

**AISI 3343 ÇELİĞİ KALIP ZİMBALARININ KAPLAMASIZ, PVD TEKNİĞİ
İLE TİN VE CrN KAPLAYARAK AŞINMA DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

Uğur ÖZTÜRK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MART 2010
ANKARA**

Uğur ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “AISI 3343 Çeliği Kalıp Zımbalarının Kaplamasız, PVD Tekniği ile TiN VE CrN Kaplayarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi” adlı bu tezin Yüksek Lisans olarak uygun olduğunu onaylarım.

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

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

Yrd. Doç.Dr. Hasan SERT
Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN
Makina Eğitimi, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Ferhat GÜL
Metal Eğitimi, Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Kasım HABALI
Makina Eğitimi, Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK
Makina Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Tarih :/...../.....

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Uğur ÖZTÜRK

**AISI 3343 ÇELİĞİ KALIP ZİMBALARININ KAPLAMASIZ, PVD TEKNİĞİ
İLE TiN VE CrN KAPLAYARAK AŞINMA DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Uğur ÖZTÜRK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mart 2010**

ÖZET

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

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : PVD, AISI 3343, Yüzey Kaplamaları, Triboloji,
Sayfa Adedi : 93
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hasan SERT

**INVESTIGATION OF THE WEAR BEHAVIOURS OF UNCOATED AND TiN
AND CrN PVD COATED AISI 3343 STEEL PUNCHES**

(M.Sc. Thesis)

Uğur ÖZTÜRK

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

March 2010

ABSTRACT

In this study, PVD (Physical Vapour Deposition) coating process which is widely used in industry explained.

The wear behaviours of uncoated and TiN and CrN PVD coated AISI 3343 steel have been investigated. The test samples were machined identically with 34mm diameter and 5mm length and were coated with TiN and CrN using PVD method. Pin on disk method was used for wear, microhardness, mechanical properties, SEM and EDS photographs of the specimens were investigated. It was determined that CrN coated specimens wore less than others.

Science Code : 708.3.028
Key Words : PVD, AISI 3343, Surface Coatings, Tribology,
Page Number : 93
Thesis Administrator : Asst. Prof. Dr. Hasan SERT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. Hasan SERT'e yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR'e, ayrıca numunelerin ısıl işlemini gerçekleştiren Makina Takım Endüstri A.Ş. çalışanlarına, kaplamaları yapan Ionbond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş. çalışanlarına, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Dekanı Prof. Dr. E. Sabri KAYALI ve Arş. Gör. Özgür ÇELİK'e, çalışmalarım boyunca yardımlarını benden esirgemeyen Ayhan AYTAÇ, Muhammed İLİVAN, Ali Emrah BÜLBÜL'e ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim Duygu ÖZTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi.....	12
3. TEORİK İNCELEMELER.....	14
3.1. İnce Sert Kaplama Türleri.....	14
3.1.1. Fiziksel buhar biriktirme PVD (Physical Vapor Deposition) ,.....	14
3.1.2. Kimyasal buhar biriktirme CVD (Chemical Vapour Deposition).....	19
3.1.3. Doğrudan buhar biriktirme DVD (Direct Vapour Deposition).....	21
3.2. AISI 3343 Yüksek Hız Çeliklerinin Malzeme Özellikleri.....	24
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	26
4.1. Amaç.....	26
4.2. Materyal ve Metod.....	26

	Sayfa
4.2.1. Numune hazırlama.....	28
4.2.2. Numunelerin sertleştirilmesi.....	28
4.2.3. Numunelerin TiN kaplanması.....	29
4.2.4. Numunelerin CrN kaplanması.....	29
4.2.5. Numunelerin aşınma deneylerinin yapılışı ve elde edilen veriler.....	30
4.2.6. Numunelerin mikrosertlik metodu ve ölçümü.....	38
4.2.7. Numunelerin yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi.....	40
4.2.8. Numunelerin SEM görüntüleri ve EDS analizleri	55
4.2.9. Numunelerin istatistiksel çalışmaları.....	79
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	84
5.1. Sonuçlar.....	84
5.2. Öneriler.....	85
KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	93

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. AISI 3343 yüksek hız çeliğinin mekanik özellikleri.....	25
Çizelge 3.2. AISI 3343 yüksek hız çeliğinin kimyasal özellikleri.....	25
Çizelge 4.1. TiN Kaplama parametreleri numune.....	29
Çizelge 4.2. CrN Kaplama parametreleri.....	30
Çizelge 4.3. Kaplamasız deney numunelerinin aşınma miktarları.....	31
Çizelge 4.4. TiN Kaplanmış deney numunelerinin aşınma miktarları.....	33
Çizelge 4.5. CrN Kaplanmış deney numunelerinin aşınma miktarları.....	34
Çizelge 4.6. Numunelerin aşınma şartları ve sürtünme katsayıları.....	38
Çizelge 4.7. Numunelerin mikrosertlik test verileri	39
Çizelge 4.8. Kaplamasız numunelerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları.....	40
Çizelge 4.9. TiN kaplamalı numunelerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları.....	44
Çizelge 4.10. CrN kaplamalı numunelerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları.....	48
Çizelge 4.11. Aşınmış numunelerin genel istatistiksel değerleri.....	79
Çizelge 4.12. Aşınmış numunelerin ortalama ve standart sapma değerleri.....	80
Çizelge 4.13. Aşınmış numunelerin gruplara göre ortalaması.....	80
Çizelge 4.14. Numunelerin aşınma değerlerinin Ki-Kare testi.....	80
Çizelge 4.15. Numunelerin aşınma farkı ve grupların istatistik verileri.....	81
Çizelge 4.16. Numunelerin çoklu regresyon modeli	82
Çizelge 4.17. Numunelerin çoklu regresyon Anova testi.....	82
Çizelge 4.18. Numunelerin Çoklu regresyon katsayı modeli	82
Çizelge 4.19. JMP 7.0 programında aşınma farkının varyans analizi.....	83

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. PVD kaplama metodları.....	16
Şekil 3.2. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi.....	17
Şekil 4.1. Kaplamasız numunelerin 5N ve 10N yükteki aşınma grafiği.....	32
Şekil 4.2. TiN Kaplamalı numunelerin 5N ve 10N yükteki aşınma grafiği....	33
Şekil 4.3. CrN Kaplamalı numunelerin 5N ve 10N yükteki aşınma grafiği..	35
Şekil 4.4. 10N Yükte kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin aşınma grafiği.....	35
Şekil 4.5. 5N yükte kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin aşınma grafiği.....	36
Şekil 4.6. Sürtünme katsayısı ve aşınma şartları grafik örneği.....	37
Şekil 4.7. Kaplamasız numunelerin 5N ve 10N yükte aldıkları yolun derinliğinin grafiği.....	41
Şekil 4.8. Kaplamasız 10N luk numunelerin aldığı yola göre iz derinliği grafiği.....	42
Şekil 4.9. Kaplamasız 10N luk numunelerin aldığı yola göre iz genişliği grafiği.....	42
Şekil 4.10. Kaplamasız numunelerin 5N ve 10N yükte aldıkları yolun iz genişliği grafiği.....	43
Şekil 4.11. TiN Kaplanmış 5N ve 10N yükte aşındırılan numunelerin iz derinliği grafiği.....	45
Şekil 4.12. TiN kaplamalı numunelerde alınan yolun numune sayısına göre iz derinliği grafiği.....	46
Şekil 4.13. TiN kaplanmış numunelerin 5N ve 10N yükte iz genişliği grafiği.....	46
Şekil 4.14. TiN kaplanmış numunelerde alınan yolun numune sayısına göre iz genişliği grafiği.....	47
Şekil 4.15. CrN Kaplanmış 5N ve 10N yükte iz derinliği grafiği.....	49

Şekil	Sayfa
Şekil 4.16. CrN kaplamalı numunelerde alınan yolun numune sayısına göre iz derinliği grafiği.....	50
Şekil 4.17. CrN kaplanmış numunelerin 5N ve 10N yükte iz genişliği grafiği.....	50
Şekil 4.18. CrN kaplamalı numunelerde alınan yolun numune sayısına göre iz genişliği grafiği.....	51
Şekil 4.19. Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 10N yükte iz derinliği grafiği.....	52
Şekil 4.20. Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 5N yükte iz derinliği grafiği.....	53
Şekil 4.21. Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 10N yükte iz genişliği grafiği.....	53
Şekil 4.22. Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 5N yükte iz genişliği grafiği.....	54
Şekil 4.23. 5N Yükte aşınan kaplamasız numunenin kesitten alınan EDS görüntüsü.....	57
Şekil 4.24. 5N Yükte aşınan kaplamasız numunenin yüzeyden alınan EDS görüntüsü.....	58
Şekil 4.25. 10N Yükte aşınan kaplamasız numunenin kesitten alınan EDS görüntüsü.....	60
Şekil 4.26. 10N Yükte aşınan kaplamasız numunenin yüzeyden alınan EDS görüntüsü.....	61
Şekil 4.27. Aşınmaya tabi tutulmayan kaplamasız numunenin kesitten alınan EDS görüntüsü.....	63
Şekil 4.28. 5N Yükte aşınan TiN kaplanmış numunenin kesitten alınan EDS görüntüsü.....	64
Şekil 4.29. 5N Yükte aşınan TiN kaplamalı numunenin yüzeyden alınan EDS görüntüsü.....	66
Şekil 4.30. 10N Yükte aşınan TiN kaplamalı numunenin kesitten alınan EDS görüntüsü.....	67

Şekil	Sayfa
Şekil 4.31. 10N Yükte aşınan TiN kaplamalı numunenin yüzeyden alınan EDS görüntüsü.....	69
Şekil 4.32. Aşınmaya tabi tutulmayan TiN kaplamalı numunenin kesitten alınmış EDS görüntüsü.....	70
Şekil 4.33. 5N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin kesitten EDS görüntüsü.....	72
Şekil 4.34. 5N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin yüzeyden alınan EDS görüntüsü.....	73
Şekil 4.35. 10N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin kesitten alınan EDS görüntüsü.....	75
Şekil 4.36. 10N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin yüzeyden alınan EDS görüntüsü.....	76
Şekil 4.37. Aşınmaya tabi tutulmayan CrN kaplamalı numunenin kesitten alınan EDS görüntüsü.....	78
Şekil 4.38. Grupların yola bağlı olarak çapraz aşınma grafiği.....	81

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. PVD kaplama örnekleri.....	18
Resim 4.1. IONBOND PVD kaplama cihazı.....	27
Resim 4.2. CSM Pin-On disk aşınma deney cihazı.....	28
Resim 4.3. Mikrosertlik ölçüm cihazı.....	39
Resim 4.4. SEM (Scanning Electron Microscope) cihazı.....	55
Resim 4.5. 5N Yükle aşınan kaplamasız numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü.....	56
Resim 4.6. 5N Yükle aşınan kaplamasız numunenin yüzeyden alınan SEM görüntüsü.....	58
Resim 4.7. 10N Yükle aşınan kaplamasız numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü.....	59
Resim 4.8. 10N Yükle aşınan kaplamasız numunenin yüzeyden alınan SEM görüntüsü.....	61
Resim 4.9. Aşınmaya tabi tutulmayan kaplamasız numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü.....	62
Resim 4.10. 5N Yükle aşınan TiN kaplanmış numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü.....	64
Resim 4.11. 5N Yükle aşınan TiN kaplanmış numunenin yüzeyden alınan SEM görüntüsü.....	65
Resim 4.12. 10N Yükle aşınan TiN kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü.....	67
Resim 4.13. 10N Yükle aşınan TiN kaplamalı numunenin yüzeyden alınan SEM görüntüsü.....	68
Resim 4.14. Aşınmaya tabi tutulmayan TiN kaplamalı numunenin kesitten alınmış SEM görüntüsü.....	70
Resim 4.25. 5N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü.....	71

Resim	Sayfa
Resim 4.16. 5N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin kesitten EDS görüntüsü.....	73
Resim 4.17. 10N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü.....	74
Resim 4.18. 10N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin yüzeyden alınan SEM görüntüsü.....	76
Resim 4.19. Aşınmaya tabi tutulmayan CrN kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
m	Metre
mm	Milimetre
cm	Santimetre
µm	Mikron ($1 \mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$)
s	Saniye
dk	Dakika
N	Newton
V	Volt
A	Amper
kV	Kilo volt
MPa	Mega paskal
T	Sıcaklık
°C	Santigrad derece
°A	Angstrom ($1^\circ\text{A}=10^{-10}\text{m}=10^{-4}\mu\text{m}$)
Kısaltmalar	Açıklama
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
DVD	Doğrudan Buhar Biriktirme
AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	Enerji Dağılımlı X Işınları Spektrometresi
TiN	Titanyum Nitrür

Kısaltmalar	Açıklama
CrN	Krom Nitrür
C	Karbon
Si	Silisyum
Mn	Manganez
Cr	Krom
Ni	Nikel
W	Wolfram (Tungsten)
V	Vanadyum
Mo	Molibden
S	Kükürt
P	Fosfor
Fe	Demir

1. GİRİŞ

Kesici takımlarda kullanılan malzemelerden beklenen temel özellikler, belirli bir tokluk değerlerine sahip olmalarının yanı sıra özellikle yüksek sıcaklıklarda aşınmaya dayanıklılık göstermeleridir. Malzemelerin birbiri ile ters orantılı olan bu özellikleri göz önüne alındığında seramiklerin aşınma dayanımları ile metallerin tokluk özelliklerinin bir arada kullanımı ortak bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla kesici takım malzemelerinde seramiklere doğru kayma gözlenirken yüksek hız çelikleri üzerine yapılan ince sert seramik kaplamaların da gün geçtikçe önemi artmaktadır.

Makina yapımında kullanılan bütün malzemelerin uzun bir süre görevlerini aksatmadan yerine getirebilmeleri beklenir. Sürtünerek çalışan bütün makina elemanları zamanla aşınır ve buldukları sistemin fonksiyonunu yerine getirmesinde aksamalara neden olmaktadır. Bu gibi elemanların yüzey özellikleri çalışma şartlarına ve yapıldığı malzemenin cinsine göre termal veya termokimyasal yollarla iyileştirilir. Ancak bazı elemanların bahsedilen yollarla yüzey performanslarının artırılması mümkün olmayabilir. Bu çerçevede yüzey kaplamaları gündeme gelmektedir [1].

Yüzey kaplamaları, bir metalin yüzeyini bir metal, ametal veya bir organik madde ile kaplayarak malzemeye hem görünüş güzelliği kazandırmak hem de malzemeyi daha dayanıklı hale getirmek amacıyla yapılmaktadır. Çelik, yüzeylerin kaplanması en yaygın kullanım alanı bulmuş bir kaplama malzemesi olup PVD tekniği ile başarıyla uygulanmaktadır.

PVD tekniğiyle, vakum ortamında gerçekleştirilen kaplama ile aşınmaya dayanıklı koruyucu yüzey tabakalarının oluşturulması konusunda pek çok araştırmalar yapılmıştır. PVD ile yapılan yüzey kaplama uygulamalarında bazı farklılıklara rağmen birçok ortak ve dikkate değer nitelikte paralellikler gözlenmiştir [2].

Kalıp zımbaları için bu çalışmada sağlanacak performans artışları, maliyetlere ve kaliteye kayda değer katkılarda bulunacaktır. Bu amaçla geliştirilen, taban malzeme olarak uzun yıllardır tercih edilen yüksek hız çeliklerinin özellikleri ile ince sert kaplamaların özelliklerini birleştirmektedir. Özellikle TiN kaplamalar bu alanda önemli ilerlemeler sağlamakla beraber, kaplamasız kalıp zımbalarına kıyasla bu avantajların somut olarak ortaya konmasında hala eksikler vardır. Uygun kaplama türünün doğru seçilmesi endüstriyel işletmelerde verimliliğin artmasında önemli katkılarda bulunacaktır.

Endüstride, sık kullanılan kalıp zımbalarında aşınmayı azaltmak, takım ömrü ve verimliliğini iyileştirmek için kesici takımlara PVD, CVD ve DVD gibi kaplama teknikleri uygulanmaktadır. Bu kaplama teknikleri ile yapılan kaplamaların önemleri göz önünde bulundurularak yapılan bu çalışma ; AISI 3343 çeliği kalıp zımbalarının kaplamasız, PVD tekniği ile TiN ve CrN kaplamalı durumlarının aşınma davranışları incelenmesi amacıyla yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Endüstride, kalıp zımbalarında kullanılan yüksek hız çeliklerinin kaplamasız olarak aşınma sonucu ömürleri, toplam maliyet üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kalıp zımbalarının kaplanarak kullanılması işlem verimliliğini artırmakta olup maliyetini de önemli ölçüde azaltmaktadır.

Mevcut literatürde, kesici takımların performanslarını arttırıcı birçok yüzey kaplama çalışmaları vardır.

Gerek kesici takımlarda gerekse iş kalıpları ve ekstrüzyon kalıplarında oluşan dinamik yükler ve zorlamalar malzemeler üzerinde çok farklı aşınma davranışı ile ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, malzemelerin sınır, yüzey ve iç bölgelerinde farklı davranış ve özellikler görülmektedir. Yüzey kısmının pek çok kullanım amacı için hız çeliklerinde ve soğuk, sıcak iş çeliklerinde martenzitik olması yeterlidir. Ancak, korozif ve aşınma etkilerinin beklendiği hallerde, ayrıca parçaların aşırı ısı etkilerine maruz kaldığı yüksek sıcaklık ortamlarında, sürtünme katsayılarının azaltılmasını sağlayacak bir yüzey yapısına ulaşmak zorunluluğu ortaya çıkmaktadır [3].

Kaplama yöntemlerinden PVD, CVD, Plasma ve termal püskürtme yöntemleri ön plandadır. Bu yöntemlerle geliştirilmeye çalışılan tribolojik özellikler sayesinde parçaların kullanma ömürlerinin 2–10 kat arttığı bilinmektedir [4,5].

Sert kaplamaların takım yüzeylerine başarıyla uygulandığı yöntemlerden bir tanesi de PVD (fiziksel buhar biriktirme) yöntemidir. Bu yöntem vakum altında bulundurulan malzemelerin buharlaştırılarak veya sıçrattırılarak atomların yüzeyden koparılması ve kaplama yapılacak yüzeyde atomsal veya iyonsal olarak biriktirilmesi esasına dayanmaktadır [6,7].

İnce sert seramik filmlerin malzeme üzerine kaplanmasında kimyasal ve fiziksel buhar biriktirme teknikleri kullanılmaktadır. Kimyasal buhar biriktirme

tekniginde kaplama sıcaklıklarının yüksek olması taban malzeme açısından problem teşkil ederken, fiziksel buhar biriktirme tekniği düşük sıcaklıklarda da kaplamayı gerçekleştirilebilmesi nedeniyle daha üstün bir uygulama metodu oluşturmaktadır [8].

Seramik filmlerin kullanıldığı bir uygulama alanı, kesici takımların ömrünü arttırması ve maliyetini azaltması yönünde büyük avantajlar sağladığı bilinmektedir [9].

Böyle durumlarda PVD tekniklerinin herhangi biriyle malzeme yüzeylerini sertleştirilip nitrürlendikten sonra hiçbir işlem yapılmadan TiN ile kaplanması veya diğer yüzeysel işlemleri uygulanmasının yararlı olduğu görülmektedir [3,10].

PVD kaplamalarda işlem 350–550 °C arasında gerçekleştirildiği için çelik türü malzemelerde başarıyla uygulanabilmektedir. Ayrıca PVD kaplamalarının TiN ile nitrülenmesi sonucu parçaların yüzey aşınma mukavemetleri artırılabilir. Yüzey mühendisliği teknikleri, ince sert kaplamaların yüzey özelliklerini her gün biraz daha geliştirmektedir [11].

PVD ile yapılan yüzey kaplama uygulamalarında bazı farklılıklara rağmen birçok ortak ve dikkate değer nitelikte paralellikler gözlenebilmektedir. Bunlardan en önemlileri ise PVD yöntemlerinin bölgesel ve kesin sınırlı yüzeysel işlemleri uygulayabilme imkânı sağlamaları ve ortamındaki 4-6 saatlik termik etki nedeni ile parça boyutlarında değişiklik olmamasıdır [2].

PVD ve CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme) yöntemleriyle ince filmle kaplanmış malzemelerin yorulma davranışı ile ilgili yapılan çalışmalarda ince filmlerin, malzemelerin yorulma dayanımını arttırdığı bilinmektedir. Makina parçaları ve yapı elemanlarından çoğu çevrimsel yüklemeler ve titreşimler yüzünden yorulma hasarına uğramaktadır. Genelde yorulma hasarında çatlak başlangıcı, yüzeyden başlar. Bu nedenle malzemelerin yorulma dayanımını

artırmak için yüzey özellikleri geliştirilmelidir. İstenilen yüzey özellikleri iki temel prensiple geliştirilebilir. Birinci prensip ana (taban) malzemenin yüzey özellikleri kimyasal, termokimyasal, ısı ve mekanik işleme değiştirilebilir. İkinci prensip ise ana malzemenin yüzeyine çeşitli yöntemlerle ince film kaplanmasıdır [12].

Geliştirilen yüzey kaplamalardan beklenen özellikler; yüksek sertlik, iş parçasına düşük ancak takım malzemesine yüksek yapışma, yüksek aşınma direnci, yüksek kimyasal kararlılık ve tokluk, düşük çözünürlük, yüksek yük taşıma kapasitesi, düşük kesme kuvvetleri, düşük ısı yayınma katsayısı sıralanabilir. Bu özellikleri sağlamak için öncelikli olarak kullanılan başlıca kaplama türleri ise TiN, TiAlN, TiCN, CrN'dür [13].

Physical Vapour Deposition (Fiziksel Yolla Buhar Biriktirme) yöntemi olarak tanımlanan PVD tekniği ile malzeme üzerine TiN kaplanmasında birçok olumlu sonuçlar alınmıştır [2,11].

Kopac, kesici takımlar ile ilgili yaptığı çalışmada, takım malzemesi ve kaplamaların takım ömrüne etkisi üzerine yaptığı çalışmada, yüzey sertleştirmenin önemine değinmiştir [14].

Ezugwu ve Okeke, yaptığı çalışmada işleme operasyonunda ortalama güç tüketimiyle yüzey hassasiyetini elde etmek için, sağ vida çekme takımlarına TiN kaplamışlardır. Sonuçta, iş parçası kalitesini ve takım ömrünü artırmak için, kesici takımların sert seramik filmlerle kaplanmasını önermişlerdir [15].

Yalçın ve Yılmaz, ark PVD tekniği ile TiN sert film tabakasıyla kaplanan matkap yüzey sertliklerinin normal takımlara göre, iki kat daha fazla sertlikte olduğunu gözlemlemişlerdir. Yapılan delme deneylerinde ise, aynı delme koşullarında ölçülen aşınma miktarlarına göre; TiN'le kaplamalı matkapların, kaplamasız takımlara nazaran 5-8 kat daha fazla çalışma ömrüne sahip olduğunu elde etmişlerdir. TiN sert seramik kaplamalı matkapta, delik delme

sırasında tabaka kalınlığı birkaç mikron mertebesinde olduğundan dolayı, ana malzemenin tokluğu TiN tabakaya da kazandırılmıştır. Bu sayede, takım yüzeyinde pul pul dökülmeler ve çatlaklıklar gözlemlenmediğini ortaya koymuşlardır [16].

Karamış ve arkadaşları'na göre aşınma, yüzey sertliği ile yakından ilgisi olmasına rağmen tamamen sertliğe bağlı olmadığını ifade etmişlerdir. Ancak abrasiv aşınmalarda yüzey sertliği en etkili faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Üzerinde önemle durulması gereken faktör kaplanmış yüzeylerde kaplama tabakasının ana metale bağlanma mukavemetidir. Bu mukavemet arttıkça kaplamanın soyulma ihtimali azalır. Geçiş kısmının mukavemetini artırmak için ise ana malzeme yüzeyinin kaplamadan önce girintili çıkıntılı hazırlanması ve aynı zamandaki mekanik bir bağında sağlanması gerekmektedir. Bu çalışma şartları altında yapılan testler kaplama kalınlığının aşınmaya etkili olmadığını ancak ağır yükler altında uzun süre çalışan parçalarda kalınlığın bir aşınma faktörü olarak ortaya çıkacağını göstermektedir [4].

Gökkaya ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, kesici takım kaplama malzemeleri ve işleme parametrelerinden kesme hızı ile ilerleme hızının iş parçası yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kaplama malzemesi, ilerleme ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde farklı etkilere sahip parametrelerin olduğu belirtilmektedir. Yapmış oldukları çalışmada, en düşük ortalama yüzey pürüzlülüğünü, en üstte TiN kaplı kesici takımla elde etmişlerdir. İlerleme miktarının %80 azaltılmasıyla yüzey pürüzlülüğünde %176 iyileşme sağlamışlar, kesme hızının %200 artırılması ile de yüzey pürüzlülüğünde %13 iyileşme elde etmişlerdir [17].

Sert ve Karamış, yüksek mukavemetli çelik ya da sementit karbürden yapılan kesici takımların, metalin metal ile temasından oluşan mikro kaynaktan korumak için takımların, refrakter malzeme olan TiC, TiN, Al₂O₃ ile kaplanması gerektiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada kesme

kuvvetindeki azalmaya rağmen takım ömürlerinde %300–800 oranında bir gelişme sağlamışlardır. TiC, TiN, Al_2O_3 gibi kaplamaların, kaplama yapılmamış aletlere göre 2 ile 8 kat daha fazla bir gelişme sağladığını gözlemlemişlerdir [7].

