesici takımların aşınmasında, uygulanan işlemler sonucu oluşan yapıların takım aşınması üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların aşamaları Şekil 10.1’de verilmiştir.



Şekil 10.1. Deneysel çalışmalarda uygulanan işlem basamakları (Çakan ve Yıldırım, 2006)

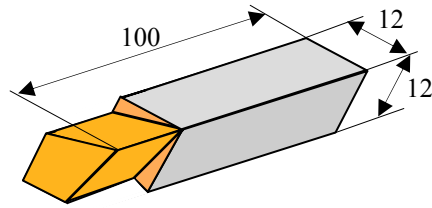
AISI 1070 çeliği; sertlik, yüksek dayanım ve yeterli süneklik özelliklerinin yanı sıra, sınırlı işlenebilirlik ve hemen her çeşit ısıtım işlem türlerine yatkınlığından dolayı, bu çalışmada ana malzeme olarak kullanılmıştır. Kullanılan ana malzemenin kimyasal analiz değerleri Tablo 10.1’de verilmiştir.

Tablo 10.1 AISI 1070 çeliğinin kimyasal bileşimi

% C	% Si	% S	% P	%Mn	% Ni	% Cr	%Mo	% V	% Cu	% Ti	% Sn	% Al	% Fe
0.749	0.023	0.023	0.016	0.349	0.040	0.013	0.002	0.001	0.020	0.002	0.001	0.027	Kalan

10.1. Numunenin Hazırlanması ve Ön Sertleştirme

Kesici uçlar, standartlara uygun olarak Şekil 10.2’de görüldüğü gibi kütüklerden kesilerek hazırlanmış ve her birine ayrı ayrı uygun uç formu verilerek biçimlendirme işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 10.2 Deneylerde kullanılan kesici ucun boyutlandırılması.

Biçimlendirmede kesici takım numunelerine sırasıyla; kesme ve frezeleme işlemleri, 12x12x110 mm boyutlarında kare prizma şeklinde biçimlendirme yapılmıştır. Hazırlanan numuneler daha sonra Kerr 14 x 3 tav fırını kullanılarak, 760 °C sıcaklıkta 20 dakika bekletilip, sonra uç kısmından başlayarak oda sıcaklığına kadar suda soğutularak sertleştirilmiştir. Sertleştirme işleminin ardından numunelere, 180 °C civarında 45 dakika süreyle temperleme işlemi uygulanmıştır.

Isıl işlemler tamamlandıktan sonra, numunelerin önce bütün yüzeyleri düzlem yüzey taşlama tezgahı kullanılarak yüzey taşlama işlemi yapılmış; ardından da uç kısımlarına kesici takım formu vermek üzere alet bileme tezgahında kesici kenar oluşumu sağlanmıştır. Kesici takım formu tamamlanan bu numuneler, yüzeyin kimyasal özelliklerini değiştirmek için termokimyasal bir işlem olan sıvı ortam nitrürasyon işlemine tabi tutulmuşlardır.

10.2. Nitrürleme İşlemi Uygulamaları

Sertleştirilmiş orta karbonlu bir çeliğin aşınma performansını artırmak için termokimyasal bir işlem olan nitrürasyon işleminden yararlanılabilmektedir (Lin vd., 2002; Yıldırım ve diğ., 2001). Nitrürasyon işlemi için hazırlanan AISI 1070 çelik numuneler, kademeli bir ön ısıtma ile kısa süre 350 °C’de tutulduktan sonra, yaklaşık 570 °C’de siyanür tuzlarından oluşan [CN] banyosunda 2 saat tutularak nitrürleme işlemi tamamlanmıştır.

10.3. Kaplama İşlemi Uygulamaları

AISI 1070 çelik malzemedan hazırlanan numunelerin üzerine katodik ark buhar kaplama yöntemi kullanılarak yapılan kaplamalar; TİNKAP Ltd. Şirketi’nde TiN, TiCN ve CrN kaplama şeklinde, üç farklı bileşimde gerçekleştirilmiştir.

Kaplama işlemlerinden önce; AISI 1070 çeliğinden torna kalemi şeklinde üretilen kesici uçlar, mekanik yöntemler kullanılarak, yüzey pürüzlülüğü $R_a \sim 0.1 \mu\text{m}$ olacak şekilde parlatıldı. Yüzey daha sonra bazik alkali temizleyicilerle ultrasonik temizleme teknikleriyle yüzey temizleme işlemine tabi tutuldu. Biriktirme odası yüksek saflıkta azot gazıyla temizlendikten sonra ana malzemenin yüzeyi, ana malzeme ile % 99.9 saflıktaki titanyum arasında oluşturulan, ark iyon buharının bombardımanı ile kaplandı. TiN kaplamada; bombardıman süresince 1.3×10^{-8} bar basınç altında, N_2 gaz ortamında 45 dakika süreyle 200 V bias voltajı uygulanarak gerçekleştirildi. TiCN kaplama; bombardıman süresince 1.3×10^{-8} bar basıncında asetilen ve azot gazı ortamında 30 dakika süre ile 200 V bias voltajı uygulanarak gerçekleştirildi. CrN ile kaplamada bombardıman süresince 1.3×10^{-8} bar basınç altında, N_2 gaz ortamında 30 dakika süre ile 100 V bias voltajı uygulanarak gerçekleştirildi.

10.4. Kesme Koşullarının Belirlenmesi

Kesme testleri, kuru kesme koşullarında 1,2 kW gücünde Quantum marka bir universal torna tezgahı kullanılarak yapıldı. Kesici takımlar; 190, 240 ve 320 dev/dak olarak seçilen devir sayılarında 0,052 mm/dev ve 0,081 mm/dev ilerleme hızlarında test edildi. Test işlemleri süresince, tüm kesme işlemlerinde 0,8 mm’lik bir kesme derinliği kullanıldı.

10.5. Kesici Takımlar

1070 çeliğinden yüzey işlemli ve TiN, TiCN ve CrN bileşiklerinden ince bir film katı ile kaplanan, uç formu tamamlanarak kesici takım haline getirilen numuneler tornalama işlemleri yapılarak ayrı ayrı test edildi. Test esnasında; standartlara uygun olarak tasarlanıp üretilen

takım, takım tutucusu (kater) üzerine rijit olarak bağlandı.

10.6. İş Parçası

Kesme performans testleri, Hasçelik Firması'ndan temin edilen 40 mm çap ve 200 mm uzunluğa sahip DIN 9SMnPb36 otomat çelik malzemeler üzerinde uygulandı. İş parçasının kimyasal bileşimi Tablo 10.2'de verilmiştir.

Tablo 10.2 Deneylerde kesme amaçlı kullanılan otomat çeliğinin kimyasal bileşimi

Element	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Pb	% Fe
Bil. Oranı	0.15	0.05	1.50	0.10	0.37	0.15	Kalan

10.7. Deneysel Teknikler

Kesme performans testleri, farklı devir sayısı ve farklı ilerleme hızlarında olmak üzere, toplam altı farklı deneyi içermektedir. Kesici takım numuneleri üzerinde uygulanan işlemler sonucunda ulaşılan yapıların ve yapılan kaplamaların 190, 240, 320 dev/dak devir sayılarında ve iki değişik ilerleme hızlarında (0.052 ile 0.081 mm/dev) yapılan tornalama deneylerinde; kesme hızı-aşınma, ilerleme hızı-aşınma ilişkisi bakımından gösterdikleri performanslar, on-line izleme yöntemi kullanılarak belirlendi.

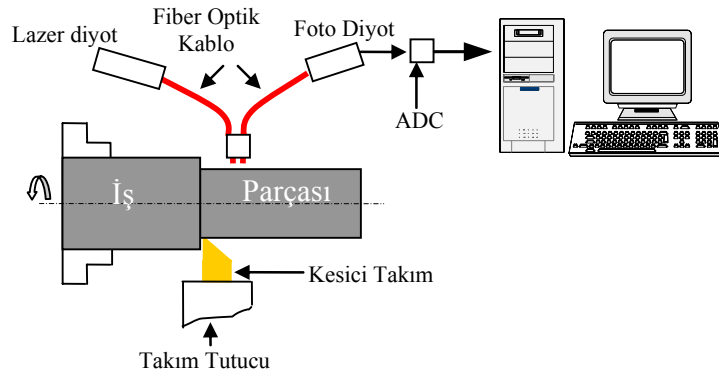
10.8. On-line İzleme Yöntemi

Üretilen kesici takım uçların, kesme performanslarını incelemek ve kesme esnasında ortaya çıkacak aşınma etkilerine karşı gösterecekleri direncin belirlenmesi işlemi; tüm deneylerde Şekil 10.3'te verilen, tarafımızdan tasarlanıp kurulan bir on line izleme sistemiyle gerçekleştirildi. On line izleme sistemiyle ilgili açıklayıcı ayrıntılı bilgi aşağıya çıkartılmıştır.

Bu yöntemde; bir lazer diyot tarafından üretilen ışık, fiber optik vasıtasıyla iş parçası üzerine gönderilmekte ve iş parçası üzerinden yansıyan ışık başka bir fiber optik vasıtasıyla alınarak foto diyot üzerine düşürülmektedir. Bu iki fiber optik, iş parçası eksenine sabit bir uzaklıkta eksene paralel olarak hareket ettirilmektedir. Kesici takımdaki aşınmaya bağlı olarak iş parçasının işlenen yüzeyinde oluşan boyutsal değişimle pürüzlülük, parlaklık vb. değişimler, bu yüzeylere çarparak yansıyan lazer ışınlarının algılayıcı fiber optiğe yansımada en önemli etkenlerdir. Kesici takımdaki aşınma, yansıyan ışık şiddeti ile orantılıdır (Chodhury ve diğ., 1999; Li ve diğ., 2000).

Fiber optik, algılayıcı-yükseltici (foto diyot) ve analog dijital dönüştürücü; optik algılama sisteminin temel elemanlarını oluşturmaktadır. Bu iki fiberin görüş alanı, sistemin

çalışma prensibini oluşturmaktadır. Fiber optiğin iş parçasına temas etmesi durumunda, fiber boyunca gelen ışığın (lazer) tamamı iş parçası yüzeyine çarpar ve aynı fibere geri yansır. Algılayıcı fibere hiç ışık yansımaz. Bu yüzden foto diyot çıkışında herhangi bir voltaj değişimi elde edilmez. İş parçası ile fiber optik uçları arasındaki boşluk artırıldıkça, algılayıcı fiber optik üzerine düşen ışık miktarı da artmaktadır. Foto diyot çıkışında elde edilen işaretler analog-dijital dönüştürücü (ADC) vasıtasıyla bilgisayarda (PC’de) depolanmaktadır. Optik algılama sisteminin şematik gösterimi Şekil 10.3’de verilmiştir.



Şekil 10.3 Optik algılama sistemi (Çakan ve Yıldırım, 2006)

10.9. Tornalama Testleri

Yüzey ve ön ısıtılmış, TiN, TiCN, CrN kaplanarak üretilen kesici takımlar; kesme işlemi sırasında oluşan aşınmaları belirlemek amacı ile tornalama testlerine tabi tutulmuşlardır. Üretilen bu kesici takım numuneler eşdeğer kesme koşulları altında test edilmiştir. Tornalama işlemlerinde, kimyasal bileşimi Tablo 10.2’de verilen DIN 9SMnPb36 otomat çeliğinden, 40 mm çapında ve 200 mm boyunda hazırlanan iş parçaları üzerinden, üretilen kesici takımlarla talaş kaldırılarak kesme testleri gerçekleştirilmiştir. Tornalama işlemlerinde kesme sıvısı kullanılması gerekmemiştir. İşlem süresince kesici takımdaki aşınma; kesici kenar, kesicinin uç bölgesi ve talaş yüzeyi üzerinde gelişmiş ve bu durum on line izleme sistemiyle takip edilmiştir. Kesici takımda aşınma nedeniyle oluşan ağırlık kayıplarının tespiti için, kesici takım numuneleri tornalama işlemi öncesinde ve sonrasında GR200 marka Japon yapımı $\pm 10^{-4}$ gram duyarlılıkta dijital hassas bir terazi yardımı ile tartılmıştır. Kaplamalı ve kaplamasız takımların aşınma durumları numuneler, kaplama katının bulunduğu uç bölgesinden enine kesilerek JEOL/JSM-6335F/INCA-EDS taramalı elektron mikroskopunda incelenmiştir. Kesilerek oluşturulan parçalar, epoksi bazlı sıcak kalıplama tozu kullanılarak preste kalıplandıktan sonra kesilen yüzeylerine sırasıyla 120-180-240-320-400-600-1200-2500-4000 grid zımparalar kullanılarak zımparalama işlemleri, ardından da 6 mikron ve 1 mikron elmas pasta emdirilmiş çuha ile

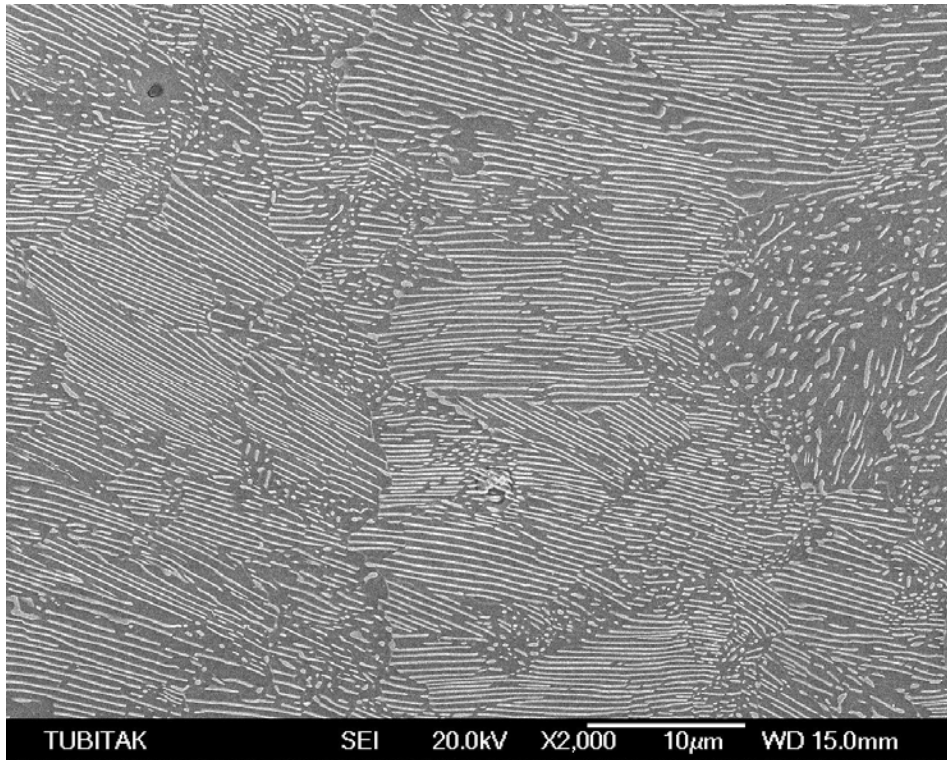
parlatma işlemleri yapıldı. Parçalara, alümina solüsyon emdirilmiş çuha ile son parlatma işlemi uygulanarak parlatma işlemi tamamlandı. Parlatma işlemi tamamlanan numunelere % 2'lik nital (98 ml. Alkol, 2 ml. Nitrik asit) ile 5 saniye süre ile daldırma yöntemiyle dağlama işlemi yapıldı. Hazırlanan bu numunelerin SEM çalışmaları ve EDS analizleri JEOL/ JSM-6335F/İNCA-EDS taramalı elektron mikroskobu ve yarı kantitatif elementel analiz sistemi kullanılarak yapılmıştır.

11. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

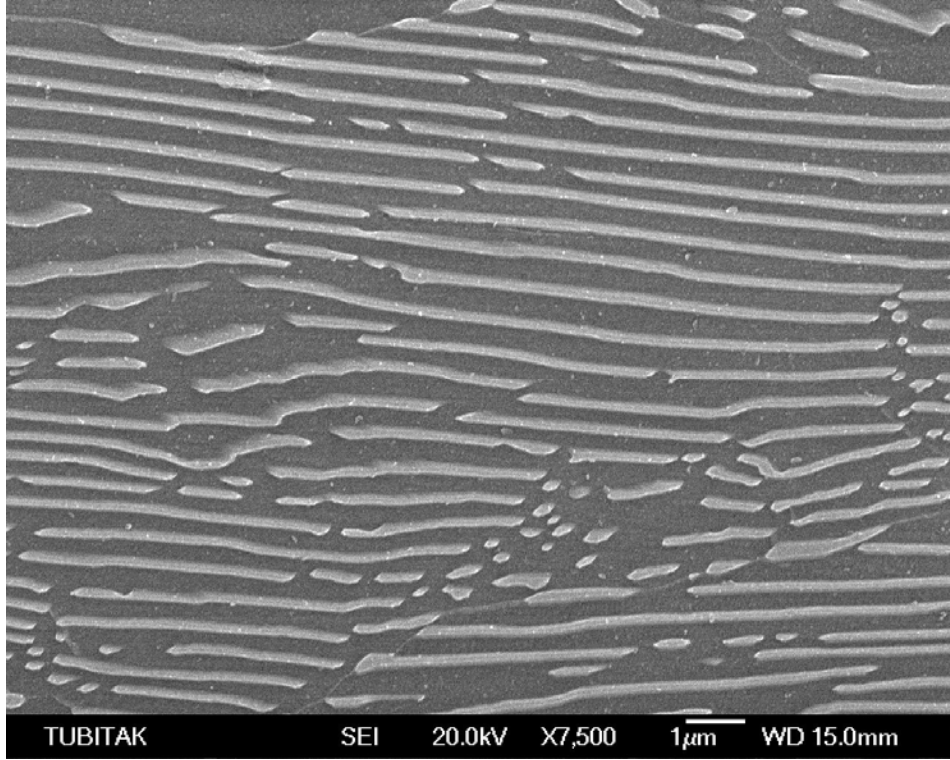
11.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçları

11.1.1. Yüzey İşlemsiz Numunelerin Mikroyapı İnceleme Sonuçları

Yüzey işlemsiz ve yüzeyi termokimyasal yollarla işlem yapılarak sertlik, dayanım, korozyon ve aşınmaya karşı direnç özellikleri geliştirilen kesici takım numunelerinin kesitleri % 2 Nital çözeltisiyle dağlanmış ve JEOL/ JSM-6335F/İNCA-EDS marka elektron mikroskobu kullanılarak kesici takım malzemesi üzerine uygulanan işlemler sonucu ulaşılan yapıların resimleri farklı büyütme oranlarında görüntülenmiştir. Şekil 11.1’de ısı işlemsiz bir numunenin SEM resmi, Şekil 11.2’de ise 760 °C’de 20 dakika beklendikten sonra suda soğutularak sertleştirilmiş ve ardından 180 °C’de 45 dak. süreyle temperlenerek gerginliği giderilmiş numunenin SEM resimleri verilmiştir.

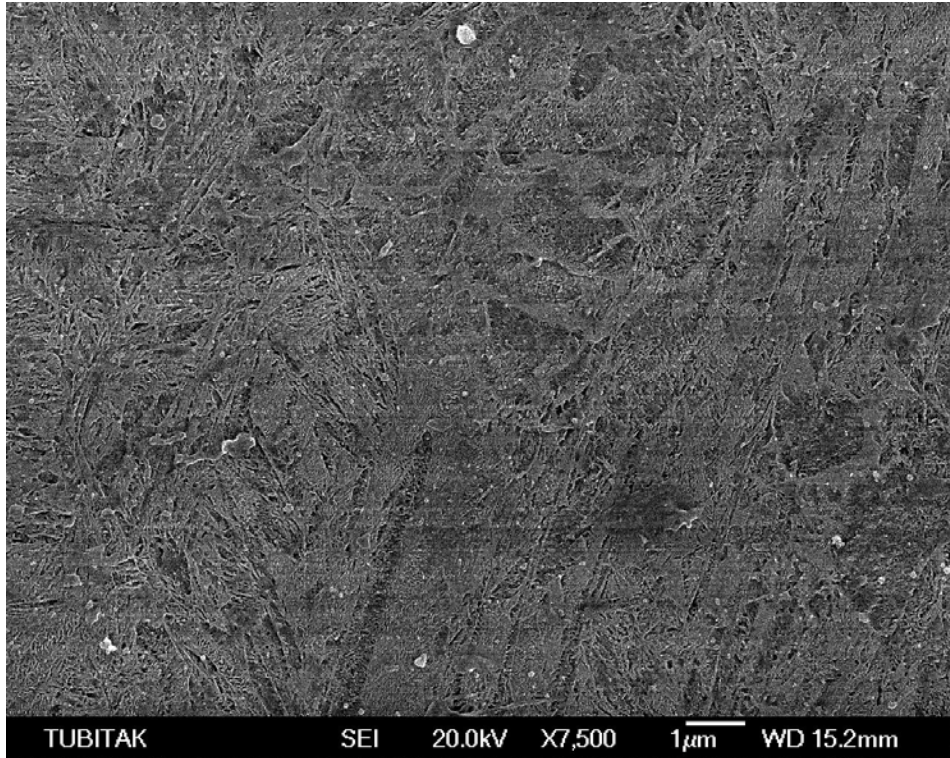


(a)



(b)

Şekil 11.1 Isıl işlemsiz numunenin mikroyapısı ferrit+perlit (a) X 2000, (b) X 7500 SEM



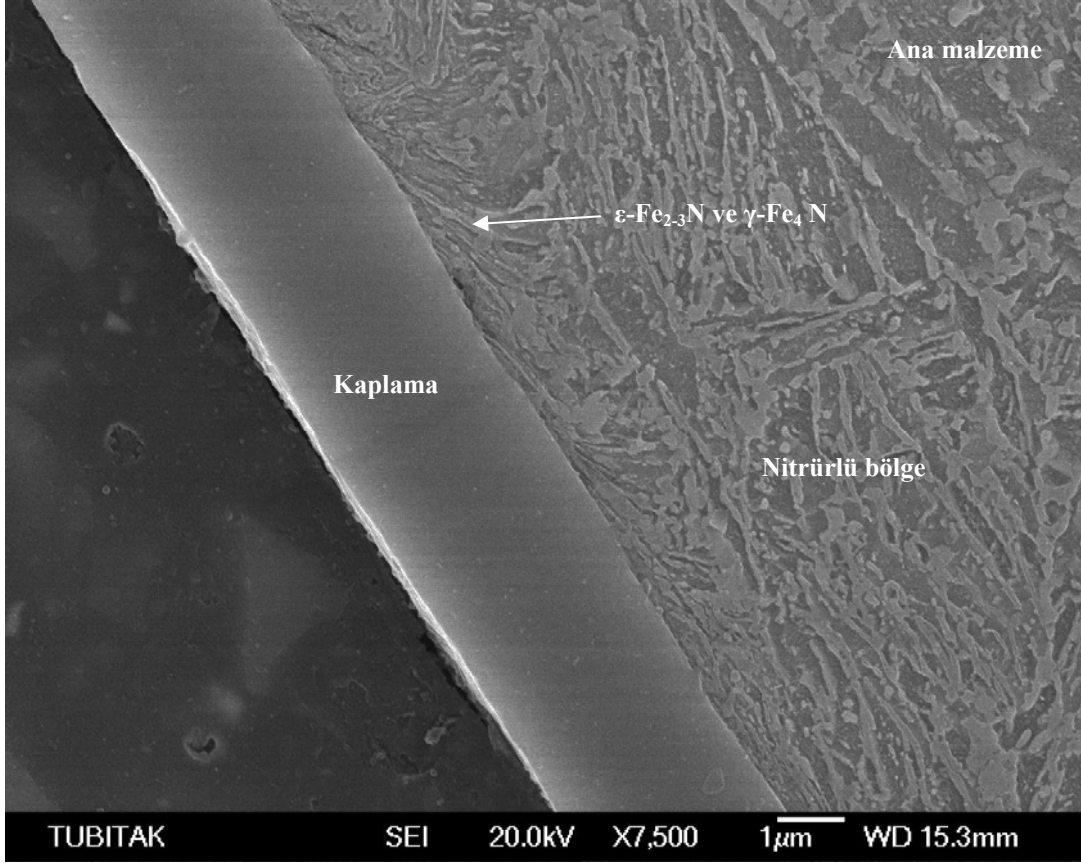
Şekil 11.2 Sertleştirilmiş numunenin mikroyapısı

Şekil 11.1 (a) ve 11.1 (b)'den de görüldüğü gibi, % 0.7 C'lu AISI 1070 çeliğinin orijinal yapısı çok az oranda ferrit içeren perlitten oluşmaktadır. Resimlerde sementit lamelleri kolaylıkla seçilmektedir. Diğer yandan Şekil 11.2'de, aynı çeliğin sertleştirilip gerginlik giderme tavı uygulandıktan sonraki mikroyapısı verilmiştir. Mikroyapı olarak, kesici uç yüzeyinde martenzitin oluştuğu ve oluşan martenzitin tip olarak, çıta martenzitten ibaret olduğu görülmüştür. Böylece kesici ucun yeterli sertlik ve az olması gereken iç gerginliğe ulaştırıldığı ve kesmeye en iyi şekilde hazırlandığı belirlenmiştir.