Tsao, ince sert kaplamaların aşınma hızları ile ilgili deneysel çalışmada yüksek hız çelikleri üzerine TiC, TiCN, TiAlN ve TiN kaplama yaparak Pin-On disk üzerinde ve kuru sürtünme ortamında aşınma hızlarını tespit etmiştir. En düşük aşınma hızının TiAlN kaplı numunelerden elde edildiği belirtilmektedir [18,19].

Sert ve arkadaşları, AISI 304 çeliğinin aşınma davranışının deney sonucunda kaplamalı deney numunelerinde meydana gelen aşınma ile kaplamasız deney numunelerinde meydana gelen aşınmalar kıyaslandığında kaplamalı numunelerin aşınma dirençlerinin daha fazla olduğu görülmüştür. TiN tabakanın kalınlığı arttıkça aşınma direncinin de arttığını belirtmişlerdir [10].

Habalı ve arkadaşları'na göre yaptıkları çalışmada, ilerleme hızı ile yüzey pürüzlülüğü arasında artan bir ilişki olduğunu ve ilerlemenin artmasıyla, yüzey pürüzlülüğünün de arttığını gözlemlemişlerdir. İlerlemenin (0,24 mm/rev) %33 artırılmasıyla ortalama yüzey pürüzlülüğünün %14 arttığını söylemişlerdir [20].

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

daha sert malzemeler yine yüzey kaplamayla elde edilebilmekte olduğunu vurgulamışlardır [21].

Sert ve Can, kesici takım kaplama malzemesi ve kaplama yöntemine bağlı olarak değişen yüzey pürüzlülüğü değerleri yorumlandığında kaplamasız takımlardan sermet ile diğer TiAlN ve TiN kaplı kesici uca oranla daha düşük yüzey pürüzlülüğü sağladığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi kaplamasız sermet kesici takımın diğer iki takıma oranla daha düşük sürtünme katsayısına sahip olması ve kaplamasız olmasından dolayı daha keskin bir kesici köşeye sahip olmasına atfetmişlerdir. TiAlN kaplı kesici uç TiN kaplı kesici uca oranla daha düşük yüzey pürüzlülüğü sağlaması yine sürtünme katsayısına atfedileceği gibi CVD ile TiN kaplı kesici uca nazaran PVD yöntemiyle 3-4 µm kalınlığında çok ince olarak kaplanmasından dolayı, keskin bir kesici köşeye sahip olmasından kaynaklandığını tespit etmişlerdir [22].

Padley ve Devi, PVD yöntemiyle TiC, TiN, TiAlN, Al₂O₃ kaplı uçların yüksek sıcaklık sertliklerini oksidasyon hızlarını, aşınma özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir [23].

Gökkaya ve Nalbant, farklı kaplama malzemelerinin farklı işleme parametrelerine bağlı olarak takım-talaş ara yüzey sıcaklığı ve iş parçası yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kaplamasız, PVD yöntemiyle AlTiN ve TiAlN kaplanmış, CVD yöntemiyle üç katlı kaplama uygulanmış (en üste TiN kaplı) dört farklı semantit karbür takımla, AISI 1015 çeliği beş farklı kesme hızı ve iki farklı ilerleme değerinde işlenerek elde edilen takım-talaş ara yüzey sıcaklıkları ve ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri tespit edilmiş ve birbirleri ile ilişkilendirilmiştir. Kesme hızı, ilerleme ve sürtünme katsayısındaki artışa bağlı olarak takım-talaş ara yüzey sıcaklığı artmıştır. Kesme hızının artışına bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği, ilerleme ve sürtünme katsayısının artışına bağlı olarak ise ortalama yüzey pürüzlülüğünün arttığı yönünde sonuçlar tespit etmişlerdir [24].

Totik ve arkadaşları, HSS-M2 üzerine kaplanmış (TiAl)N seramik filmin, ısıtım işlem öncesi ve sonrası XRD, SEM, EDS ve mikrosertlik incelemelerinde; ısıtım işleminden önce yüksek olan sertlik değerlerinin, ısıtım işlemi ile azaldığını tespit etmişlerdir. Sıcaklığa bağlı olarak sertlikteki azalmanın sebebi yapı içinde bulunan gerilmelerin azalması, tane boyutunun büyümesi, kafes parametrelerinin azalması ve yapı içinde bulunan Ti₂N fazının ısıtım işlemi ile yapı içindeki çözünmesi olarak yorumlamışlardır. Bu değişikliğin sebebi ise yapı içinde bulunan elementlerin ısıtım işlemi ile α -Fe içinde çözünmesi ve fazların değişmesi, kaplama ve taban malzeme arasındaki difüzyonu artırdığını gözlemlemişlerdir [25].

Gadelmavla ve Koura, yüzey pürüzlülüğü ölçüm teknikleri, matematiksel ve istatistiksel ifadeler konusunda çalışmalar yapmışlar ve daha önce bilinen klasik ölçüm tekniklerinin yanında aynı, pürüzlülük değerine sahip fakat farklı profillerin, yoğunluklarının, homojenliklerinin, dağılımlarının karşılaştırılması için istatistiksel metod olarak yeni parametreler geliştirmişlerdir [26].

Martin ve Bendavid, filtreli katodik arkta kombine edilmiş yağma ve implantasyon prosesini kullanmışlar, 20 keV yüksek enerjili pulslu iyon bombardımanı ile üretilen filmlerde ana malzeme içerisine implantasyonun meydana geldiği, üretilen kalın karbon filmlerinde gerilmenin azalarak film yapışmasının arttığını tespit etmişlerdir [27].

Tay ve arkadaşları, filtreli katodik vakum ark tekniği ile silisyum ana malzemeler üzerine üretilen TiN filmlerinin mekanik ve yapısal özellikleri üzerine, azot akış oranı, yağma oranı ve ana malzeme biasının etkilerini araştırmışlardır. Azot akış oranındaki bir yükselmenin, sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve tane boyutunda bir artış ile sonuçlandığını ve yüksek miktardaki azot iyonundan dolayı artan iyon bombardımanının, film çekirdeklenmesini daha yoğun yönelmesine sevk ettiğini bulmuşlardır. Ayrıca, yağma oranındaki bir artışın, gerilme, sertlik ve yüzey pürüzlülüğünü artırdığı, bunda momentum transferindeki artıştan kaynaklandığını, negatif ana

malzeme biasının artması ise, hem film gerilmesi hem de sertliğini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, iyon akış enerjisinin film özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır [28].

Cheng ve Tay, düzlem dışı çift kıvrımlı bir filtreye sahip katodik vakum ark tekniği ile üretilen TiN filmlerinin yapısını XRD ile analiz etmişlerdir. Yığılma basıncı, ana malzeme biası ve yığılma sıcaklığının filmlerin yapısı üzerindeki etkisi incelemiş ve yapının gelişimini etkileyen temel faktörlerin; iç gerilmeler ve yüzey pürüzlülüğü olduğunu ortaya çıkarmışlardır [29].

Zhengyang ve arkadaşları, katodik ark yöntemi ile yüksek hız çeliği malzemeleri üzerinde üretilen TiN kaplamaların özelliklerine DC biası üzerine uygulanan puls biasının etkilerini araştırmışlardır. Bunun için, puls piki voltajı, frekans ve görev çevrimi puls güç kaynağı faktörlerini ve basınç, ark akımı ve DC bias voltajını değiştirmişlerdir. Kaplamaların yüzey pürüzlülüğü, kalınlık ve mikrosertlik değişimlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak DC+puls bias voltajı kullanılarak üretilen filmlerin makro partikül yoğunluğu ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, film yapışması ve üniformaluluğunun ise arttığını tespit etmişlerdir [30].

Mustapha ve Howson, katodik ark buharlaştırma ile üretilen TiN ve ZrN ince filmlerinin renk değişimini, azot ile geçiş metalleri arasındaki atomik oran ve oksijen kirliliğine göre incelemişlerdir. Azotun geçiş metallerine atomik oranının artmasının altın tarzı renk yansıtıcılığının azalmasına ve sarılığın artmasına sebep olduğunu, önemsenmeye değer bir renk değişimi olmaksızın stokiyometri değişiminin TiN için ZrN den daha büyük olduğunu ve oksijen içeriğindeki değişimin azotunki ile aynı yönde renk değişimi ile sonuçlandığını tespit etmişlerdir [31].

Kothari ve Kale, katodik ark metodu ile yüksek hız çeliği ana malzemeler üzerinde üretilen TiN, m-TiCN, (Ti,Al)N ve m-(Ti,Al)N kaplamaların (m; multi tabaka) özelliklerini incelemişler, (Ti,Al)N'ün en yüksek TiN'ün ise en düşük

aşınma, oksidasyon ve korozyon direncine sahip olduğunu tespit etmişlerdir [32].

Prengel ve arkadaşları, karbür kesici takımlar üzerinde, katodik ark ve magnetron sıçratma metodları ile ürettikleri TiN TiAlN, TiB₂ tek tabaka ve TiN, TiCN, TiAlN esasına dayanan multi tabaka kaplamaların kesme performansı ve takım ömrüne etkilerini incelemişlerdir. TiAlN multi tabaka kaplamanın kır dökme demirin kuru frezelenmesinde, TiAlN tek tabaka kaplamanın ise soğutucu sıvı ile işletmede en yüksek performansı gösterdiği gözlemlenmiştir. Inconel 718'in tornalanmasında TiAlN multi tabaka kaplamanın TiAlN tek kaplamadan özellikle yüksek hızlarda daha iyi performans gösterdiği, en sert kaplama olan TiN/TiCN/TiAlN multi tabaka kaplamanın yüksek iç gerilme ve erken bağ bozulmasından dolayı en kısa ömre sahip olduğu gözlemlenmiştir. A390 alüminyum alaşımının tornalanmasında TiB₂ kaplamanın yüksek sertliğinden dolayı TiN ve TiAlN kaplamalardan daha iyi abrasif aşınma direnci sağladığı yönünde sonuçlar elde etmişlerdir [33].

Tanaka ve arkadaşları, katodik ark metodu ile karbür freze uçları üzerinde (Al,Ti,Si)N filmleri sentezlemişler ve aşınma ve oksidasyon dirençleri incelenmiştir. (Al, Ti, Si)N filmlerinin (Al, Ti)N ve (Ti, Al)N'den daha yüksek bir sertlik ve oksidasyon sıcaklığına sahip olduğu ve (Al, Ti, Si)N kaplı karbür freze uçlarının sert malzemelerin yüksek hızlarda işlenmesinde (Al, Ti)N ve (Ti, Al)N kaplılardan daha yüksek bir aşınma direnci ve kesme performansı gösterdiklerini tespit etmişlerdir [34].

Çınar, katodik ark metodu ile yüksek hız çeliği üzerinde üretilen TiAlN-TiN esaslı multi tabaka kaplamalardaki (ilk tabaka TiN, Ara Tabaka TiAlN-TiN ve üst tabaka TiAlN olmak üzere 6 tabaka) TiN ara tabakalarının kaplamanın yapışma özelliğini arttırdığı, sertliğini ise bir miktar azalttığını gözlemlemiştir [35].

Tuck ve arkadaşları, filtreli katodik ark metodu ile M2 takım çeliği ana malzemeler üzerinde ürettikleri ince sert nitrür kaplamaların sertliklerini mikro ve makro sertlik ölçme metodları ile tespit etmişler ve sonuçları yeni bir model olan “work-of-indentation” modeli ile analiz etmişler ve yorumlamışlardır. Tuck ve arkadaşları model için iki yeni parametre önermişler ve yalnız mikrosertlik sonuçlarından kaplı sistem hakkında daha fazla bilginin çıkarılmasına imkân sağlamışlardır [36].

Türküz, katodik ark buharlaştırma metodu ile TiN kaplanmış ve kaplanmamış yüksek hız çeliği kesici takımların ömürlerini GG-25 dökme demir iş parçasının işlenmesi ile araştırmış ve sonuçlarını karşılaştırmıştır. Çalışmasında, 0,4 mm serbest yüzey aşınma şerit genişliğine ulaşıncaya kadar takımın katettiği toplam kesme mesafesini aşınma direnci kriteri olarak kabul etmiştir. Sonuç olarak, TiN kaplanmış DIN 1.3243 takımların, kaplanmamış DIN 1.3243 ve DIN 1.3343 takımlardan daha yüksek takım ömrüne sahip oldukları, daha düşük taban malzemesi yüzey pürüzlülüğü ve kaplama kalınlığı ve daha yüksek kaplama sertliği ve taban malzemesine yapışma mukavemetiyle de bu oranın arttırılabileceğini tespit etmiştir [37].

2.1. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

Literatür araştırmasında, tez konusu ile ilgili yapılan araştırmalar incelenmiş olup, günümüze kadar yapılan çalışmaların gelişim sürecini ortaya konmuş ve gerçekleştirilen çalışmada bu süreci iyi incelenip bundan sonra ne yapılması gerektiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Literatür araştırması neticesinde konu ile ilgili yapılan çalışmalarda aşağıdaki hususların ön plana çıktığı gözlenmiştir.

Endüstride kesici takımların ömrünü ve verimliliğini iyileştirme benimsenerek kaplama yöntemlerinden PVD, CVD, DVD, Plasma ve Termal püskürtme teknikleri kullanıldığı gözlenmiştir.

Endüstride matkaplar, freze bıçakları, zımbalar, kılavuzlar, raybalar vb. gibi kesici uçlara değişik türde kaplamalar yapılarak performansları çeşitli deneylerde incelenmiştir.

PVD tekniği kullanılarak yapılan sert seramik kaplamaların önemli bir yer tuttuğu ve genellikle TiN kaplamalar yapılarak incelendiği belirtilmektedir.

Kaplama yöntemleriyle geliştirilen tribolojik özellikler sayesinde parçaların kullanım ömürlerinin arttığı ve büyük avantajlar sağladığı gözlenmiştir.

Yüzey mühendisliği teknikleriyle, kaplamaların yüzey özelliklerini ve yüzey aşınma mukavemetlerini artırılmakta olup deneysel tasarımlar ve optik görüntülerle her geçen gün biraz daha geliştirildiği gözlemlenmektedir.

Bu literatür araştırmasında, AISI 3343 yüksek hız çeliği kalıp sektöründe yoğun olarak kalıp zımbalarında kaplamasız olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla "AISI 3343 çeliği kalıp zımbalarının kaplamasız, PVD tekniği ile TiN ve CrN kaplayarak aşınma davranışlarının incelenmesi" adlı çalışmanın değişik numunelere ayrı ayrı kaplanarak üç ayrı parçanın aşınma performanslarının incelenmesi endüstride ve literatürdeki bir boşluğu dolduracak nitelikte olduğu düşünülmektedir.

3. TEORİK İNCELEMELER

3.1. İnce Sert Kaplama Türleri

3.1.1. Fiziksel buhar biriktirme PVD (*Physical Vapour Deposition*)

Makine parçalarının ömürleri ve takımlarının kullanım süreleri, aşınma nedeni ile sınırlıdır. Günümüzde aynı parçaları daha büyük sayıda üretilme talepleri yaygınlaşan otomasyona karşılık, aşınma nedeni ile metal işleme makinelerinin durma süreleri, fiyat faktörünü devamlı artırmaktadır. Bu nedenle, aşınmanın önlenmesi her geçen gün ekonomik anlamda daha büyük anlam kazanmaktadır. Aşınmanın, ülkenin gayri safi milli hâsılasında %5'in üzerinde kayıplara neden olduğu bilinen bir gerçektir. Takım ömürlerini uzatmak için yeni nesil takım çelikleri üretilmektedir. Takımlarda kullanılan malzemeleri daha pahalı ve yenileri ile değiştirmek yerine, yalnız yüzeyin aşınma özelliklerini geliştirmek ise soruna ekonomik ve pratik bir yaklaşımdır. Bu alanda sert seramik film kaplamalar ile son yıllarda büyük aşamalar katedilmiştir. Bu teknolojilerde kullanılan nitrür, karbür, oksit vb. gibi sert seramik kaplamaların, aşınmaya karşı dayanıklı oldukları ise uzun zamandır bilinmektedir. Bu malzemelerin gevrek ve çok kırılğan oluşları, dolu malzemedeki kullanımlarını engellemektedir. Ayrıca fiyatları da oldukça yüksektir. Bu tür malzemeler ince seramik film olarak, çelikler ve sert metaller üzerine kaplandıklarında yüzey sertliği çok yüksek, kütleli olarak tokluğu yeterli kesici takımların ve kalıpların üretilmesi mümkün olmaktadır [38].

1950'li yılların sonunda üretimlerin artırılması amacıyla hızlı çalışan tezgâhlar üretilmiştir. Bu tezgâhların üretilmesiyle teknik adamların karşısına özellikle sert metal takımların ömrünün nasıl arttırılabileceği sorusu çıkmıştır. Söz konusu takımların ömrünü arttırarak, makine durma sürelerini en aza indirmek için yapılan araştırmalar sonucunda takımların üzerlerine TiN, TiC v.b. sert tabakalar kaplanmıştır. Bu çözüm sert metaller için uygun olmasına karşın ısı işlem görmüş takım çeliklerinde iyi sonuç vermemiştir. Bunun

nedeni CVD (Chemical Vapour Deposition) adı verilen yöntemle 1000°C gibi sıcaklıklarda kaplama yapılabildiği için hassas olarak işlenen ısıtıl işlem görmüş takım çeliklerinde (soğuk iş çelikleri, sıcak iş çelikleri ve yüksek hız çelikleri), sertlik kaybına ve ölçülerin değişmesine neden olmasındı [39].

Alternatif kaplama teknikleri aranırken 1960'lı yılların sonunda ION-PLATING adlı bir PVD metodu geliştirildi. Bu metot 200-500°C arasındaki sıcaklıklarda, ısıtıl işlem görmüş takım çeliklerini kaplama imkânı sağladı. Fakat tekniğin laboratuvar aşamasından, sanayiye geçerek teknolojik anlamda kaplama yapılması 1970'li yıllarda Ion-Bond metodu ile mümkün oldu [39].

Ticari amaçlı ilk PVD takım kaplama uygulaması Balzers tarafından 1979 yılında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak bir HSS matkap ve kılavuz takımı kaplanmış olup yöntemin uygulanışı daha sonra diğer takımlara da yaygınlaştırılmıştır. PVD kaplama uygulamaları, 1980'lerin başından beri endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır [40].

PVD, bazı organik malzemeler kadar iyi özelliklere sahip, metaller, alaşımlar, bileşikler ve onların karışımları ve her tip organik malzemenin kendiliğinden çökmesini mümkün kılan çok değişik bir teknolojidir. Çökme hızları, dakikada 10-750 000 Å arasında değişebilir. Daha yüksek çökme hızları aşağı yukarı son 20 yılda elektron ışın ısıtıcılı kaynakların geliştirilmesi ile elde edilmiştir [41].

Ayrıca, PVD kaplamaların teknolojik üstünlükleri aşağıda belirtilmiştir [41].

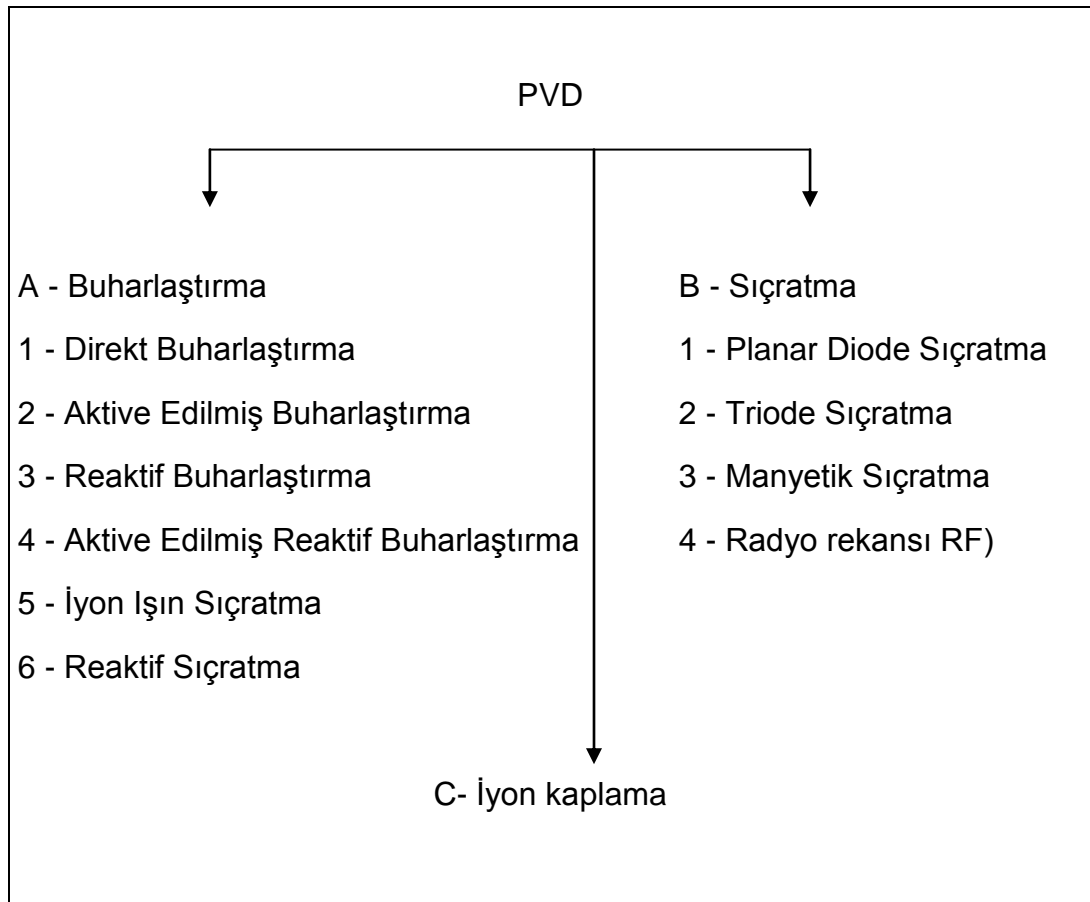
- Geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleşmesi,
- Kullanım alanlarının yaygınlığı,
- Kaplamaların yüzey kalitelerinin mükemmelliği,
- Üretim hızının yüksekliği,
- Yapışma kalitesinin verimliliği,

- Yüksek biriktirme hızının elde edilmesi,
- Tabaka sayısının artırılabilmesi ve üretim sistemine getirdiği zaman kazancı gibi sunulan avantajları vardır.

Kaplama tekniklerinden fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi, kimyasal tepkime yapmadan vakum altında malzeme yüzeylerine ince film tabakalarının biriktirilmesi işlemidir.

Bu yöntem kendi içinde;

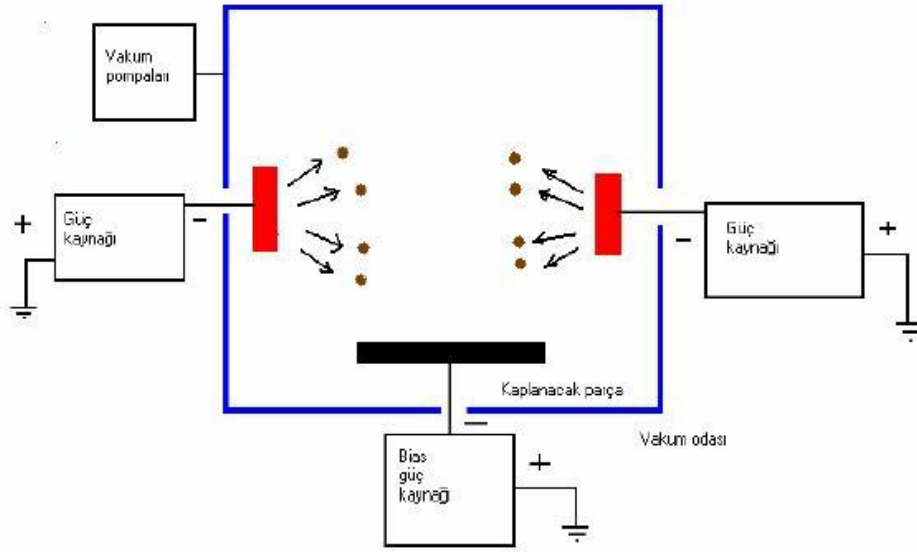
- Buharlaştırma (Evaporation),
- Sıçratma (Sputtering),
- İyon kaplama (Ion plating) olmak üzere üçe ayrılır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. PVD kaplama metodları

Dünyada bu teknikle yapılan kaplamalar ve araştırmalar hızla ilerleyerek artmaktadır. Bu kaplamaların endüstriye sağladığı avantajlar çok önemlidir. Örneğin, kesici takım kullanan firmalar, kesici takımlarını bu tür kaplamalar ile kaplatarak % 200 – 800 arasında takım ömründe ekonomiklik sağlamaktadırlar [42].

Şekil 3.2. de gösterildiği gibi buhar fazının elde edileceği malzeme vakum odasına katot olarak, kaplanacak malzeme de anot olarak bağlanır. Yüksek akım ve düşük voltaj etkisiyle katot yüzeyinden bir ark meydana gelir. Katot yüzeyinde arkın meydana geldiği noktalarda sıcaklığın çok yüksek değerlere ulaşması, bu noktalarda ergime ve buharlaşmalara sebep olur [43].



Şekil 3.2. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi [43].