11.1.2. Nitrürlenmiş Numunelerin Mikroyapı İnceleme Sonuçları

Sıvı ortamda 570 °C'de iki saat süre tutularak nitrürlenmiş ve ardından PVD yöntemi ile TiN, TiCN, CrN kaplanarak üç grup halinde üretilen kesici takımların; % 2 Nital çözeltisiyle dağlanmış kesit yüzeyleri üzerinden SEM resimleri alınmıştır. Nitrürasyon işlemi süresince azot elementi çelik yüzeyinden içeriye doğru yayılmakta ve çeliğin yapısında bulunan diğer elementlerle birleşerek difüzyon tabakasının üzerinde ince bir çoklu (multi) faz tabakasının oluşumuna neden olmaktadır. ϵ -Fe₂₋₃N ve γ '-Fe₄N heterojen karışımının oluşturduğu bu bileşik tabakası ya da beyaz tabaka oldukça ince bir katman halindedir ve yüksek iç gerilmelere sahiptir. Beyaz tabakanın oluşumunda; nitrürasyon işlem süresi, tuz banyosunun içeriği ve çeliğin yapısında bulundurduğu elementler etkili olmaktadır. Bu bileşik tabaka 1050-1200 HV gibi oldukça yüksek bir sertlik değerine sahiptir (Podgornik ve diğ., 1998). Şekil 11.3'de azotun difüzyonu sonucu oluşan tabaka ile yüzeyde biriktirilen kaplamanın mikroyapısı görülmektedir.

Şekil 11.3'te TiN kaplanmış bir numunenin taramalı elektron mikroskopunda çekilmiş bir fotoğrafı, kaplanmış bir AISI 1070 malzemesinden hazırlanmış kesici uçların mikroyapısını tanıtmak amacı ile, örnek olarak seçilmiştir. Mikroyapı resminden; en içte martenzitik orijinal yapının korunduğu, bunu azot geçirtilerek oluşturulan nitrürlenmiş bölgenin takip ettiği ve en üstte de TiN kaplama katının bulunduğu görülmektedir. Böylece kesme işlemleri esnasında kesici ucun ömrünü artırıcı, üç katmanlı, aşınmaya dayanıklı ve birbirini destekleyen oldukça homojen dağılmış bir kesici uç yapısına ulaşılmıştır.



Şekil 11.3 Nitrülenerek oluşturulan TiN kaplı bir numunenin mikroyapısı (SEM).

11.1.3 TiN kaplı Numunelerin Mikroyapı İnceleme Sonuçları

Yapılan literatür araştırma ve çalışmaları; özellikle aşınma ve korozyonik etkileri azaltmak amacı ile, pek çok değişik bileşim ve özellikteki malzemelerin üzerine TiN kaplamaların yapılmış olduğunu göstermektedir. Ancak bugüne kadar, AISI 1070 çeliği üzerine böyle bir kaplamanın yapılmadığı belirlenmiştir (Akhajdenung ve diğ., 2003; Badisch ve diğ., 2004; Batista ve diğ., 2002; Bhowmick ve diğ., 2003; Chang ve Wang, 2002; Cho ve Lee, 2003; Chen ve diğ., 2002; Dubar ve diğ., 2005; Ezugwu ve Okake, 2001; Ghani ve diğ., 2004; Guu ve Hocheng, 2001; Hainsworth ve Soh, 2003; Haris ve diğ., 2003; Heidkamp ve diğ., 2004; Holmberg ve diğ., 2003; Kessler ve diğ., 2003; Kim ve diğ., 2002; Liu ve diğ., 2004; Park ve diğ., 2003; Richter, 2004; Zeghni ve Hashmi, 2004).

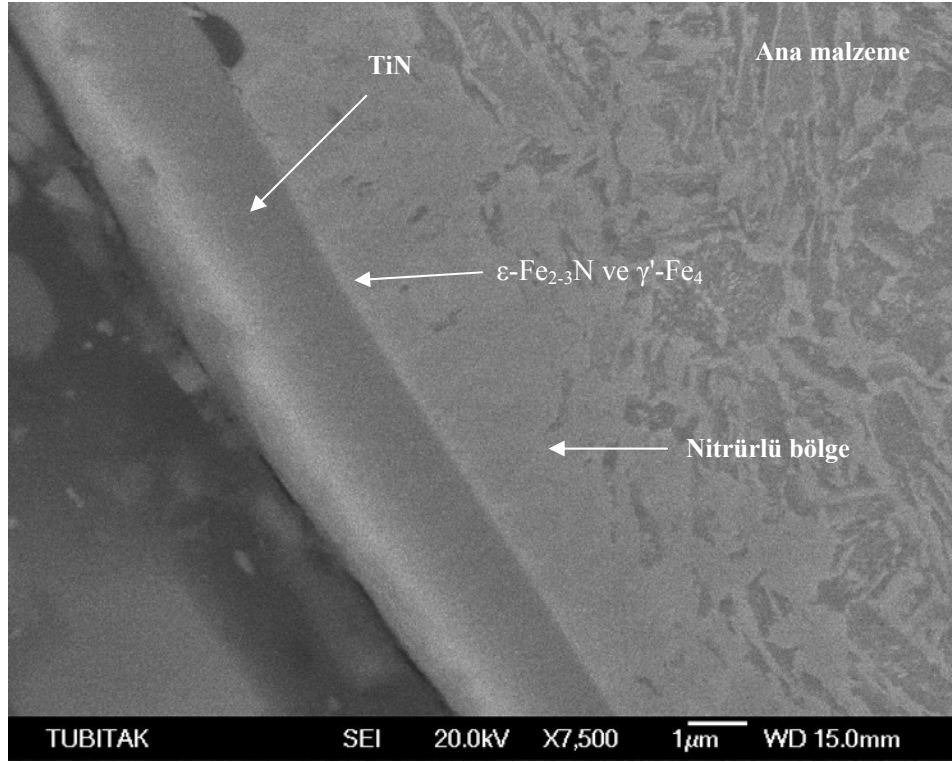
Tarafımızdan 570 °C'de nitrülenerek yüzeyi sertleştirilen AISI 1070 numunelere, kumla mekanik temizleme işleminin ardından bazik alkali temizleyiciler kullanılarak ultrasonik temizleme ve parlatma işlemleri yapıldı. Kaplama, fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemlerinden olan katodik ark buhar biriktirme tekniği kullanılarak 1.3×10^{-8} bar basıncında,

% 99.99 saflıkta N_2 gazı ve saflığı % 99.9 olan Ti elementi kullanılarak 45 dakika süre ile 200 V bias kutuplama voltajı uygulanarak gerçekleştirildi.

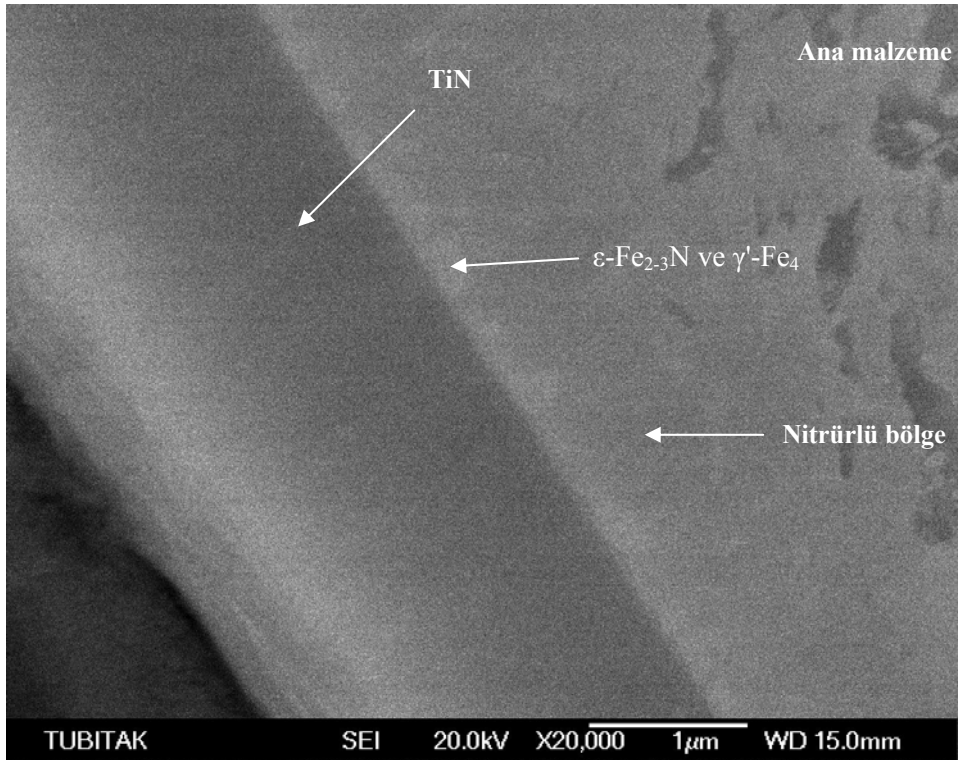
Taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak çeşitli büyütmelerde elde edilen görüntülerde TiN kaplama katının ve ana malzemenin mikroyapısı Şekil 11.4 (a) ve (b)'de ayrıntılı bir şekilde görülmektedir. Şekiller incelendiğinde, TiN'ün oluşturduğu kaplama katının bileşik ara tabakaya, azotun demire olan ilgisi nedeniyle boşluksuz bir şekilde bağlanmış olduğu ve aynı zamanda da kaplamanın kendi içinde boşluksuz ve son derece üniform bir yapı oluşturduğu görülmektedir. Bu ise; kaplamanın dayanımını, dolaylı olarak da kesici takımın dayanımını, olumlu yönde etkilemektedir.

Nitrürasyon işlemi sonucunda oluşan beyaz tabaka, difüzyon bölgesi ve ana malzeme belirgin bir sınırla kendini belli etmektedir. Bileşik tabakanın kalınlığı ve bileşimi ile difüzyon bölgesinin derinliği ana malzemeye uygulanan nitrürasyon işleminin işlem sıcaklığı ve işlem süresine bağlı olarak farklılıklar gösterebilmektedir. Kaplama katı, beyaz tabaka, difüzyon bölgesi ve ana malzeme üzerinden alınan EDS sonuçları Şekil 11.5, Şekil 11.6, Şekil 11.7 ve Şekil 11.8'de, EDS çizgisel analiz (line-scane) sonuçları ise, Şekil 11.9'da görülmektedir. Ürgen ve Çakır (1997) titanyumun difüzyon yoluyla matrise geçmesi sonucunda kaplama/matris ara yüzeyinde korozyon direnci daha yüksek bir tabaka üretildiğini belirtmişlerdir. Tarafımızdan yapılan EDS line scan analizlerinde, TiN kaplı numunelerde kaplama işlemi sonucunda ara yüzeyde oluşan difüzyon bölgesi nedeniyle, kaplamadan matrise keskin bir geçiş gözlenmemiştir. EDS sonuçlarından görüldüğü gibi, kaplama katını oluşturan yapıda titanyumun oranı en yüksek değeri almıştır. Ayrıca; titanyum nitrür kaplama tabakası, beyaz tabaka olarak da bilinen bileşik tabaka, difüzyon bölgesi ile ana malzemede oluşan fazlar X ışını difraksiyonu (XRD) analizleriyle belirlenmiştir. Şekil 11.10'da verilen TiN kaplı numunenin, kaplama, nitrürlü bölge ile ana malzemeyi kapsayan kesit yüzeyinin XRD analizleri; yapıda Ti_2N , α Fe, Fe_4N ve TiN'ün varlığını doğrulamaktadır.

Şekil 11.4 (a) ve (b)'de TiN kaplanmış aynı numunenin iki farklı büyütme için SEM fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflardan, tabakalardaki birbirine geçişin oldukça uyumlu olarak sağlandığı ve tabakaların iyi bir şekilde birbirlerine bağlandığı kolaylıkla görülmektedir.

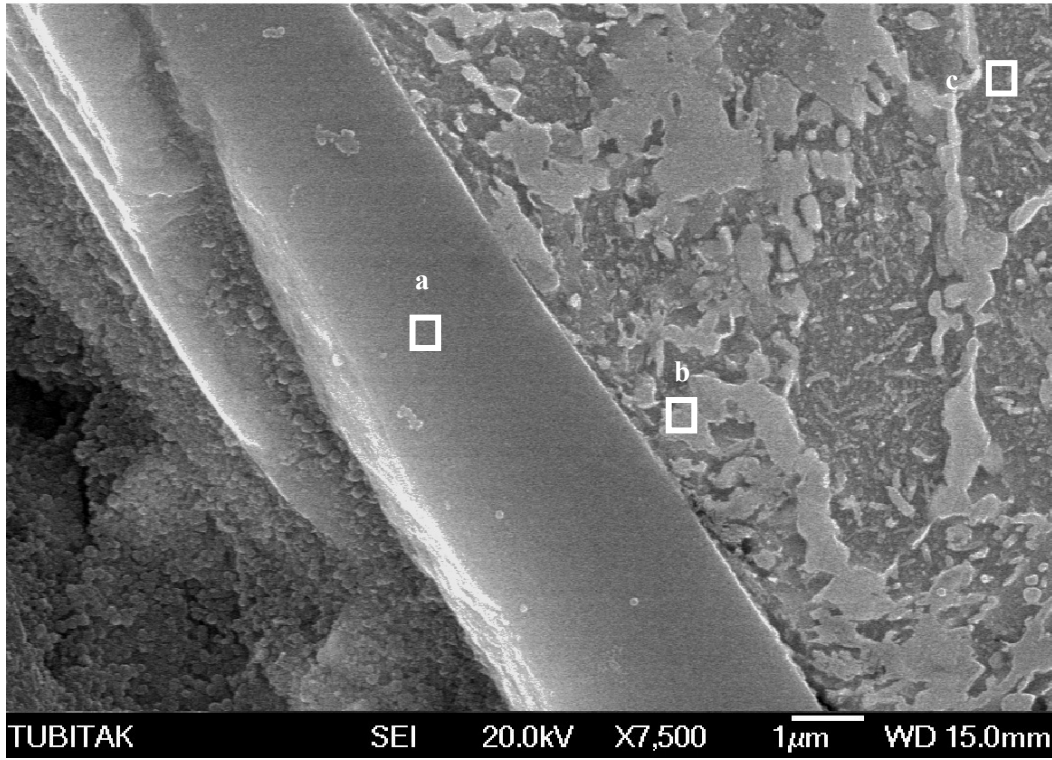


(a)

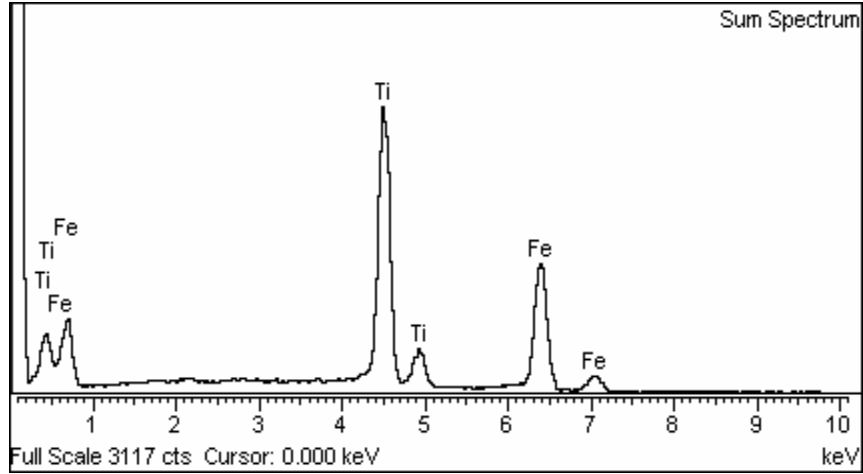


(b)

Şekil 11.4 TiN kaplı numunenin mikroyapısı (a) X 7500, (b) X 20000 SEM



Şekil 11.5 EDS analizlerinin alındığı noktaları gösteren SEM resmi

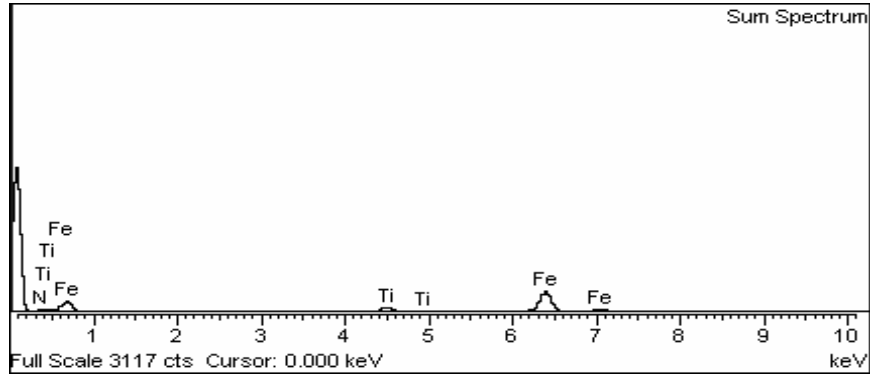


Element	Ağırlık (%)	Atom (%)
Ti K α	52.02	55.83
Fe K α	47.98	44.17
Toplam	100.00	100.00

Şekil 11.6 Kaplama tabakası üzerinde (a) noktasından alınan EDS analizi.

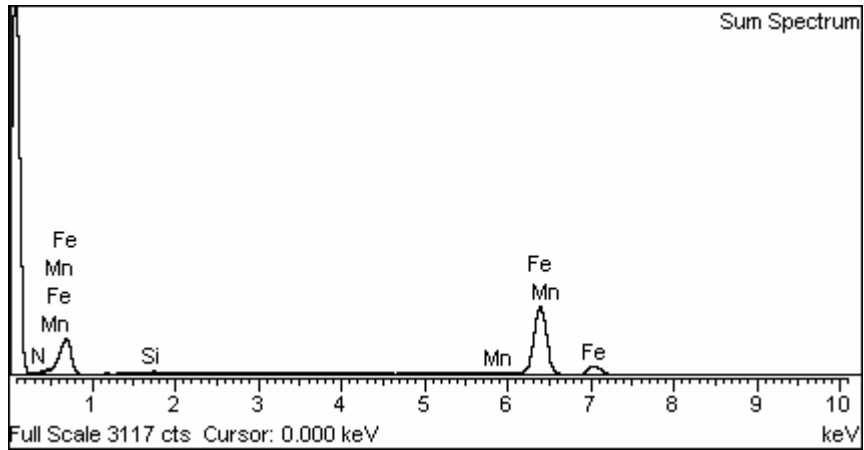
Şekil 11.6’da, kaplama tabakası üzerinden alınan a noktasının EDS analizinde, bu noktada kaplama tabakasında demir ve titanyum elementlerin yaklaşık aynı oranlarda bulunduğu ve kaplamanın esas itibarı ile (Ti, Fe)N bileşiğinden oluştuğu belirlenmiştir. Bu bulgu Raynor ve Rivlin (1988) tarafından verilen **Fe-Ti** iki bileşenli faz diyagramında gösterilen ve ötektoidik reaksiyonla oluşan FeTi bileşik fazına karşılık gelmektedir.

Şekil 11.7’de beyaz tabakanın EDS analizi incelendiğinde, bu tabakanın TiN ve ϵ -Fe_{2.3}N fazlarından oluştuğu anlaşılmaktadır.



Element	Ağırlık (%)	Atom (%)
N K α	4.30	14.73
Ti K α	21.25	21.29
Fe K α	74.45	63.98
Toplam	100.00	100.00

Şekil 11.7 Beyaz tabaka üzerinde (b) noktasından alınan EDS analizi



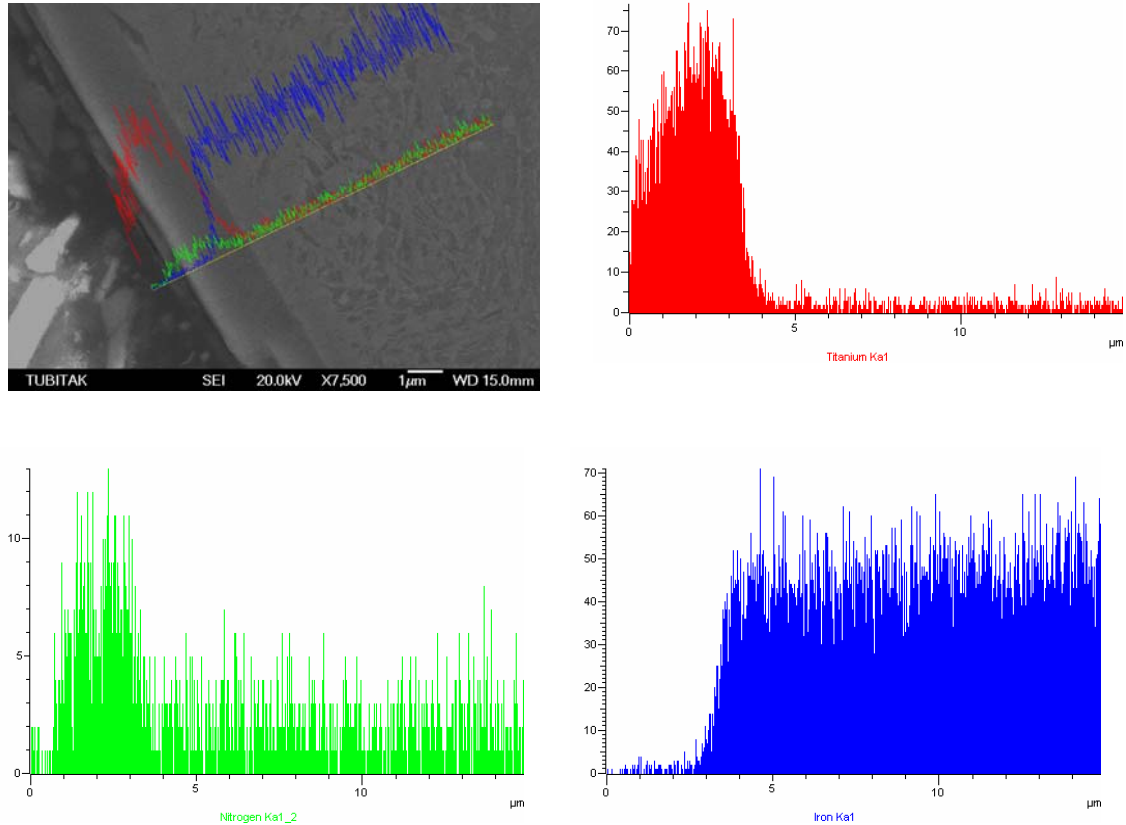
Element	% Ağırlık	% Atom
N K α	0.20	0.90
Si K α	0.64	1.13
Mn K α	0.25	0.23
Fe K α	98.91	87.74
Toplam	100.00	100.00

Şekil 11.8 Matris üzerinde (c) noktasından alınan EDS analizi

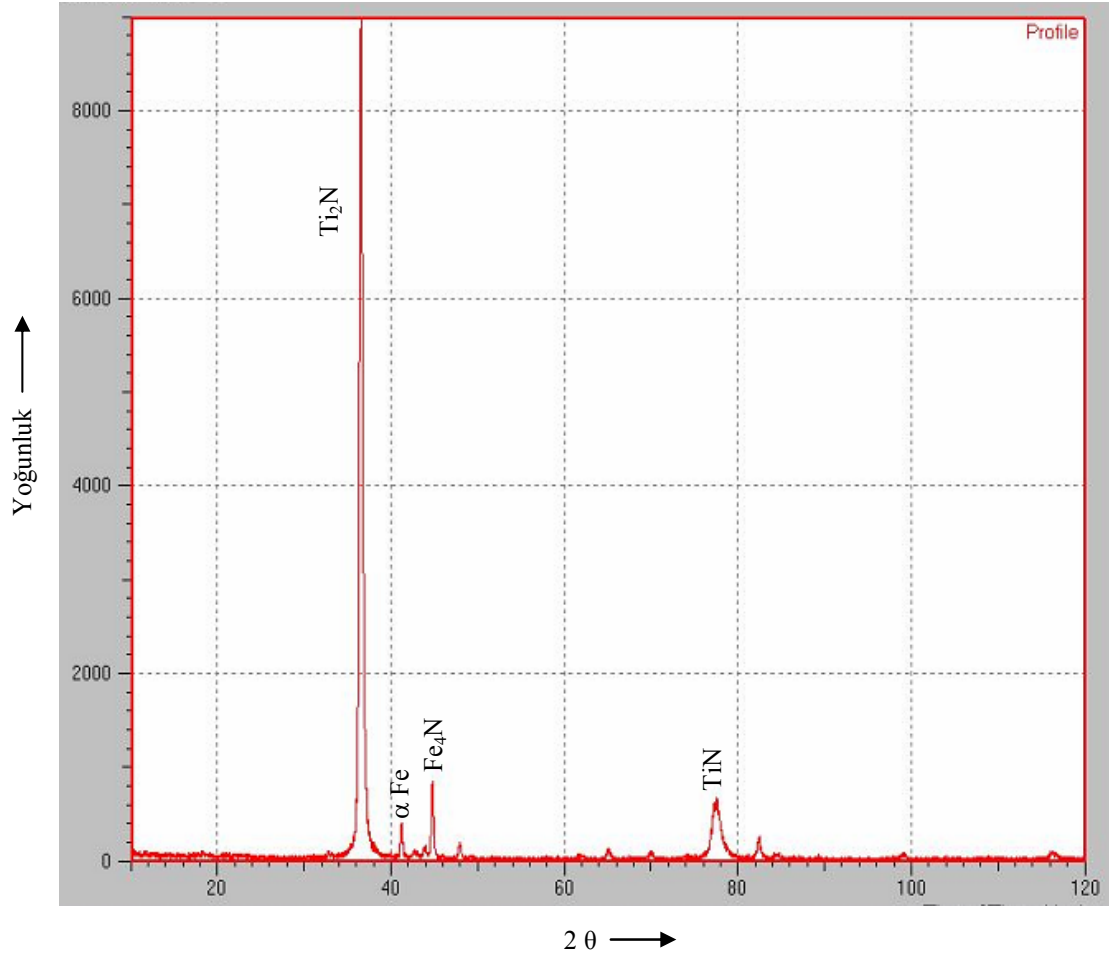
Şekil 11.8’de; matris üzerindeki bir noktadan alınan EDS analizinde, matris bölgesinin esas itibariyle demirden oluştuğu; bunun yanı sıra yapıda az oranlarda mangan, silisyum ve azotun mevcut olduğu; demirin çok az oranda demir nitrür bileşiği şeklinde yapıda bağlı olarak yer aldığı sonuçlarına varılmıştır.

Şekil 11.9’da; kaplama bölgesi içerisinde çizgisel dağılım teknikleriyle titanyum (Ti), azot (N) ve demir (Fe) elementlerinin kaplama tabakasından başlayarak ana malzemenin içine doğru oransal dağılımları verilmiştir. Diyagramlardan da görüleceği gibi titanyum; kaplamanın en dış katında büyük oranda bulunmakta, beyaz tabaka ile kaplama tabakası arasındaki geçiş çizgisi üzerinde ihmal edilebilecek boyutlara kadar inmekte ve matris içerisinde hemen hemen hiç görülmemektedir. Azotun esas itibariyle yüzeydeki nitrürlenmiş tabakada bulunduğu, ancak beyaz tabaka ve matris içerisine de oldukça dengeli bir şekilde yayınarak dağıldığı belirlenmiştir.

Demir içeriği de kaplama katı içerisine doğru yayınma göstermiş, ancak kaplama katı içerisinde çok az bir yüzdeye ulaşmış, beyaz tabakadan başlayarak matrise doğru oranca hızla artma göstermiştir. Titanyum ve azotun yayınım hızının dıştan içeriye doğru, yine demirin de içeriden dışarıya doğru oranca aşırı düşmesinin nedeni, işlem sıcaklığının düşüklüğü ve işlem süresinin kısıtlılığıdır.



Şekil 11.9 TiN kaplı numunenin EDS çizgisel analiz sonuçları

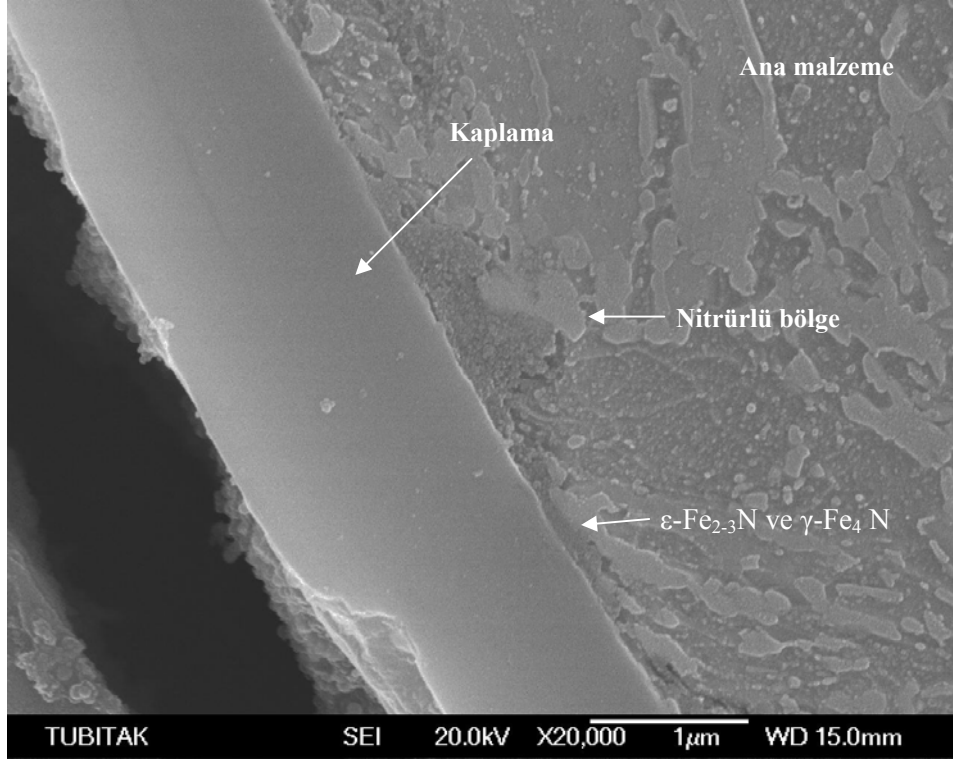


Şekil 11.10 TiN kaplı kesici takımın X ışını difraksiyon analizi (XRD).

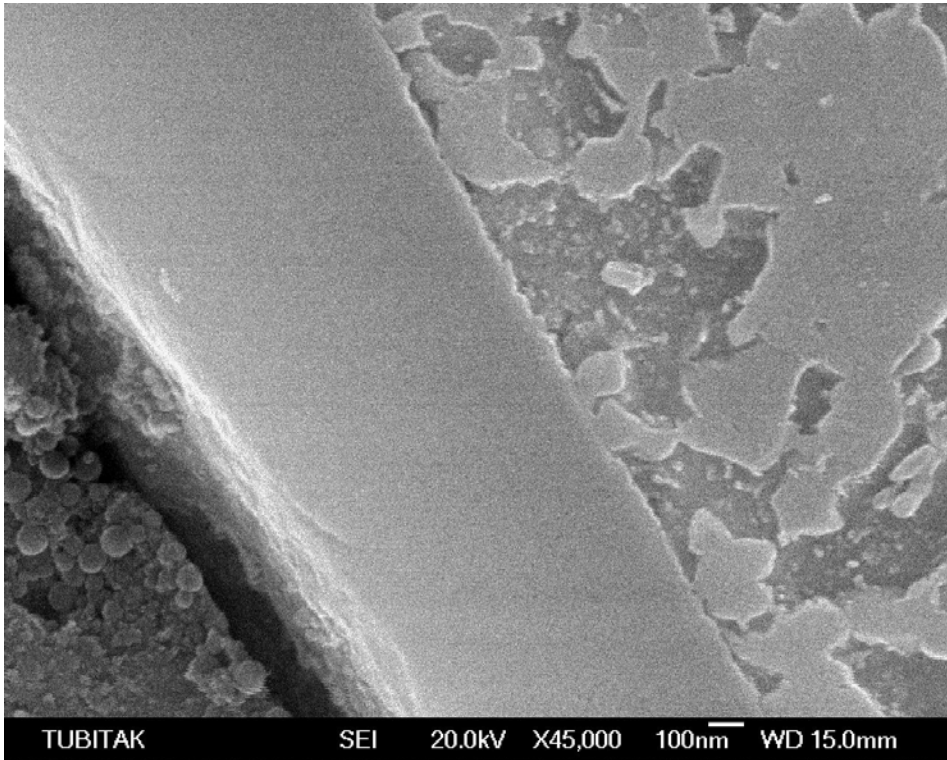
11.1.4 TiCN kaplı Numunelerin Mikroyapı İnceleme Sonuçları

AISI 1070 çeliğine, nitrürasyon işleminin ardından PVD yöntemi kullanılarak yapılan titanyum karbonitrür (TiCN) kaplama katının ve ana malzemenin SEM resimleri Şekil 11.11’de görülmektedir. Kaplama tabakası, ana malzemenin nitrürlü bölgesinin tane sınırlarında karbürlerin çökmesiyle martenzit ve muhtemelen çok az miktarda kalıntı ostenit içeren bir matriste, TiCN dendritlerinden oluşmaktadır (Qiang ve diğ., 1998; Qiang ve diğ., 1999; Menthe ve Rie, 1999). TiCN kaplama katı ile beyaz tabaka arasındaki geçiş keskin bir sınırla belirlenmişken, beyaz tabaka ile matris arasındaki sınır net olarak belirgin değildir. Ayrıca beyaz tabaka ve matriste görülen dendritler belli bir oryantasyon göstermemektedir.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile çeşitli büyütme için elde edilen görüntülerde TiCN kaplama katının ve ana malzemenin mikroyapısı Şekil 11.11 (a) ve (b)’de ayrıntılı bir şekilde görülmektedir. Şekiller incelendiğinde;



(a)



(b)

Şekil 11.11 TiCN kaplı numunenin mikroyapısı (a) X 20000, (b) X 45000 SEM

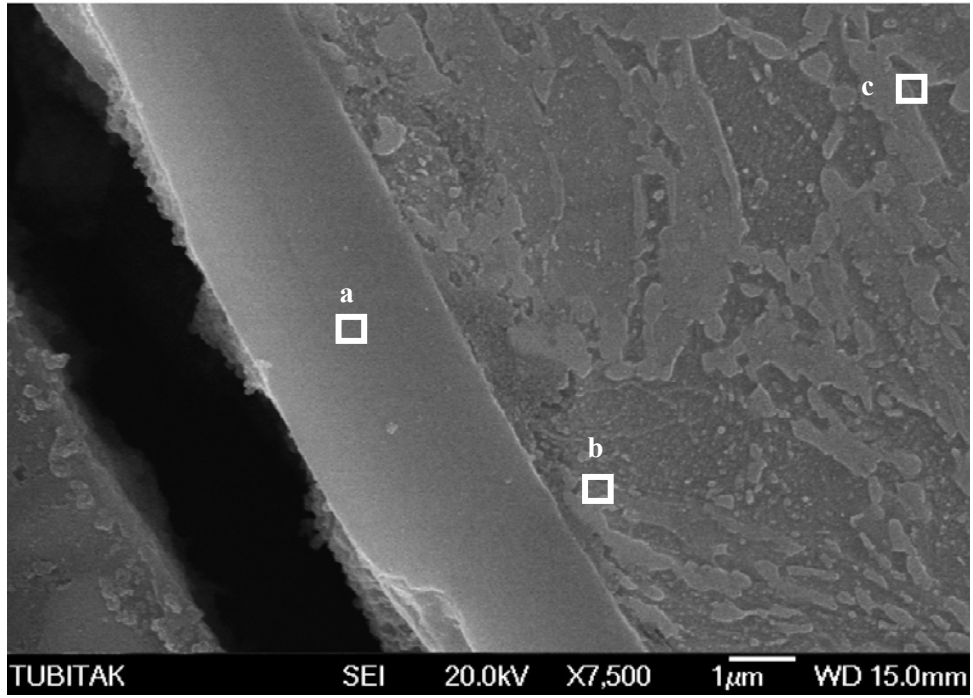
TiCN'ün oluşturduğu kaplama katının, titanyum nitrür kaplanmasında da olduğu gibi, bileşik tabakaya azotun demire olan ilgisi nedeniyle boşluk oluşturmayacak şekilde bağlanmış olduğu ve aynı zamanda kaplamanın kendi içinde boşluksuz ve son derece düzenli ve dengeli bir yapı oluşturduğu görülmektedir. Kaplama ile ana malzeme arasında iyi bir adhezyonun sağlanması, kaplamanın dayanımını dolayısıyla kesici takımın dayanımını artırıcı etki göstermektedir.

Kaplama katı, beyaz tabaka ve difüzyon bölgesi ile ana malzeme üzerinden alınan EDS sonuçları Şekil 11.13, Şekil 11.14 ve Şekil 11.15'de, çizgisel dağılım analiz sonuçları ise, Şekil 11.16'de görülmektedir. EDS analiz sonuçlarından görülebileceği gibi, kaplama katını oluşturan titanyum karbonitrürden oluşan kaplama tabakasında titanyumun oranı en yüksektir. Titanyum karbonitrür kaplama tabakası, beyaz tabaka olarak da bilinen bileşik tabaka, difüzyon bölgesi ile ana malzemede oluşan fazlar X ışını difraksiyonu (XRD) analizleriyle belirlenmiştir. Şekil 11.17'de kaplama tabakası, nitrürlü bölge ve matris yüzeyinin XRD analizleri; martenzit, muhtemelen az oranda ostenit ve yüksek oranlarda titanyum karbonitrürün varlığını doğrulamaktadır. Ana malzeme üzerine TiCN gibi son derece sert bir kaplama katının, 180 °C gibi düşük bir işlem sıcaklığında oluşturulması, faz dönüşümü yerine metalik bileşiklerin oluşması şeklinde çok ince kaplama katının elde edilmesi, genel olarak nitrürleme ve karbonitrürlemede boyut toleransının korunması nedenleriyle; kesici takım malzemesinin geometrik şeklinde ve sahip olduğu özelliklerde herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir (Menthe ve Rie, 1999; Yıldırım ve diğ., 2001 a).

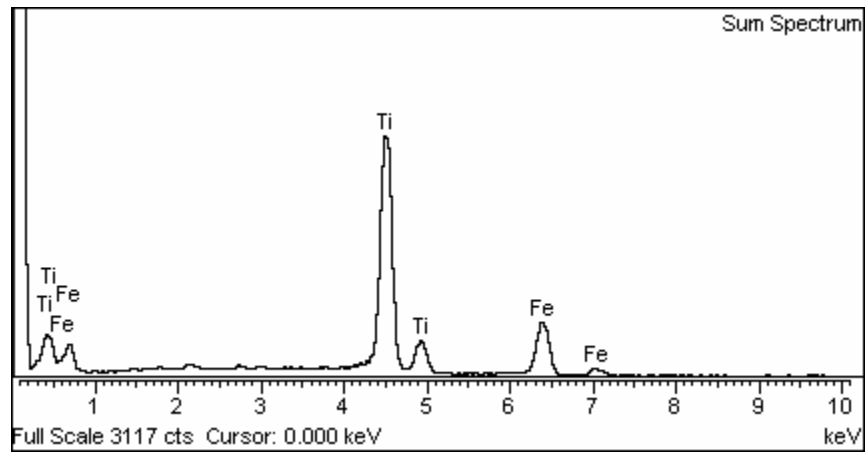
Şekil 11.13 a, b ve c'de, TiCN kaplama tabakası oluşumunda, kaplama katının EDS analizi verilmiştir. Buna göre kaplama katı titanyumca zengin Ti-Fe alaşımından oluşmaktadır. Bu tabakanın FeTi'den oluşan titanyum açısından zengin, titanyum oranı demir oranının yaklaşık üç misli kadar bir değere sahip bir alaşımdan ve yapısının büyük ölçüde TiCN, Ti₂N ile bir miktar Fe₄N fazlarından ibaret olduğunu göstermektedir.

Şekil 11.14'de beyaz tabaka üzerinden alınan bir noktanın EDS analiz değeri verilmiştir. Analiz değerleri; beyaz tabakanın titanyum, demir, kobalt ve azot elementlerini içerdiğini; yapının daha çok demir ve titanyum nitrürden oluştuğunu, az oranda bileşimde bulunan kobaltın ise, bağlayıcı etkisiyle yapıyı güçlendirdiğini göstermektedir

Şekil 11.15'de matris üzerinde bulunan bir noktadan alınan EDS analizinden, matrisin esas itibarı ile demirden oluştuğu, bunun dışında yapıda bağlı durumda yüksek oranda azotun bulunduğu; buna karşılık düşük oranlarda titanyum, manganez ve kobaltın bulunduğu belirlenmiştir. Bu alaşımda belirlenen demir ve manganez çelik alaşımından; kobalt, titanyum ve azot da kaplama tabakasından yayınarak diğer bölgelerin içine kadar nüfuz etmiştir.

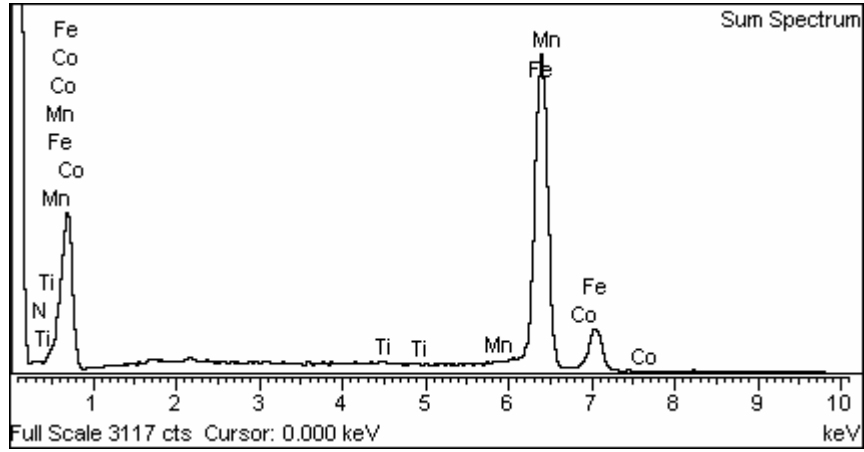


Şekil 11.12 EDS analizlerinin alındığı noktaları gösteren SEM resmi



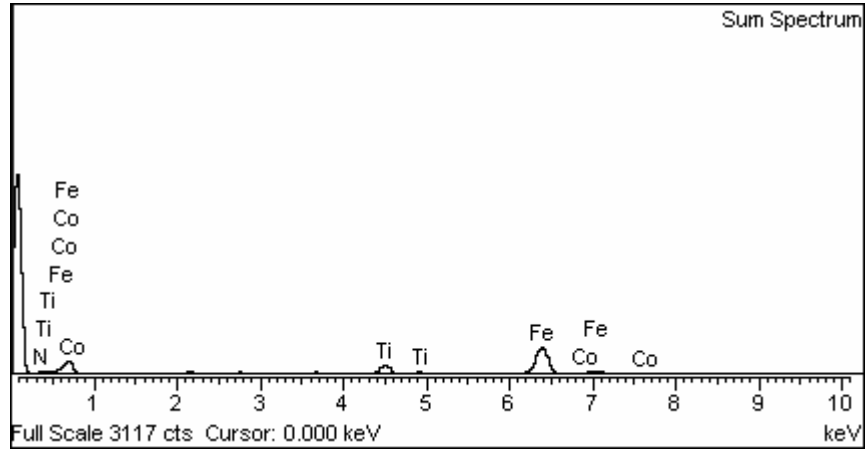
Element	Ağırlık (%)	Atom (%)
Ti K α	68.80	72.00
Fe K α	31.20	28.00
Toplam	100.00	100.00

Şekil 11.13 Kaplama tabakası üzerinde (a) noktasından alınan EDS analizi



Element	Ağırlık (%)	Atom (%)
N K α	6.69	21.88
Ti K α	11.84	11.33
Fe K α	80.01	65.65
Co K α	1.46	1.13
Toplam	100.00	100.00

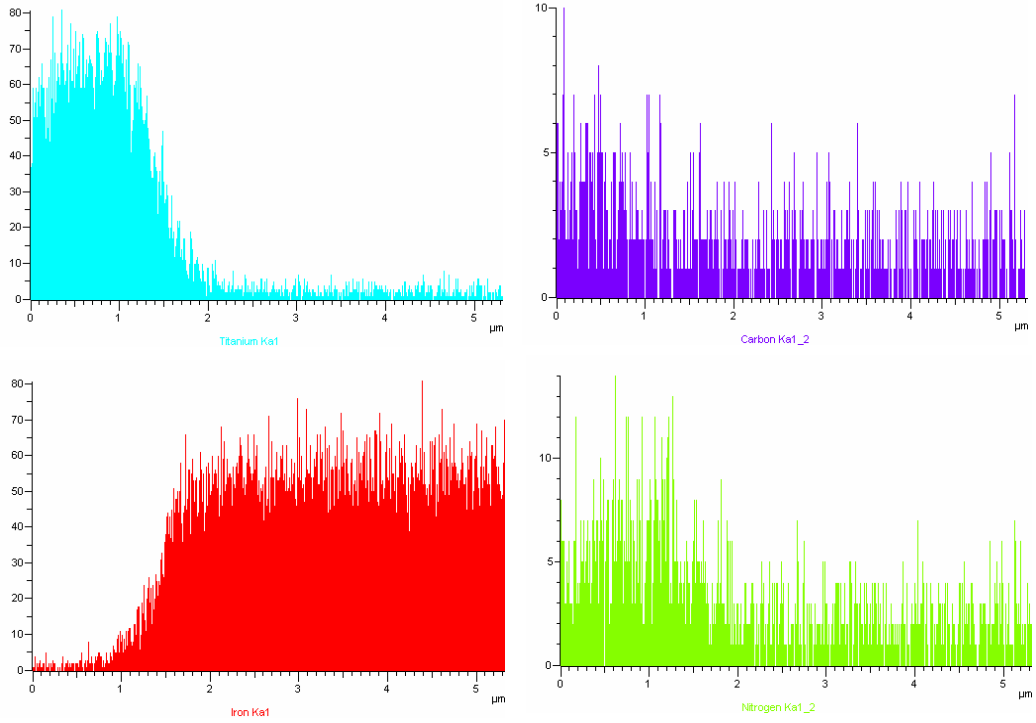
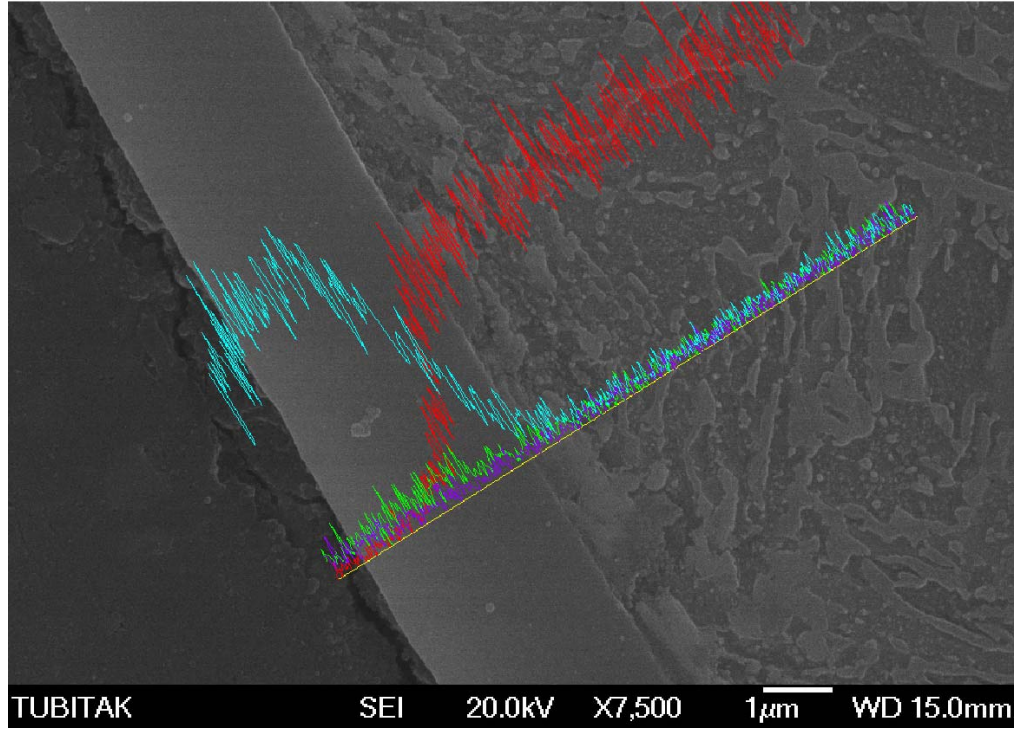
Şekil 11.14 Beyaz tabaka üzerinde (b) noktasından alınan EDS analizi



Element	Ağırlık (%)	Atom (%)
N K α	4.39	15.46
Ti K α	0.25	0.26
Mn K α	0.26	0.23
Fe K α	94.00	83.12
Co K α	1.10	0.92
Toplam	100.00	100.00

Şekil 11.15 Matris üzerinde (c) noktasından alınan EDS analizi

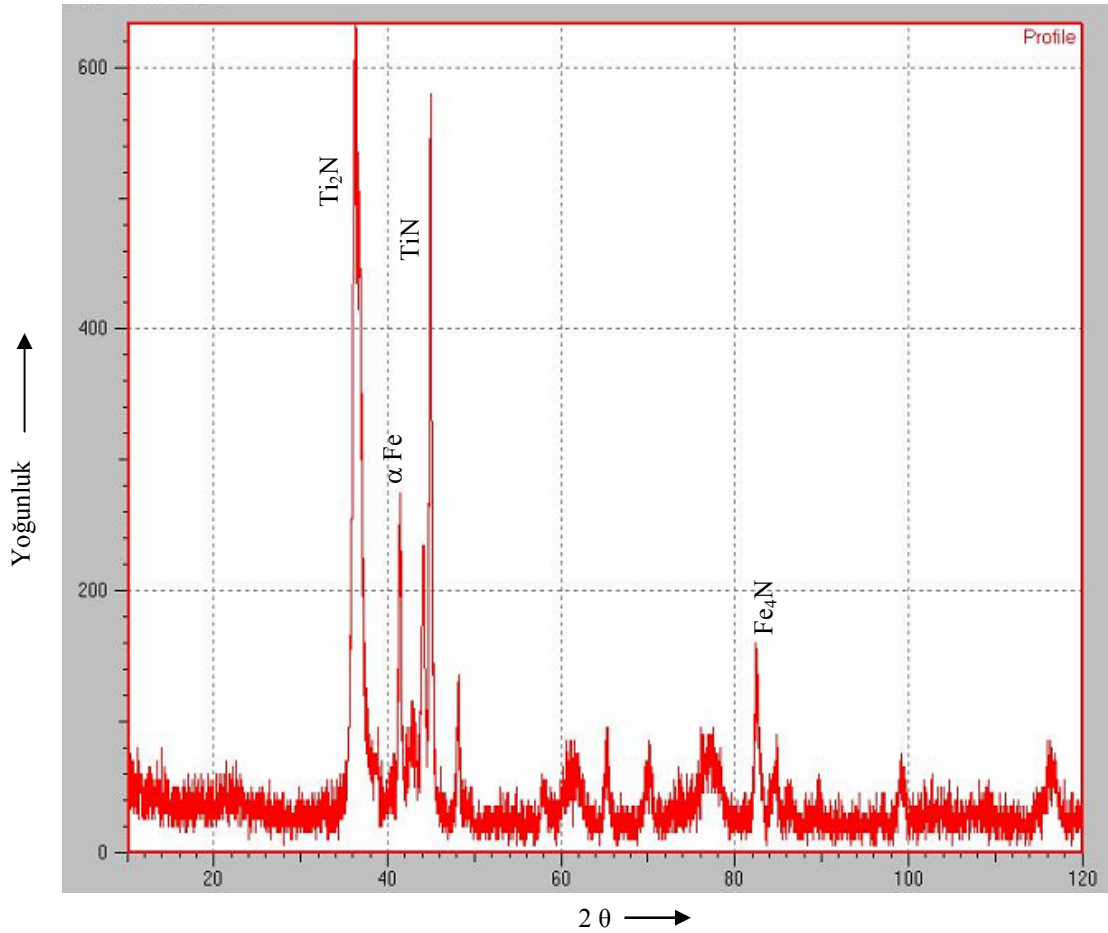
Şekil 11.16'da sırası ile demir, titanyum, karbon ve azotun çizgisel dağılım analiz tekniği ile kaplama katları içerisinde dağılımlarının nasıl değiştiği verilmiştir.