PVD tekniği, bazı organik malzemeler kadar iyi özelliklere sahip metallerin, alaşımların, bileşiklerin, bileşik karışımlarının ve her tip inorganik malzemelerin kendiliğinden birikmesini sağlayan bir teknolojidir. Yüksek biriktirme hızları aşağı yukarı son 20 yılda elektron ısıtıcısı kaynakların geliştirilmesi ile elde edilmiştir. İnce ve kalın filmler arasındaki kalınlık sınırları bir dereceye kadar serbest alınabilir. Çoğunlukla 1000 Å° (1 mikron) kalınlık ince ve kalın filmler arasındaki sınır olarak kabul edilmektedir. Filmin kalın

veya ince olduğunu belirleyen son bakış açısı filmin yüzeysel özelliklerinin veya hacimsel özelliklerinin ortaya çıkmasına bağlı olmaktadır [44].



Resim 3.1. PVD Kaplama örnekleri [45]

PVD tekniği ile kaplanan numunelerin örnekleri Resim 3.1'de incelenebilir ve faydaları aşağıda belirtilmiştir.

- Uzun ömür,
- Yüksek sertlik,
- Aşınmaya karşı daha dayanıklı yüzey,
- Kimyasal sağlamlık,
- Biyolojik ve farmakolojik uygunluk,
- Yüksek kesme hızı,
- Düşük kesim gücü ile çalışma,
- Çapak birikintisinin önlenmesi,
- Kenar keskinliğinin aynı kalması,
- Çalışılan parçalarda yüzey pürüzlüğünün giderilmesi,
- Kesici takımların tekrar bilenebilme sayısının artması,
- Asit ve muhtelif sıcak gazlara karşı yüksek korozyon mukavemeti,
- Parça ve malzemenin kalıba yapışmasını engellemesi,

- Ergimiş maddenin hızlı ve muntazam akışı,
- Ergimiş malzeme giriş kanalının genişlemesinin önlenmesi,
- Montaj ve alet değiştirme zamanlarının ve makine durma zamanlarının azalması,
- Tamir, bakım ve yenileme işlerinde azalma,
- Yüksek verimlilik,
- Zaman, enerji ve malzeme tasarrufu,
- Üstün kalite gibi avantajları bulunmaktadır.

Kaplanmış takımların dezavantajları ise;

- Konvansiyonel takımlara göre fiyatları pahalıdır.
- Stabil ve yeni nesil CNC, NC ve işleme merkezlerinde istenebilen yüksek performanslara ulaşılmaktadır.
- Yüksek çalışma şartlarına ihtiyaç gösterir,
- İşlenecek malzemenin uygun seçilmesi gerekir. Her tür malzeme ile iyi sonuç vermeyeceği gibi dezavantajları bulunmaktadır.

3.1.2. Kimyasal buhar biriktirme CVD (Chemical Vapour Deposition)

CVD tekniği buhar fazındaki kaplama malzemesinin çok sayıda kimyasal işlemlerden geçirilerek ön ısıtmalı levha üzerine biriktirilmesi olarak tanımlanabilir. CVD tekniği sürecinin temelinde, genellikle gaz fazında olan kimyasal tepkimelerin katı ürünleri, kaplanacak ana malzeme üzerinde biriktirilmesiyle oluşturulur. Dolayısıyla malzeme yüzeyinde çok özel nitelikli ince sert tabakalar meydana gelmiş olur [14].

Kimyasal yolla buharlaştırma işlemleri, grup halinde üretim yöntemlerine sahiptir. Kimyasal buharlaştırmayla katman oluşturarak iş parçalarının kaplanması, kapalı odalarda reaksiyon içinde bırakılarak yapılır. Çok katmanlı katmanlar oluşturmak için heterojen reaksiyonlar geliştirilmesi ve

direkt olarak ana malzeme üzerine gönderilmesi gerekir. Bu arada gaz içinde toz yoğunlaşmasının önüne geçilmesi gerekmektedir [46].

CVD yönteminde, katı fazın yanında sıvı fazda kaplama malzemesi de kullanılır. Bu kimyasal reaksiyonların oluşması için 1000 °C sıcaklıklarda 5-6 saat bekletilerek 5–15µm gibi kalınlıklar elde edilmektedir. Reaksiyon sıcaklığının artmasıyla endotermik reaksiyonda da artma meydana gelmektedir [47].

Kimyasal buhar biriktirme yönteminde ortama gaz halinde verilen kaplama malzemesi, ana malzeme yüzeyinde biriktirilir. Kaplama malzemesi genelde klorür, florür, borür veya iyodür halindedir. Redükleyici olarak kullanılan gaz ise hidrojen gazıdır. Kimyasal reaksiyon sonucu çıkan ikinci ürün ise gaz halindedir ve vakum odasından uzaklaştırılmaktadır [48].

CVD yöntemi tarafından kaplama malzemesi olarak kullanılmayan çok az sayıda metalik element bulunmaktadır. Buna rağmen diğer metodlarla biriktirilemeyen bu elementler için bundan daha önemli bir metod pratikte yoktur. Bu metaller, CVD tekniği ile üretilen tabakalarda birkaç mikronluk kalınlığa kadar biriktirilebilmektedir [49].

CVD'nin şimdiki uygulamaları yüzey kaplamalarının yanında, yüksek saflıktaki metalleri, fiberleri ve yapısal kompozitleri de kuvvetlendirici telleri kapsamına almıştır [42].

CVD ve PVD işlemlerinin maliyeti ısıl işlemleri ile birlikte, kaplanacak parçaların sayısına bağlıdır. PVD kaplama için daha titiz hazırlık ve aparat gerekirken, PVD işlemi daha kısa sürmekte ancak çoğu durumlarda, çok sayıda küçük parçalara CVD' de uygulanması PVD tekniği'nden daha kolaydır. Bazı parçalardaki örneğin "bilya" tamamen kaplanması gerekirse CVD ile kaplanması daha kolaydır [50].

Alışılmış CVD süreçlerinde ince filmler, termokimyasal reaksiyonlar ve gazlar ana malzeme yüzeyine belirli biçimlerde biriktirilir. Tepkimeler hemen hemen termodinamik dengeler altında gerçekleştirilmektedir [51].

CVD yöntemiyle yapılan kaplamaların aşınma dayanımları yaygın olarak denenmiş, çelik yüzeylerin sertleştirilmesi sonucuna yakın sonuçlar elde edilmiştir [52].

CVD tekniğinin özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Kimyasal etkilere karşı yüksek kararlılık,
- Mekanik etkilere karşı yüksek mukavemet,
- Tribolojik etkileşimlere karşı farklı malzemelere kontakt eğilimi,
- Yüksek sertlik ve tokluk özellikleri gibi avantajları göstermektedir.

CVD yönteminde buhar fazındaki metal bileşiklerinin veya reaksiyon ürünlerinin birçoğu korozyon, zehirli, patlayıcı, yanıcı olması, metal bileşiklerinin pahalı ve yüksek sıcaklığın altlık malzemesini deforme etmesi veya tavlama yöntemin dezavantajları arasında sayılabilir.

3.1.3. Doğrudan buhar biriktirme DVD (Direct Vapour Deposition)

DVD sistemi, zengin malzeme çeşidiyle kaplama yapılabilen hızlı, etkili ve az kirlilik üreten bir metod kullanarak kırılğan elementler, bileşim ve alaşımlar ile karmaşık şekiller üzerine kaplama yapabilen, küçük alana sahip yüzeylerde bile yüksek performanslı kalın ve ince film kaplamaların oluşturulmasını sağlamak için tasarlanmış son zamanlarda geliştirilen, ışına dayalı bir elektron buharlaşma teknolojisidir. E- Işın (Elektron-Işın) sistemindeki gelişen teknolojiler ışığından yola çıkarak DVD sistemi ile en etkili kaplamanın oluşturulabilmesi amaçlanmıştır. Böyle bir durumda buharlaştırma elemanı olarak E-Işın sisteminin DVD'de kullanılabilir olduğu görülmüştür. DVD süreci, silindir şeklindeki bir ağızlığın ortasına yerleştirilen çubuk destekli bir potadan metallerin E-Işın ile yüksek oranda buharlaştırılmasıyla karakterize

edilmektedir. Ağızlık içinden geçen taşıyıcı bir gaz akımı, buhar parçacıklarını yüksek verimle iş parçası alt tabakalarına kadar odaklama ile iletilebilen süpersonik bir püskürtme meydana getirir ve bu püskürtme sayesinde kuvvetli bir kaplama oluştururlar [38].

Özellikle otomotiv ve uzay sanayide yüksek hızlarda çalışacak olan parçaların çalışma ortamında bulunan yüzeylerin kaplanmasında (civatalar, perçinler ve diğer bağlantı elemanları) DVD yöntemi rahatlıkla kullanılabilir. Endüstride gaz tribünleri ve yüksek sıcaklık altında çalışan parçalar için kullanılan termal bariyerli kaplamalar DVD'de kolaylıkla kaplanabilmektedir. Birbiri ardına seri olarak bir disk üzerine bağlanan 20mm çapında parçaların her birine 1µm gibi bir kaplama yüzeyi oluşturulacaksa eğer bunun için vakum ortamı hazırlanmışsa kaplamanın tamamlanması 10 dakika gibi kısa bir sürede gerçekleşebilir [53].

DVD yöntemin diğer yöntemlerden ayıran en önemli özelliklerden biride noktasal kaplamanın yapılabilmesidir. Bazı parçaların sadece belli bölgeleri ağır şartlar altında çalışacak ya da parçaların belli bölgelerine kaplama yapılacak ise bu işlemler DVD'de rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir. PVD yönteminde işlem odasına alınan parçaların bütün yüzeyleri buhar altında kaldığından dolayı bütün yüzeyler kaplanmaktadır. Her ne kadar PVD yönteminde bir seferde kaplanacak parça sayısı fazla olsa da hız bakımından DVD'den yavaştır. DVD'de bir parça dakikada ortalama 1µm gibi bir hızda kaplanabilmektedir. DVD'de çok küçük parçaların kaplanması kolaylıkla yapılabilir. PVD' de sistemin kaplamaya hazırlanması ve gerekli üretim giderleri pahalıdır. Bu nedenle kaplanacak olan malzemelerin adetleri bir seferde ne kadar çok olursa o kadar avantajlı olur. Ancak DVD yönteminde kaplanacak malzeme sayısının az olması sisteme herhangi bir maliyet artışı getirmemektedir [54].

DVD sisteminde taşıyıcı gazın püskürtülmesi akış tüpünden yeterince yüksek bir hızla çıkartılarak taşıyıcı gaz akımında birbiri ardına yakalanan DVD

atomları hızlandırılmaktadır. Hızlandırma meydana geldiğinde, buhar atomları ana malzemeye 0,5-2 eV'lik bir kinematik enerjiyle çarpabilirler. Bu tür enerji seviyeleri yüzey difüzyondaki etkileşme enerjisiyle karşılaştırılabilir. Böylece DVD atomları, düşük enerji alanlarına sahip yüzey difüzyon oranları ile yerleşmiş termik buharlaşma metotlarıyla gözlemlenen seviyelerin üstüne çıkarmaya yetecek kadar enerjiye sahip olmaktadır. Enerjiye sahip taşıyıcı gaz atomlarının alt tabaka bombardımanı da artan bir kaplama filminde yararlı atom düzenlemelerinin yapılmasına yardım etmektedir. DVD süreci azaltılmış ana malzeme ısılarında yararlı mikro-yapılar oluşturabilmekte, böylece kaplama yığını bir nevi azaltabilmektedir [55].

DVD tekniği, işlem sürecindeki dört temel niteliği endüstriyel açıdan verimli olacak şekilde bir sistemde birleştirme gereksiniminden ortaya çıkmıştır [14].

Bunlar:

- 1) Çok yüksek oranda buhar birikimi,
- 2) Yüksek oranda zengin kaplama malzemesi kullanma verimliliği ise (100 cm²'lik alanlarda kullanım ve verimlilik diğer kaplama teknolojilerinin en az üç katıdır.),
- 3) Kaplama katmanının atom yapısının tam kontrolü,
- 4) Kaplama katmanı atom bileşiminin son derece esnek verilebilmesi.

DVD tekniğinin faydalarını şöyle sıralayabiliriz:

- Düşük basınçta vakum ortamı,
- Kontrol edilebilir mikro yapılar,
- Eğri yüzeylere biriktirme yapılabilmesi,
- Çok katmanlı alaşımların biriktirilmesi,
- Yüksek oranda reaktif biriktirme,
- Verimli biriktirme oranları,
- Düşük maliyetli malzeme fiyatlarına sahip olması gibi avantajları söylenebilmektedir.

3.2. AISI 3343 Yüksek Hız Çeliklerinin Malzeme Özellikleri

AISI 3343 çeliği, standart yüksek hız çeliğidir. Dengeli alaşımları ve özel üretim metodu sonucu yüksek tokluk, yüksek kesme özelliğine sahip, çok yönlü kullanma alanı olan bir çeliktir. %0.12 kükürtlü olanı 1.3341 olarak bilinmektedir [56].

Genelde yeterli oranda karbon ve yüksek oranda alaşım elementlerinden oluşmaktadır. Bu alaşım elementlerinden büyük bir çoğunluğu karbür halinde malzeme bünyesinde dağılmış durumdadır. Bu karbürlerin bir kısmı yüksek sıcaklıkta çözünmezler. Çalışma sıcaklıklarında sertliklerini kaybetmezler. Yüksek hız çelikleri, takım çeliklerine göre yüksek ısıya dayanabilme ve daha yüksek sertliğe ulaşabilme özelliklerine sahiptir.

Helisel matkap ve her türlü freze bıçağı, kılavuzlar, raybalar, çeşitli kesici takımlar, havşa matkapları, dairesel testereler ve segmanları, boşaltma tığları, darbeli kesiciler, ahşap işlemeye uygun frezeler ve planya bıçakları ve makine testereleri imalatında kullanılır. Soğuk metodla civata, somun ve benzeri parçaların imalinde matris, zımba ve şişirici olarak da kullanılmaktadır.

AISI 3343 yüksek hız çeliği karbür (K) oranına göre sertleştirme ve yumuşatma sıcaklıkları değişim gösterdiğinden dolayı içerdiği K oranına bağlı olarak rayba, spiral matkap, freze, kılavuz, pafta, kesme, tornalama, kalıp ve boşaltma takımlarının üretiminde kullanılmaktadır [56].

$$K = \%W + 1,9\%Mo + 6,3\%V$$

AISI 3343 yüksek hız çeliğinin mekanik özellikleri Çizelge 3.1'de incelenmiştir.

Çizelge 3.1. AISI 3343 yüksek hız çeliğinin mekanik özellikleri

MALZEME	SERTLİK [HB 30]	R _{0,2} [MPa]	R _m [MPa]	Kopma Uzaması [%]	E [Mpa]	α [1/°K]	λ [J/s.mm.°K]
3343	269-280	580-790	600-900	4	2.2x10 ⁵	14x10 ⁻⁶	0,039

Yapılan literatür çalışmalarına göre, deneysel çalışmalarda kullanılan AISI 3343 yüksek hız çeliğinin mekanik özellikleri ile ilgili mekanik özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

AISI 3343 çeliğinin kimyasal özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. AISI 3343 yüksek hız çeliğinin kimyasal özellikleri

Malzeme	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%W	%Mo	%V	%S	%P
3343	0,94	0,24	0,33	3,94	0	6,79	4,79	1,72	0,0018	0,026

AISI 3343 çeliği, satın alınırken malzeme karakteristik belgesiyle birlikte alınmıştır. Fakat numunelerin kimyasal özelliklerinden emin olmak için KOSGEP'te numunelerin kimyasal analizine tekrar bakılarak numunelere ait kimyasal özellikleri tespit edilmiştir (Çizelge 3.2).

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Amaç

Endüstride aşınmayı azaltmak, takım ömrü ve verimliliği iyileştirmek için benimsenen yaklaşımlardan kesici takımlara PVD tekniği ile TiN ve CrN kaplamanın önemli faydaları, yüksek sertlik ve aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, yüksek sıcaklık mukavemeti ve kimyasal kararlılık ile kesme kenarında temas şartlarını iyileştirmektedir. TiN kaplamalarla mükemmel abrazyon, adhezyon, krater, aşınma direnci kazandırma ve düşük kesme hızlarında kesici kenarlarında talaş yığılmasını engelleyerek takımların iş parçası malzemesi ve kesme performansının arttığı gözlenmiştir.

Kalıp sektöründe, AISI 3343 yüksek hız çeliği kalıp zımbası olarak yoğun olarak kaplamasız kullanılmaktadır. Bu çalışmada, AISI 3343 çeliği kalıp zımbasından numuneler hazırlanmış, sertleştirilmiş, PVD tekniği ile TiN ve CrN kaplanmış deney numuneleri, Pin-On disk deney cihazında 40cm/s kayma hızında, zamana bağlı olarak 500m, 750m ve 1000m kayma mesafesi 5N ve 10N yük altında aşınma miktarları deneysel olarak araştırılmıştır.

Kalıp zımbalarında kullanılan çeliğin mikrosertlik ölçümleri, yüzey pürüzlülüğü, SEM ve EDS analizleri ile tespit edilerek numunelerin aşınma performansları incelenmiştir.

4.2. Materyal ve Metod

Çeşitli kesici takımlar, kılavuzlar, raybalar segmanlar, matkaplar, testereler, soğuk metotla üretilmiş civata, somun gibi parçaların imalatında ve genellikle kalıp zımbalarında kullanılan ve Çizelge 3.1'de mekanik özellikleri, Çizelge 3.2'de kimyasal özellikleri verilen AISI 3343 yüksek hız çeliği deneyler için numune olarak kullanılmıştır. Pin-On disk deney cihazında Ø34x5mm

ebatlarındaki deney numunelerinin üzerinde aşındırıcı olarak $\text{Ø}6$ mm alümina top kullanılmıştır.

Deney numunelerinin 34 mm çapında 5 mm eninde özdeş olarak üretilmesi için torna tezgâhı ve taşlama tezgâhı kullanılmıştır.

Özdeş ebatlardaki deney numunelerine Makina Takım Endüstrisi A.Ş. de sertleştirme işlemi yapılmıştır.

Deney numuneleri, İstanbul'da faaliyet gösteren IONBOND Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş.'de bulunan katodik ark PVD yöntemiyle TiN ve CrN kaplanmıştır (Resim 4.1).



Resim 4.1. IONBOND PVD kaplama cihazı

Aşınma testleri için İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi'nde CSM marka Pin-On disk aşınma deney cihazı kullanılmıştır (Resim 4.2).



Resim 4.2. CSM Pin-On disk aşınma deney cihazı

Kaplamasız, PVD tekniği ile TiN ve CrN kaplanmış deney numunelerinin yüzey pürüzlülüklerinin ölçümü için, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi'nde bulunan profilmetre cihazı kullanılmıştır.

4.2.1. Numune hazırlama

İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi'ndeki aşınma cihazı ve TPAO da ki SEM cihazına uygun olarak numuneler AISI 3343 çeliğinden torna ve taşlama tezgâhında $\text{Ø}34 \times 5 \text{mm}$ ebatlarında özdeş olarak işlenerek elektrikli titreşim kalem ile kodlaması yapılmıştır.

4.2.2. Numunelerin sertleştirilmesi

Deney numunelerinin sertleştirilmeden önceki sertliği 32 HRc iken, Makina Takım Endüstrisi A.Ş. firmasında 1000 °C de 30 dakika tavlانیp 200 °C'de

60 dakikada 2 defa menevişlenerek hava ortamında soğutulmuştur. Sertleştirme sonrası numunelerin sertliği 62–65 HRc olarak ölçülmüştür.

4.2.3. Numunelerin TiN kaplanması

Ionbond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş.'de yapılan TiN kaplama işleminde kullanılan parametreleri Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. TiN Kaplama parametreleri

Numune	Temel Gerilim (V)	Ark akımı (A)	Süre (Dk.)	Sıcaklık (°C)	Kalınlık (µm)	Kaplama sertliği (HV)
3343	110	50	70	300	3	2400

Numunelerin parlatma işlemi tamamlandıktan sonra numunelere 2 adet alkali (bazik) deterjan kullanılarak ultrasonik kimyasal temizlik yapılmıştır. Sonrasında temiz su ile durularak ve en son demineralize sudan geçirilmiş numuneler sıcak hava ile kurutma işlemi yapıldıktan sonra kaplama kabine yerleştirilmiştir. 10^{-5} değerine kadar vakum alma işlemi uygulanmış ve daha sonra Çizelge 4.1'de belirtilen parametrelerde kaplama işlemine geçilmiştir. Kaplama sonrasında vakumda soğutma ve kabinden alınarak Al_2O_3 fırça ile yüzeydeki sıvı damlacıkları temizlenmekte ve fırçalanıp koruyucu yağ ile yağlanarak kaplama işlemi tamamlanmıştır.

4.2.4. Numunelerin CrN kaplanması

Ionbond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş.'de yapılan CrN kaplamaların parametreleri Çizelge 4.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 CrN Kaplama parametreleri

Numune	Temel Gerilim (V)	Ark akımı (A)	Süre (Dk.)	Sıcaklık (°C)	Kalınlık (µm)	Kaplama sertliği (HV)
3343	150	50	60	350	3	3000

CrN kaplanacak numunelerin polisaj işlemi tamamlandıktan sonra numunelere 2 adet alkali (bazik) deterjan kullanılarak ultrasonik kimyasal temizlik yapılmıştır. Sonrasında temiz su ile durularak en son demineralize sudan geçirilmiş numuneler sıcak hava ile kurutma işlemi yapıldıktan sonra kaplama kabineye yerleştirmiştir. 10^{-5} değerine kadar vakum alma işlemi uygulanmış ve daha sonra Çizelge 4.2' de belirtilen parametrelerde kaplama işlemine geçilmiştir. Kaplama sonrasında vakumda soğutma ve kabinden alınarak Al_2O_3 fırça ile yüzeydeki sıvı damlacıkları temizlenmekte ve fırçalanıp koruyucu yağ ile yağlanarak CrN kaplama işlemi tamamlanmıştır.

4.2.5. Numunelerin aşınma deneylerinin yapılışı ve elde edilen veriler

Aşınma deneyleri İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi'nde CSM marka Pin-On disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir (Resim 4.2).

Aşınma deneyleri oda sıcaklığında ve normal şartlar altında kuru sürtünme olarak yapılmıştır. Numuneler 0,4m/sn kayma hızında, 500m, 750m ve 1000m yol alarak 5N ve 10N yük (aşındırma kuvveti) altında aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Aşınma deneylerinde numuneler aşınma cihazının üzerine yerleştirildikten sonra 10mm pin şeklindeki malzemenin içine 6mm çapında alümina top yerleştirilmiştir. Top malzemeye sabitleştirilerek deneylerin sağlıklı gerçekleşmesi için deney numunesi ve alümina top (aşındırıcı) asetonla temizlenmiştir. Alümina topun bağlı olduğu malzeme üzerine istenilen yük

konularak numuneye baskı yapması sağlanmıştır. Diskin dönmesiyle numune üzerinde dairesel yörüngede aşınma izleri meydana gelir. Her numune için hem alümina top, hem de numunenin üzeri asetonla temizlenerek deney için tekrar hazırlanmıştır.

TiN kaplama, CrN kaplama ve kaplamasız numuneler için ayrı ayrı alümina top kullanılmıştır.

Kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin aşınma miktarları Çizelge 4.3 - Çizelge 4.5'de gösterilmektedir.

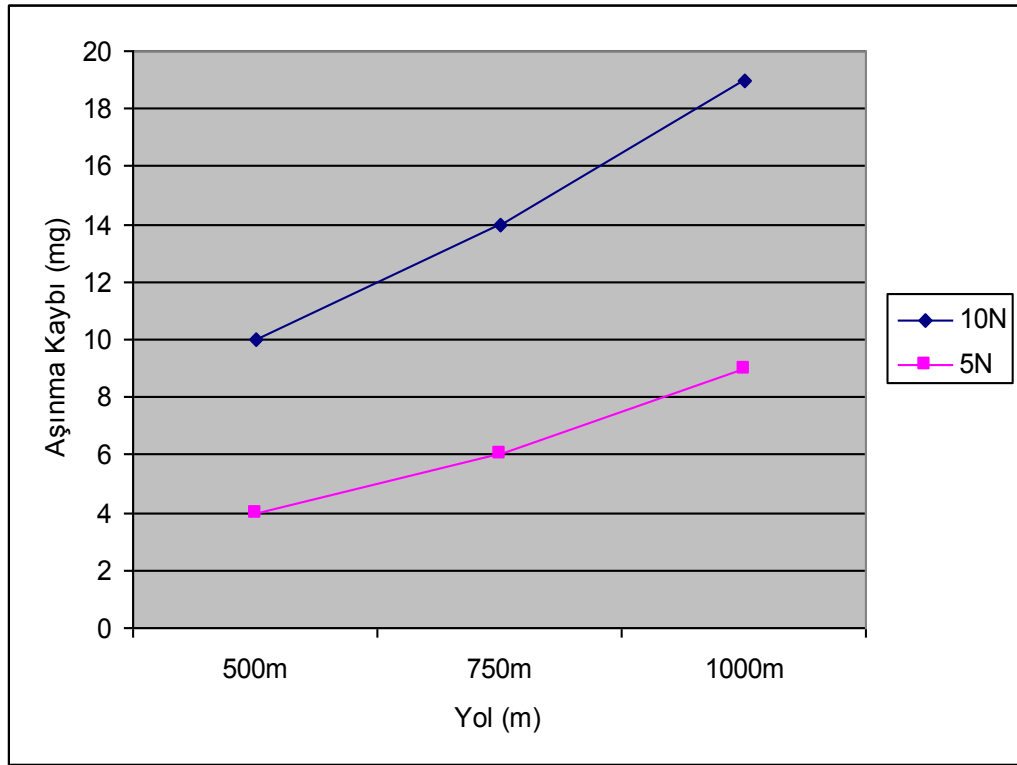
Çizelge 4.3. Kaplamasız deney numunelerinin aşınma miktarları

Malzeme	Numune	Parça No	Yol	Ağırlık	SONUÇ		
					AŞINMA KAYBI		
					1. Ölçüm	2. Ölçüm	Fark
KAPLAMASIZ	1. Numune	1.01	1000m	10N	40,245	40,2431	0,0019
		1.02	750m	10N	40,4544	40,453	0,0014
		1.03	500m	10N	39,6064	39,6054	0,0010
	2. Numune	1.04	1000m	10N	39,9651	39,9631	0,0020
		1.05	750m	10N	40,5375	40,536	0,0015
		1.06	500m	10N	40,6666	40,6655	0,0011
	3. Numune	1.07	1000m	10N	40,6672	40,6652	0,0020
		1.08	750m	10N	40,5877	40,5862	0,0015
		1.09	500m	10N	40,4619	40,4609	0,0010
	4. Numune	1.10	1000m	5N	40,4725	40,4716	0,0009
		1.11	750m	5N	40,569	40,5684	0,0006
		1.12	500m	5N	40,6948	40,6944	0,0004

Diske bağlanan deney numuneleri deney öncesinde ağırlık hassasiyeti 1 mg olan hassas dijital terazide ölçülmüştür. Daha sonra Pin-On disk aşınma cihazında belirlenen yük ve alınan yolda maruz kaldığı aşınma işlemi gerçekleştirildikten sonra numuneler tekrar aynı hassas dijital terazide ölçülerek aşınmadan dolayı meydana gelen ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Bu işlem kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numuneler için aynı

şartlarda yapılmış ve izelge 4.3 – izelge 4.5'de aşınma miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 4.3'de aşınma değerleri verilen 5N ve 10N yükte aşındırılan numunelerin aşınma grafikleri şekil 4.1'de gösterilmektedir.