Şekil 11.16 TiCN kaplı numunenin üzerinden alınan çizgisel EDS analizi.

Demir elementi kaplama katının hemen başından itibaren hızla yükselmekte, kaplama tabakası/beyaz tabaka geçiş sınırından itibaren en yüksek değerine yaklaşmakta ve matris bölgesinde orijinal değerlerine ulaşmaktadır. Titanyum elementi kaplama katının başında en

yüksek değerlere ulaşırken, kaplama tabakası/beyaz tabaka geçiş sınırından itibaren titanyum içeriği çok küçük değerlere kadar düşmektedir. Azot elementi kaplama tabakası ve beyaz tabakada oldukça yüksek değerler alırken, matrisin içerisine doğru ilerledikçe tamamen azalmaktadır. Karbon oranı, kaplama katı ve beyaz ara tabakada yaklaşık aynı düzeyde kalırken, çizgisel dağılım ölçüm tekniğiyle belirlenememesine karşın, orijinal malzeme olan matriste sementit şeklinde bağlı olarak ve yüksek oranlarda bulunmaktadır. Sade titanyum nitrür kaplama işleminde; en dış kaplama katı ve matriste difüzyon yetersizliği nedeniyle, azot elementi hemen hemen hiç bulunmamasına karşın, titanyum karbonitrür kaplamada oluşan karbürlerin gözenekli ve kristal hatalı olması nedenleriyle, yapıdaki tüm elementler difüzyon yeteneği göstermişler ve tüm tabakalara farklı hız ve oranlarda yayınma olanağı bulmuşlardır.



Şekil 11.17 TiCN kaplı kesici takımın X ışını difraksiyonu (XRD).

11.1.5. CrN Kaplı Numunelerin Mikroyapı İnceleme Sonuçları

Malzemelerin korozyon direnci ve tribolojik özelliklerinin geliştirilmesi amacı ile yüzeylerine PVD ve CVD yöntemleri kullanılarak seramik kaplama katı yapılmaktadır. Sahip olduğu üstün korozyon direnci sayesinde mühendislik uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahip olan krom nitrür, aşınma direncinin de yüksek olması nedeniyle; özellikle kesici takımlar başta olmak üzere birçok malzemede tribolojik özelliklerin iyileştirilmesi için yüzeylerin kaplanması geniş çaplı olarak kullanılmaktadır (Chen ve diğ., 2002; Yang ve Zhao, 2003; Hoy ve diğ., 2004; Lee ve diğ., 2004, Endrino ve diğ., 2006).

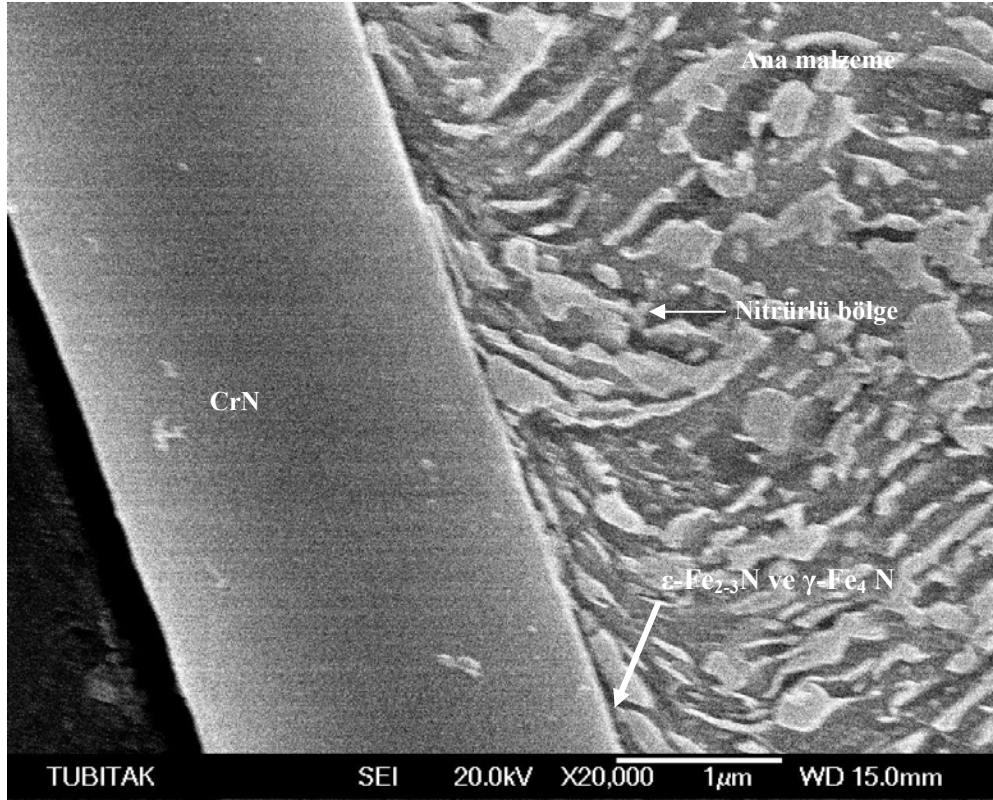
Bu çalışmada; CrN kaplı numunelerin mikroyapılarının incelenmesi için AISI 1070 çeliğinden 12x12x100 mm boyutlarında kare prizma şeklinde hazırlanan malzemelerin uç kısımları, sertleştirme işlemini takiben alet bileme tezgahında standartlara uygun bir şekilde biçimlendirilmiştir. Deney numunelerinin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi için, termokimyasal bir işlem olan 570 °C’de sıvı ortamda nitrürasyon işleminin ardından, PVD yöntemi kullanılarak oluşturulan CrN kaplama katı ve ana malzemenin SEM resimleri Şekil 11.18’de görülmektedir.

Bu çalışmada taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile alınan çeşitli büyütme ölçeklerindeki CrN kaplama katının ve ana malzemenin mikroyapısına ait görüntüler Şekil 11.18’de ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde; CrN’ün oluşturduğu kaplama katının da titanyum nitrür kaplama işleminde olduğu gibi, kaplama tabakasını takip eden beyaz tabaka ve matristen oluştuğu görülmektedir. Azotun demire olan ilgisi nedeniyle, kaplamanın yüzeye boşluksuz bir şekilde belli sınırlarla bağlanmış olduğu ve aynı zamanda kaplamanın kendi içinde boşluksuz son derece üniform bir yapı oluşturduğu dikkati çekmektedir. Kaplama ile ana malzeme arasında iyi bir adhezyonun bulunması, kaplamanın dayanımını ve dolayısı ile kesici takımın dayanımını olumlu yönde etkilemektedir. Kromun matrise difüzyonla geçişi, kaplanan malzemenin korozyona ve aşınmaya karşı dirençli bir matrisin oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca hem kaplama katının, hem de beyaz tabakanın sahip oldukları krom içerikleri ve oluşan krom nitrür tabakasının varlığı ile, bu tabakalar da üstün korozyon ve aşınma dayanımı özelliği kazanmaktadır. Kaplama tabakası, ana malzemenin önünde bulunan ve beyaz tabakayı da içine alan nitrürlü bölgenin tane sınırlarına karbürlerin çökmesiyle, martenzit ve bir miktar kalıntı ostenitten oluşan bir matris içerisinde CrN bileşiği oluşmaktadır. Bu bulgu Ürgen ve Çakır (1997)’ın yaptıkları çalışmada elde ettikleri sonuçlarla büyük bir benzerlik göstermektedir.

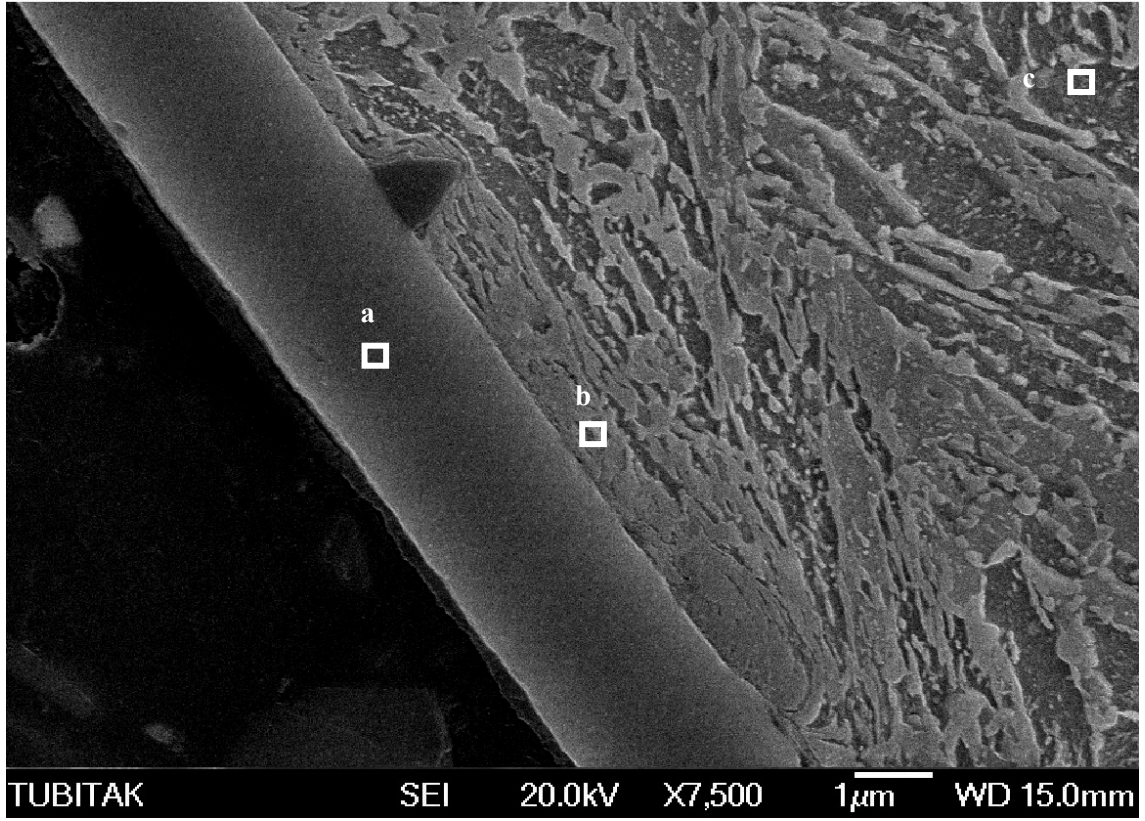
Kaplama katı, beyaz tabaka ve ana malzeme üzerinden alınan EDS sonuçları Şekil 11.20, Şekil 11.21 ve Şekil 11.22’de ve çizgisel analiz sonuçları ise, Şekil 11.23’de görülmektedir.

Şekil 11.18’de krom nitrür (CrN) kaplanmış malzemenin yüzeyinde oluşan üç tabakalı kaplama katının SEM fotoğrafı verilmiştir. En dıştaki CrN kaplama tabakası ile beyaz tabaka arasında bulunan geçiş sınırı, keskin ve belirgin bir çizgi olarak görülmektedir. Buna karşılık difüzyonun etkili olduğu beyaz bölge ile matris arasındaki geçiş, belirgin bir sınıra sahip değildir. Cr_2N ve CrN formüllü krom nitrür fazlarını içeren difüzyonun gerçekleştiği ara bölgede, bu fazlar gelişigüzel bir dağılım göstermektedir. Söz konusu bu iki sert fazdan, Cr_2N ’ın en büyük sertlik değerine sahip olduğu Chen ve arkadaşları (2002) tarafından belirtilmiştir.

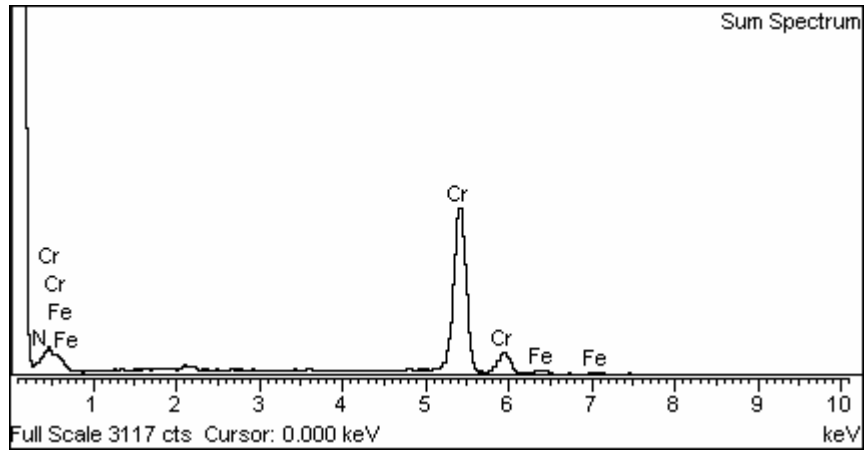
Şekil 11.20’de CrN kaplanmış bir numunenin kaplama tabakasına ait EDS analizi verilmiştir. Buna göre kaplama katı hemen hemen tamamen krom nitrür CrN bileşiğinden oluşmaktadır. Ayrıca, kaplama katında yayınarak bu bölgeye ulaşmış çok az oranda demir de bulunmaktadır.



Şekil 11.18 CrN kaplı numunenin mikroyapısı X 20000 SEM

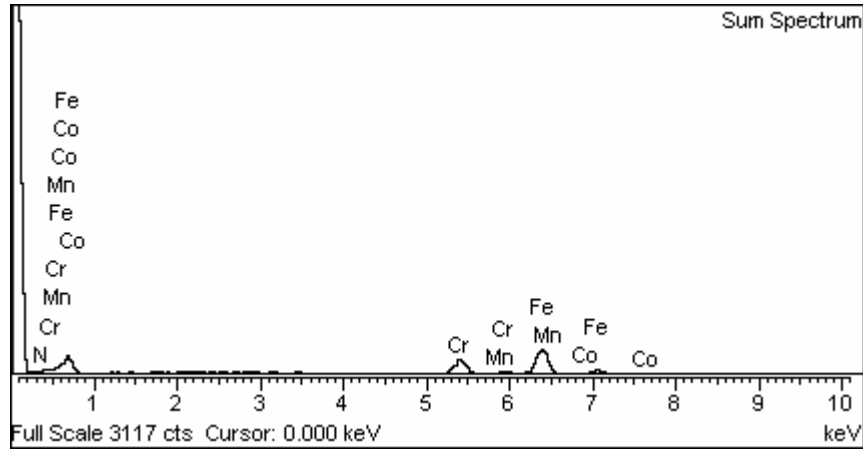


Şekil 11.19 EDS analizlerinin alındığı noktaları gösteren SEM resmi



Element	Ağırlık (%)	Atom (%)
N K α	22.08	51.33
Cr K α	74.77	46.83
Fe K α	3.16	1.84
Toplam	100.00	100.00

Şekil 11.20 Kaplama tabakası üzerinde (a) noktasından alınan EDS analizi

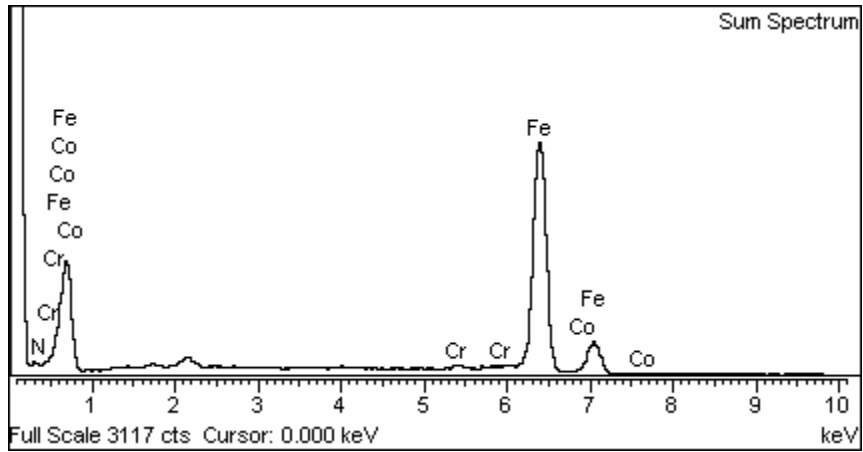


Element	Ağırlık (%)	Atom (%)
N K α	13.28	37.50
Cr K α	21.35	16.24
Mn K α	0.03	0.02
Fe K α	64.77	45.86
Co K α	0.57	0.38
Toplam	100.00	100.00

Şekil 11.21 Beyaz tabaka üzerinde (b) noktasından alınan EDS analizi

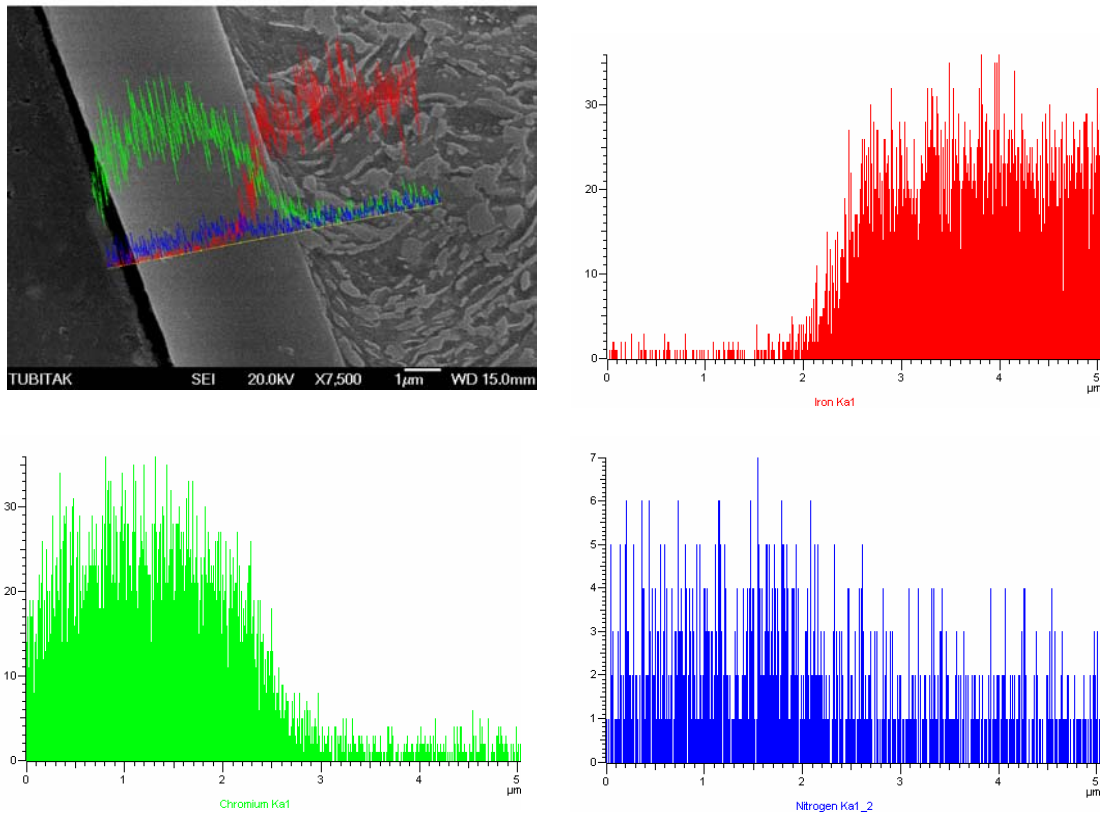
Şekil 11.21’de beyaz ara tabakanın EDS analiz değerleri verilmiştir. Bulunan analiz değerlerinden de görüleceği gibi; ara tabakada başta CrN bileşiği olmak üzere, çok az oranlarda manganez ve kobaltın bulunduğu, ayrıca yine önemsiz sayılacak miktarda Cr₂N bileşiğinin meydana gelmiş olabileceği, azotun kalan kısmının da demirle birleşerek ayrıca onunla Fe₄N bileşiğini oluşturduğu Şekil 11.22’de verilen X ışını difraksiyonundan da anlaşılmaktadır. Beyaz tabakada yer alan az orandaki kobalt kaplama tabakasından; çok az orandaki manganez ve yüksek oranlardaki demir ise, kaplanan ana malzemeden, yani matristen gelmektedir. Bu bölgede Cr₂N bileşiğinin son derece az oluşması, bu fazın literatürde belirtilen aşırı gevrekliği nedeniyle (Chen ve diğ., 2002), bir avantaj olarak görülmektedir.

Şekil 11.22’de matris üzerindeki bir noktadan alınan EDS analiz değeri verilmiştir. Analizden de görüleceği gibi; bu bölgede yüzeyden itibaren içeriye doğru yayılan azot, demirle birleşerek demir nitrid bileşiği oluşturmuştur. Ayrıca matriste, yüzeydeki kaplama katından difüzyon yoluyla içeriye geçişerek bölgeye ulaşan çok az oranlarda krom ve kobalt elementleri de bulunmaktadır. EDS analizinde görünmemekle birlikte, bu elementlerden kromun yapıda karbür bileşiği şeklinde yer aldığı, kobaltın ise miktarca çok az olması nedeniyle matriste çözünmüş halde bulunduğu düşünülmektedir.



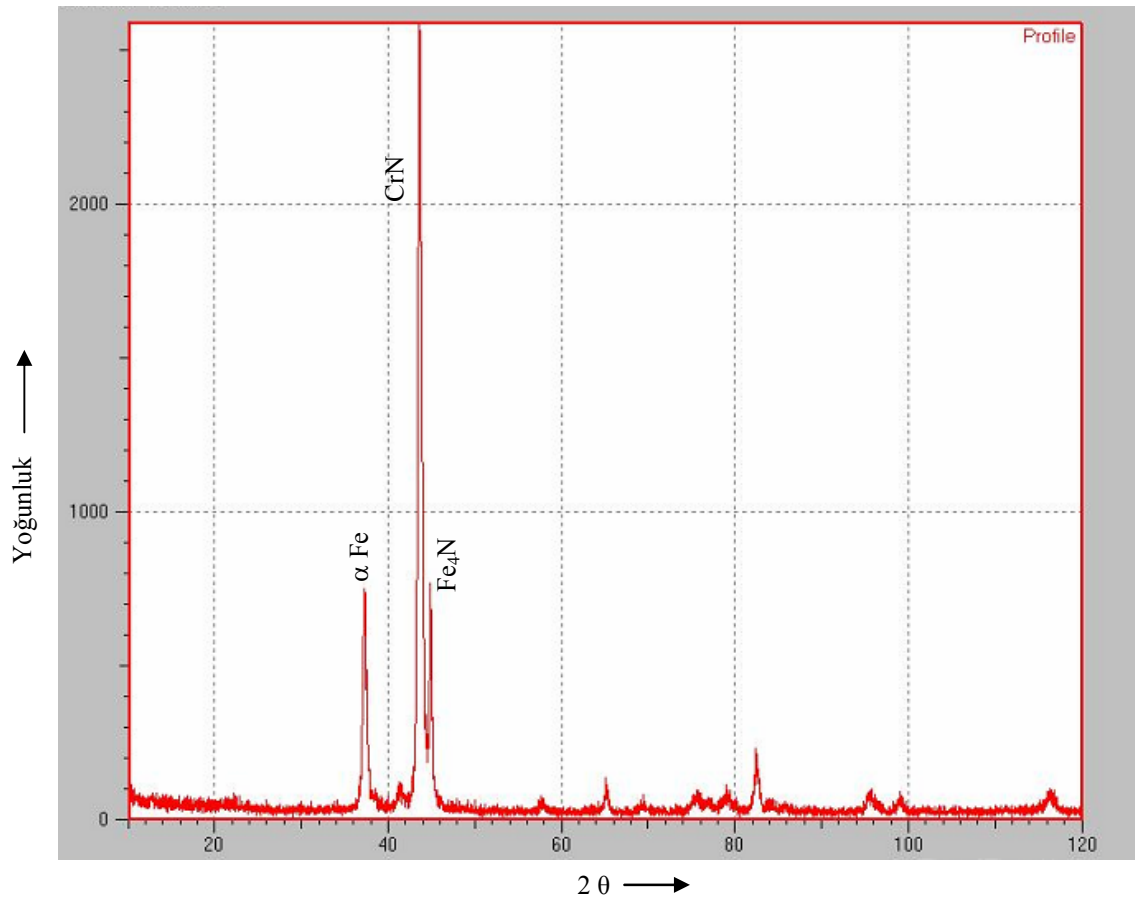
Element	Ağırlık (%)	Atom (%)
N K α	10.66	32.22
Cr K α	0.89	0.72
Fe K α	87.66	66.48
Co K α	0.80	0.57
Toplam	100.00	100.00

Şekil 11.22 Matris üzerinde (c) noktasından alınan EDS analizi



Şekil 11.23 CrN kaplı numunenin üzerinden alınan çizgisel EDS analizi.

Şekil 11. 23’de krom nitrür kaplanmış numunenin kaplama bölgesinden başlayarak çizgisel dağılım analizi verilmiştir. Krom elementi içeriği kaplama katı yüzeyinden itibaren önce hızla artıp en üst seviyeye ulaşırken, beyaz tabaka geçiş sınırına doğru hızla azalma eğilimi göstermektedir. Beyaz tabakada düşme eğilimi devam ederken, matristeki krom içeriği en alt düzeye kadar inmektedir. Demir içeriği kaplama katının başında çok az bir değere sahipken, beyaz tabakaya yaklaştıkça hızla artmakta ve bu tabakada matrisdekine yakın değerlere kadar çıkmaktadır. Matrisde ise demir oranı en yüksek değerini almaktadır. Azot elementi, kaplama katında en yüksek orana sahipken, beyaz tabakadan itibaren matrise doğru gittikçe, oldukça yavaş bir şekilde azalma eğilimi göstermektedir.



Şekil 11.24 CrN Kaplı kesici takımın X ışını difraksiyonu (XRD).

11.2. TiN-TiCN-CrN Kaplanarak Üretilen Kesici Takımların Aşınma Deneyi Sonuçları

Sertleştirme ve bunu takiben yapılan gerginlik giderme temperleme işleminin ardından, sıvı ortamda nitrürasyon işlemine tabi tutularak yüzeyinde sert bir kaplama tabakası oluşturulan kesici takım numunelerine, son bir takviye işlem olarak PVD yöntemi kullanılıp farklı özelliklere sahip TiN, TiCN, CrN kaplama işlemi yapılarak üç değişik özellikte numune üretilmiştir. TiN, TiCN ve CrN kaplanarak üretilen bu kesici takımlardaki aşınma, tasarımı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen, hassas bir torna tezgahına monte edilen bir on-line izleme sistemi aracılığı ile takip edilmiş; çalışmalar 190, 240 ve 320 dev/dak devir sayılarında, 0,052-0,081 mm/dev arasında değişen ilerleme hızlarında ve 0,8 mm kesme derinliğinde 40 mm çapında otomat çeliği üzerinde tornalama testlerine tabi tutulmuştur (Çakan ve Yıldırım, 2006).

11.2.1. TiN Kaplı Kesici Takımların Aşınma Deneyi Sonuçları

TiN kaplı olarak üretilmiş olan kesici takım numunelerinde 0,052 mm/dev ilerleme hızı, 0,8 mm kesme derinliği ve 190, 240 ve 320 dev/dak kesme koşullarında otomat çeliği üzerinde uygulanan tornalama testlerinde, kesici takımlarda elde edilen aşınma deney sonuçları Şekil 11.25’de verilmiştir.

İş parçası torna tezgahında ayna-punta arasına bağlanarak, parça üzerinde 15 mm’lik bir uzunluk yeni bir kesici takım ile 0,8 mm kesme derinliğinde işlendikten sonra, kesme işlemi durdurulmuştur. Elde edilen bu yüzey ile fiber optik arasındaki boşluk ~ 2.5 mm’ye ayarlanmış, ardından TiN kaplı kesici takım numunesi takım tutucuya (katere) ve uç kısmı işlenen yüzeye temas edecek şekilde bağlandıktan sonra, iş parçasının üzerinde 150 mm’lik bir uzunluğun Ø 40 mm çapa kadar tornalanması için tezgah çalıştırılarak işleme başlanmıştır. İşlem süresince foto diyot çıkışı sürekli olarak kaydedilerek işlem tamamlanmıştır. Başlangıçta mevcut referans yüzeyinden itibaren, kesme işlemi süresince çıkış voltajının gösterdiği değişim, Şekil 11.25’de görülmektedir.

Deneylerde; kesme işlemi başlangıcında sinyallerde beklenen azalmanın aksine, voltaj değerinde bir artma gözlenmiştir. İş parçası yüzeyinden yansıyan ışığın miktarı, fiber optik ile iş parçası yüzeyi arasındaki mesafe ve yüzey pürüzlülüğü ya da iş parçasının yansıtma özelliğine bağlı olarak değişmektedir (Choudhury ve diğ., 1999). Yeni bir kesici takım ile başlanan kesme işleminin ilerleyen safhasında kesme işleminden kaynaklanan takımın kesici kenarı ile kesilen malzeme arasında sıcaklık artışı ortaya çıkmaktadır. Grzesik (1999), kesme işlemlerinin termal karakteristikleri üzerinde, çeşitli kaplama yapılarının etkileriyle ilgili yaptığı çalışmada; talaş ile takım arasındaki temasla bağlı olarak oluşan kesme sıcaklığının termal bir yük oluşturduğunu ileri sürmüş, minimum sıcaklık değeri olan (450-500 °C) sıcaklıklara, ancak farklı malzemelerle

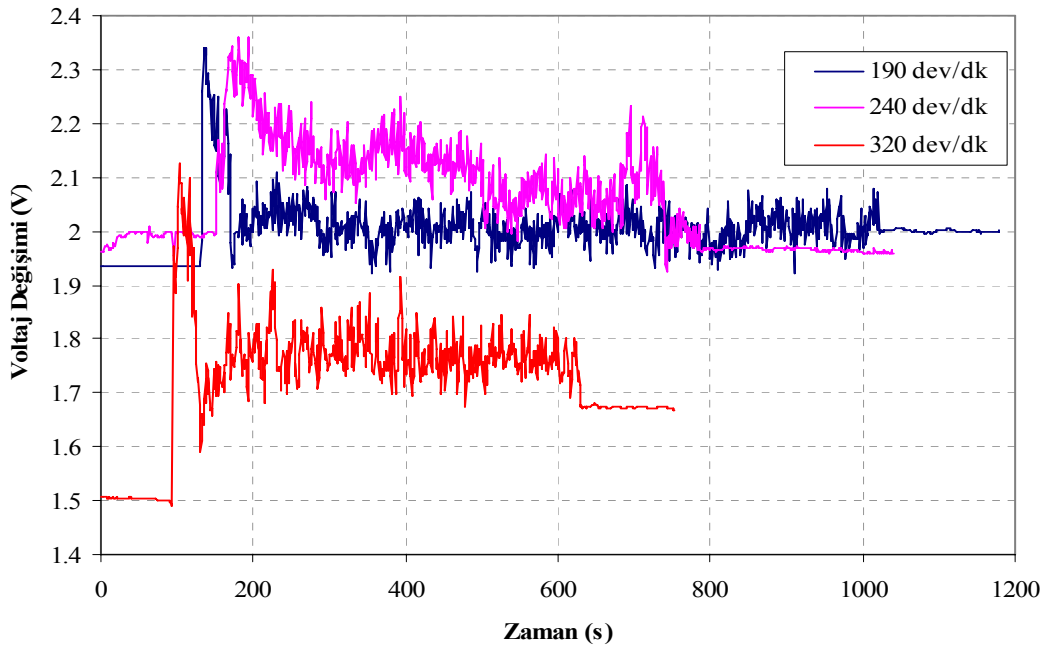
kaplanarak üretilen kesici takımlarla yapılan kesme işleminde ulaşıldığını belirtmiştir. Tarafımızdan yapılan kesme işlemlerinde, takım üzerindeki keskin kenarda aşınma ve takım ucunda küçük bir radyusun oluştuğu görülmüştür. Bu da, iş parçasında daha iyi ve düzgün bir yüzeyin oluşumu ile daha etkin bir yansıtma özelliği sağlamıştır. Kesme işleminin ilerleyen evresinde görülen voltaj sinyallerindeki düşme; kesici takım üzerinde gittikçe artan kesici kenar aşınmasının neden olduğu, fiber optikle iş parçası arasındaki azalan boşluktan ileri gelmiştir. TiN kaplı kesici takım numuneleriyle yapılan tornalama deneylerinden elde edilen sonuçlarda, artan devir sayısı ile aşınma miktarında beklendiği gibi, artma gözlenmiştir. Şekil 11.25’den de görüleceği gibi; aynı kesme koşullarında yapılan deneylerde en düşük aşınma 190 dev/dak’da gerçekleşirken, en büyük aşınma 320 dev/dak’da yapılan aşınma deneyinde kullanılan TiN kaplı kesici takım numunesinde ve kesme işlemine başlandıktan hemen sonra gerçekleşmiştir. 240 dev/dak aşınma testine tabi tutulan TiN kaplı kesici takımda diğerlerinden farklı olarak aşınma, kesme işlemi başlangıcından itibaren kesme işlemi süresince artarak gelişmiştir.

İşlenmiş malzemenin yüzey kalitesi açısından kesici uçlar incelendiğinde; en düzgün ve pürüzsüz parça yüzeyi aynı ilerleme hızında, 190 dev/dak devir sayısında ve TiN kaplı kesici uçla çalışıldığında elde edilmiştir. Bunun da; TiN dışındaki kaplama tabakalarının daha gevrek ve gözenekli olması, kesme esnasında yüzeyin bu bölgelerine yapışan malzemenin oksitlenerek, bir abrasiv malzeme gibi aşındırıcı etki göstermesi ve yüzeyi çizmesi nedeniyle, TiCN ve CrN uçlarla düzgün yüzeyler elde edilememiştir.

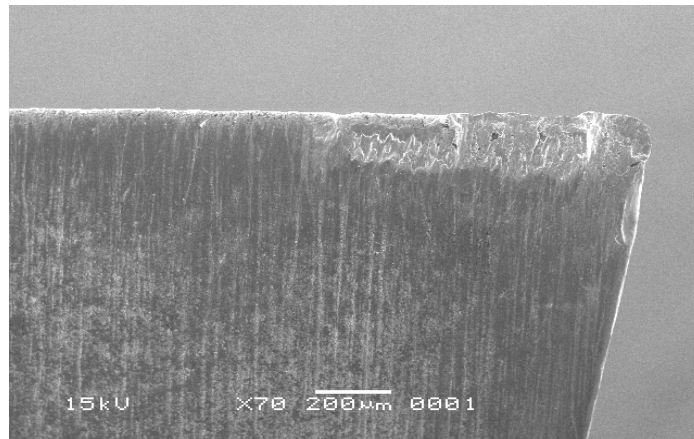
Şekil 11.26’da ise, kesme işlemi süresince kesici takım üzerinde oluşan aşınma görülmektedir. Şekilden görüleceği gibi; en büyük aşınma, sırasıyla kesici takımın burun kısmı ile kesici kenarında gerçekleşmiştir. Kesme işlemi süresince kesme bölgesinde ortaya çıkan ısının büyük bir kısmı talaşla bu bölgeden uzaklaşırken; kesici takımın talaş yüzeyine sürekli olarak temas etmesi sonucunda, takım yüzeyi ile sürekli yüksek sıcaklıkta akan talaşın temas ettiği bölgede, kaplama renginde bir değişimin yanı sıra az da olsa bir aşınmanın da meydana geldiği görülmüştür.

Şekil 11.25’de kesme esnasında on line olarak ölçülen voltaj değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi; kesme işleminin başında voltaj değeri bir pik yaparak yükselmekte, sonra kısa bir süre için ani bir düşüş göstermekte ve daha sonra yeniden yükselme göstererek oldukça kararlı bir şekilde devam etmektedir. Ölçülen voltaj değerinin yüksek olması, kesmenin o bölgede doğurduğu aşınmanın başlangıçta çok az olduğunu ve işlenen malzeme yüzeyinin parlak olduğunu göstermektedir. Başlangıçtaki pik ve bunu takip eden düşmenin nedeni; kesici ucun ilk kesmeye başladığı anda aşınmanın hemen hemen hiç olmaması, ancak daha sonra zorlanmalarla uçta kırılmaların ve kopmaların meydana gelmesi ve buna bağlı olarak yüzey parlaklığının zaman içerisinde kaybolmasıdır. Kesmenin

daha da ilerleyen safhalarında voltajın fazla değişmemesi, kesici uçta bir süre sonra radyus oluştuğunu; kesici takım üzerinde aşınma ve kopmanın azaldığını ve son evrede kararlı kesme periyoduna geçildiğini göstermektedir. Bu periyotta; iş parçası ile fiber optik arasındaki mesafe azalmakta, bunun sonucunda algılayıcı fiber üzerine düşen ışık miktarında azalma ve buna bağlı olarak voltaj değerinde bir düşme oluşmaktadır. Sonuçta kesici takımda oluşan aşınmaya bağlı olarak foto diyot çıkışından alınan voltaj değerlerindeki değişimler, on-line izleme yönteminin temelini oluşturmaktadır.



Şekil 11.25 TiN kaplı kesici takımlarda farklı devir sayılarında 0,052 mm/dev sabit ilerleme hızında oluşan voltaj değişimlerinin karşılaştırılması.



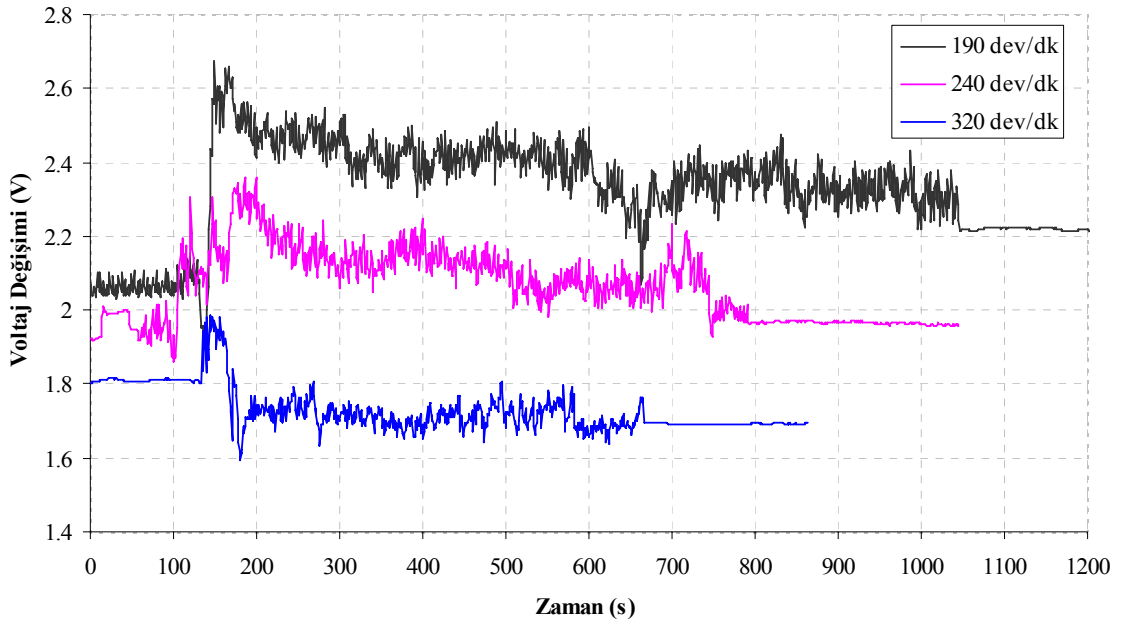
Şekil 11.26 TiN kaplı kesici takımda kesme işlemi süresince uçta oluşan aşınmanın SEM resmi

Şekil 11.26’da görüldüğü gibi; TiN kaplı kesici ucun kesme bölgesinde belirgin derecede kırılma ve kopmalar meydana gelmiş, kesici uç üzerinde kesilen malzeme kalıntısı olarak sıvanmalar gözlenmiştir. Kesici takım üzerinde görülen bu tür malzeme sıvanmaları, ağırlık farkı yöntemiyle yapılan aşınma incelenmesinde, elde olmayan nedenlerle hata oranını yükseltmektedir. Özellikle sünek malzemelerin işlenmesinde ölçüm hataları oran itibariyle daha yüksek değerlere ulaşmaktadır.

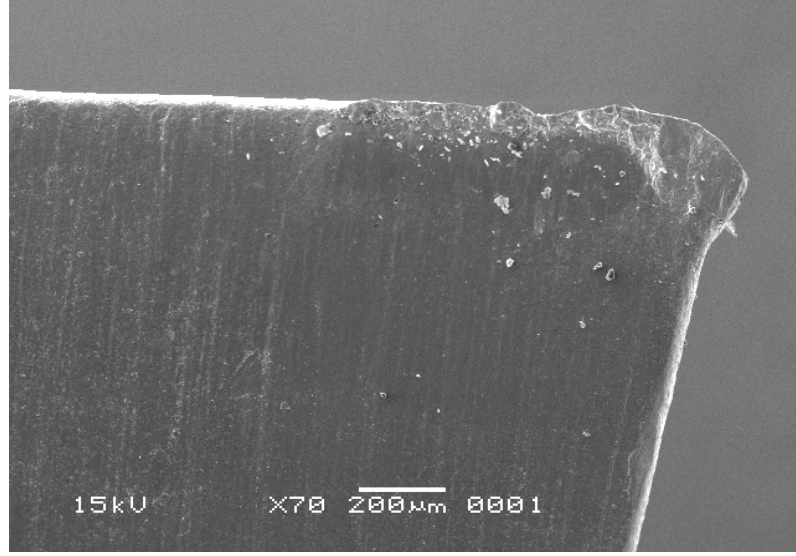
11.2.2. TiCN Kaplı Kesici Takımların Aşınma Deneyi Sonuçları

Şekil 11.27’de, TiCN ile kaplanmış malzemelerin sabit 0.052 mm/dak ilerleme hızında, farklı devir sayılarında elde edilen aşınma seyri verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, TiCN kaplı kesici uç numuneleri en iyi aşınma davranışını, seçilen devir sayıları arasından en düşük devir olan 190 dev/dak’da vermektedir. Pik ve ani aşınma etkisi en yüksek değer olan 320 dev/dak’da elde edilmiştir.

Şekil 11.28’de görüldüğü gibi; TiCN kaplı kesici uçta, kesme işlemi süresince kesici kenar ile uç bölgesinde mikro ölçekte kırılmalar ve kopmalar sonucunda, aşınmalar olmuştur. Bu kesici takımlarda da TiN kaplı kesici takımlarda olduğu gibi, kesilen malzeme talaşlarının bir kısmının kesici uç üzerine sıvandığı gözlenmiştir.



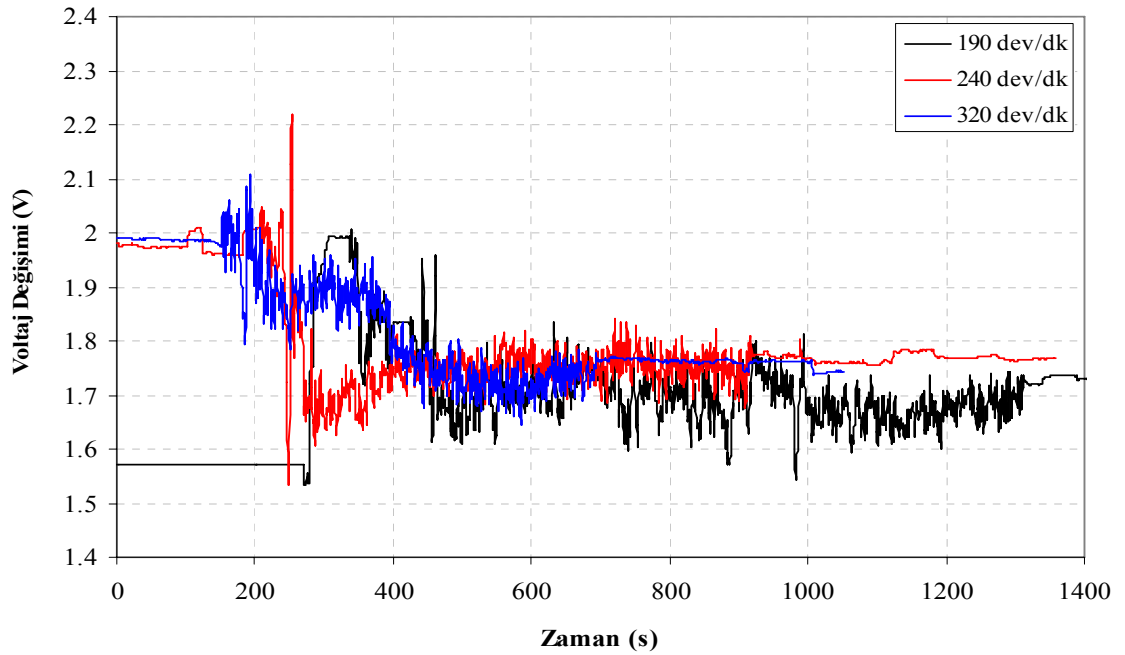
Şekil 11.27 TiCN kaplı kesici takımların farklı devir sayılarında 0,052 mm/dev ilerleme hızında aşınma karşılaştırılması



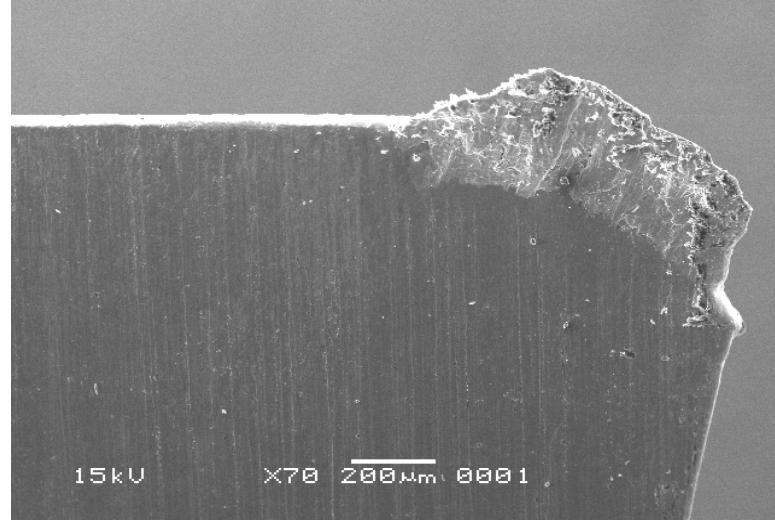
Şekil 11.28 TiCN kaplı kesici takımında kesme işlemi süresince uçta oluşan aşınmanın SEM resmi

11.2.3 CrN Kaplı Kesici Takımların Aşınma Deneyi Sonuçları

Aynı ilerleme hızında, farklı devir sayısında CrN kaplanmış kesici uçların aşınma davranışlarını gösteren voltaj-zaman grafiği Şekil 11.29’de verilmiştir. Diyagramdan da görüleceği gibi, seçilen tüm devirlerde yapılan kesme işleminde, aşınmada gittikçe artan oranlarda bir süreklilik gözlenmiş ve bu durum daha sonra işlem süresince devam etmiştir. Burada da yine en büyük aşınma etkisi deneylerin başlangıcında elde edilmiştir.



Şekil 11.29 CrN kaplı kesici takımların farklı devir sayılarında 0.052 mm/dev ilerleme hızında aşınma karşılaştırılması



Şekil 11.30 CrN kaplı kesici takımda kesme işlemi süresince uçta oluşan aşınmanın SEM resmi

Şekil 11.30’da görüldüğü gibi; CrN kaplı kesici ucun kesme bölgesinde de, diğer kesici takımlarda olduğu gibi, belirgin derecede kırılma ve kopmalara bağlı aşınma meydana gelmiş, kesici uç üzerinde kesilen malzeme kalıntısı olarak sıvanmalar gözlenmiştir. Kromun karbona olan aşırı ilgisi nedeniyle, işlenen malzeme kalıntısı; kesme esnasında oluşan ısının da etkisiyle kesici takımın uç kısmına daha kuvvetli bir şekilde sıvanmış ve bu nedenle bu takımlarla yapılan kesme işlemlerinin tamamında kesici takım üzerinde görülen bu tür malzeme sıvanmaları kesme işlemini olumsuz etkilemiş ve işlenen parça yüzeyinde bozulmalara bile neden olabilmektedir.