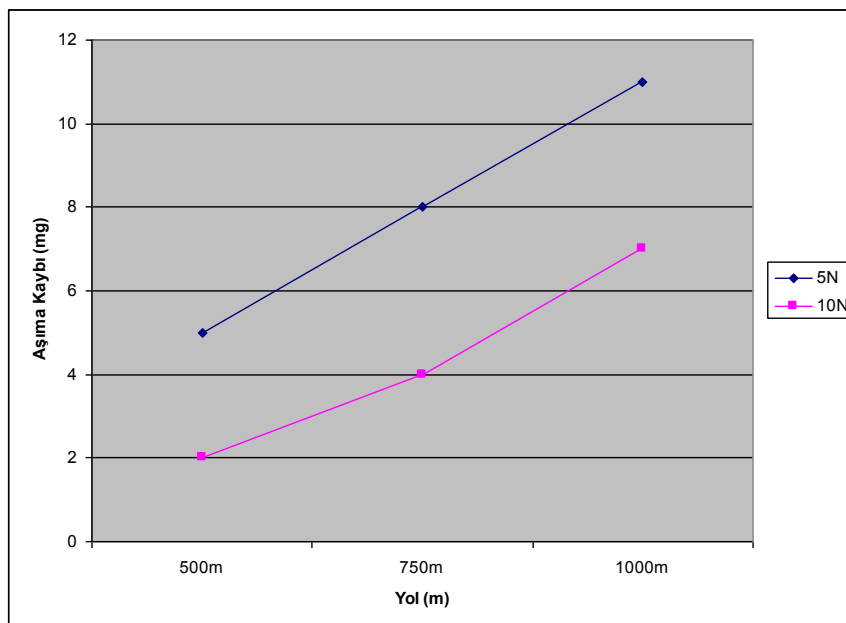
şekil 4.1. Kaplamasız numunelerin 5N ve 10N yükteki aşınma grafiği

5N ve 10N yükte aşınmaya maruz bırakılan kaplamasız numunelerin aşınma kayıpları alınan yolla orantılı ve 10N yükle aşınan numunenin 5N yükle aşınan numuneye oranla yaklaşık %57 oranında fazla aşınma şekil 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.4. TiN Kaplanmış deney numunelerinin aşınma miktarları

Malzeme	Numune	Parça No	Yol	Ağırlık	SONUÇ		
					AŞINMA KAYBI		
					1. Ölçüm	2. Ölçüm	Fark
TiN KAPLANMIŞ	1. Numune	2.01	1000m	10N	40,6149	40,6138	0,0011
		2.02	750m	10N	40,5223	40,5215	0,0008
		2.03	500m	10N	40,6483	40,6478	0,0005
	2. Numune	2.04	1000m	10N	40,5122	40,511	0,0012
		2.05	750m	10N	40,4839	40,4831	0,0008
		2.06	500m	10N	40,5328	40,5322	0,0006
	3. Numune	2.07	1000m	10N	40,4949	40,4939	0,0010
		2.08	750m	10N	40,5515	40,5508	0,0007
		2.09	500m	10N	40,5477	40,5472	0,0005
	4. Numune	2.10	1000m	5N	40,5785	40,5778	0,0007
		2.11	750m	5N	40,5058	40,5054	0,0004
		2.12	500m	5N	40,6618	40,6616	0,0002

Çizelge 4.4'de verilen TiN kaplamalı 5N ve 10N yükte aşındırılan numunelerin aşınma kaybının grafikleri Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



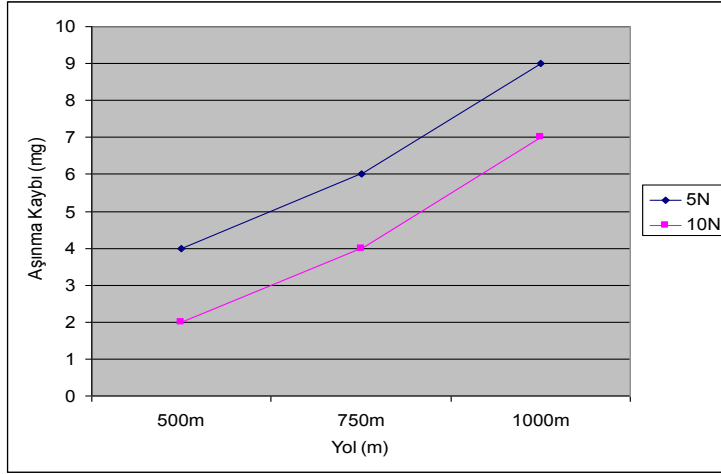
Şekil 4.2. TiN Kaplamalı numunelerin 5N ve 10N yükteki aşınma grafiği

TiN kaplamalı 5N ve 10N yükte aşınmaya maruz bırakılan numunelerde kaplamasız numunelere oranla daha az aşınma kaybı olduğu, birbirleri arasında 10N yük ile aşınan numune ile 5N yükte aşınan numunedeki aşınma kaybı alınan yolda orantılı ve yaklaşık %43 oranında bir kayıp olduğu Şekil 4.2'de görülmektedir.

Çizelge 4.5. CrN Kaplanmış deney numunelerinin aşınma miktarları

Malzeme	Numune	Parça No	Yol	Ağırlık	SONUÇ		
					AŞINMA KAYBI		
					1. Ölçüm	2. Ölçüm	Fark
CrN KAPLANMIŞ	1. Numune	3.01	1000m	10N	40,6271	40,6262	0,0009
		3.02	750m	10N	40,5498	40,5492	0,0006
		3.03	500m	10N	40,5205	40,5201	0,0004
	2. Numune	3.04	1000m	10N	40,6376	40,6366	0,0010
		3.05	750m	10N	40,4772	40,4766	0,0006
		3.06	500m	10N	40,5416	40,5411	0,0005
	3. Numune	3.07	1000m	10N	40,7084	40,7075	0,0009
		3.08	750m	10N	40,5959	40,5952	0,0007
		3.09	500m	10N	40,6055	40,6051	0,0004
	4. Numune	3.10	1000m	5N	40,6593	40,6586	0,0006
		3.11	750m	5N	40,7608	40,7604	0,0004
		3.12	500m	5N	40,5763	40,5761	0,0002

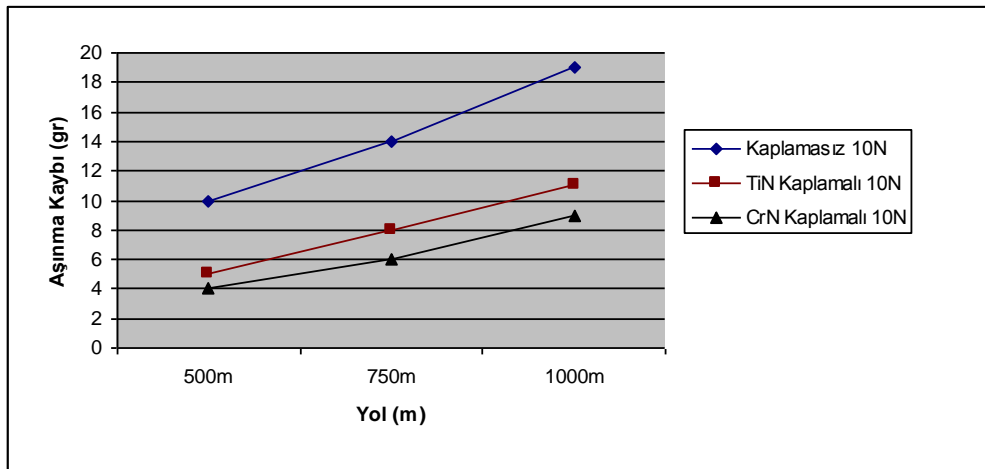
Çizelge 4.5'de verilen TiN kaplamalı 5N ve 10N yükte aşındırılan numunelerin aşınma kaybı grafikleri Şekil 4.3'de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. CrN Kaplamalı numunelerin 5N ve 10N yükteki aşınma grafiği

CrN kaplamalı 5N ve 10N yükte aşınmaya maruz bırakılan numunelerde kaplamasız ve TiN kaplamalı numunelere oranla daha az aşınma kaybı olduğu, birbirleri arasında 10N yük ile aşınan numune ile 5N yükte aşınan numunedeki aşınma kaybı alınan yolda orantılı ve ortalama %35 oranda bir kayıp olduğu Şekil 4.3'de görülmektedir.

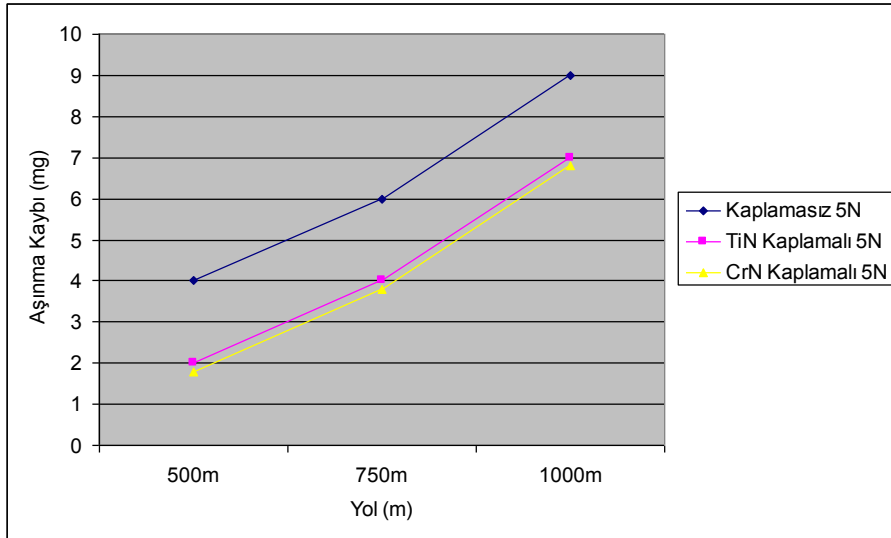
Kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin 10N yükte aşındırılarak Çizelge 4.3 – Çizelge 4.5'de gösterilen aşınma kayıplarının grafiği Şekil 4.4'de gösterilmektedir.



Şekil 4.4. 10N Yükte kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin aşınma grafiği

10N yükte aşındırılan kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin alınan yola bağlantılı olarak kaplamalı numunelerin kaplamasız numunelere oranla daha az aşınma kaybı olduğu, kaplamalı numunelerde de TiN kaplamalı numunelerin CrN kaplamalı numunelere oranla daha fazla aşındığı Şekil 4.4'de görülmektedir.

Çizelge 4.3 – Çizelge 4.5'de belirtilen 5N yükte aşınma kaybına maruz kalan kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin grafikleri Şekil 4.5'de gösterilmektedir.

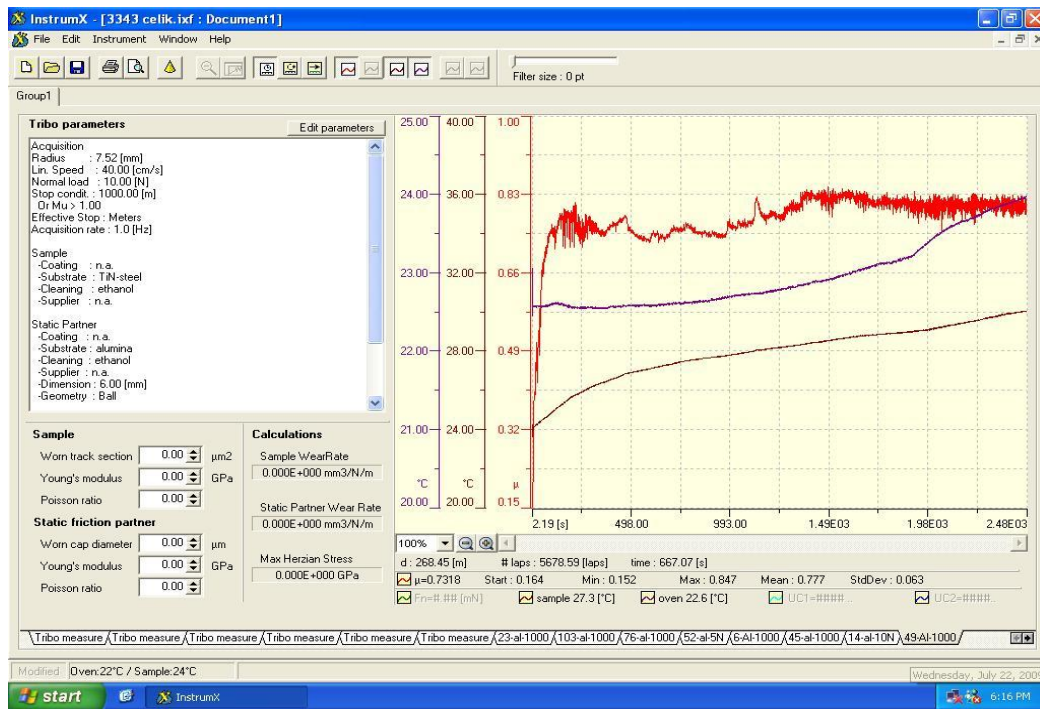


Şekil 4.5. 5N yükte kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin aşınma grafiği

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de görüldüğü gibi üç farklı numune üzerinde ağırlık ve aldığı yola göre aşınma miktarları kaplamasız numunelerin diğer numunelere oranla en fazla aşınma kaybı olduğu görülmektedir. TiN kaplamalı numunelerin aşınma miktarı kaplamasız numunelere oranla az ama CrN kaplamalı numunelere oranla aşınma miktarı fazladır. Şekil 4.5'de CrN kaplama ile TiN kaplamanın 5N yük altında aşınma kayıplarının yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir. Fakat en az aşınan numunenin CrN kaplanmış numuneler olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar ; “ aşınma deneylerinde ağırlık kaybı ölçümü aşınmanın çok düşük olduğu aşınma dirençli kaplamalar için yeterince hassas değildir [38]” görüşünü desteklemektedir.

Kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin sürtünme katsayıları bilgisayar ortamında ve cihazın normal şartlar altında aşınma testi yaparken Pin-On disk cihazından kayıt altına aldığı otomatik olarak sürtünme kuvveti ve aşınma değerleri Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Sürtünme katsayısı ve aşınma şartları grafik örneği

Numunelerin sürtünme katsayıları ve aşınma şartları verilen (Şekil 4.6) resimlerden, numunelerin 5N ve 10N yükte aldığı yola bağlı olarak sürtünme katsayıları karşılaştırabilmek için aşınma şartları ve sürtünme katsayıları bir çizelge halinde Çizelge 4.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Numunelerin aşınma şartları ve sürtünme katsayıları çizelgesi

Malzeme	Numune	Parça No	Yük	Yol	Sürtünme Katsayısı
KAPLAMASIZ	1. Numune	1.01	10	1000m	0,8653
		1.02	10	750m	0,7995
		1.03	10	500m	0,7595
	2. Numune	1.10	5	1000m	0,7789
		1.11	5	750m	0,7531
		1.12	5	500m	0,7318
TiN Kaplamalı	1. Numune	2.01	10	1000m	0,7743
		2.02	10	750m	0,7131
		2.03	10	500m	0,6779
	2. Numune	2.10	5	1000m	0,7255
		2.11	5	750m	0,6636
		2.12	5	500m	0,6021
CrN Kaplamalı	1. Numune	3.01	10	1000m	0,6942
		3.02	10	750m	0,6338
		3.03	10	500m	0,5691
	2. Numune	3.10	5	1000m	0,6370
		3.11	5	750m	0,5649
		3.12	5	500m	0,5005

Kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin Pin-On disk cihazında aşınmaya maruz bırakıldıktan sonraki sürtünme katsayıları Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Kaplamasız numunelerin TiN kaplamalı numunelere göre 10N yükte %10 oranında fazla bir sürtünme gösterirken CrN kaplamalı numunede %20 daha fazla bir sürtünme göstermektedir. Sürtünme katsayıları verilen kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerde kaplamasız numunelerin kaplamalı numunelere oranla daha fazla bir sürtünmeye maruz kaldığı gözlenmiştir.

4.2.6. Numunelerin mikrosertlik metodu ve ölçümü

Kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin mikrosertlik testleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Malzeme Bölümü laboratuvarında SHMADZU HMV Micro Hardness Tester marka cihazda gerçekleştirilmiştir (Resim 4.3). Numuneler bakalite alındıktan sonra numunenin yüzeyinden yapılan mikrosertlik testi verileri Çizelge 4.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. Numunelerin mikrosertlik test verileri

Sertlik Testi	Kaplamasız	TiN Kaplamalı	CrN Kaplamalı
HV0,05	813	2105	2248
HRc	65	-	-

Kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numuneleri bakalite alarak numunelerin yüzeyinden 50gr ağırlığında bir yük uygulayarak numune üzerinde üç ayrı noktadan sertlik ölçümleri yapılmış olup bunların ortalamaları Çizelge 4.7'de görüldüğü gibidir. CrN kaplamalı numunenin ortalama 2248 Hv sertlikte olup diğer numunelere göre en fazla sertliğe sahip numune olduğu görülmektedir.



Resim 4.3. Mikrosertlik ölçüm cihazı

Yapılan mikrosertlik testi sonucunda, malzemelerin yüzeyde sertleşebilirliğinin daha fazla olduğu, TiN kaplama sırasındaki kaplama sıcaklığı malzemeye etki yaptığı bu durumun sertliği azalttığı görülmektedir. Mikrosertlik incelemelerinde malzemelerde sertleşebilirlik yüzeyden merkeze

doğru azalmıştır. Dolayısıyla malzemenin yzeyi daha serttir. Bunun yanında grafikte TiN kaplama sırasındaki ortam sıcaklığı (350°C) malzemelere meneviş etkisi yapmış ve buna bağlı olarak azda olsa sertlik azalmıştır. elik numunelerin kaplanmasında ortam sıcaklığının mikrosertlikler üzerinde etkili olduğu daha önceki yapılan çalışmalarda da tespit edilmiştir [38].

4.2.7. Numunelerin yzey pürüzlülüğünün incelenmesi

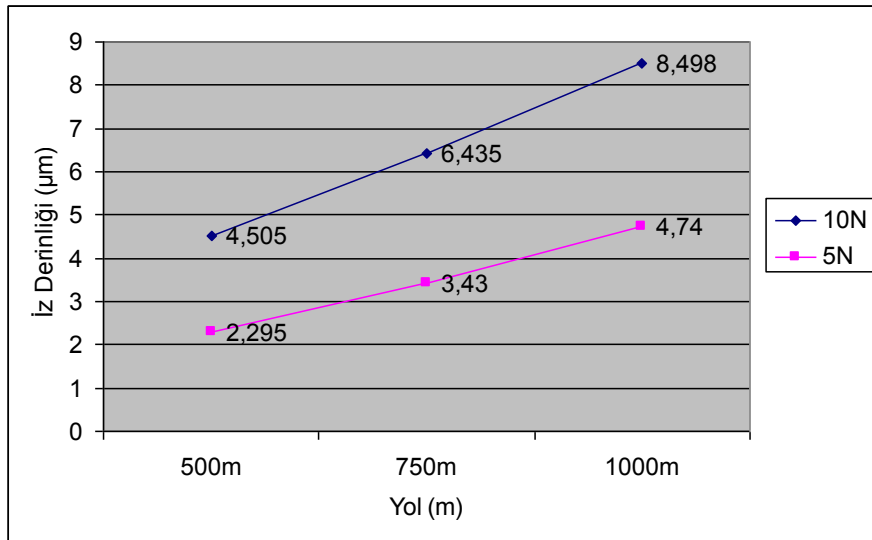
Numunelerin yzey pürüzlülükleri İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi'nde Profilmetre yzey pürüzlülüğü cihazıyla ölçülmüştür. Deney numuneleri aşınmaya maruz kaldıktan sonra profilmetrede numunenin üzerinde karşılıklı dört noktadan profilleri alınarak yzey pürüzlülükleri iz genişliği ve iz derinliği olarak aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir (Çizelge 4.8–4.10). İz derinlik ve iz genişliklerine göre kıyaslanırsa TiN ve CrN kaplamalı numunelerin kaplamasız numunelere göre iz derinliği ve iz genişliği daha azdır. Fakat CrN kaplamalı numunelerin iz genişlikleri ve iz derinlikleri en azdır.

Çizelge 4.8. Kaplamasız numunelerin yzey pürüzlülüğü sonuçları

Malzeme	Numune	Parça No	Yol (m)	Ağırlık (N)	SONUÇ	
					İz Derinliği (µm)	İz Genişliği (µm)
KAPLAMASIZ	1. Numune	1.01	1000	10	8,498	740,05
		1.02	750	10	6,435	678,75
		1.03	500	10	4,505	606,25
	2. Numune	1.04	1000	10	8,505	750,15
		1.05	750	10	6,792	671,25
		1.06	500	10	4,415	605,25
	3. Numune	1.07	1000	10	8,462	752,75
		1.08	750	10	6,701	677,00
		1.09	500	10	4,395	602,00
	4. Numune	1.10	1000	5	4,740	604,00
		1.11	750	5	3,430	540,50
		1.12	500	5	2,295	494,75

AISI 3343 çeliği kaplamasız olarak 12 adet parça, Pin-On Disk aşınma cihazında 5N ve 10N yükte 500m, 750m ve 1000m aldıkları yolda aşınma testleri yapıldıktan sonra profilmetrede, aşınan dairenin dört tarafından karşılıklı olarak iz derinliği ve iz genişliği ölçümleri yapılmıştır. Her üç parça bir numune olarak belirtilmiştir. 1.numune, 2. numune ve 3. numune 10N yükte aşındırılmış olup 4. numune 5N yükte aşınmaya tabi tutulmuştur. Bu numunelerin yüzey pürüzlülükleri normal şartlar altında yapılmıştır.

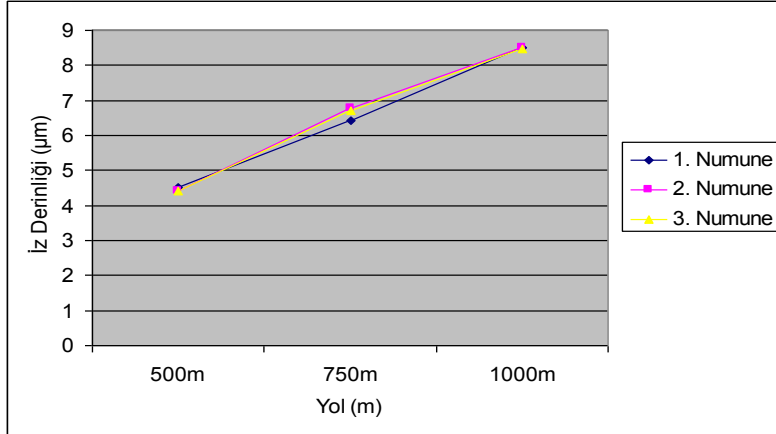
Çizelge 4.8'de belirtilen kaplamasız numunelerin yüzey pürüzlülüklerinin incelenmesinde 1., 2. ve 3. numuneler aynı şartlar altında ve aynı yükte incelendiğinden Şekil 4.7'de görüldüğü gibi 5N ve 10N yükteki iz derinliğinin karşılaştırılması için 1. numune ve 4. numune seçilmiştir.



Şekil 4.7. Kaplamasız numunelerin 5N ve 10N yükte aldıkları yolun iz derinliğinin grafiği

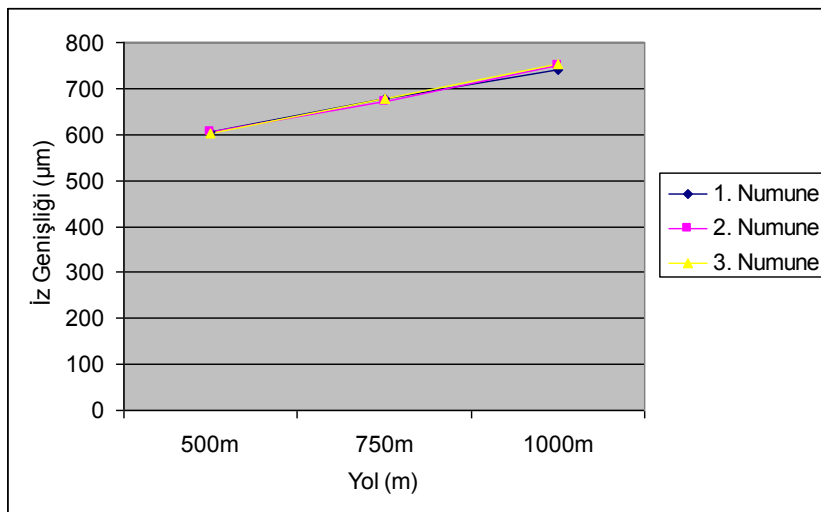
Kaplamasız numunelerin 5N ve 10N yük altında Pin-On Disk yöntemiyle 500m, 750m ve 1000m'lik yollarda aşınmaya maruz bırakılarak 2 numunede iz derinlikleri karşılaştırılmıştır. 10N yük uygulanan numune sabit hızla azalan bir etki gösterirken 5N yükte aynı şekilde etki göstermektedir. 5N yük uygulanan numune 10N yük uygulanan numunenin yaklaşık yarısı oranda bir

iz derinliğine maruz kalmıştır. Kaplamasız numunelerin aynı yükte aşınmaya maruz bırakılarak yüzey pürüzlülük grafiği Şekil 4.8'de verilmiştir.



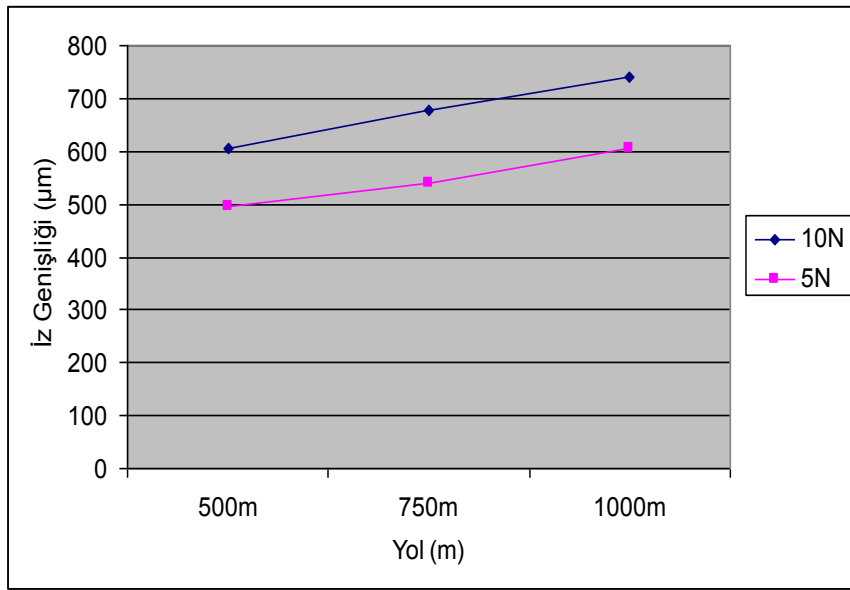
Şekil 4.8. Kaplamasız 10N luk numunelerin aldığı yola göre iz derinliği grafiği

Şekil 4.8'de 10N yükte kaplamasız 1., 2. ve 3. numuneler karşılaştırıldığında numunelerin iz derinlikleri aşınma için ilerlenen yola bağlı olarak, yol azaldıkça iz derinliklerinin de orantılı olarak azaldığı ve aynı şartlardaki üç numunenin de birbirleri ile yaklaşık olarak aynı iz derinliklerine sahip olduğu gözlenmiştir. Bu üç numunenin yüzey pürüzlülüğündeki iz genişliğinin grafiği Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Kaplamasız 10N luk numunelerin aldığı yola göre iz genişliği grafiği

Yüzey pürüzlülüğünde İz derinliğinin yola bağlı olarak orantılı bir şekilde azalması iz genişliğinin de orantılı bir şekilde azalması gerektiğini göstermektedir. Şekil 4.9'da iz genişliğinin 10N yüke maruz kalmış uç numunenin iz genişliği aynı şartlardaki numunelerde aynı iz genişliğine alınan yola bağlı olarak da orantılı azalan bir iz genişliği gözlenmiştir. 10N yükle aşınan numunelerin 5N yükle aşınan numuneye göre iz genişliklerinin karşılaştırılması Şekil 4.10'da ki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Kaplamasız numunelerin 5N ve 10N yükte aldıkları yolun iz genişliği grafiği

5N ve 10N yük altında aşınmaya maruz kalan kaplamasız numuneler Şekil 4.10'da görüldüğü gibi 10N yükte aşındırılan numunelerin iz genişliği 5N yükte aşındırılan numunelerin iz genişliğine göre ve aynı şartlardaki numunelere göre yaklaşık %20 oranında sabit bir artmaya rastlanmıştır.

Çizelge 4.8'de kaplamasız numunelerin iz derinliği ve iz genişliği incelenmiş olup, Şekil 4.7 - Şekil 4.10'da iz derinlik ve iz genişliği grafikleri ile yorumlanmaktadır. AISI 3343 çeliği kalıp zımbalarının TiN kaplayarak Pin-On disk aşınma cihazında 5N ve 10N yükte kaplamasız numunelere uygulandığı

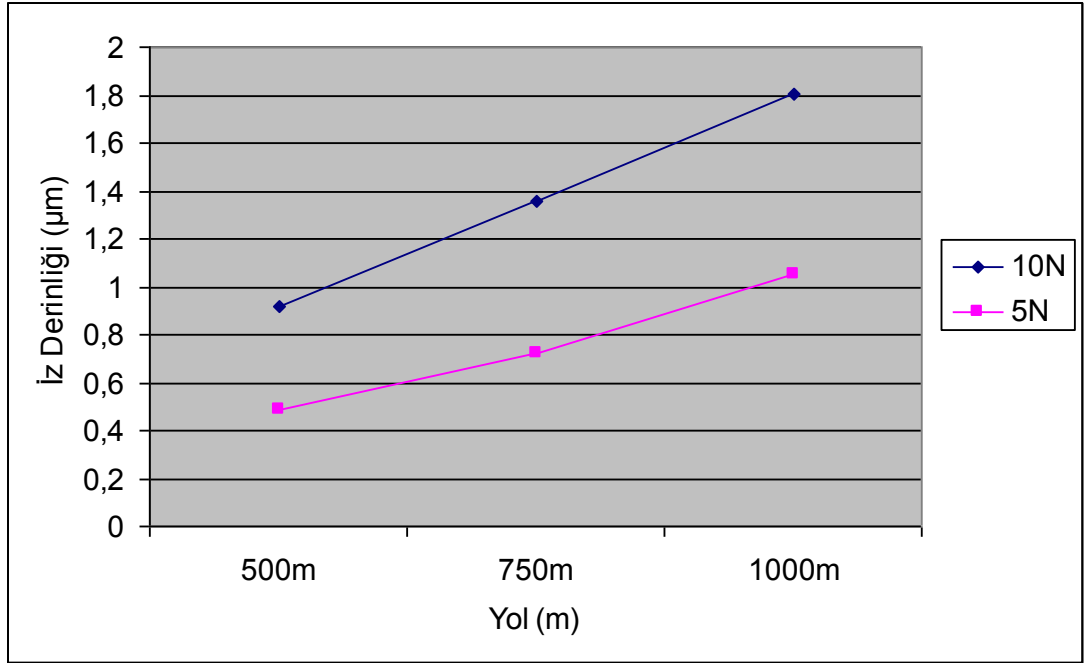
gibi aşınmaya maruz bırakılarak iz derinlik ve iz genişlikleri Çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. TiN kaplamalı numunelerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları

Malzeme	Numune	Parça No	Yol (m)	Ağırlık (N)	SONUÇ	
					İz Derinliği (µm)	İz Genişliği (µm)
TiN KAPLANMIŞ	1. Numune	2.01	1000m	10N	1,805	585,25
		2.02	750m	10N	1,358	522,50
		2.03	500m	10N	0,921	475,25
	2. Numune	2.04	1000m	10N	1,796	580,50
		2.05	750m	10N	1,344	518,75
		2.06	500m	10N	0,897	470,92
	3. Numune	2.07	1000m	10N	1,795	580,40
		2.08	750m	10N	1,351	520,40
		2.09	500m	10N	0,900	472,52
	4. Numune	2.10	1000m	5N	1,050	468,25
		2.11	750m	5N	0,725	383,25
		2.12	500m	5N	0,489	318,65

Kaplamasız numunelerde olduğu gibi 12 farklı parça 4 numune olarak adlandırılmıştır. Dört numunenin üç tanesi 10N yüke maruz bırakılırken 4. numune 5N yüke maruz bırakılmıştır. Dört numune 12 parçanın parça numarası numune numaraları ile birlikte aldıkları yol, aşındırma için maruz bırakılan yük, aşınma testine tabi tutulduktan sonra sonuç olarak iz derinliği ve iz genişlikleri Çizelge 4.9'da belirtilmiştir.

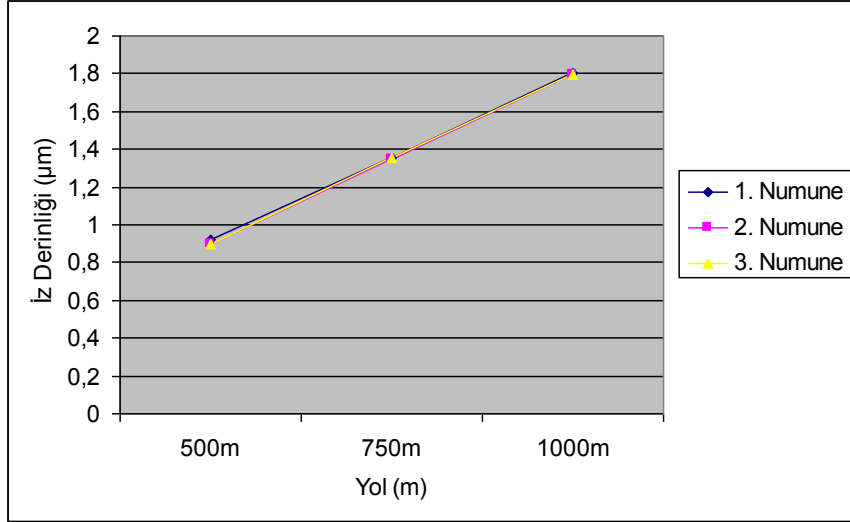
Kaplamasız numunelerin karşılaştırıldığı Şekil 4.7'deki grafikte belirtildiği gibi Çizelge 4.9'da belirtilen TiN kaplanan numunelerin iz derinliği grafiği Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. TiN Kaplanmış 5N ve 10N yükte aşındırılan numunelerin iz derinliği grafiği

TiN kaplamalı 3 adet numune 10N yükte, 1 adet numune 5N yükte aşındırılmış olup iz derinlikleri Şekil 4.11'de karşılaştırılmıştır. Numuneler aldıkları yolda ve uygulanan yükteki iz derinliklerini karşılaştırıldığında 5N yükün iz derinliği 500m, 750m ve 1000m'lik alınan yolda ve 10N yükün iz derinliğine oranla %50 daha az aşınmıştır. Aynı şartlardaki 10N luk yükün iz derinliği 500m, 750m ve 1000m deki alınan yolda da yaklaşık %25 oranda azalma gözlenmiştir.

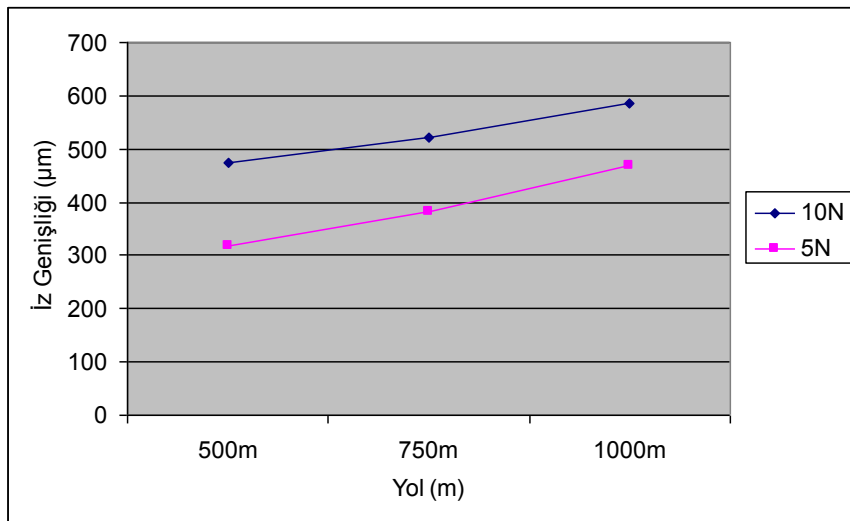
TiN kaplamalı numunelerin yüke göre karşılaştırılması Şekil 4.11'de karşılaştırılmış olup aynı yükteki numunelerin kıyaslanması Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. TiN kaplamalı numunelerde alınan yolun numune sayısına göre iz derinliği grafiği

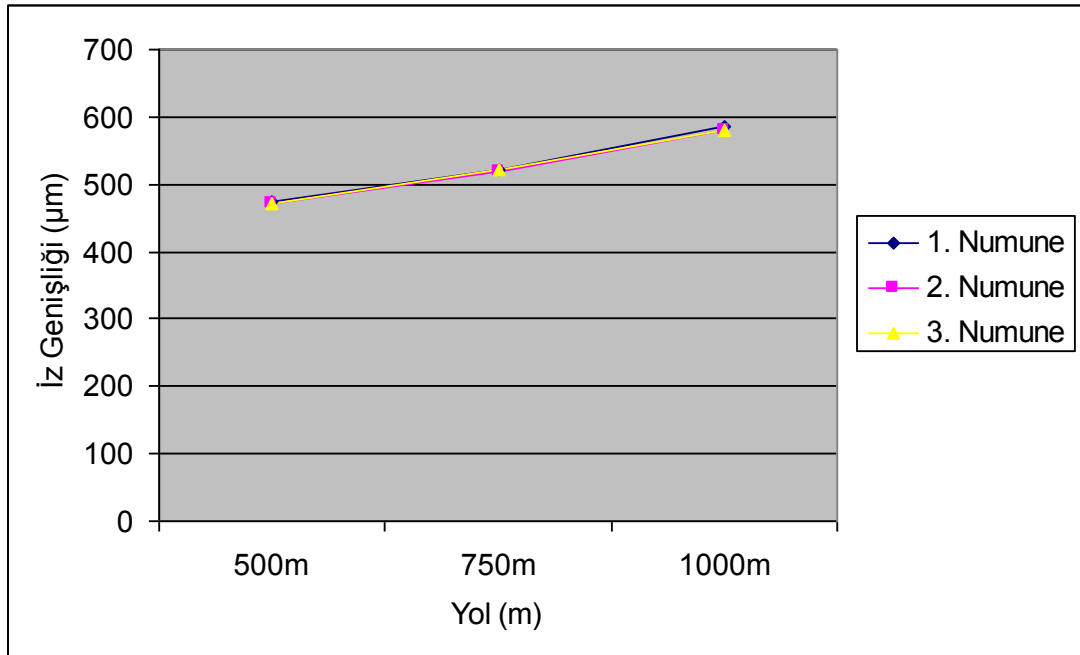
TiN kaplamalı normal şartlar altında aynı yük ve yolda aşınma testi yapılan 3 adet numunenin Şekil 4.12'de karşılaştırılması yapılmıştır. 1., 2. ve 3. numunelerin iz derinlikleri yaklaşık olarak aynı ve ilerlenen yolda da aynı oranda bir iz derinliğine rastlanmıştır.

İz derinlikleri incelenen Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de TiN kaplamalı numunelerin aynı şartlarda iz genişlikleri Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. TiN kaplanmış numunelerin 5N ve 10N yükte iz genişliği grafiği

Yüzey pürüzlülükleri incelenen TiN kaplamalı 5N ve 10N yükte aşındırılmış numunelerin iz genişlikleri ve aynı numunenin 500m deki aşınan numunede iz genişliği 1000m deki aşınan numunenin iz genişliğinde de orantılı bir şekilde aşınmaya maruz kaldığı Şekil 4.13'de gözlemlenmektedir. Farklı yük altında yüzey pürüzlülükleri incelenen numunelerin aynı yük altında iz genişlikleri Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. TiN kaplanmış numunelerde alınan yolun numune sayısına göre iz genişliği grafiği

TiN kaplamalı 10N yükte aşındırılan numunelerin Şekil 4.14'de gösterildiği gibi 3 numunenin aynı şartlardaki iz genişlikleri yaklaşık olarak birbirlerine aynı değerlerde olduğu gözlenmiştir.

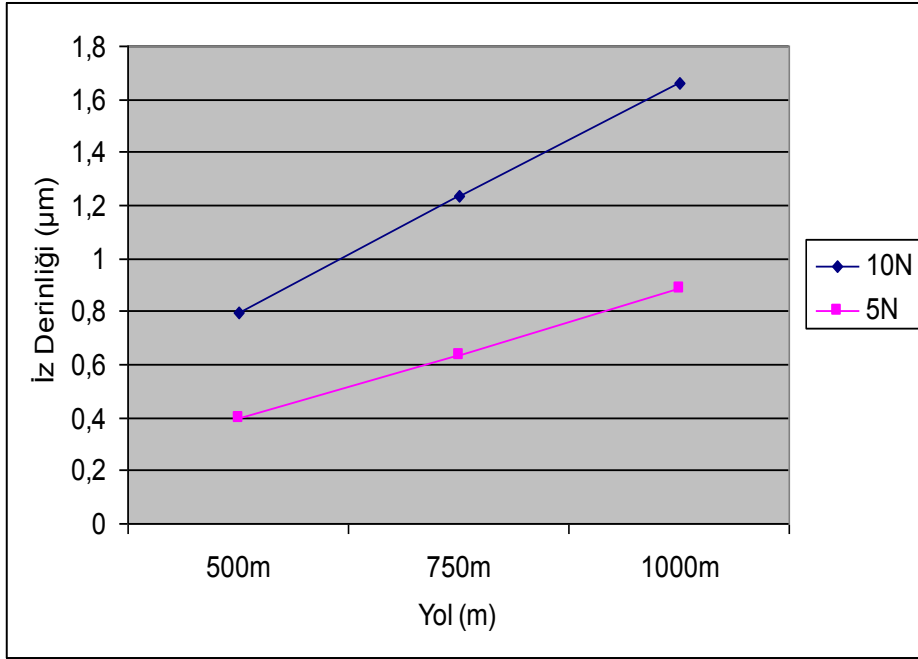
AISI 3343 çeliğinin kaplamasız ve TiN kaplandıktan sonra Yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir. AISI 3343 çeliği kaplamasız ve TiN kaplandığı ve aşınma testinin yapıldığı şartlar altında aynı numunelerin CrN kaplanarak Pin-On Disk Cihazında aşınma testi yapılarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. CrN Kaplamalı numunelerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları

Malzeme	Numune	Parça No	Yol (m)	Ağırlık (N)	SONUÇ	
					İz Derinliği (µm)	İz Genişliği (µm)
CrN KAPLANMIŞ	1. Numune	3.01	1000m	10N	1,658	482,25
		3.02	750m	10N	1,237	433,25
		3.03	500m	10N	0,798	382,25
	2. Numune	3.04	1000m	10N	1,668	489,25
		3.05	750m	10N	1,244	438,75
		3.06	500m	10N	0,802	387,10
	3. Numune	3.07	1000m	10N	1,685	492,25
		3.08	750m	10N	1,234	439,60
		3.09	500m	10N	0,795	381,25
	4. Numune	3.10	1000m	5N	0,885	388,25
		3.11	750m	5N	0,637	315,30
		3.12	500m	5N	0,395	255,75

AISI 3343 çeliği 500m, 750m ve 1000m yol da 5N ve 10N yükte 12 parça aşındırılarak yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Numuneler toplam 12 parça olup her 3 parça 1 numune olarak belirtilmiştir. Çizelge 4.10'da gösterildiği gibi 1.,2. ve 3. numuneler 10N yükte 4. numune ise 5N yükte aşınma testi yapılmıştır. Aşınma testi sonunda yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir. CrN kaplamalı numunelerin iz derinlikleri ve iz genişlikleri Çizelge 4.10'da değerlendirilmiştir.

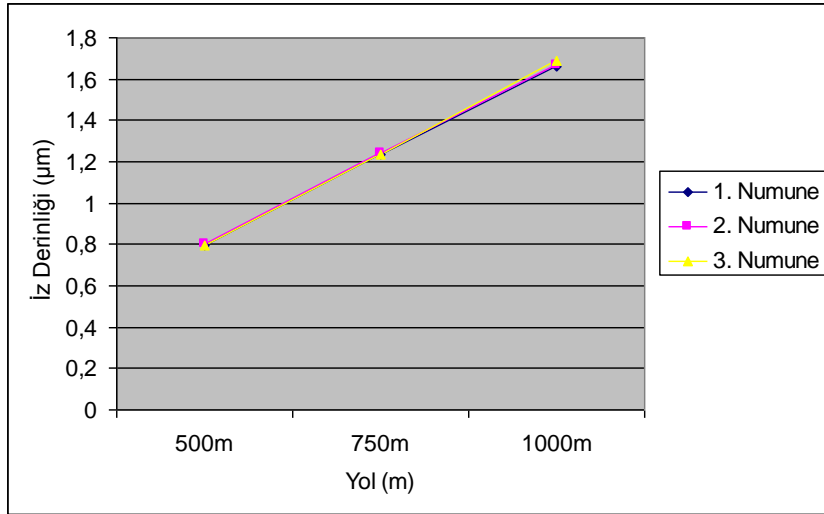
Çizelge 4.10'da belirtilen 5N yük ve 10N yükte aşındırılan numunelerin iz derinlikleri Şekil 4.15'de grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.15. CrN Kaplanmış 5N ve 10N yükte iz derinliği grafiği

CrN kaplamalı numunelerin Çizelge 4.8'de gösterilen tabloda 3 numune aynı şartlarda olduğundan 1. numune alınarak 5N'luk 4. numune ile Şekil 4.15'de karşılaştırılmıştır. 10N'luk 1. numune aldığı yola göre orantılıdır. 5N'luk 4. numune ise hem 10N'luk 1. numuneye göre hem de kendinin ilerleme durumuna göre orantılıdır.

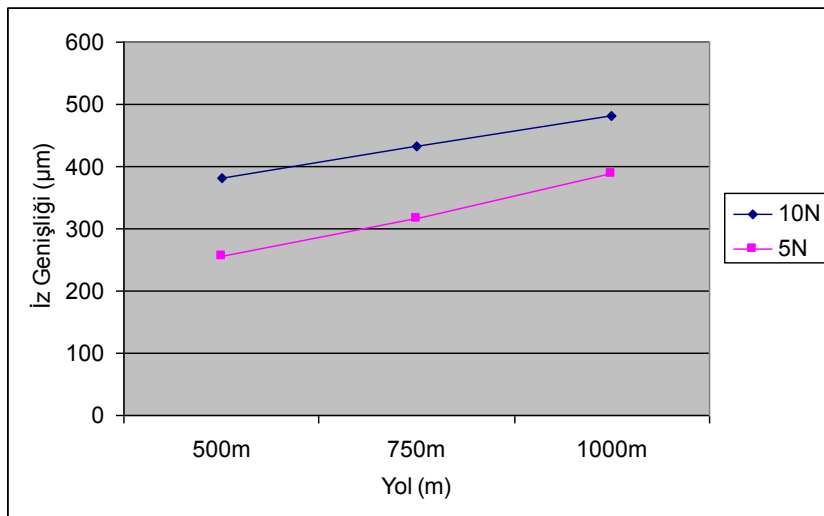
CrN kaplamalı numunelerin Çizelge 4.10'da gösterilen aynı şartlardaki 10N'luk yükte aşındırılan 1.,2. ve 3. numunelerin iz derinliklerinin grafiği Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. CrN kaplamalı numunelerde alınan yolun numune sayısına göre iz derinliği grafiği

Aynı şartlarda 10N'luk yükte aşındırılan CrN kaplamalı 1., 2. ve 3. numunelerin Şekil 4.16'da yaklaşık olarak aynı iz derinliklerine sahip olduğu gözlenmiştir.