11.2.4. TiN-TiCN-CrN Kaplı Kesici Takımların Karşılaştırmalı Aşınma Deney Sonuçları

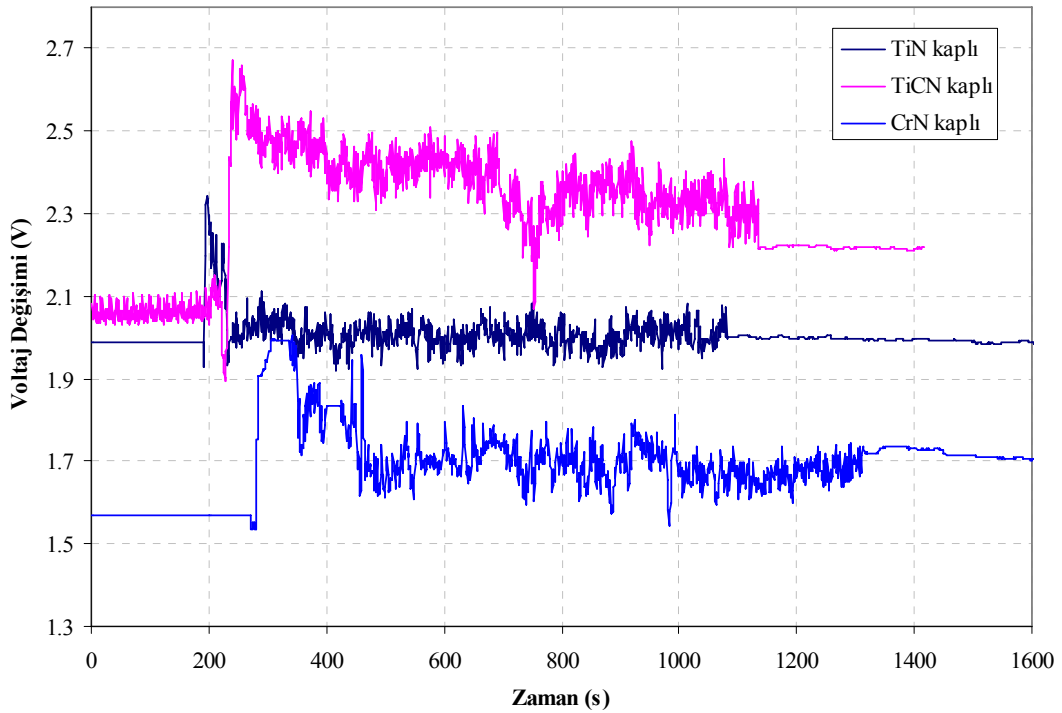
11.2.4.1 0.052 mm/dev İlerleme Hızında Oluşan Aşınmaların Karşılaştırma Sonuçları

Şekil 11.31’de 190 dev/dak’lık sabit devirde ve 0.052 mm/dev ilerleme hızında üç farklı malzemeye kaplanmış kesici uçlarla yapılan kesme deneyleriyle elde edilen kesici uç aşınmalarında en iyi sonuç, TiN kaplı kesici uçta elde edilmiştir. Ayrıca bu numunede, başlangıçta görülen pik de diğer kesici uçlara göre daha az olmuştur. Yani bu uç başlangıçta yeterli parlaklığa sahip değildir, ancak başlangıçtaki mikro düzeydeki kopma ve kırılmalar diğer uçlara göre daha az olmuştur. Diğer yandan TiCN kaplı numunelerde, ortaya çıkan ani pikden sonra, voltaj düşümü, dolayısı ile aşınma; sürekli, dengeli ve kararlı bir şekilde azalma göstermiştir. CrN kaplamada başlangıçtaki pikden hemen sonra voltajda ani düşme görülmekte, ancak bir süre sonra burada da yüzey parlaklığında ve pürüzünde fazla değişiklik olmamakta, buna bağlı olarak da voltaj dolayısı ile aşınma, kararlı hale gelmektedir.

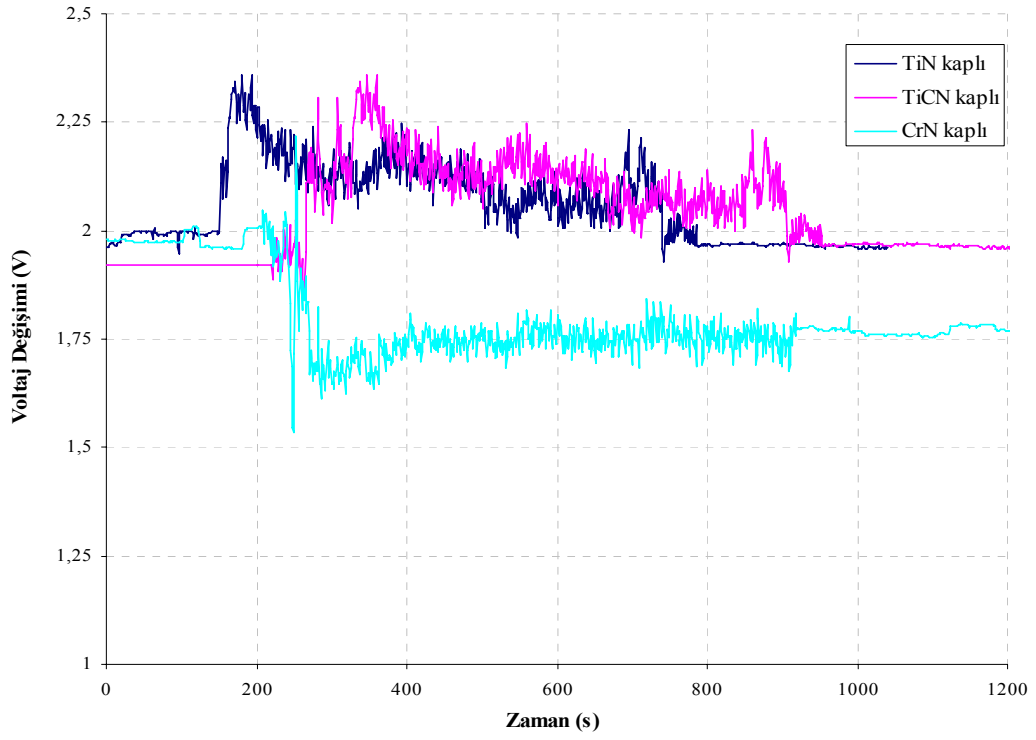
Şekil 11.32’de görüldüğü gibi; TiN kaplı kesici uçlarda devir sayısının 240 dev/dak’ya yükselmesi ile, başlangıçta görülen ve düşük aşınma oranına işaret eden voltaj pikini takip eden

kesici takımında oluşan mikro kırık ve kopmaların oluşması nedeniyle, ortaya çıkan ani düşme görülmüş ve aşınma zamanla azalarak kararlı hale geçme eğilimi göstermiştir. TiCN ile yapılan aşınma deneyinde, TiN kaplı kesici uçta olduğu gibi aşınma, mikro kırık ve kopmaların süreklilik arz etmesi nedeniyle, zamanla azalarak kararlı aşınma sürecine geçme eğilimi göstermiştir. CrN kaplı kesici uçla yapılan aşınma deneyinde; başlangıçtan itibaren kısa bir süre içerisinde, voltaj-zaman eğrisinde ani voltaj düşümü gözlenmekte, daha sonra voltaj miktarında hafif bir artma, dolayısı ile aşınma miktarında radius oluşumuna bağlı bir azalma ve daha sonra tamamen kararlı duruma geçme şeklinde bir davranış gözlenmektedir.

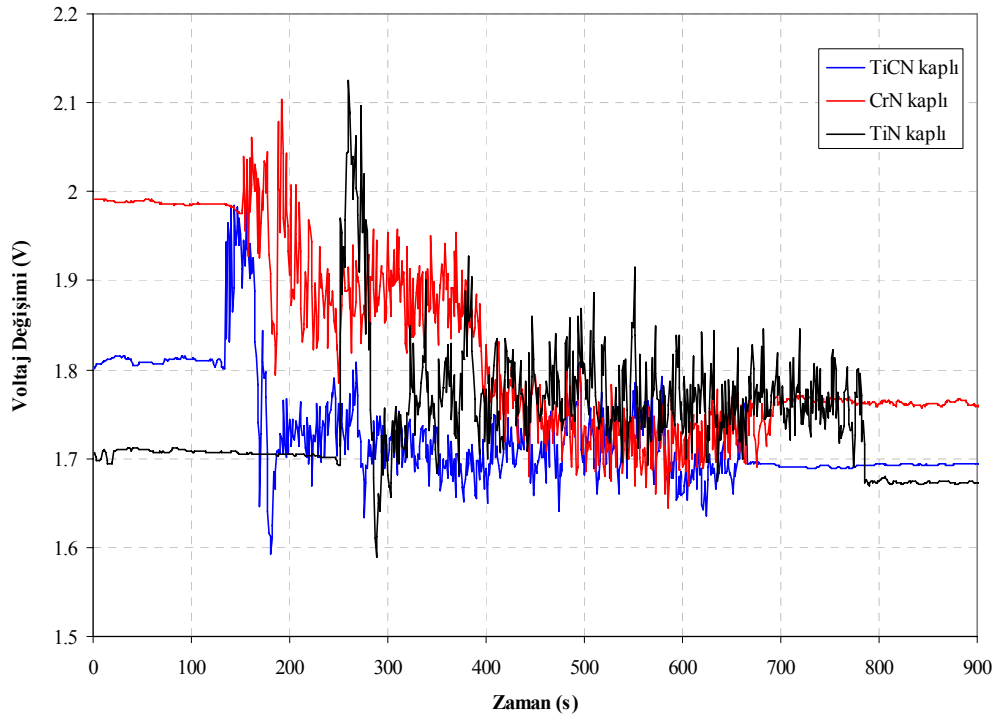
Şekil 11.33’de; TiN, TiCN ve CrN kaplanmış kesici uçlarla en yüksek devir olarak seçilen 320 dev/dak devir sayısında ve 0.052 mm/dev ilerleme hızında yapılan kesme ve aşındırma işlemlerinde; TiN kaplanmış kesici uçta, başlangıçtaki voltaj pikinin hemen ardından takım ucunda oluşan mikro düzeydeki kırılmalar nedeniyle voltaj aniden düşmekte ve aşınma en üst düzeye ulaşmaktadır. Bunu takip eden süre içerisinde kesici uçta radius oluşması ve kesici uçtaki pürüzlülüğün azalması ile aşınma azalmakta ve zamanla kararlı hale gelmektedir.



Şekil 11.31 190 dev/dak’lık sabit devirde, 0.052 mm/dev ilerleme hızında farklı malzemelerle kaplı kesici takımlarda voltaj değişimlerinin karşılaştırılması.



Şekil 11.32 240 dev/dak sabit devirde 0.052 mm/dev ilerleme hızında farklı malzemelerle kaplı kesici takımların aşınmalarının karşılaştırılması



Şekil 11.33 320 dev/dak sabit bir devirde 0.052 mm/dev ilerleme hızında farklı malzemelerle kaplı kesici takımların aşınmalarının karşılaştırılması.

11.2.4.2 0.081 mm/dev İlerleme Hızında Oluşan Aşınmaların Karşılaştırma Sonuçları

Şekil 11.34’de, TiN kaplı uç için, sabit 0.081 mm/dev ilerleme hızında, farklı devir sayılarında voltaj-zaman eğrisi incelendiğinde; düşük devirlerde başlangıçtan itibaren aşınmanın sürekli bir şekilde azaldığı 300 saniyeden sonra tamamen kararlı duruma geçtiği, yüksek devirlerde ise, aşınmanın oransal olarak diğer devirlere göre daha fazla olduğu ve yaklaşık aynı süre olan 300 saniye içerisinde kararlı konuma geçtiği belirlenmiştir.

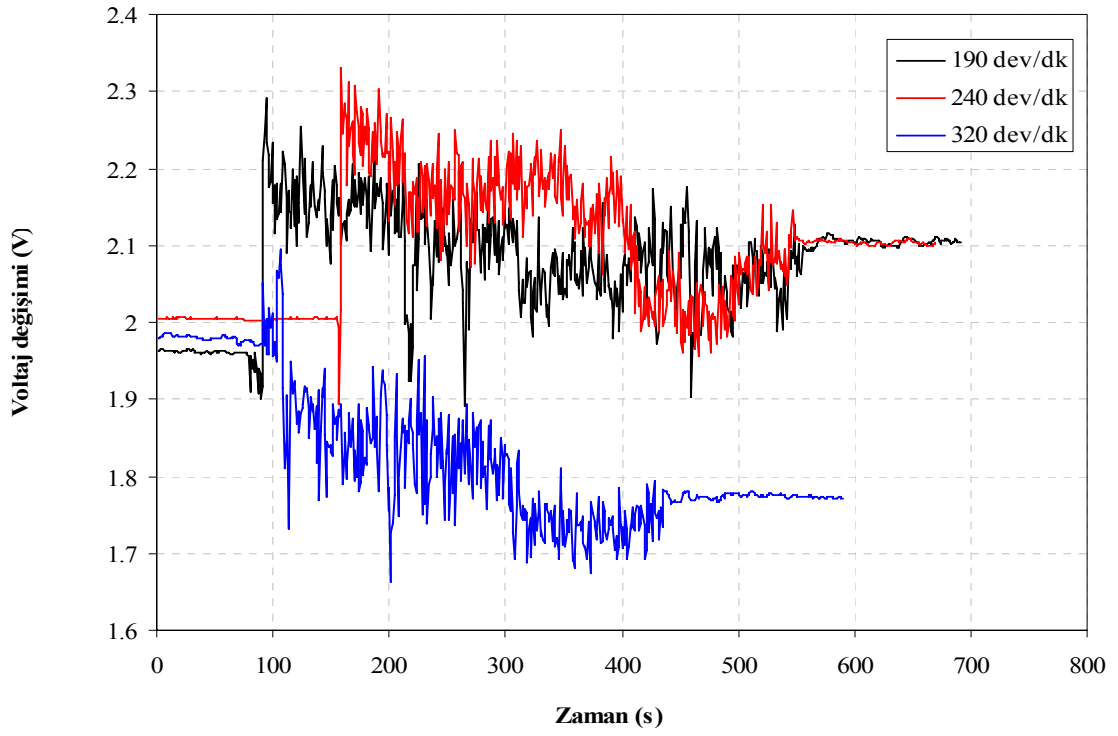
Şekil 11.35’de; 0.081 mm/dev ilerleme hızında, TiCN kaplı kesici ucun farklı devir sayılarında kesme performansı incelenmiş, artan devir sayısına bağlı olarak kesici uçtaki aşınmanın da arttığı görülmüştür.

Şekil 11.36’da; artırılmış 0.081 mm/dev ilerleme hızında, aynı CrN kaplı kesici uç için farklı devir sayılarında kesici ucun kesme performansı incelenmiş, artan devir sayısı ile aynı aşınma davranışları elde edilmekle beraber, 0.052 mm/dev ilerleme hızına göre, daha yüksek aşınma etkilerinin ortaya çıktığı belirlenmiştir.

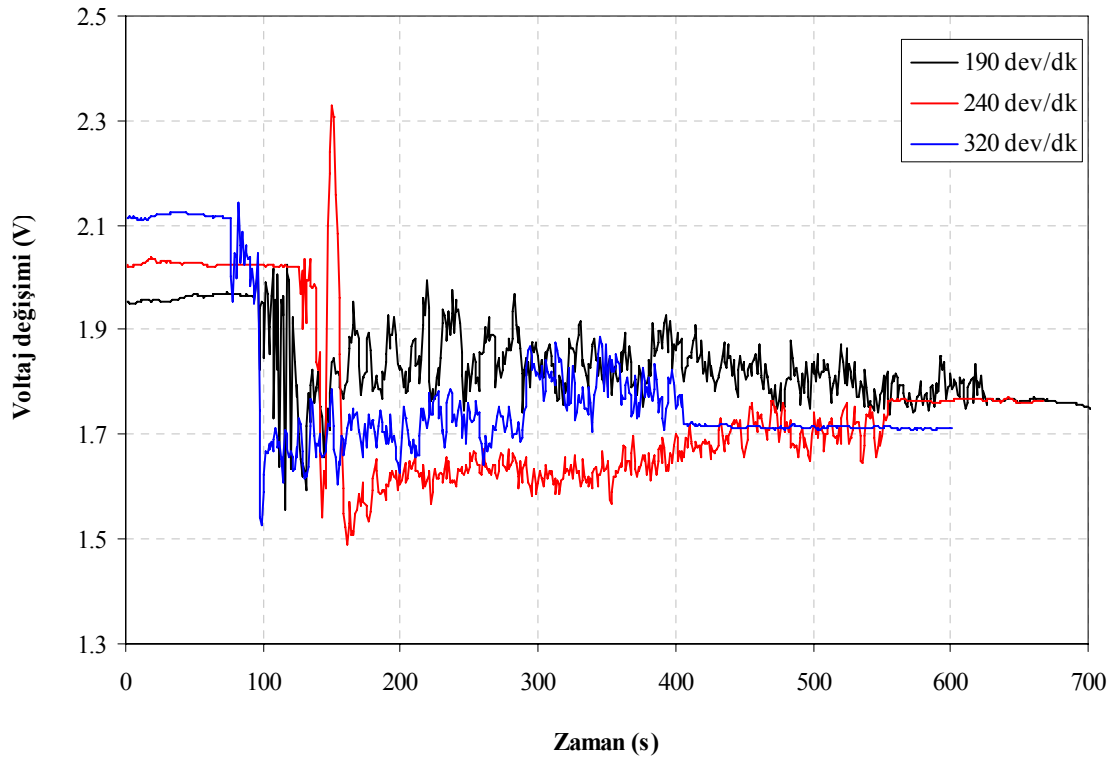
Şekil 11.37’de 190 dev/dak devirde, 0.081 mm/dev ilerleme hızında, farklı kaplama tabakalı kesici uçların voltaj-zaman değişimi incelendiğinde; özellikle TiCN ve CrN kaplı numunelerin başlangıçtan itibaren, kesici uçta ortaya çıkan mikro kırık ve kopmaların fazlalığı nedeniyle, hızlı bir aşınma etkisi görülmekte, aşınmanın ilerleyen safhasında hemen 200. saniyeden itibaren, kesici uçtaki radyus oluşumunun sağlanması ile birlikte, kararlı kesme sürecine ulaşılmaktadır

Şekil 11.38’de, 240 dev/dak ve 0.081 mm/dev sabit devir ve ilerleme hızında yapılan tornalama işlemlerinde, farklı kaplama malzemeleriyle kaplanan kesici uçların voltaj-zaman eğrisi incelendiğinde; en iyi aşınma performansının TiN kaplı kesici uçta elde edildiği, işlemin sonuna doğru bu uç ile yapılan kesme işleminde diğer uçlarda daha erken gerçekleştiği gözlenen mikro kırılma ve kopmaların geç de olsa bu uçta da ortaya çıktığı ve daha sonra kararlı aşınma sürecine girildiği görülmektedir. TiCN ve CrN kaplı numunelerin ise, başlangıçtan itibaren takım ucunda ortaya çıkan mikro kırık ve kopmalar nedeniyle, hızlı bir şekilde aşınma gösterdikleri; ancak kısa bir süre sonra uçtaki radyus oluşumuna bağlı olarak kararlı bir aşınma süreci içerisine girildiği anlaşılmaktadır.

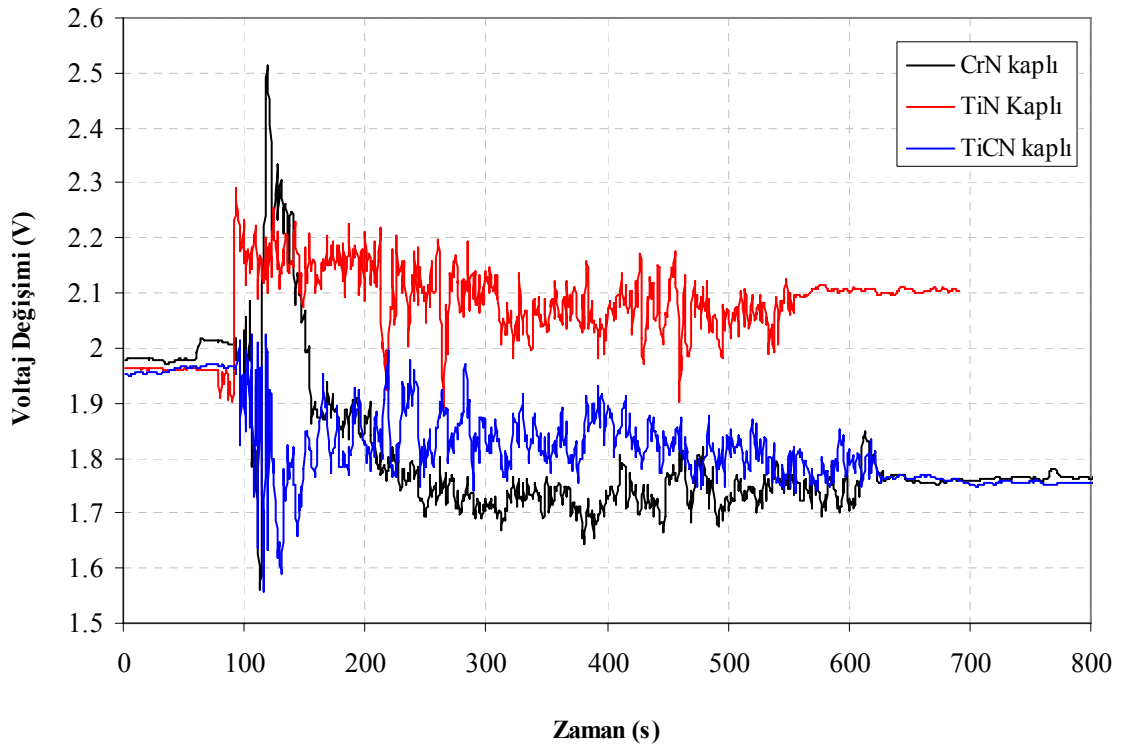
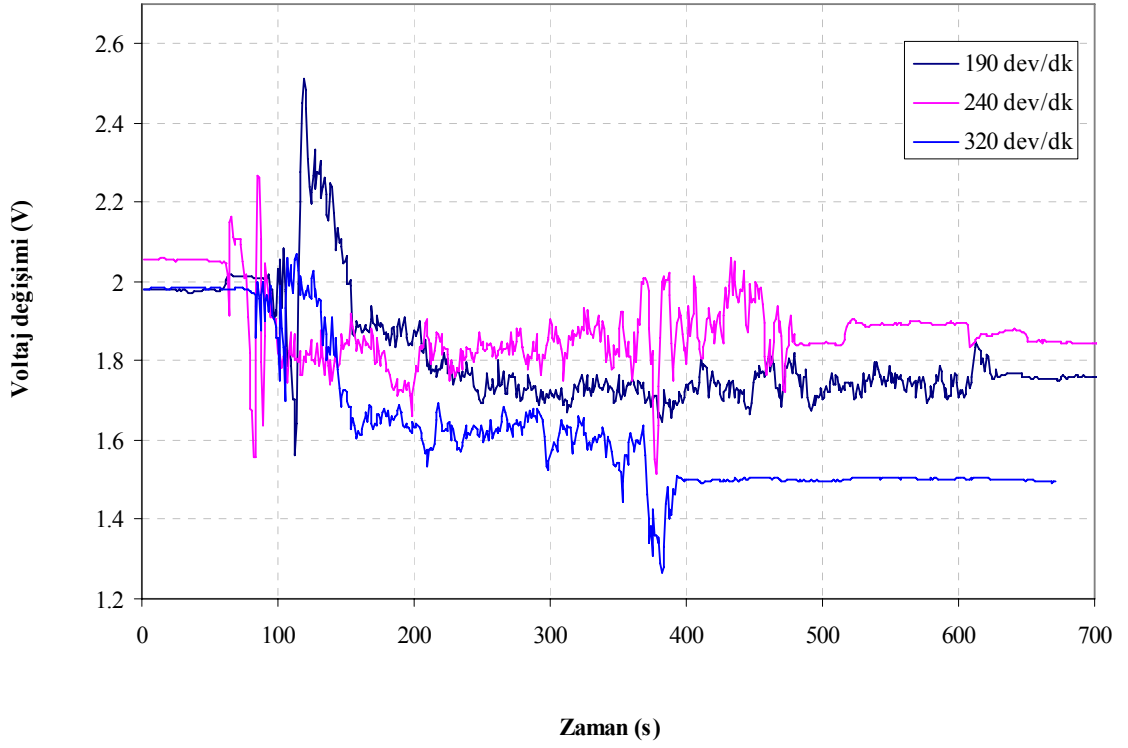
Şekil 11.39’da 320 dev/dak ve 0.081 mm/dev sabit devir ve ilerleme hızında, farklı malzemelerle kaplanmış kesici uçların voltaj-zaman eğrileri verilmiştir. TiN ve TiCN’le kaplanmış numunelerde başlangıçtan itibaren sürekli olarak düzenli ve oldukça dengeli bir aşınma seyri gözlenirken; CrN kaplı numunede görülen aşınma baştan itibaren artarak devam etmiş, hatta ilerleyen süre içerisinde bir kez daha uçta mikro kırık ve kopmalar görülmüş, kesici uç tamamen aşınmış ve bu nedenle kullanım ömrünü kısa sürede tamamlamıştır.