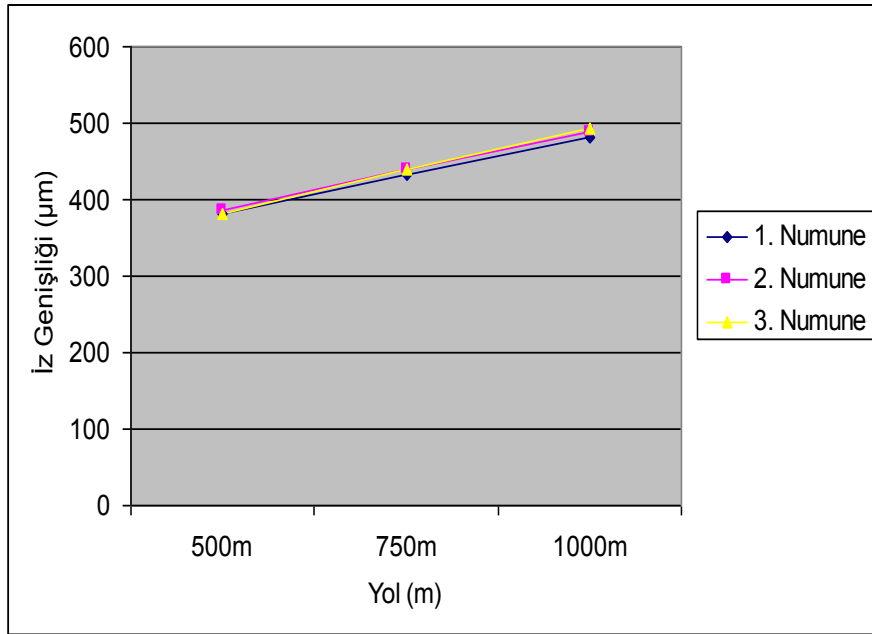
İz derinlikleri incelenen CrN kaplamalı numunelerin 5N ve 10N'luk yükte aşındırılan 1. Numune ve 4. numunelerin iz genişlikleri grafiği Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. CrN kaplanmış numunelerin 5N ve 10N yükte iz genişliği grafiği

5N ve 10N yükle aşındırılan CrN numunelerin iz genişliği Şekil 4.17'de 500m, 750m ve 1000m lik yollarda orantılı bir şekilde aşınma sağlandığı gözlenmiştir.

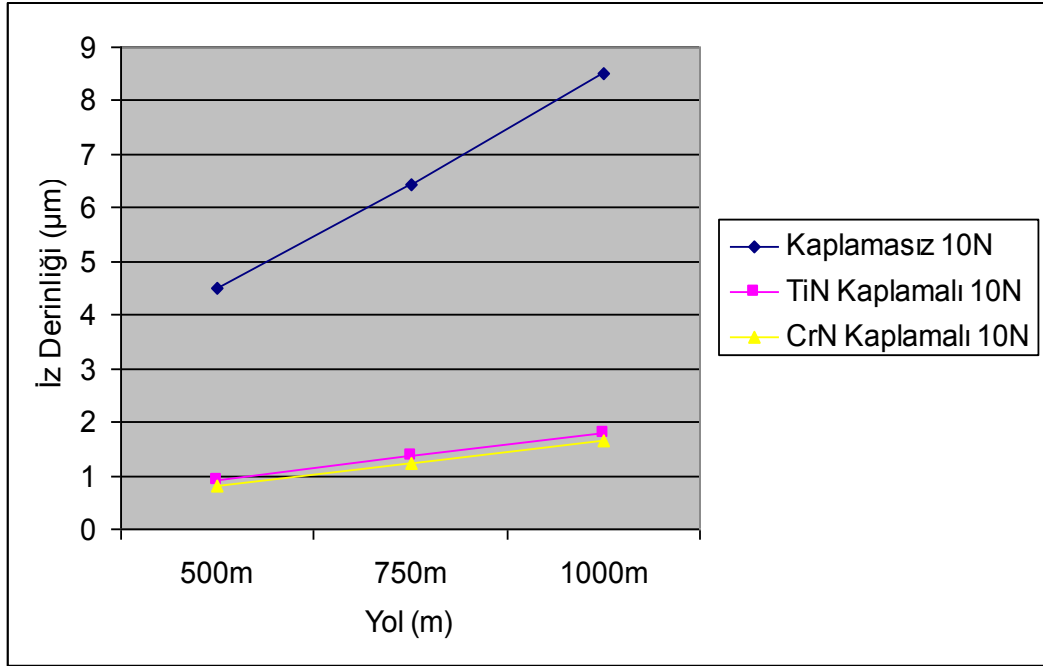
CrN kaplamalı 10N yükle aşındırılan Çizelge 4.8'de belirtilen 1., 2. ve 3. numunenin iz genişlikleri Şekil 4.18'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.18. CrN kaplamalı numunelerde alınan yolun numune sayısına göre iz genişliği grafiği

10N yükle aşındırılan CrN kaplamalı 1.,2. ve 3. numunenin iz genişlikleri yaklaşık olarak birbirleriyle aynı değerlerde olduğu Şekil 4.18'de belirtilen grafikte gözlenmiştir.

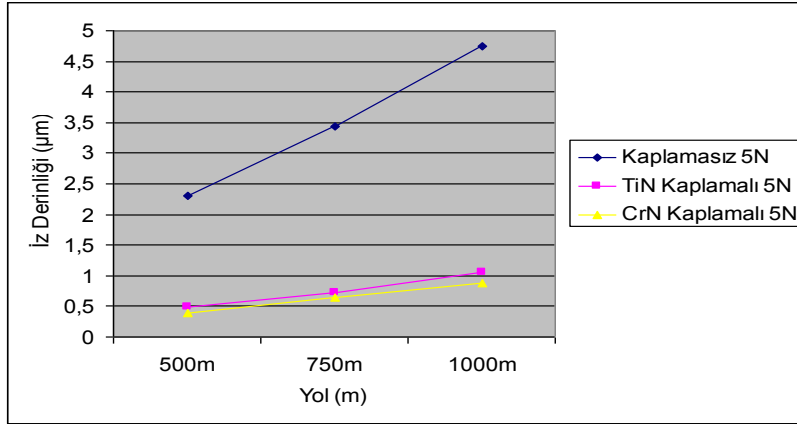
AISI 3343 çeliği kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı olarak Çizelge 4.6, Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8'de yüzey pürüzlülüklerinin iz derinlikleri ve iz genişlikleri toplam 36 parçada karşılaştırılmıştır. Bu parçalar kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı olarak toplam 12 numune ayrılmıştır. Bu numunelerin 10N yükle 500m, 750m ve 1000m aşındırılan 1. numunelerin iz derinlikleri grafiği Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 10N yükte iz derinliği grafiği

Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin aynı şartlarda 10N yükte aşındırıldıktan sonra yüzey pürüzlülüğü Şekil 4.19'da kaplamasız numunenin 500m, 750m ve 1000m aldığı yolda iz derinlikleri orantılı bir şekilde aşınırken TiN ve CrN kaplamalı numunelere oranla yaklaşık %80 oranda daha fazla aşındığı gözlenmiştir. TiN kaplamalı numune CrN kaplamalı numuneye göre fazla aşınmıştır. En az iz derinliğine sahip numune CrN kaplamalı numune olduğu Şekil 4.19'da görülmektedir.

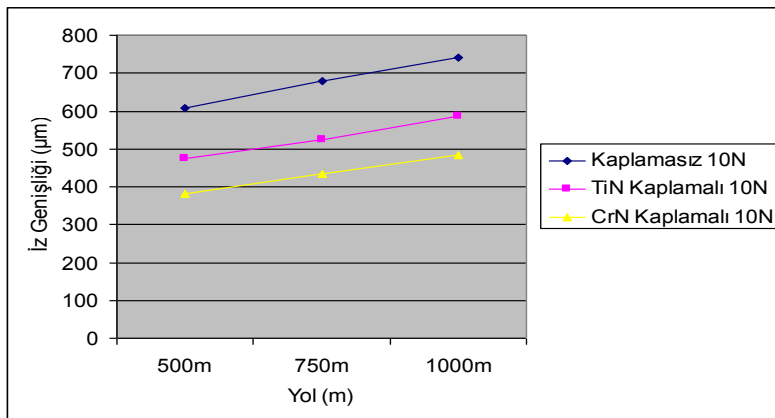
10N yükte kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin aynı şartlarda 10N karşılaştırılırken aynı şartlarda 5N yük altında aşınma davranışlarının yüzey pürüzlülükleri Şekil 4.20'de gösterilmektedir.



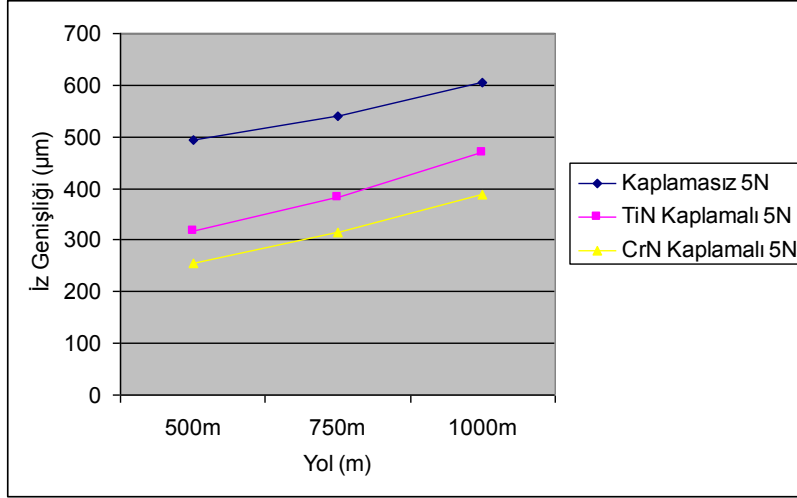
Şekil 4.20. Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 5N yükte iz derinliği grafiği

Aynı şartlar altında 500m, 750m ve 1000m lik yollarda 5N yükte aşındırılan numunelerin yüzey pürüzlülüğü Şekil 4.20'de grafikte belirtilen kaplamasız numunelerin, 10N yükte ki aşınama kaybında olduğu gibi 5N yükte de TiN ve CrN kaplamalı numunelere göre %80 oranla daha fazla aşınmıştır. CrN kaplamalı numune TiN kaplamalı numuneye oranla daha az aşındığı gözlenmiştir.

Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 5N ve 10N yükte aşındırılarak yüzey pürüzlülüklerinin iz genişlikleri Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 10N yükte iz genişliği grafiği



Şekil 4.22. Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 5N yükte iz genişliği grafiği

Yüzey pürüzlülüğü incelenen kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numunelerin 5N ve 10N yükte aşındırılan iz genişlikleri hem 5N hem de 10N yükteki aşınmalar için kaplamasız numunenin TiN ve CrN kaplamalı numunelere göre numune üzerinde daha geniş bir iz açtığı Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de gözlenmiştir. CrN kaplamalı numune diğer numunelere oranla daha az bir iz genişliğe sahip olduğundan en az aşınan numune olduğu gözlenmiştir.

Sonuç olarak, kaplamasız numunelerin iz genişlikleri değerlerinin TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin iz genişliklerinden yüksek olduğuna rastlanmıştır. TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numuneler yapılan Pin-On Disk yöntemiyle aşındırmada aşındırıcının kaplamayı geçerek ana malzemeyi aşındırmadığı gözlenmiştir.

Kaplamasız ve TiN kaplı numunelerin sabit yüklerdeki kayma hızı-iz genişliği grafiklerinden iz genişliklerinin kayma hızı ile arttığı tespit edilmiştir. Artan yük ve hız değerleriyle aşınma oranının da artması beklenen bir durumdur. Farklı temas şartlarında yaptıkları deneylerde benzer sonuçlar elde edilmiştir [58].

Aynı yük ve hız değerlerinin kaplanmamış numunelerdeki iz genişliği değerleri TiN kaplanmış numunelerden daha büyük olduğunu tespit etmiştir. Buda yine TiN kaplı numunelerin daha yüksek bir aşınma direnci değerine sahip olduğunu ortaya koymuştur [59].

4.2.8. SEM görüntüleri ve EDS analizleri

Numunelerin kesitten ve yüzeyden görüntüleri Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Araştırma Merkezinde JEOL marka JSM 6490LV model Scanning Electron Microscope (SEM) cihazından alınmıştır (Resim 4.4). Kaplama tabakasıyla malzeme arasındaki analizler yine aynı cihazda Enerji Dağılımlı X Işınları Spektrometresi (EDS) ile gerçekleştirilmiştir.

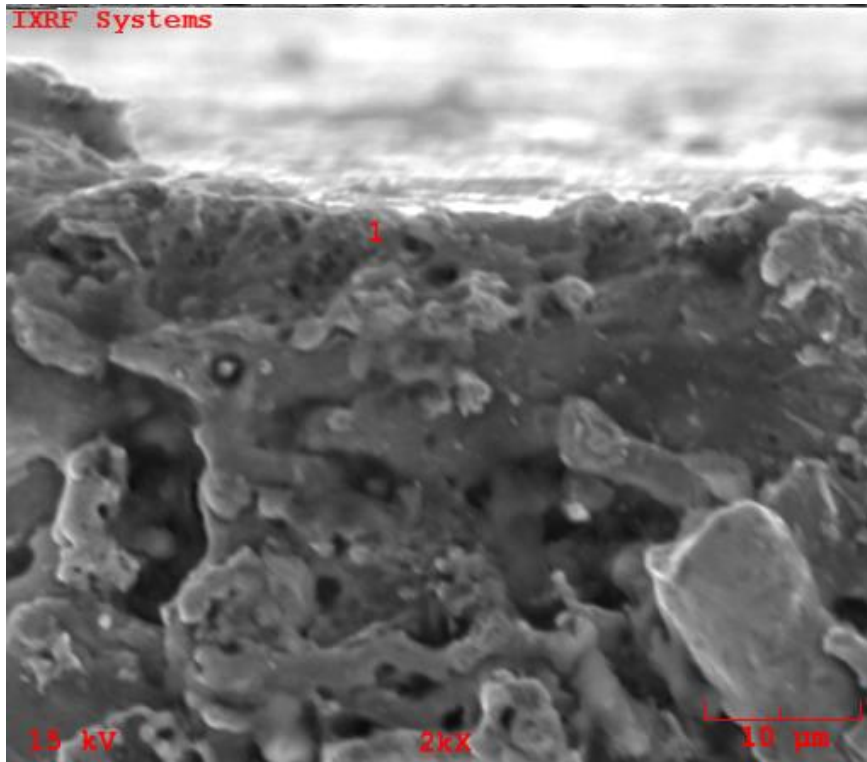


Resim 4.4. SEM (Scanning Electron Microscope) cihazı

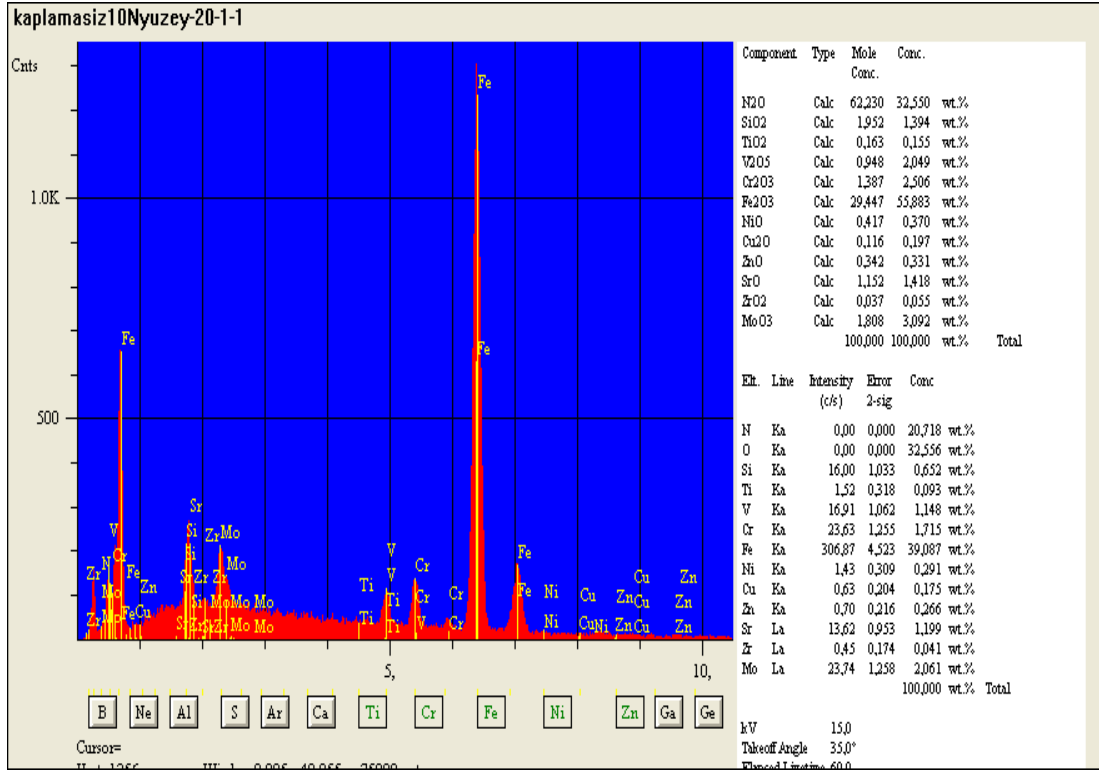
SEM (Scanning Electron Microscope), kondansatör objektif, orta mercek ve projektör gibi çeşitli elektromanyetik merceklerden oluşur. Tungsten telden yapılmış flamana 10-100kV arasında değişen bir gerilim uygulaması sonucu koparılan elektronlar kondansatör mercek tarafından numune üzerine odaklanarak görüntü alınır. Bu çalışmada alınan görüntülerde flamana 15kV gerilim uygulanmış olup bu görüntüler metalografik amaçlı değil derinliği göstermek amaçlı görüntülenmiştir.

SEM görüntüleri ve EDS (Energy Dispersive Spectrum) analizleri elementlerin atom ağırlıklarına bağlı olarak inceleme bölgesinde ne kadar olduklarını grafiksel ve yüzde olarak belirtmektedir.

Pin-On disk cihazında 5N yükte aşınmaya maruz bırakılan Kaplamasız numunenin SEM ve EDS analizlerinin görüntüleri Resim 4.5 - Şekil 4.23'de gösterilmektedir.



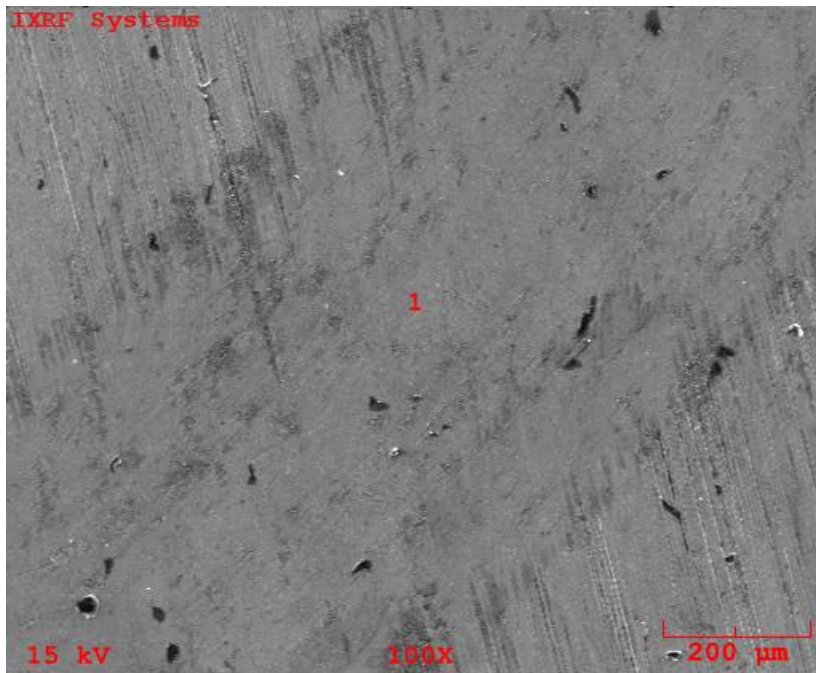
Resim 4.5. 5N Yükle aşınan kaplamasız numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü



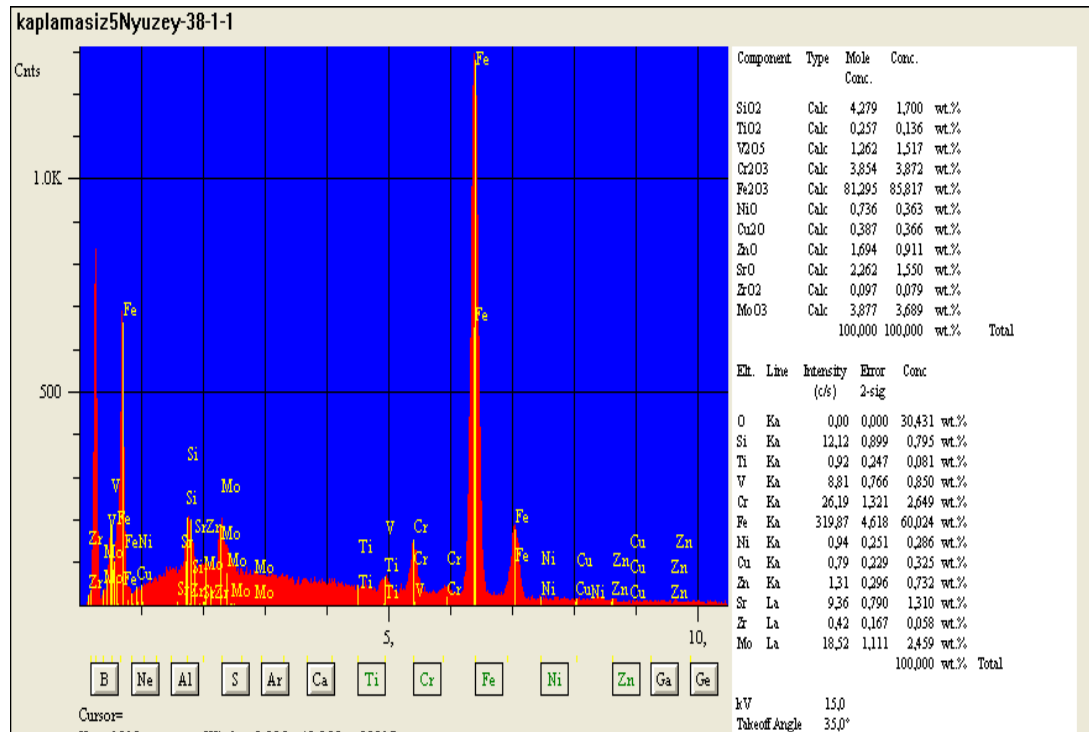
Şekil 4.23. 5N Yükle aşınan kaplamasız numunenin kesitten alınan EDS görüntüsü

Kaplamasız numunenin Resim 4.5'deki kesit görüntüsüne bakıldığında malzemenin kendisinden büyüyen oksitlenmenin olduğu gözlenmiştir. EDS analizinde (Şekil 4.23) ağırlıklı olarak Fe'nin olduğu gözlenmiştir.

5N yükle aşındırılan kaplamasız numunelerin yüzeyden alınan SEM ve EDS analiz görüntüleri Resim 4.6 ve Şekil 4.24'de gösterilmektedir.



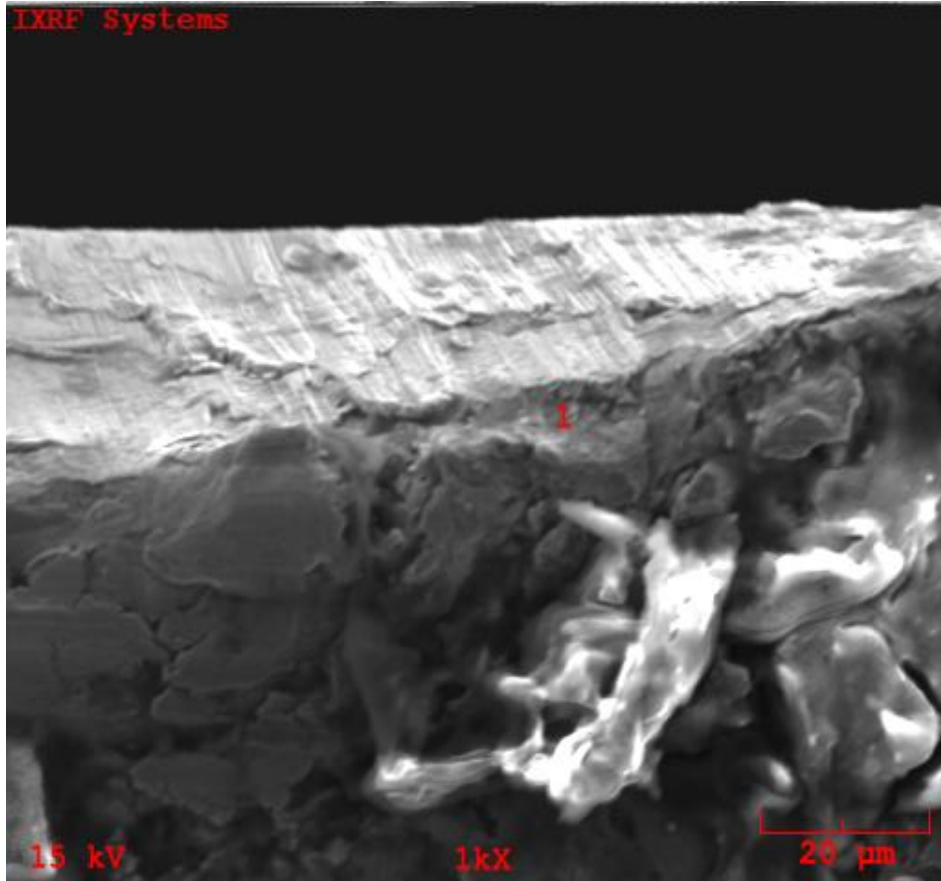
Resim 4.6. 5N Yükle aşınan kaplamasız numunenin yüzeyden alınan SEM görüntüsü



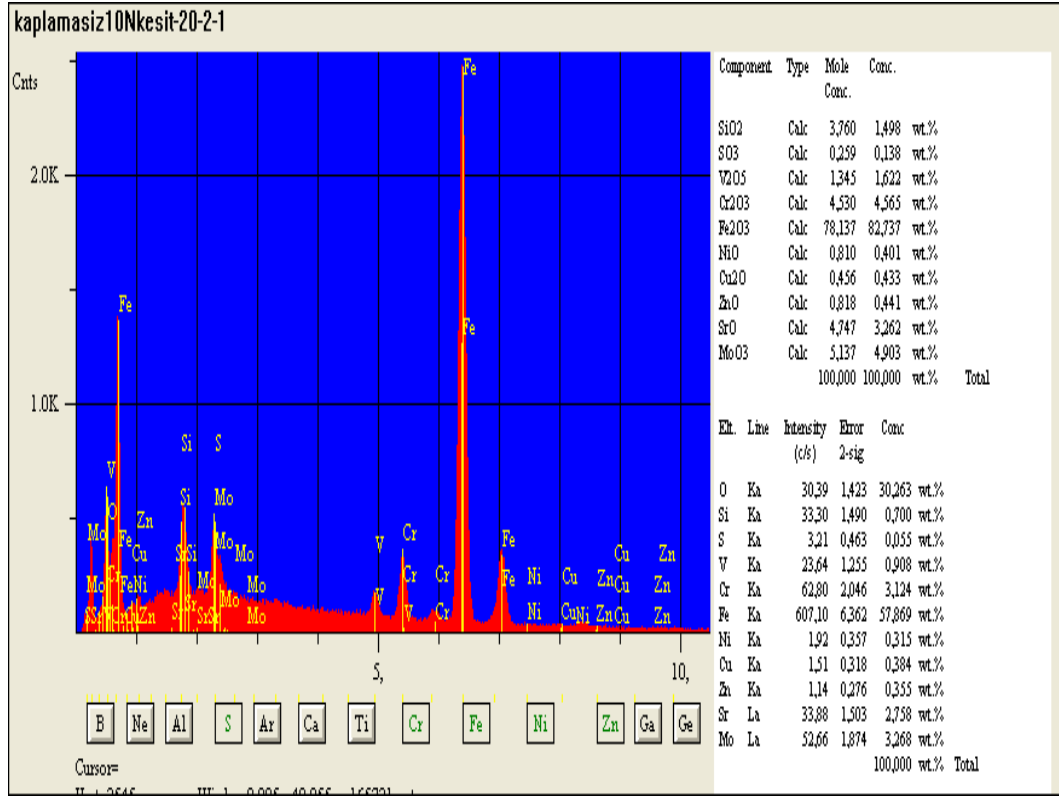
Şekil 4.24. 5N Yükle aşınan kaplamasız numunenin yüzeyden alınan EDS görüntüsü

Yüzey bölgesinden alınan 5N yükle aşınan kaplamasız numunelerin, Resim 4.6'da gösterilen resimde ise birkaç mikron (μm) büyüklüğünde küçük parçacıklar olduğu bunların belirli bir doğrultuda ve bir kısmının aşınma deneylerinin yapıldığı bölgede kayma yönünde oksitlenmenin olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.24'de gösterilen numunenin yüzeyden ölçülen EDS analizinde ise demirin ağırlıklı olarak ihtiva ettiği gözlemlenmektedir.

Resim 4.7 ve Şekil 4.25'de 10N yükle aşınan kaplamasız numunenin kesitten alınan SEM ve EDS analizlerinin görüntüleri gösterilmektedir.



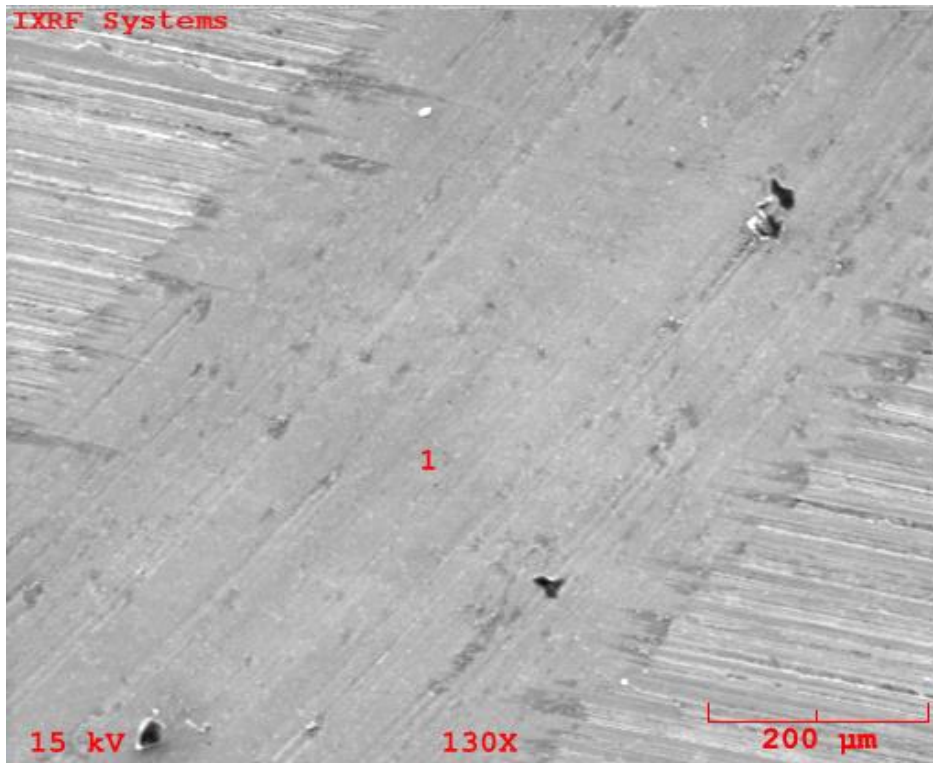
Resim 4.7. 10N Yükle aşınan kaplamasız numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü



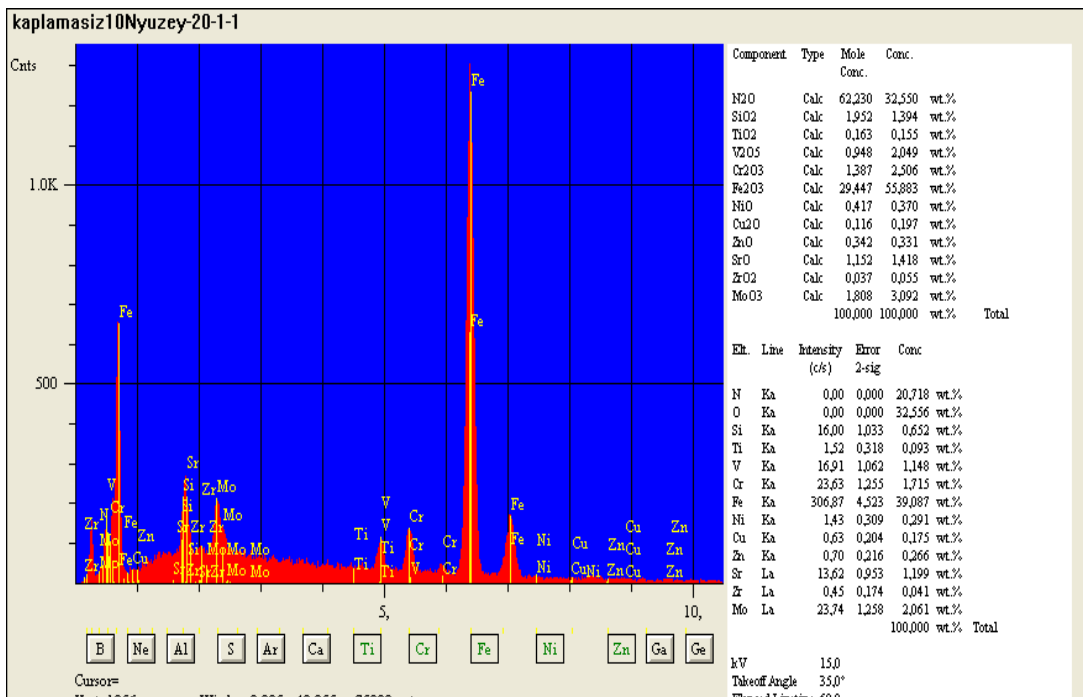
Şekil 4.25. 10N Yükle aşınan kaplamasız numunenin kesitten alınan EDS görüntüsü

10N yükle aşınan kaplamasız numunenin yüzeyden alınan Resim 4.7'deki SEM görüntüsünde aşındırılan bölgenin de malzemede meydana gelen deformasyonu ve birbiri üzerine yapıştığı açıkça görülmektedir. Numunenin Şekil 4.25'deki EDS analizinde Fe'nin yoğun olduğu gözlemlenmektedir.

10N yükle aşınan kaplamasız numunenin yüzeyden alınmış SEM ve EDS analizlerinin görüntüleri Resim 4.8 ve Şekil 4.26'da gösterilmektedir.



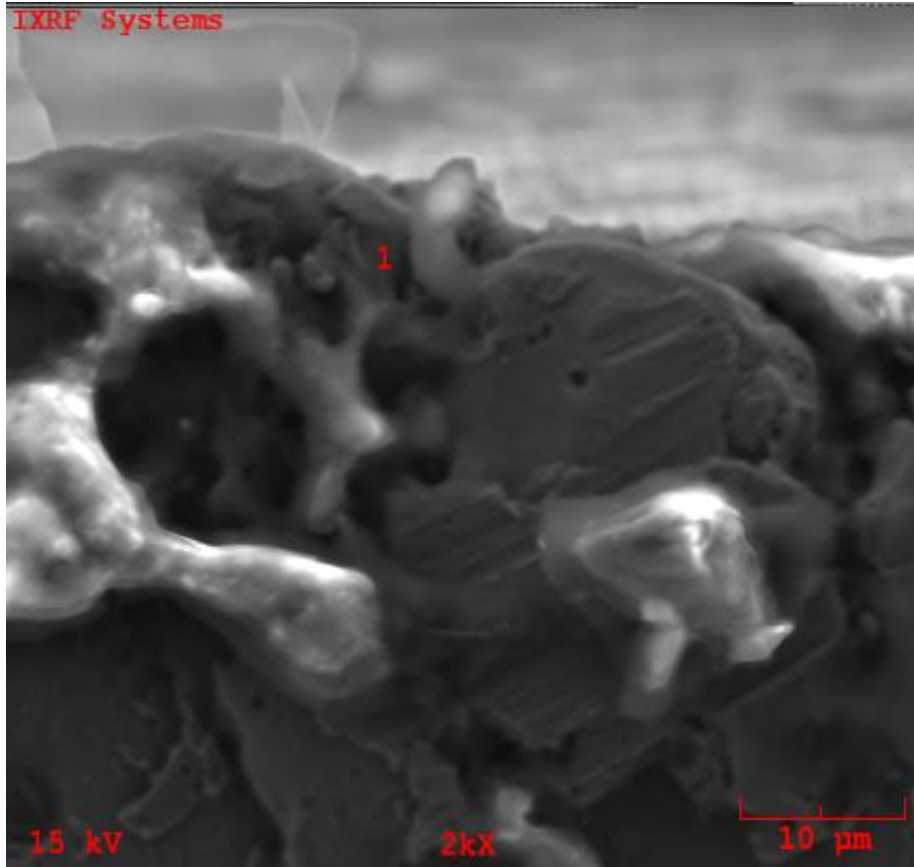
Resim 4.8. 10N Yükle aşınan kaplamasız numunenin yüzeyden alınan SEM görüntüsü



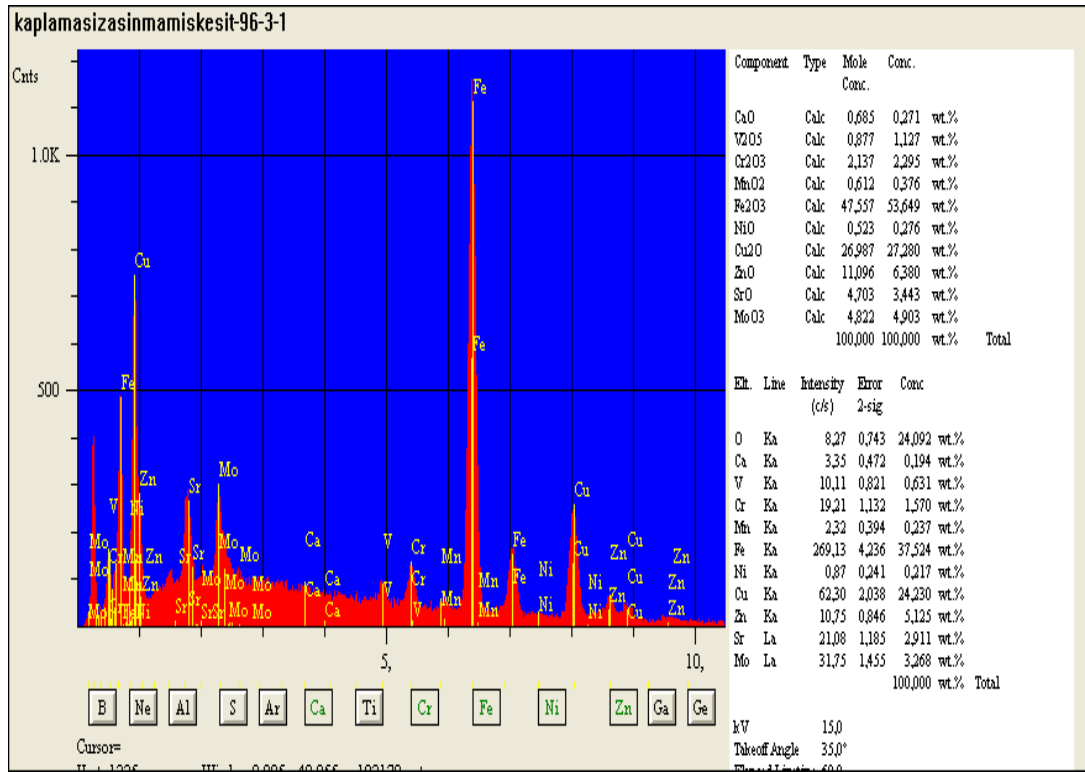
Şekil 4.26. 10N Yükle aşınan kaplamasız numunenin yüzeyden alınan EDS görüntüsü

Kaplamanın yüzey bölgesinden alınan Resim 4.8'deki SEM görüntüsünde yüzeyde pürüzlülüğün çok olduğu, aşınma doğrultusunda küçük parçacıkların olduğu tipik bir aşınma olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 4.26'daki EDS analizinde de Fe'nin yoğun olduğu gözlenirken Mo ve Si de yoğun olduğu gözlemlenmektedir.

Aşınma işlemine tabi tutulmamış kaplamasız numunenin kesitten alınan SEM ve EDS analizlerinin görüntüleri Resim 4.9 ve Şekil 4.27'de gösterilmektedir.



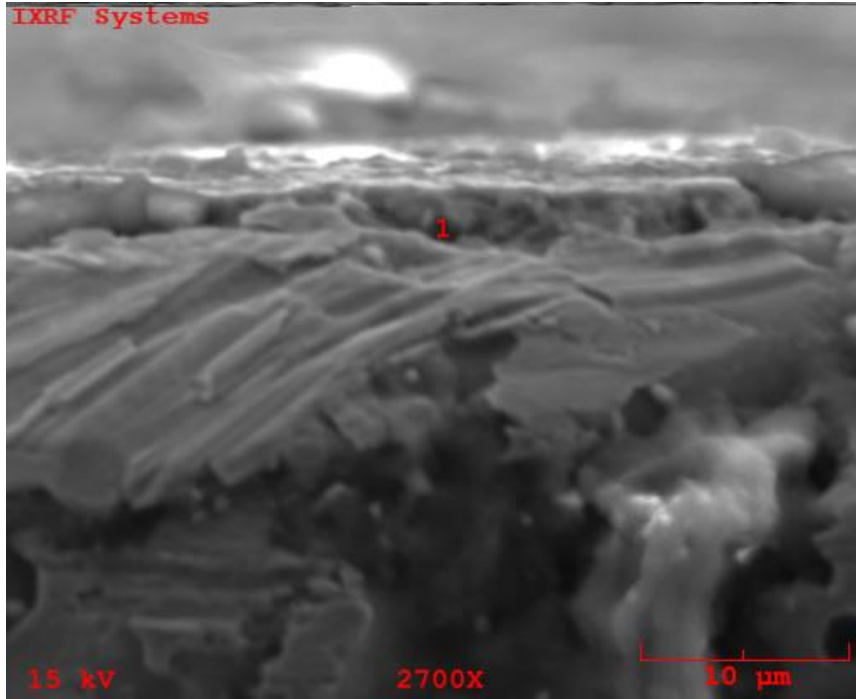
Resim 4.9. Aşınmaya tabi tutulmayan kaplamasız numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü



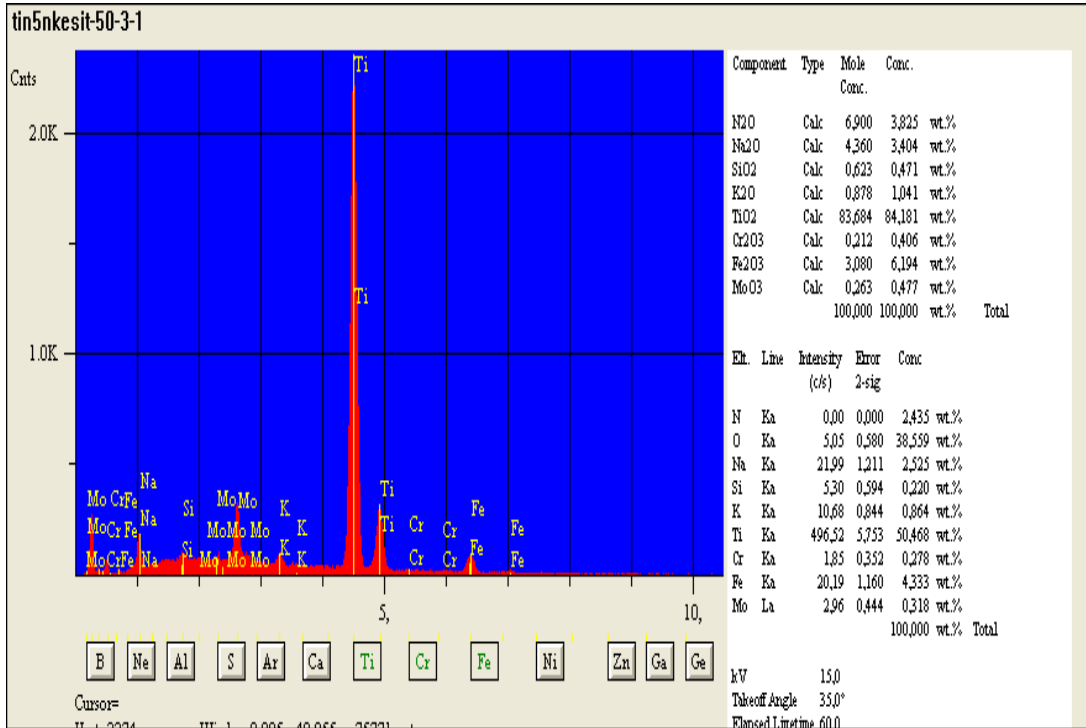
Şekil 4.27. Aşınmaya tabi tutulmayan kaplamasız numunenin kesitten alınan EDS görüntüsü

Aşınmaya tabi tutulmayan kaplamasız numunenin kesitinden bakıldığında malzemenin aşınmaya veya herhangi bir deformasyona maruz kalmadığı ve malzeme üzerinde kaplanmanın olmadığı Resim 4.9'da görülmektedir. EDS analizinde Fe'nin yoğun olduğu Mo'nun da yoğun olarak bulunduğu gözlemlenmektedir (Şekil 4.27).

TiN kaplamalı 5N yükte aşındırılan numunenin kesitten alınan SEM ve EDS görüntüsü Resim 4.10 ve Şekil 4.28'de gösterilmektedir.



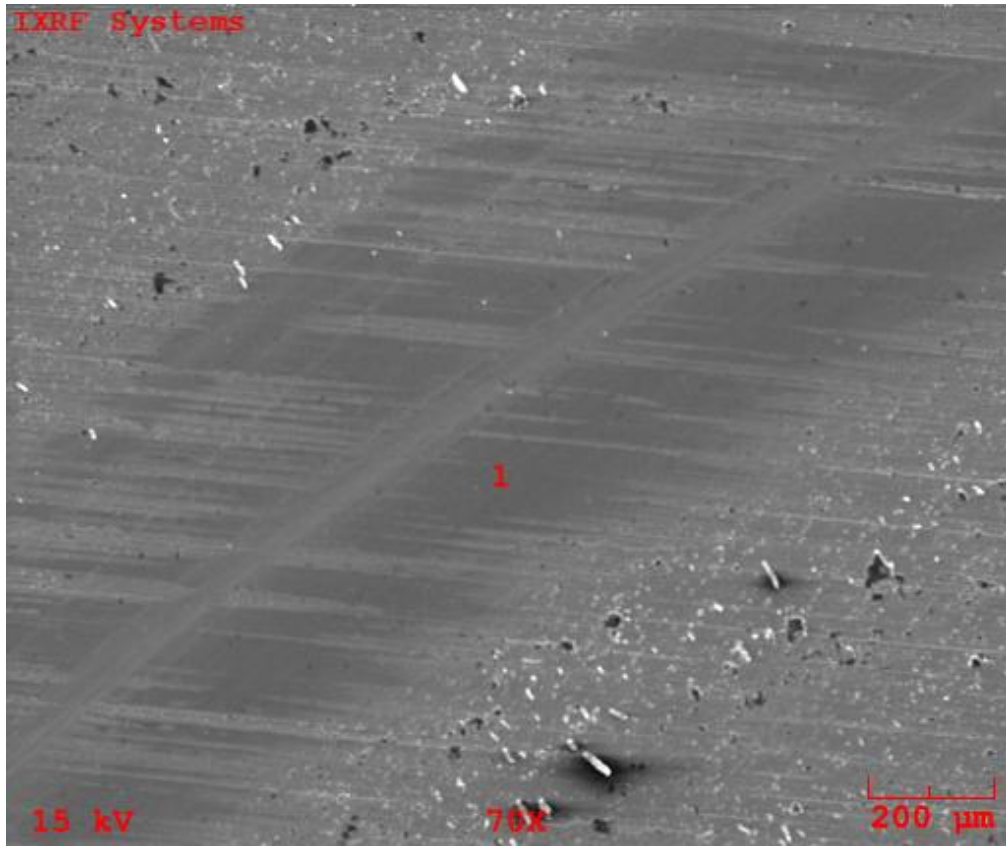
Resim 4.10. 5N Yükte aşınan TiN kaplanmış numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü



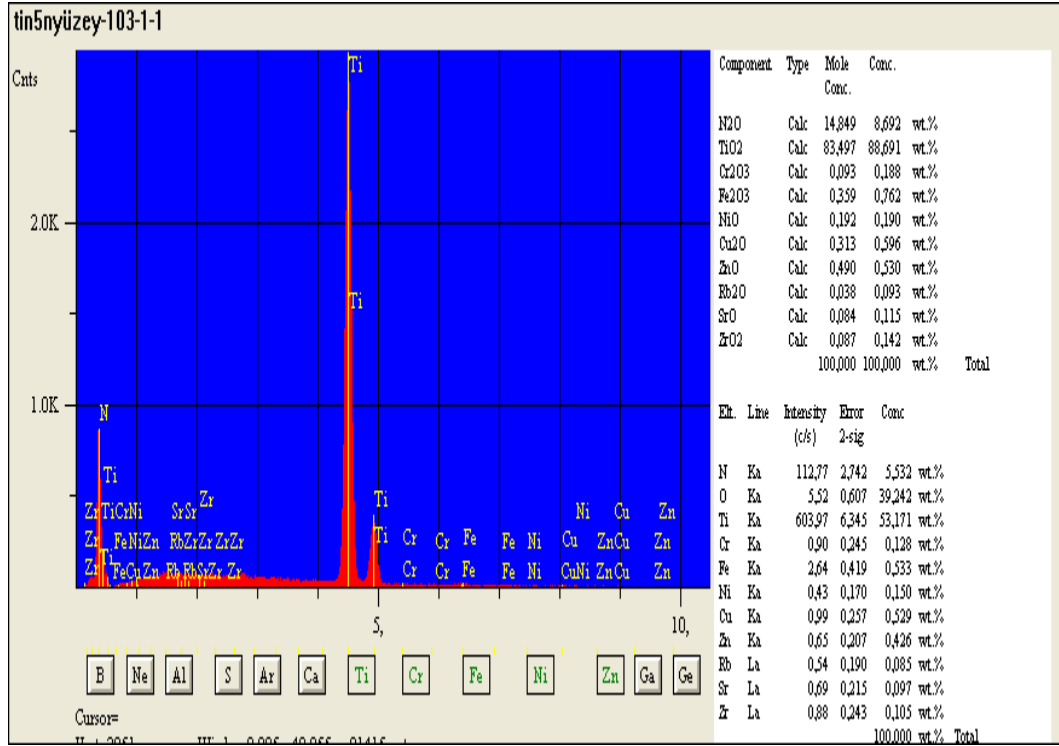
Şekil 4.28. 5N Yükte aşınan TiN kaplanmış numunenin kesitten alınan EDS görüntüsü

TiN kaplamalı numunenin kaplama kesitine bakıldığında yüzey kısmında kaplamanın sürekli olduğu, uç kısımlarında çekirdekleşmenin zor olmasından dolayı birbirleri ile bağlantılı olarak kaplamanın süreksiz olduğu görülmektedir. Şekil 4.28'deki EDS analizinde ise ağırlıklı olarak Ti görülmekte olup titanyumun ana malzeme içerisine difüze olmadığı gözlenmiştir.