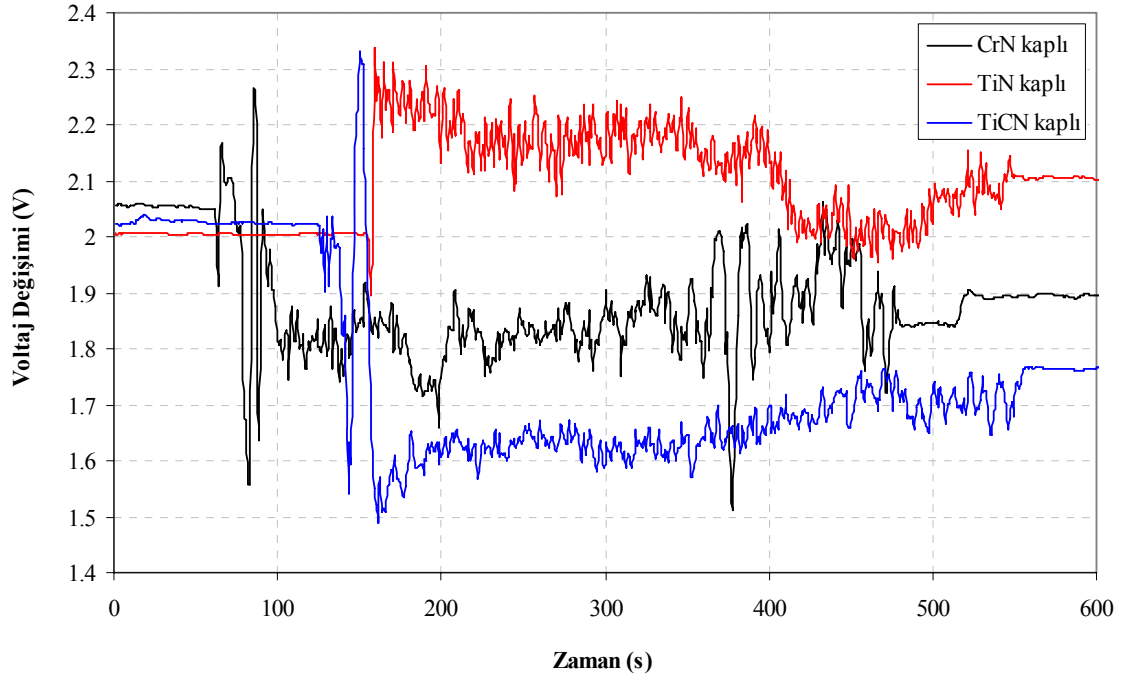


Şekil 11.34 TiN kaplı kesici takımların 0.081 mm/dev ilerleme hızında farklı devir sayılarında oluşan aşınmaların karşılaştırılması

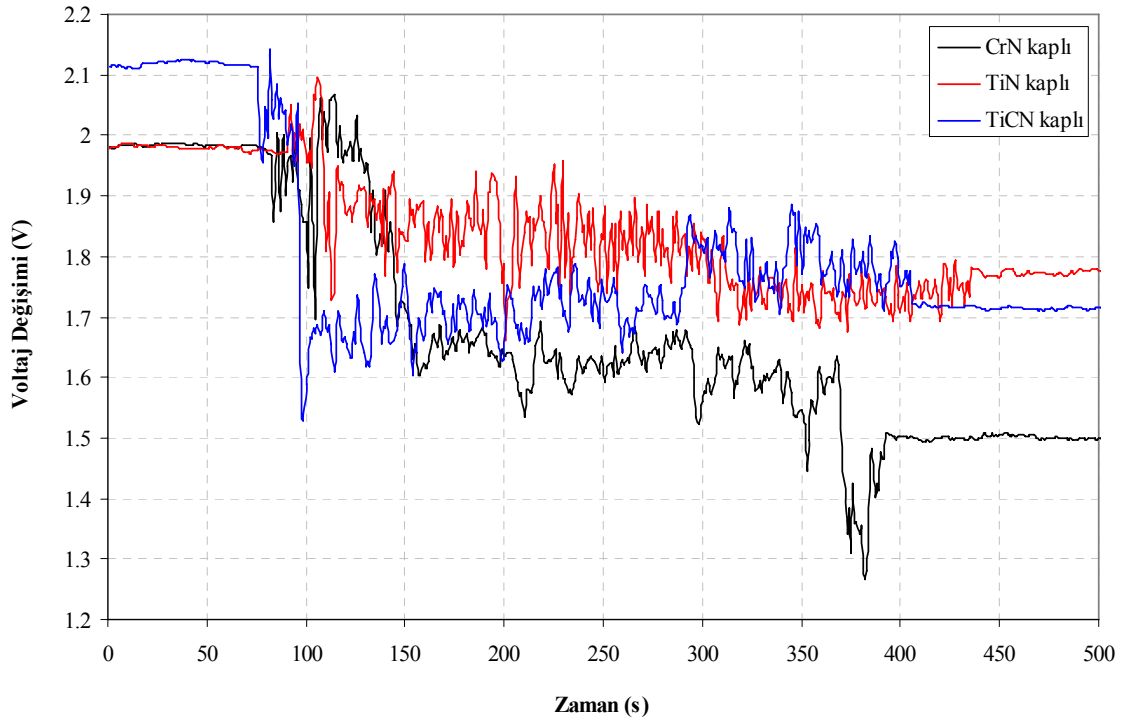


Şekil 11.35 TiCN kaplı kesici takımların 0.081 mm/dev ilerleme hızında farklı devir sayılarında oluşan aşınmaların karşılaştırılması.





Şekil 11.38 Farklı malzemelerle kaplı kesici takımların 240 dev/dak sabit devirde 0.081 mm/dev ilerleme hızında oluşan aşınmaların karşılaştırılması.



Şekil 11.39 Farklı malzemelerle kaplı kesici takımların 320 dev/dak sabit devirde 0.081 mm/dev ilerleme hızında oluşan aşınmaların karşılaştırılması.

12. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; bileşimi ötektodik nokta civarında bulunan, ötektoid altı % 0.7 karbon içeren orta karbonlu bir alaşımsız AISI 1070 çeliğinden torna kalem şeklinde kesilip hazırlanan kalem uçlarına, uygulanan sertleştirme ve gerginlik giderme tavlama işlemlerinin ardından, taşıyıcı bir ara yüzey oluşturmak amacı ile uç bölgeleri siyanür içerikli tuz banyosunda nitrülenip, sert ve kısmen sünek sayılabilecek beyaz tabaka oluşturulmuştur. Daha sonra uçta elde edilen bu katın en dış kısmına PVD kaplama yöntemlerinden olan katodik ark buhar biriktirme yöntemi kullanılarak TiN, TiCN ve CrN katlarının oluşturulması sağlanarak deney için gereken kesici uçlar üretilmiştir. Yüzey mühendisliği kaplama teknikleri kullanılarak üretilen bu takımlarda oluşan mikroyapılar taramalı elektron mikroskopunda (SEM) ve elementlerin yapı içerisindeki dağılımları da noktasal analiz (EDS) ve çizgisel dağılım araştırma teknikleriyle belirlenmiştir. Ayrıca üretilen kesici uçların, bir otomat çeliği üzerinde kesme performansları ve on-line izleme teknikleriyle aşınmaya karşı gösterecekleri direnç belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan araştırma ve incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Deney çalışmasında ana alt tabaka malzemesi olarak, % 0.7 C'lu alaşımsız, standart gösterimi AISI 1070 olan adi takım çeliği kullanılmıştır. Orijinal sertliği 293 HV olan bu çeliğin içyapısı çok az oranda ferrit içeren homojen dağılmış perlitten oluşmaktadır.
2. İşlenerek kalem formu verilen kesici takım numuneleri 760 °C ostenitleme sıcaklığından 20 dakika kadar tutulduktan sonra, su ortamına alınarak soğutulmuş ve parçalara daha sonra 180 °C sıcaklıkta 45 dakika süreyle gerginlik giderme tavlı uygulanmıştır. Gerginlik giderme tavlından sonra elde edilen sertlik değeri 60 Rc olarak ölçülmüş; mikroyapının ise tamamen dengeli ve homojen dağılmış masif (çita) martenzitten oluştuğu belirlenmiştir.
3. Kaplanacak malzeme üzerinde oluşturulacak ve kesme görevini üstlenecek en dış kaplama katının uyumlu bağlanması, kırılıp kopup kalkmaması için ana malzeme ile kesici tabaka arasında taşıyıcı özelliği ve aşınma direnci yüksek beyaz tabaka adı verilen bir ara tabakanın oluşturulması gerekmektedir. Bu ara tabakanın oluşturulmasında, termokimyasal bir işlem olan sıvı ortamda 570 °C'de 2 saat süreyle siyanür tuzları ile nitrüleme işlemi yapılmış ve sertleştirilip temperlenen gerginliği az martenzit üzerinde ince bir metal nitrür bileşik tabakasının oluşması sağlanmıştır. Bu bulgu Podgorning ve arkadaşları (1998) tarafından elde edilen sonuçlarla iyi bir uyum göstermektedir.

4. Aynı zamanda kesme işlevini de üstlenecek olan kesici kalemin uç kısmının en dış katmanında, seçilen kaplama sürelerinde, fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemlerinden olan, katodik ark buhar biriktirme tekniği kullanılarak film şeklinde ince bir kaplama tabakası oluşturulmuştur. TiN, TiCN ve CrN şeklinde oluşturulan kaplama katlarının derinliği 1-3 μm olup, bunlardan TiN'ün Knopp sertlik değeri ~ 1700 HV olarak verilmektedir (Ghani ve diğ., 2004). TiCN kaplamanın kalınlığı seçilen süre ve sıcaklığa bağlı olarak 1.5-5.5 μm ve Knopp sertliği 2800-3200 HV arasında değişmektedir (Malyer ve Oztarhan, 2003). Oluşturulan CrN tabakalarının kalınlıkları yaklaşık olarak 3 μm olup, yüzey sertlikleri ise ~ 1300 HV_{10g} değerinde bulunmaktadır (Menthe ve Rie, 1999). Uçlarda elde edilen kaplamaların derinlikleri tez çalışması kapsamında belirlenmiş; kaplamaların mikrosertlik değerleri ise, literatür verilerinden alınmıştır.
5. DIN 9SMnPb36 otomat çeliği malzemenin TiN kaplı kesici uçla kesilmesinde; ucun kesme bölgesinde belirgin derecede kırılma ve kopmalar meydana gelmiş, kesici uç üzerinde kesilen malzeme kalıntısı olarak sıvanmaların oluşması dikkati çekmiştir. Kesici takım üzerinde görülen bu tür malzeme sıvanmaları, ağırlık farkı yöntemiyle yapılan aşınma incelenmesinde, ölçümlerde elde olmayan nedenlerle hata oranını artırmaktadır. Özellikle sünek malzemelerin işlenmesinde ölçüm hataları oran itibarıyla çok daha yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Diğer uçlarla yapılan kesme işlemlerinde de yine kırılma şeklinde aşınmalar gözlenmiştir.
6. Kesme işlemlerinde en büyük aşınmanın, sırasıyla kesici takımın burun kısmı ile kesici kenarında gerçekleştiği belirlenmiştir. Kesme işlemi süresince kesme bölgesinde ortaya çıkan ısının büyük bir kısmı talaşla bu bölgeden atılırken; kesici takımın talaş yüzeyine sürekli olarak teması sonucunda, takım yüzeyi ile sürekli yüksek sıcaklıkta akan talaşın birbirine temas ettiği bölgede, kaplama renginde bir değişimin (tufallaşmanın) yanı sıra az da olsa bir aşınmanın da meydana geldiği tespit edilmiştir.
7. TiN kaplı kesici takımla yapılan kesme işleminde; kesici takımın üzerinde keskin kenarla yapılan kesme işlemi, işlenen parça yüzeyinin o kısmında temiz ve parlak bir yüzey vermiş; oluşan bu parlak yüzey ise ışığı daha iyi yansıttığından fotodiyot çıkışından alınan voltajın değerinde yükselmeye neden olmuştur. Yani, kesmenin başında minimum bir aşınma söz konusu iken, mikro kopma ve kırıkların ortaya çıkması ile birlikte takımdaki aşınma ani bir artış göstermiştir. Bu da voltaj değerinde ani bir düşüşe neden olmuştur. Çünkü kopma ve kırılmalarla kesilen yüzeyde biriken kesici uç artıklarının oksitlenip kesilen yüzeye batması, bir abrasiv malzeme gibi onu çizip aşındırması sonucunda yüzey pürüzlülüğü kaybolmakta, bu durum on-line izleme

sisteminde düşük voltajla kendini belli etmektedir. İlerleyen safhalarda kesici uçta radius oluşması, aşınma ve kopmanın azalması ve kararlı kesme periyoduna geçilmesi nedenleriyle voltajda önemli bir değişiklik olmamıştır.

8. TiCN kaplı kesici uç numuneleri en iyi aşınma davranışını, seçilen devir sayıları arasından en düşük devir olan 190 dev/dak'da vermiştir. Bu uçla yapılan kesmelerde, pik ve ani aşınma etkisi en yüksek değer olan 320 dev/dak devir sayında elde edilmiştir. Aynı devir sayısında TiCN ile yapılan kesmede TiN'e göre başlangıçtaki ani voltaj değişimi daha az olmuş, uçta görülen kopma ve kırılmalara bağlı aşınma daha yavaş gerçekleşmiştir.
9. CrN kaplanmış kesici uçlarla yapılan kesmelerde; seçilen tüm devirlerde, aşınma gittikçe artan oranlarda bir süreklilik göstermiş ve bu durum daha sonra işlem süresince devam etmiştir. En büyük aşınma etkisi, sadece deneylerin başlangıcında görülmüştür.
10. Üretilen kesici uçlarla yapılan kesme işlemlerinde, tüm deneylerde elde edilen işlenmiş malzeme yüzeyi ve kesici uç ömrü açısından en iyi sonuç, TiN kaplı uçla yapılan çalışmada; en olumsuz sonuç ise, CrN kaplı numunelerle yapılan kesme işlemlerinde elde edilmiştir.
11. Elementlerin çizgisel dağılım analizleri incelendiğinde; kaplama tabakalarının hem en dış yüzeyde oluşturulan kaplama katında ve hem de taşıyıcı ara yüzeyde istenen özellik ve bileşimlerde oluştuğunu göstermiştir. Titanyum ve azot ile kaplama malzemesinde bulunan kobaltın dışarıdan içeriye doğru, kaplanan ana malzemede bulunan demir ve karbonun ise, kaplama işlemi esnasında ana malzemeden kaplama katına doğru yayındığı belirlenmiştir. Ancak, çizgisel dağılımla yapılan element analizleriyle karbon elementinin miktarının tam olarak belirlenememesi nedeniyle, bu elemente ait dağılım gerçek değeriyle verilememiştir.
12. Kaplama bölgesinden alınan SEM fotoğraflarında; TiN kaplamada kaplanan ana malzeme, nitrürasyonla oluşturulan beyaz tabaka ve PVD yöntemiyle gerçekleştirilen kaplama katı belli ve kesin çizgilerle birbirinden ayrıldığı görülmüştür. Halbuki gerek TiCN ve gerekse CrN ile yapılan kaplamalarda; kaplama katı dışında kalan bölgelerde bölge sınırları kesin çizgilerle birbirinden ayrılmamıştır. Bu da, TiN dışında yapılan kaplamalarda, elementlerin belirlenen yönlerdeki difüzyonunun kaplama süreci boyunca kesintisiz olarak devam ettiğini göstermektedir.
13. CrN'le yapılacak kaplamalarda, homojen dağılımlı CrN elde edilmesi, Cr₂N bileşiğinin oluşmaması için çaba harcanması bu tür kaplamalar açısından büyük önem taşımaktadır (Chen ve diğ., 2002). Bu da ancak, kaplama esnasında ortamın azot içeriğinin yüksek tutulması ve sürenin uygun seçimiyle mümkün olabilir.

14. Beyaz tabaka olarak da adlandırılan ara tabaka, kaplama tabakalarından itibaren ana malzemeye doğru belirgin herhangi bir oryantasyon göstermemekte ve demir nitrürlerden oluşan rasgele bir dağılım sergilemektedir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda öneri olarak;

1. Orijinal malzemeden üretilecek kesici uçla, sade nitrürlü ve sade kaplamalı numunelerin kesme performansları belirlenip, birbiriyle karşılaştırılabilir.
2. Bu çalışmada beyaz taşıyıcı tabaka olarak seçilen ara tabaka yerine, kaplamada kullanılan TiN, TiCN ve CrN tabakalarından herhangi biri seçilerek, kesme performansı belirlenip karşılaştırılabilir.
3. Kesme esnasında kendiliğinden oluşan radyus, kaplama öncesi takım üzerinde oluşturularak, yapılan bu işlemin ucun aşınma ömrünü nasıl değiştirdiği araştırılabilir.
4. Ana malzeme daha farklı bir malzemeden seçilerek, uçların kesme performansları maliyet etkeni de dikkate alınarak, belirlenebilir.
5. Kesme esnasında oluşan kuvvetlerin büyüklüğü ve değişimleri belirlenebilir.
6. Kesme esnasında ortaya çıkan sıcaklığın değişimi ve kesici takım aşınmasına olan etkileri araştırılabilir.

13. KAYNAKLAR

- Akhajdenung, T., Aizawa, T., Yoshitake, M., Mitsuo, A., Yamamoto, T., Ikuhara, Y., 2003, Self-lubrication mechanism of chlorine implanted TiN coatings, *Wear* 254, 668-679.
- Akkurt, M., 1998, Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 18-42.
- Alsaran, A., Çelik, A., Çelik, C., 2002, Determination of the optimum conditions for ion nitriding of AISI 5140 steel, *Surface and Coatings Technology* 160, 219-226.
- Alsaran, A., Çelik, A., Karakan, M., 2005, Structural, mechanical and tribological properties of duplex-treated AISI 5140 steel, *Materials Characterization* 54, 85-92.
- Alsaran, A., Çelik, A., Çelik, C., 2002, Effects of various gas mixtures on plasma nitriding behaviour of AISI 5140 steel, *Materials Characterization* 49, 241-246.
- ASM Metals Handbook, 1988, Properties and Selection of Metals, American Society for Metals, 8. Ed., Vol. 1, Metals Park, Ohio, 94-107.
- Avner, H., 1984, Introduction of Physical Metallurgy, 2. ed., New York, 351-357.
- Bach, F.W., Duda, T., 2000, Moderne Beschichtungsverfahren, Willey-VCH Verlag, Weinheim/Deutschland, 46-61.
- Badisch, E., Fontalvo, G.A., Mitterer, C., 2004, The response of PACVD TiN coatings to tribological tests with different counterparts, *Wear* 256, 95-99.
- Badisch, E., Fontalvo, G.A., Toiber, M., Mitterer, C., 2003, Tribological behaviour of PACVD TiN coating in the temperature range up to 500 °C, *Surface and Coatings Technology* 163-164, 585-590.
- Bahrami, A., Mousavi Anijdan, S.H., Golozar, M.A., Shamanian, M., Varahram, N., 2005, Effects of conventional heat treatment on wear resistance of AISI H 13 tool steel, *Wear* 258, 846-851.
- Bargel, H.J., Schulze, G., 1980, “Werkstoffkunde”, VDI-Verlag GmbH., 2. Auflage, Düsseldorf/Deutschland, 172-187.
- Batista, J.C.A., Joseph, M.C., Godoy C., Matthews, A., 2002 Micro-abrasion wear testing of PVD TiN coatings on untreated and plasma nitrided AISI H13 steel, *Wear* 249, 971-979.
- Bell, T., Sun, Y., Suhadi, A., 2000, Environmental and technical aspects of plasma nitrocarburising, *Vacuum* 59, 14-23.

Benarioua, Y., Lesage, J., Bemporad, E., Chicot, D., 2006, Titanium carbide films obtained by conversion of sputtered titanium on high carbon steel, *Surface and Coating Technology* 200, 5447-5454.

Bennett, M.J., Houlton, M.R., Hawes, M.R., *Corrosion Science*, 1982, 22 (2), 111.

Bhowmick, S., Kale, A.N., Jayaram, V., Biswas, S.K., 2003, Contact damage in TiN coatings on steel, *Thin Solid Films* 436, 250-258.

Boud, F., 2006, Bar diameter as an influencing factor on temperature in turning, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, in press.

Boness, A.J., McBride, S.L., 1991, Adhesive and abrasive wear studies using acoustic emission technique, *Wear*, 149, 41-53.

Bouzakis, K.D., Michailidis, N., Hadjiyiannis, S., Efstathiou, K., Pavlidou, E., Erkens, G., Rambadt, S., Wirth, I., 2001, Improvement of PVD coated inserts cutting performance, through appropriate mechanical treatments of substrate and coating surface, *Surface and Coatings Technology* 146-147, 443-450.

Bull, S.J., 1999, Can scratch testing be used as a model for the abrasive wear of hard coating?, *Wear* 233 -235, 412-423

Buytoz, S., 2004, AISI 4340 çeliğinin nitrürasyon ve GTA kaynak yöntemi ile yüzey modifikasyonu işlemleri sonrası mekaniksel davranışlarının araştırılması, Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 176 s.

Cairney, J.M., Haris, S.G., Munroe, P.R., Doyle, E.D., 2003, Transmission electron microscopy of TiN and TiAlN thin films using specimens prepared by focused ion beam milling, *Surface and Coatings Technology* 183, 239-246.

Chang, C.N., Chen, F.S., 2003, Wear resistance evaluation of plasma nitrocarburized AISI 316L stainless steel, *Materials Chemistry and Physics* 82, 281-287.

Chang, C.S., Tsai, G.C., 2003, A force model of turning stainless steel with worn tools having nose radius, *Journal of Materials Processing Technology* 142, 112-130.

Chang, C.L., Wang, D.Y., 2002, Characterization of surface enhancement of carbon ion-implanted TiN coatings by metal vapor vacuum arc ion implantation, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 194, 463-468.

Chen, H., Wu, P.Q., Quaeyhaegens, C., Xu, K.W., Stals, L.M., He, J.W., Celis, J.P., 2002, Comparison of fretting wear of Cr-rich CrN and TiN coatings in air of different relative humidities, *Wear* 253, 527-532.

Chen, Y.H., Polonsky, I.A., Chung, Y.W., Keer, L.M., 2002, Tribological properties and rolling-contact-fatigue lives of TiN/SiNx multilayer coatings, *Surface and Coatings Technology* 154, 152-161.

- Chen, Y.M., Yu, G.P., Huang, J.H., 2002, Characterizing the effects of multiprocess parameters on the preferred orientation of TiN coating using a combined index, *Vacuum* 66, 19-25.
- Chen, Y.M., Yu, G.P., Huang, J.H., 2002, On the porosity of TiN films deposited by HCD ion plating, *Surface and Coatings Technology* 155, 239-244.
- Chiang, K.A., Chen, Y.C., 2005, Laser surface hardening of H13 steel in the melt case, *Materials Letters* 59, 1919-1923.
- Cho, C.W., Lee, Y.Z., 2003, Effects of the oxide layer formed on TiN coated silicon wafer on the friction and wear characteristics in dry sliding, *Surface and Coating Technology* 168, 84-90.
- Chou, W.J., Yu, G.P., Huang, J.H., 2002, Mechanical Properties of TiN thin film coatings on 304 stainless steel substrate, *Surface and Coatings Technology* 149, 7-13.
- Choudhury, S.K., Jain, V.K., Rama Rao, Ch.V.V., 1999, On-Line monitoring of tool wear in turning using a neural network, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 39, 489-504.
- Choudhury, S.K., Srinivas, P., 2004, Tool wear prediction in turning. *Journal of Materials Processing Technology* 153-154, 276-280.
- Chowdhury, A.K.M.S., Cameron, D.C., Hashmi, M.S.J., 1999, Adhesion of carbon nitride thin films on tool steel, *Surface and Coatings Technology* 116-119, 46-53.
- Choy, K.L., 2003, Chemical vapour deposition of coatings, *Progress in Materials Science* 48, 57-170.
- Clarke, T.G.R., Rocha, da Silva A., Reguly, A., Hirsch, T., 2005, In situ XRD measurements during plasma nitriding of a medium carbon steel, *Surface and Coatings Technology* 194, 283-289.
- Copola, C.J., Avram, I., Terzzoli, M.C., Duhalde, S., Morales, C., Perez, T., Audebert, F., Delaporte, Ph., Sentis, M., 2002, Influence of laser parameters on the nitriding of low carbon steel, *Applied Surface Science* 197-198, 896-903.
- Çakan, A., Yıldırım, M.M., 2006, Investigation of tribologic behaviours of cutting tools produced from surface hardened AISI 1070 steel, *Proceedings of 11th International Materials Symposium, Denizli/Türkiye*
- Çakan, A., Yıldırım, M.M., 2002, Yüksek krom-nikelli AISI 304 ostenitik paslanmaz çeliğin aşınma davranışları, 9. Denizli Malzeme Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 524-530.
- Çakan, A., 2000, AISI 304 paslanmaz çeliğin mikro yapı ve aşınma davranışlarının incelenmesi, *MKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi* 54-55s, Antakya.

Çelik, A., Alsaran, A., Karakan, M., 2002, Plazma ile termokimyasal yüzey işlemleri, Mühendis ve Makina TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayınları, 510, 17-21.

Dimla, E., Dimla, Snr., 2000, Sensor signals for tool-wear monitoring in metal cutting operations - a review of methods, International Journal of Machine Tools and Manufacture 40, 1073-1098.

Dubar, M., Dubois, A., Dubar, L., 2005, Wear analysis of tools in cold forging: PVD versus CVD TiN coatings, Wear 259, 1109-1116.

Ezugwu, E.O., Okake, C.I., 2001, Tool life and wear mechanism of TiN coated tools in an intermittent cutting operation, Journal of Materials Processing Technology 116,10-15

Edenhofer, B., Gräfen, W., Müller-Ziller, J., 2001, Plasma-carburising, a surface heat treatment process for the new century, Surface and Coatings Technology 142-144, 225-234.

Endrino, J.L., Fox-Rabinovich, G.S., Gey, C., 2006, Hard AlTiN, AlCrN PCD coatings for machining of austenitic stainless steel, Surface and Coatings Technology 200, 6840-6845.

Fu, R.K.Y., Kwok, S.C.H., Chen, P., Yang, P., Ngai, R.H.C., Tian, X.B., Chu, P.K., 2005, Surface modification of cemented carbide using plasma nitriding and metal ion implantation, Surface and Coatings Technology 196, 150-154.

Gammer, K., Stoiber, M., Wagner, J., Hutter, H., Kullmer, R., Mitterer, C., 2004, Investigations on the effects of plasma-assisted pre-treatment for plasma-assisted chemical vapour deposition TiN coatings on tool steel, 2004, Thin Solid Films 461, 277-281.

Genel, K., Demirkol, M., 1999, Effect of case depth on fatigue performance of AISI 8620 carburized steel, International Journal of Fatigue 21, 207-212.

Genel, K., Demirkol, M., 2005, A method to predict effective case depth in ion nitrided steels, Surface & Coatings Technology 195, 116-120.

Georgiev, J., Pieczonka, T., Stoytchev, M., Teodosiev, D., 2004, Wear resistance improvement of sintered structural parts by C7H7 surface carburizing, Surface and Coatings Technology 180-181, 90-96.

Ghani, J.A., Choudhury, I.A., Masjuki, H.H., 2004, Wear mechanism of TiN coated carbide and uncoated cermets tools at high cutting speed applications, Journal of Materials Processing Technology 153-154, 1067-1073.

Grum J., Kek T., 2004, The influence of different conditions of laser-beam interaction in laser surface hardening of steels, Thin Solid Films, Volumes 453-454, 94-99.

Grzesik, W., 1998, The role of coatings in controlling the cutting process when turning with coated indexable inserts, Journal of Materials Processing Technology 79, 133-143.

Grzesik, W., 1999, Experimental investigation of the cutting temperature when turning with coated indexable inserts, International Journal of Machine Tools and Manufacture 39, 355-

369.

Guu, Y.H., Hocheng, H., 2001, Improvement of fatigue life of electrical discharge machined AISI D2 tool steel by TiN coating, *Materials Science and Engineering A* 318, 155-162.

Hainsworth, S.V., Soh, W.C., 2003, The effect of the substrate on the mechanical properties of TiN coatings, *Surface and Coatings Technology* 163-164, 515-520.

Haris, S.G., Doyle, E.D., Wong, Y.C., Munroe, P.R., Cairney, J.M., Long, J.M., 2004, Reducing the macroparticle content of cathodic arc evaporated TiN coatings, *Surface and Coatings Technology* 183, 283-294.

He, J.L., Chen, K.C., Davison, A., 2005, Improvements in the understanding and application of duplex coating systems using arc plasma technology, *Surface and Coatings Technology* 200, 1464-1471.

Heidkamp, M., Kessler, O., Hoffmann, F., Mayr, P., 2004, Laser beam surface hardening of CVD TiN-coated steels, *Surface and Coatings Technology* 188-189, 294-298.

Holmberg, K., Laukkanen, A., Ronkainen, H., Wallin, K., Varjus, S., 2003, A model for stresses, crack generation and fracture toughness calculation in scratched TiN-coated steel surfaces, *Wear* 254, 278-291.

Hoppe, S., 1998, Fundamentals and applications of the combination of plasma nitrocarburizing and oxidizing, *Surface and Coatings Technology* 98, 1199-1204.

Hoy, R., Kamminga, J.D., Janssen, G.C.A.M., 2006, Scratch resistance of CrN coatings on nitrided steel, *Surface and Coatings Technology* 200, 3856-3860.

Höck, K., Spies, H.J., Larisch, B., Leonhardt, G., Buecken, B., 1996, Wear resistance of prenitrided hardcoated steels for tools and machine components, *Surface and Coatings Technology* 88, 44-49.

Hua, M., Tam, H.Y., Ma, H.Y., Mok, C.K., 2006, Patterned PVD TiN spot coatings on M2 steel: Tribological behaviours under different sliding speeds, *Wear*, 260, 1153-1165.

İpek, R. ve Karamış, M.B., 1999, Aşınma test yöntemleri ve gelişmeler, *Mühendis ve Makina*, 40, 469, Ankara.

Jacquet, P., Rousse, D.R., Bernard, G., Lambertin, M., 2002, A novel technique to monitor carburizing processes, *Materials Chemistry and Physics* 77, 542-551.

Kajikawa, Y., Noda, S., 2005, Growth mode during initial stage of chemical vapour deposition, *Applied Surface Science* 245, 281-289.

Karakan, M., Alsaran, A., Çelik, A., 2004, Effect of process time on structural and tribological properties of ferritic plasma nitrocarburized AISI 4140 steel, *Materials and Design* 25, 349-353.

Karakan, M., Alsaran, A., Çelik, A., 2004, Effects of various gas mixtures on plasma nitriding behaviour of AISI 5140 steel, *Materials Characterization* 49, 241-246.

Kaul, R., Ganesh, P., Tivari, P., Nandedkar, R.V., Nath, A.K., 2005, Characterization of dry sliding wear resistance of laser surface hardened EN 8 steel, *Journal of Materials Processing Technology* 167, 83-90.

Kennedy, E., Byrne, G., Collins, D.N., 2004, A review of the use of high power diode lasers in surface hardening, *Journal of Materials Processing Technology* 155-156, 1855-1860.

Kessler, O. H., Herding, Th., Hoffmann, F.T., Mayr, P., 2004, Microstructure and wear resistance of CVD TiN-coated and induction surface hardened steels, *Surface and Coatings Technology* 182, 184-191.

Kessler, O.H., Hoffmann, F.T., Mayr, P., 1999, Microstructure and property changes caused by diffusion during CVD coating of steels, *Surface and Coatings Technology* 120-121, 366-372.

Kim, S.H., Jang, Ji W., Kang, S.S., Kim, K. Ho, 2002, Synthesis and mechanical evaluation of nanocomposite coating layer of nc-TiN/a-Si₃N₄ on SKD 11 steel by sputtering, *Journal of Materials Processing Technology* 130-131, 283-288.

Kim, G.S., Lee, S.Y., Hahn, J.H., Lee, B.Y., Han, J.G., Lee, J.H., Lee, S.Y., 2003, Effects of the thickness of Ti buffer layer on the mechanical properties of TiN coatings, *Surface and Coatings Technology* 171, 83-90.

Kim, K. Ho, Han, D.S., Kim, S.K., 2003, Adhesion properties of arc ion-plated TiN coatings with WC particle size, Co content and surface roughness, *Surface and Coatings Technology* 163-164, 605-610.

Korkut, M.H., 1997, Paslanmaz çeliklerin mikroyapısı ve aşınma üzerine karbür yapıcı elementlerin etkileri, Fırat Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 127s., Elazığ

Krishnaraj, N., Iyer, K.J.L., Sundaresan, S., 1997, Scuffing resistance of salt bath nitrocarburized medium carbon steel, *Wear* 210, 237-244.

Kuzucu, V., Aksoy, M., Korkut, M.H., Yıldırım, M.M., 1999, The effect of niobium and homogenization on the wear resistance and some mechanical properties of ferritic stainless steel containing 17-18 wt. % chromium, *Journal of Materials Processing Technology* 91, 1-3, 6, 172-177.

Lee, S.Y., Kim, G.S., Hahn, J.H., 2004, Effect of the Cr content on the mechanical properties of nanostructured TiN/CrN coatings, *Surface and Coatings Technology* 177-178, 426-433.

Lee, I., 2004, Post-oxidizing treatments of the compound layer on the AISI 4135 steel produced by plasma nitrocarburizing, *Surface and Coatings Technology* 188-189, 669-674.

Lee, K.H., Nam, K.S., Shin, P.W., Lee, D.Y., Song, Y.S., 2003, Effect of post-oxidizing time on corrosion properties of plasma nitrocarburized AISI 1020 steel, *Materials Letters* 57, 2060-2065.

Li, J.F., Liao, H., Normand, B., Cordier, C., Maurin, G., Foct, J., Coddet, C., 2003, Uniform design method for optimization of process parameters of plasma sprayed TiN coatings, *Surface and Coatings Technology* 176, 1-13.

Li, X., Djordjević, A., Venuvinod, P.K., 2000, Current-sensor-based feed cutting force intelligent estimation and tool wear condition monitoring, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* Vol 47, (3), 697-702.

Li, C., He, Qi., Tang, W., Lu, F., 2004, Carburising of steel AISI 1010 by using a cathode arc plasma process, *Surface and Coatings Technology* 187, 1-5.

Li, Z., Liu, X., Zhao, J., Gao, Y., Xu, Z., 2000, Age hardening of surface aged high speed steel on high carbon steel after plasma decarbonising, *Surface and Coatings Technology* 131, 579-581.

Lin, Y.C., Wang, S.W., Chen, T.M., 2002, A study on the wear behaviour of hardened medium carbon steel, *Journal of Materials Processing Technology* 120, 126-132.

Liu, N., Xu, Y.D., Li, H., Chen, M.H., Zhou, J., Xie, F., Yang, H.D., 2005, Cutting and wearing characteristics of TiC-based cermets cutters with nano-TiN addition, *Journal of Materials Processing Technology* 161, 478-484.

Liu, J.Y., Chang, S.C., 1997, The oxidation and carburization of Fe-Mn-Al alloys in a carbon-containing atmosphere, *Corrosion science* Vol 39 No 6 PP 1021-1035

Liv, Q., Altıntaş, Y., 1999, On-line monitoring of flank wear in turning with multilayered feed-forward neural network. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 3, 1945-1959.

Maliska, A.M., de Oliveira, A.M., Klein, A.N., Muzart, J.L.R., 2001, Surface porosity sealing effect of plasma nitrocarburizing on sintered unalloyed iron, *Surface and Coatings Technology* 141, 128-134.

Malyer, E., Öztarhan, A., 2005, Wear behaviour of nitrogen implanted PVD-coated hard metal cutting inserts, *Surface and Coatings Technology*, 196, 369-372.

Manory, R.R., Mollica, S., Ward, L., Purushotham, K.P., Evans, P., Noorman, J., Perry A.J., 2002, The effects of MEVVA ion implantation on the tribological properties of PVD-TiN films deposited on steel substrates, *Surface and Coatings Technology* 155, 136-140.

Matthew, K., Hedges, A.P., Newbery, P.S., 2002, Characterisation of electric arc spray formed in super alloy IN 718, *Materials Science and Engineering*, 79-91.

Mattox, D.M., 1998, *Handbook of Physical Vapour Deposition (PVD) Processing*,

ISBN 0-8155-1422-0, Noyes Publications, Westwood, NJ/ USA.

Mattox, D.M., 2002, Physical vapour deposition (PVD) processes, *Metal Finishing* 100, 394-408.

Mayrhofer, P.H., Kunc, F., Musil, J., Mitterer, C., 2002, A comparative study on reactive and non-reactive unbalanced magnetron sputter deposition of TiN coatings, *Thin Solid Films* 415, 151-159.

Menthe, E., Rie, K.T., 1999, Plasma nitriding and plasma nitrocarburizing of electroplated hard chromium to increase the wear and the corrosion properties, *Surface and Coatings Technology* 112, 217-220.

Mills, D.J., Knutsen, R.D., 1998, An investigation of the tribological behaviour of a high-nitrogen Cr-Mn austenitic stainless steel, *Wear* 215, 83-90

Mitsuo, A., Kanda, K., Aizawa, T., 2000, Friction and wear properties of carbon-ion implanted titanium nitride films, *Surface and Coatings Technology* 128-129, 440-445.

Modi, O.P., Mondal, D.P., Prasad, B.K., Singh, M., Khaira, H.K., 2003, Abrasive wear behaviour of a high carbon steel: effects of microstructure and experimental parameters and correlation with mechanical properties, *Materials Science and Engineering A* 343, 235-242.

Narojczyk, J., Werner, Z., Piekoszewski, J., Szymczyk, W., 2005, Effects of nitrogen implantation on lifetime of cutting tools made of SK5M tool steel, *Vacuum* 78, 229-233.

Noordin, M.Y., Venkatesh, V.C., Chan, C.L., Abdullah, A., 2001, Performance evaluation of cemented carbide tools in turning AISI 1010 steel, *Journal of Materials Processing Technology* 116, 16-21.

Novak, P., Vojtech, D., Serak, J., 2005, Pulsed-plasma nitriding of a niobium-alloyed PM tool steel, *Materials Science and Engineering A* 393, 286-293

Okumiya, M., Tsunekawa, Y., Matsumoto, T., Tanaka, K., Nagai, T., 2003, Carbon content control in plasma carburizing using process parameter and probe methods, *Surface and Coatings Technology* 174-175, 1171-1174.

Ollilainen, V., Kasprzak, W., Holappa, L., 2003, The effect of silicon, vanadium and nitrogen on the microstructure and hardness of air cooled medium carbon low alloy steels, *Journal of Materials Processing Technology* 134, 405-412.

Öztarhan, A., Brown, I., Bakkaloğlu, C., Watt, G., Evans, P., Oks, E., Nikolaev, A., Tek Z., 2005, Metal vapour vacuum arc ion implantation facility in Turkey, *Surface and Coatings Technology* 196, 327-332.

Öztürk, O., Onmuş, O., Williamson, D.L., 2005, Microstructural, mechanical, and corrosion characterization of plasma-nitrided plastic injection mould steel, *Surface and Coatings Technology* 196, 341-348.

- Pantelis, D.I., Bouyiouri, E., Kouloumbi, N., Vassiliou, P., Koutsomichalis, A., 2002, Wear and corrosion resistance of laser surface hardened structural steel, *Surface and Coatings Technology* 298, 125-134.
- Park, J.S., Lee, S.Z., Kim, J.H., Lee, K.N., 1999, Tribological characteristics of ion nitrided sintered steels, *Surface and Coatings Technology* 114, 169-173.
- Park, J., Kim, D.J., Kim, Y.K., Lee, K.H., Lee, K.H., Lee, H., Ahn, S., 2003, Improvement of the biocompatibility and mechanical properties of surgical tools with TiN coating by PACVD, *Thin Solid Films* 435, 102-107.
- Pashby, I. R., Barnes, S., Bryden B. G., 2003, Surface hardening of steel using a high power diode laser. *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 139, Issues 1-3, Pages 585-588.
- Pertek, A., Kukla, M., 2003, Two-step treatment carburizing followed by boriding on medium-carbon steel, *Surface and Coatings Technology* 173, 309-314.
- Pistofidis, N., Vourlias, G., Pavlidou, E., Patsalas, P., Stergioudis, G., Polychroniadis, E.K., 2006, Study of the structure and morphology of plasma-sprayed tin coating, *Surface and Coatings Technology* 200, 6245-6250.
- Piskorska, E., Lawniczak-Jablonska, K., Demchenko, I.N., Benko, E., Welter, E., 2004, X-ray absorption studies of phase formation in a Ti/TiN coating on cubic boron nitride, *Journal of Alloys and Compounds* 362, 171-177.
- Podgornik, B., Vizintin, J., 2003, Tribology of thin films and their use in the field of machine elements, *Vacuum* 68, 39-47.
- Podgornik, B., Vizintin, J., 2001, Influence of substrate treatment on the tribological properties of DLC coatings, *Diamond and Related Materials* 10, 2232-2237.
- Podgornik, B., Vizintin, J., Leskovick, V., 2003, Tribological properties of plasma and pulse plasma nitrided AISI 4140 steel, *Surface and Coatings Technology* 108-109, 3454-460.
- Podgornik, B., Vizintin, J., Wanstrand, O., Larsson, M., Hogmark, S., Ronkainen, H., Holmberg, K., 2001, Tribological properties of plasma nitrided AISI 4140 steel, *Wear* 249, 254-259.
- Prakash, B., Ftikos, C., Celis, J.P., 2002, Fretting wear behavior of PVD TiB₂ coatings, *Journal of Materials Processing Technology* 154, 182-188.
- Purushotham, K.P., Ward, L.P., Brack, N., Pigram, P.J., Evans, P., Noorman, H., Manory, R.R., 2003, Tribological studies of Zr-implanted PVD TiN coatings deposited on stainless steel substrates, *Wear* 254, 589-596.
- Qiang, L., Altintas, Y., 1999, On-line monitoring of flank wear in turning with multilayered feed-forward neural network, *International Journal of Machine Tools and*

Manufacture 39, 1945-1959.

Qiang, Y.H., Ge, S.R., Xue, Q.J., 1998, Study on the structure and wear resistance of two-step salt bath nitrocarburized steel, *Wear* 218, 232-236.

Qiang, Y.H., Ge, S.R., Xue, Q.J., 1999, Microstructure and tribological behaviour of nitrocarburizing-quenching duplex treated steel, *Tribology International* 32, 131-136.

Qiang, Y.H., Ge, S.R., Xue, Q.J., 2000, Microstructure and tribological properties of complex nitrocarburized steel, *Journal of Materials Processing Technology* 101, 180-185.

Ramalho, A., Celis, J.P., 2002, High temperature fretting behaviour of plasma vapour deposition TiN coatings, *Surface and Coatings Technology* 155, 169-175.

Raynor, G.V., Rivlin, V.G., 1988, Phase equilibria in iron ternary alloys, The Institute of Metals North American Publications Center, Brookfield, 49.

Reza Bateni, M., Szpuanar, J.A., Wang, X., Li D.Y., 2006, Wear and corrosion wear of medium carbon steel and 304 stainless steel, *Wear* 260, 116-122.

Richter, J., 2004, Micro-scale abrasion testing of PVD TiN coatings on conventional and non-ledeburitic high-speed steels, *Wear* 257, 304-310.

Ruset, C., Grigore, E., 2002, The influence of ion implantation on the properties of titanium nitride layer deposited by magnetron sputtering, *Surface and Coatings Technology* 156, 159-161.

Sari, N.Y., Yilmaz, M., 2006, Investigation of abrasive + erosive wear behaviour of surface hardening methods applied to AISI 1050 steel, *Materials and Design* 27, 470-47.

Sato, T., Sugai, K., Ueda, S., Matsunami, K., Yasuoka, M., 2003, Development of a hybrid coating process as an advanced surface modification for cutting tools and moulds, *Surface and Coatings Technology* 169-170, 45-48.

Sellers, C.M., Whiteman, M., 1974, *The Metallurgist and Materials Technologist*, 6 (10) 441.

Simoneau, A., Ng, E., Elbestawi, M.A., 2005, Chip formation during microscale cutting of a medium carbon steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 46, 467-481.

Sobiecki, J.R., Mankowski, P., Patejuk, A., 2004, Improving the performance properties of valve martensitic steel by glow discharge-assisted nitriding, *Vacuum* 76, 57-61.

Sokovic, M., Kopac, J., Dobrzanski, L.A., Adamiak, M., 2004, Wear of PVD-coated solid carbide and mills in dry high-speed cutting, *Journal of Materials Processing Technology* 157-158, 422-426.

Stoiber, M., Badisch, E., Lugmair, C., Mitterer, C., 2003, Low-friction TiN coatings deposited by PACVD, *Surface and Coatings Technology* 163-164, 451-456.

Stoiber, M., Wagner, J., Mitterer, C., Gammer, K., Hutter, H., Lugmair, C., Kullmer, R.,

2003, Plasma-assisted pre-treatment for PACVD TiN coatings on tool steel, Surface and Coatings Technology 174-175, 687-693.

Stokes, J., Looney, L., 2004, Residual stress in HVOF thermally sprayed thick deposits, Surface and Coatings Technology 177-178, 18-23.

Su, Y.L., Liu, T.H., Su, C.T., Yur, J.P., Kao, W.H., Yao, S.H., 2004, Tribological characteristics and cutting performance of Cr_x%C-coated carbide tools, Journal of Materials Processing Technology 153-154, 699-706.

Sun, S.H., Xiong, Y., Zhao, J., Lv, Z.Q., Li, Y., Zhao, D.L., Fu, W.T., 2005, Microstructure characteristics in high carbon steel rod after warm cross-wedge rolling, Scripta Materialia 53, 137-140.

Topbaş, M.A., 1993, Endüstri malzemeleri II, Prestij Yayıncılık, İstanbul 219-229.

Ürgen, M., Çakır, A.F., 1997, The effect of heating on corrosion behaviour of TiN- and CrN- coated steels, Surface and Coatings Technology 96, 236-244.

Wang, J., Zhang, G., Sun, J., Bao, Y., Zhuang, L., Wen, H., 2006, Low temperature nitriding of medium carbon steel, Vacuum 80, 855-859.

Wang, J.J., Kasukabe, Y., Yamamura, T., Yamamoto, S., Fujino, Y., 2004, In-situ transmission electron microscope observation of nitriding processes of titanium thin films by nitrogen-implantation, Thin Solid Films 464-465, 175-179.

Wang, Y., Lei, T., Liu, J., 1999, Tribo-metallographic behaviour of high carbon steels in dry sliding , I. wear mechanisms and their transition, Wear 231, 1-11.

West, G.A., Beeson, K.W., 1987, Conf. on CVD, Electrochem. Soc., 720.

Wilson, S., Alpas, A.T., 2000, Tribo-layer formation during sliding wear of TiN coatings, Wear 245, 223-229.

Wilson S., Alpas A.T., 1999, Wear mechanism maps for TiN-coated high speed steel, Surface and Coatings Technology 120-121, 519-527.

Yang, Q., Zhao, L.R., 2003, Dry sliding wear of magnetron sputtered TiN/CrN superlattice coatings, Surface and Coatings Technology 173, 58-66.

Yıldırım, M.M., 1983, Çelik malzemelerde endüksiyonla yüzey sertleştirme, Metalurji, TMMOB Metalurji Mühendisleri Dergisi, 30 (9), Ankara, 8-16.

Yıldırım, M.M., 1991, C 40 çeliğinde alevle yüzey sertleştirme işlemi ve uygulamalarda karşılaşılan sorunlar, 4. Denizli Malzeme Sempozyumu, 24-26 Nisan 1991, Bildiriler Kitabı, 539-551.

Yıldırım, M.M., 1989, “Döküm Tekniği”, F.Ü. Teknik Eğt. Fakültesi Yayınları, No: 132, Fırat Üniversitesi Basımevi, Elazığ, 25-34.

Yıldırım, M.M., 1974, “Theoretische Untersuchungen über Abbaureaktionen an dichten Festkörpern mit einem Gemisch aus vier reagierenden Gasen”, Doktorarbeit, Technische Universität Clausthal, Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Maschinenwesen, Clausthal-Zellerfeld/Deutschland, 1-22.

Yıldırım, M.M., 1993, Lazerle yapılan yüzeysel işlemlerde son uygulama teknikleri, 5. Denizli Malzeme Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Cilt 2, 561-570.

Yıldırım, M.M., Doğantan, Z.S., Çakan, A., Pakdil, M., 2001, Mühendislik Malzemeleri I, MKÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, ISBN 975-7989-14-2, İskenderun, 9 (3), 95-135.

Yıldırım, M.M., Doğantan, Z.S., Çakan, A., Pakdil, M., 2001, Mühendislik Malzemeleri III, MKÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, ISBN 975-7989-16-9, İskenderun, 9 (3), 10-21.

Yih-fong, T., 2006, Parameter design optimisation of computerised numerical control turning tool steels for high dimensional precision and accuracy, Materials and Design 27, 665-675.

Yoon, S.Y., Kang, M.C., Kwon, S.C., Kim, K. Ho, 2002, The influence of counterface materials and humidity on the tribological behaviour of arc ion plated TiN films, Surface and Coatings Technology 157, 144-150.

Zeghni A.E., Hashmi M.S.J., 2004, The effect of coating and nitriding on the wear behaviour of tool steels, Journal of Materials Processing Technology 155-156, 1918-1922.

Zeghni A.E., Hashmi M.S.J., 2004, Comparative wear characteristics of TiN and TiC coated and uncoated tool steel, Journal of Materials Processing Technology 155-156, 1923-1926.

Zlatanovic, M., Popovic, N., Bogdanov, Z., Zlatanovic, S., 2004, Plasma post oxidation of nitrocarburized hot work steel samples, Surface and Coatings Technology 177-178, 277-283.

Zlatanovic, M., Popovic, N., Bogdanov, Z., 2004, Formation of magnetite over layer on nitrocarburized low-alloy steel by plasma post-oxidation, Surface and Coatings Technology 188-189, 307-313.

ÖZGEÇMİŞ

1964 yılında Afyon’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı ilde tamamladı. 1983 yılında girdiği Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümünden 1987 yılında mezun oldu. 1988 yılında Milli Eğitim Bakanlığı’nda (Tokat) Teknik Öğretmen olarak göreve başladı. 1990 yılında Adana’ya tayin oldu. 1995 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Uzman olarak göreve başladı. 1998 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve 2000 yılında mezun oldu.

2000 Yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Anabilim dalında Doktora öğrenimine başladı. Halen Doktora öğrenimine devam etmekte, ayrıca Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Fakülte Sekreterliği görevini de yürütmekte olup, evli ve bir çocuk babasıdır.