TiN kaplamalı 5N yükle aşındırılan numunelerin yüzeyden alınan SEM ve EDS analizlerinin görüntüleri Resim 4.11 ve Şekil 4.29'da gösterilmektedir.



Resim 4.11. 5N Yükle aşınan TiN kaplanmış numunenin yüzeyden alınan SEM görüntüsü

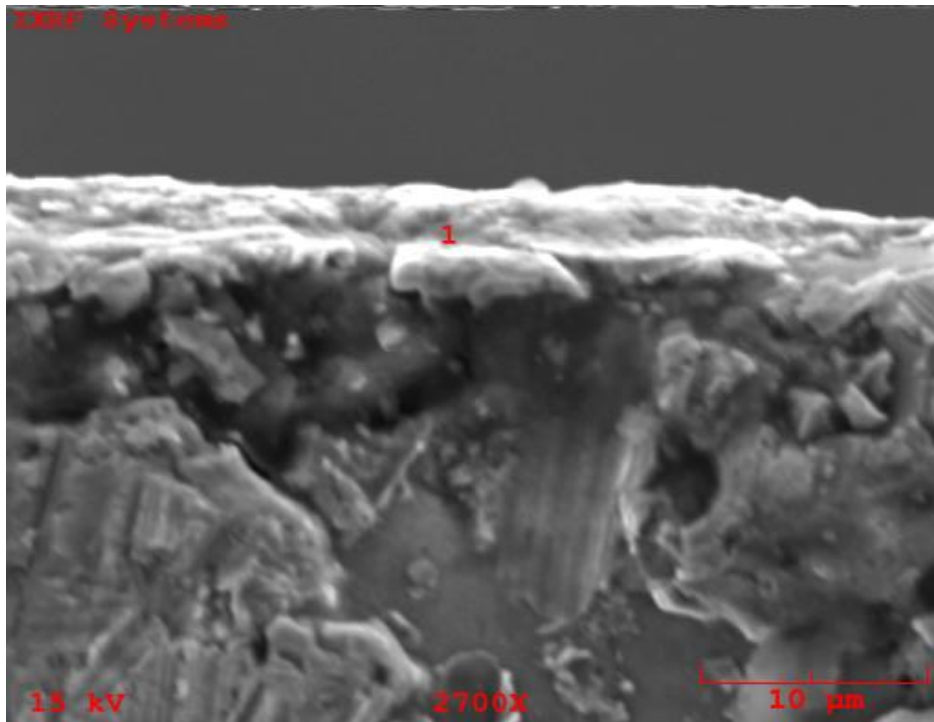


Şekil 4.29. 5N Yükte aşınan TiN kaplamalı numunenin yüzeyden alınan EDS görüntüsü

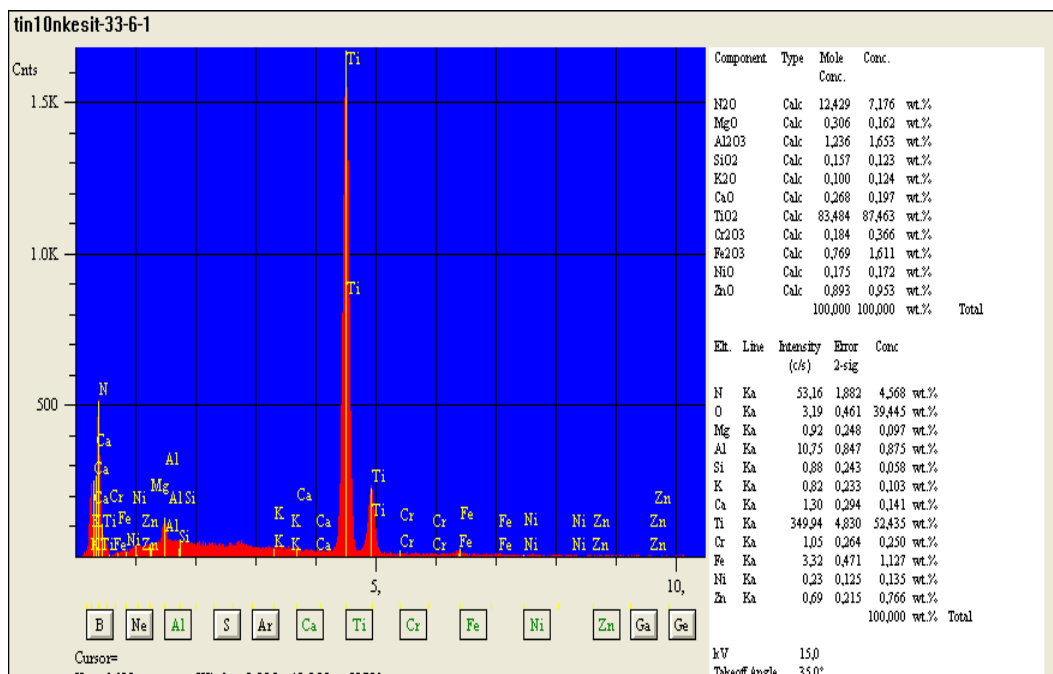
TiN kaplamalı 5N yükle aşındırılan numunenin yüzeyinden alınan Resim 4.11'de ki SEM görüntüsünde kaplamanın homojen olduğu, yüzeyin herhangi bir pürüzlülük göstermediği birkaç mikron büyüklüğünde küçük parçacıkların olduğu ve belirli bir doğrultuda olduğu görülmektedir. Aşınan bölgede ise bu izlerin kaybolduğu ve tipik bir aşınma yüzeyi görülmektedir.

Şekil 4.29'da ki EDS analizinden de anlaşıldığı üzere ağırlıklı olarak Ti ihtiva ettiği ve ana malzeme tarafına difüze etmediği gözlenmiştir.

10N yükte aşındırılan TiN kaplamalı numunenin SEM ve EDS analizlerinin görüntüleri Resim 4.12 ve Şekil 4.30'da gösterilmektedir.



Resim 4.12. 10N Yükte aşınan TiN kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü

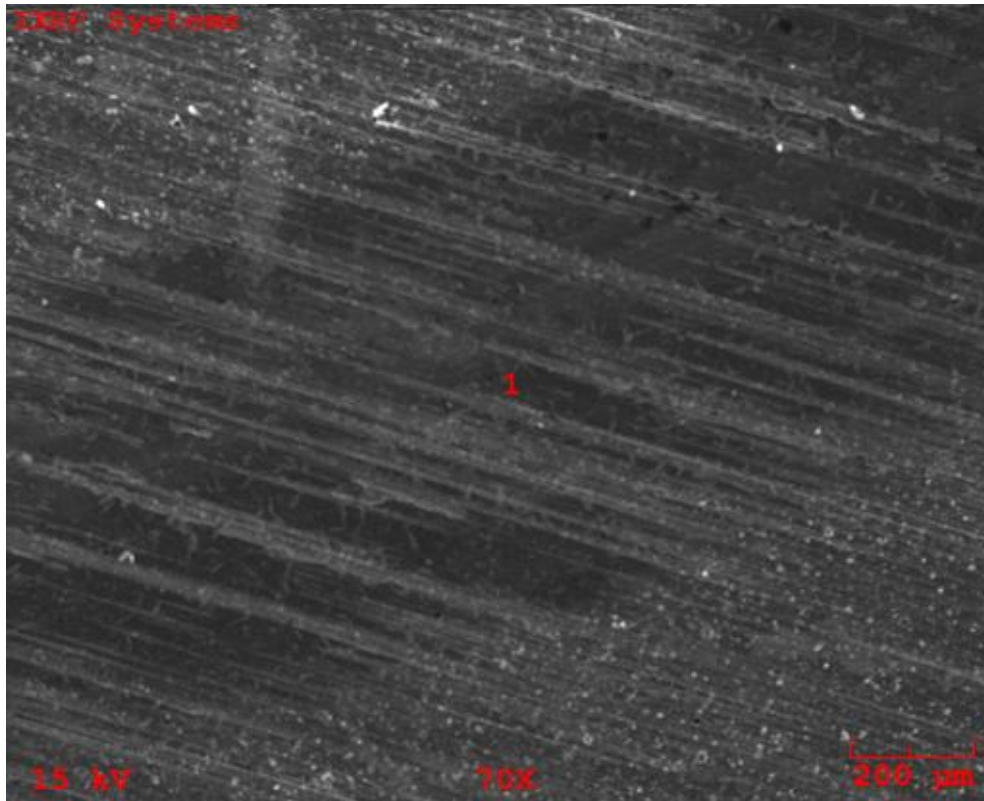


Şekil 4.30. 10N Yükte aşınan TiN kaplamalı numunenin kesitten alınan EDS görüntüsü

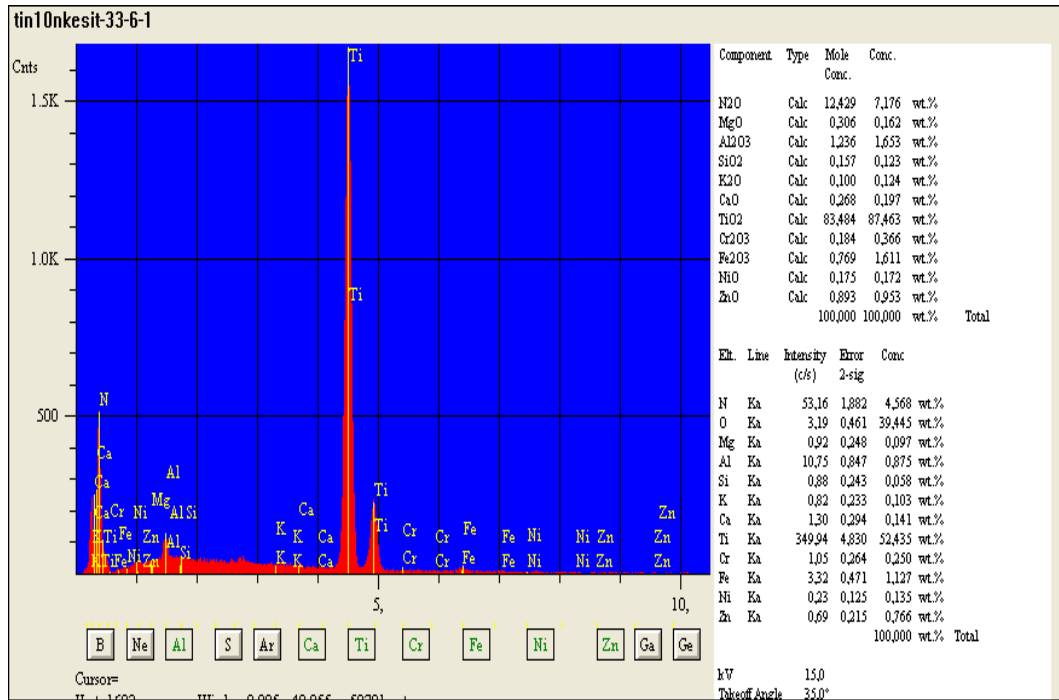
Resim 4.12'de numunenin kesitine bakıldığında kaplamanın sürekli olduğu, köşe kenarlardaki çekirdekleşmenin zor olduğundan dolayı o bölgenin birbiri ile bağlantılı ancak süreksiz bir kaplama olduğu gözlemlenmektedir. Bu tür yapılar malzemenin kendisinden büyüyen oksitlerde de görülmektedir.

Kaplamanın Şekil 4.30'da EDS analizine bakıldığında Ti'nin Şekil 4.29'da ki 5N yükte aşındırılan numunenin EDS analizinde görüldüğü kadar olmasa da ağırlıklı olarak bulunduğu ve ana malzemeye difüze olmadığı gözlenmiştir.

10N yükte aşındırılan TiN kaplamalı numunenin aşındırılan yüzeyden alınan SEM ve EDS görüntüleri Resim 4.13 ve Şekil 4.31'de gösterilmektedir.



Resim 4.13. 10N Yükte aşınan TiN kaplamalı numunenin yüzeyden alınan SEM görüntüsü

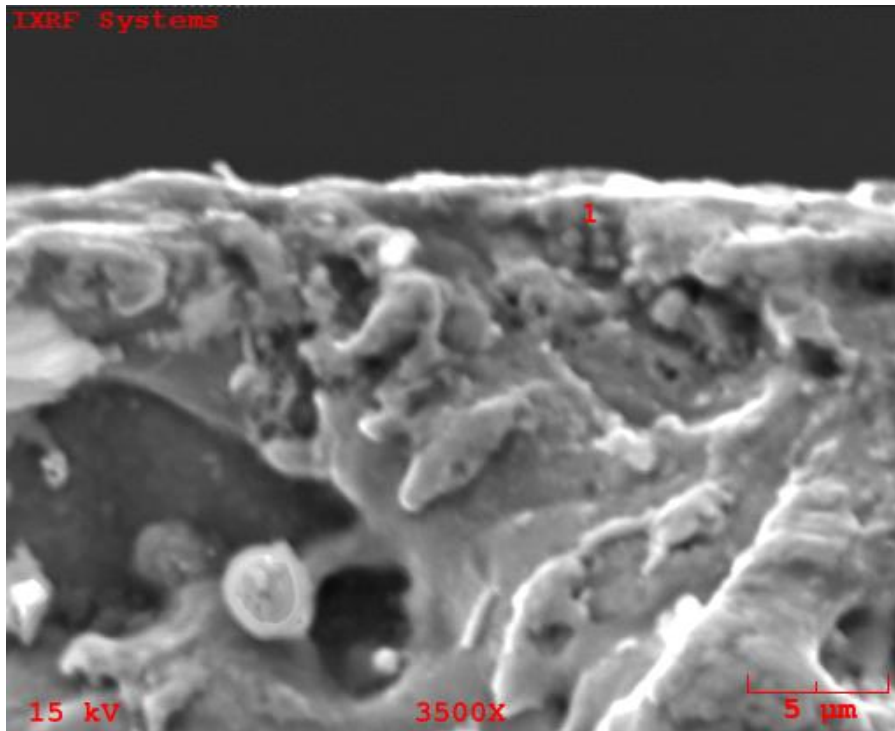


Şekil 4.31. 10N Yükte aşınan TiN kaplamalı numunenin yüzeyden alınan EDS görüntüsü

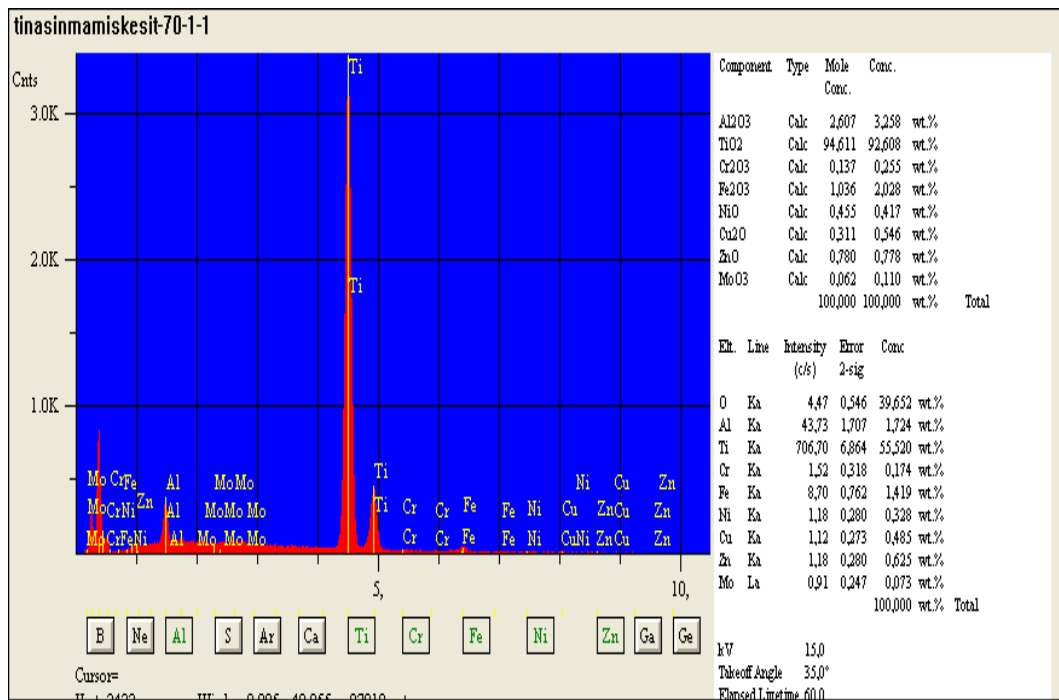
10N yükte aşındırılan numunenin yüzey bölgesinden alınan Resim 4.13'de SEM görüntüsünde kaplamanın homojen, yüzeyde herhangi bir pürüzlülüğün olmadığı, yüzeyde belirli bir doğrultuda küçük parçacıkların olduğu görülmektedir. Bu doğrultuların aşınma deneyinin yapıldığı bölgede bir kısmının kaybolduğu, numunenin tipik bir aşınmaya maruz kaldığı gözlemlenmektedir.

Kaplamanın yüzey bölgesinden Şekil 4.31'deki EDS analizine bakıldığında TiN'nin Şekil 4.28'de ki 5N yükte aşındırılan numunenin EDS analizinde görüldüğü kadar olmasa da titanyumun ağırlıklı olarak görüldüğü ve kaplamanın ana malzemeye difüze etmediği gözlenmiştir.

Aşındırılmayan TiN kaplamanın SEM ve EDS analizlerinin görüntüleri Resim 4.14 ve Şekil 4.32'de gösterilmektedir.



Resim 4.14. Aşınmaya tabi tutulmayan TiN kaplamalı numunenin kesitten alınmış SEM görüntüsü

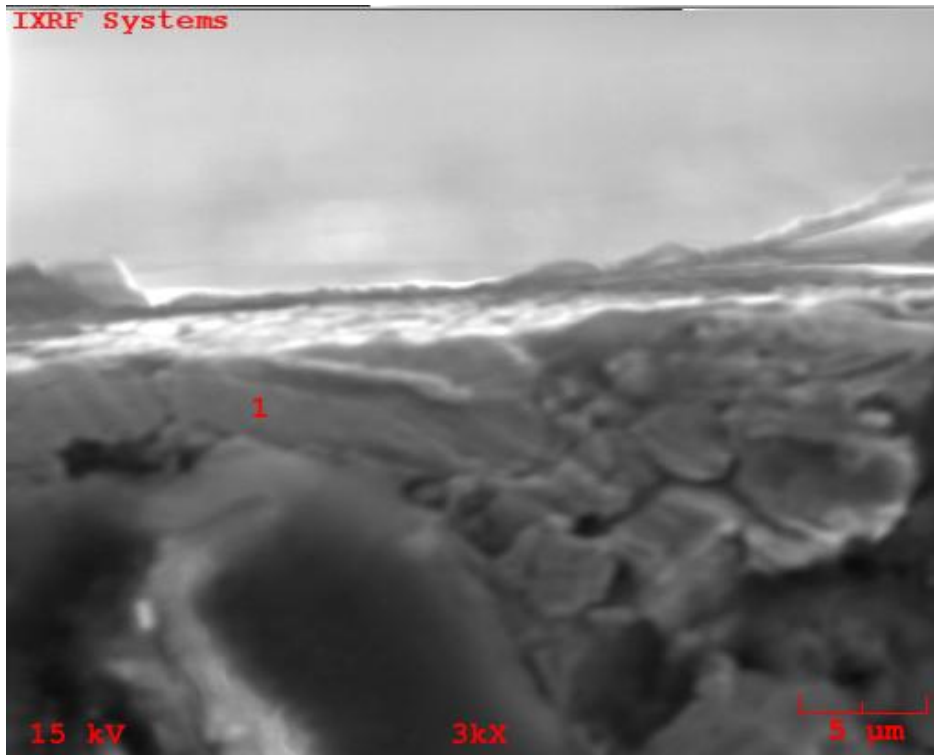


Şekil 4.32. Aşınmaya tabi tutulmayan TiN kaplamalı numunenin kesitten alınmış EDS görüntüsü

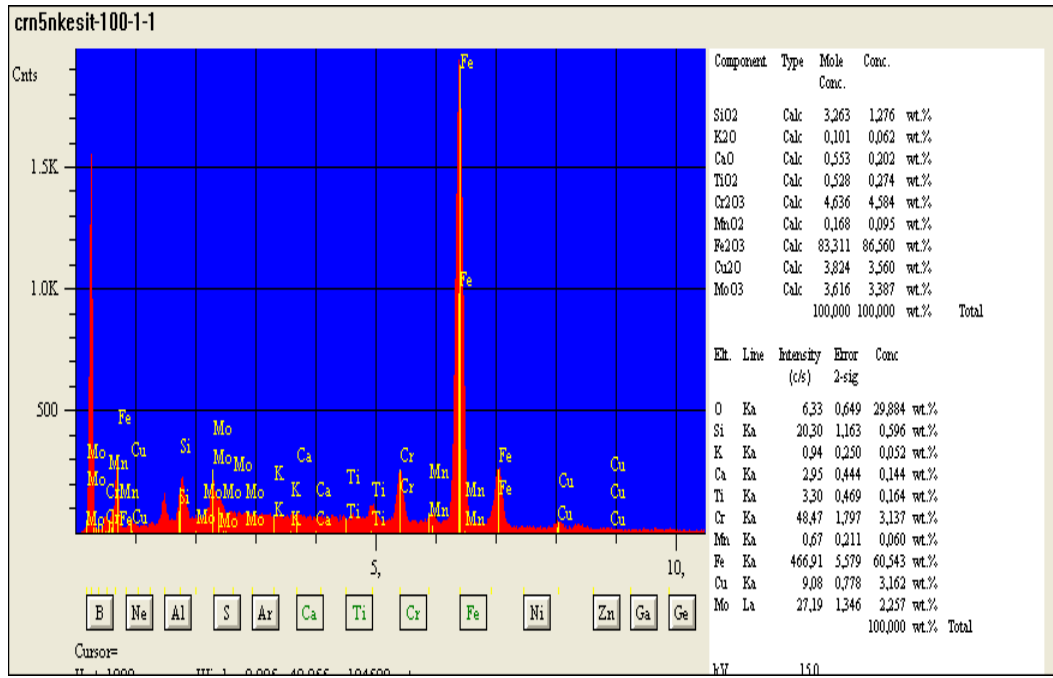
Aşınmaya maruz bırakılmayan TiN kaplamalı numunenin Resim 4.14'de ki SEM görüntüsünde, numunenin kesitine bakıldığında yüzey bölgelerde kaplamanın sürekli, homojen ve pürüzlülük göstermediği, köşe kısımlarında çekirdekleşmenin zorluğundan dolayı kaplamanın birbiri ile bağlantılı fakat süreksiz olduğu görülmektedir.

TiN kaplı aşınmamış numunenin EDS analizine bakıldığında ağırlıklı olarak Ti'nin görüldüğü, kaplama kalınlığının $3\mu\text{m}$ olduğu Calotest yöntemi ile bulunan değeri doğruladığı tespit edilmiştir.

Kaplamasız, TiN kaplamalı ve CrN kaplamalı numunelerin Pin-On disk yöntemiyle aşınma işlemi gerçekleştirildikten sonra 5N yüküyle aşınan CrN kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü ve EDS analizleri Resim 4.15'de ve Şekil 4.33'de gösterilmiştir.



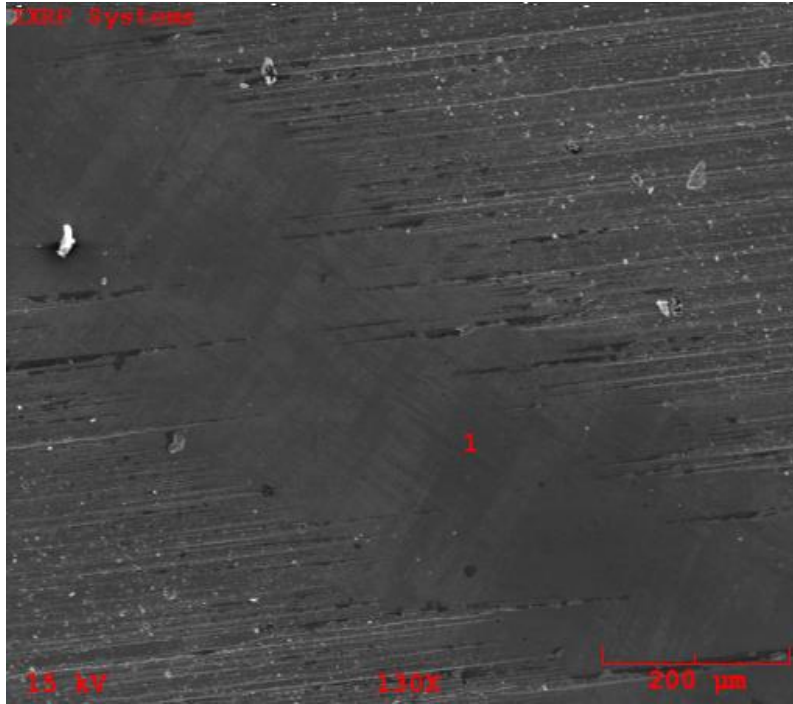
Resim 4.15. 5N Yüküyle aşınan CrN kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü



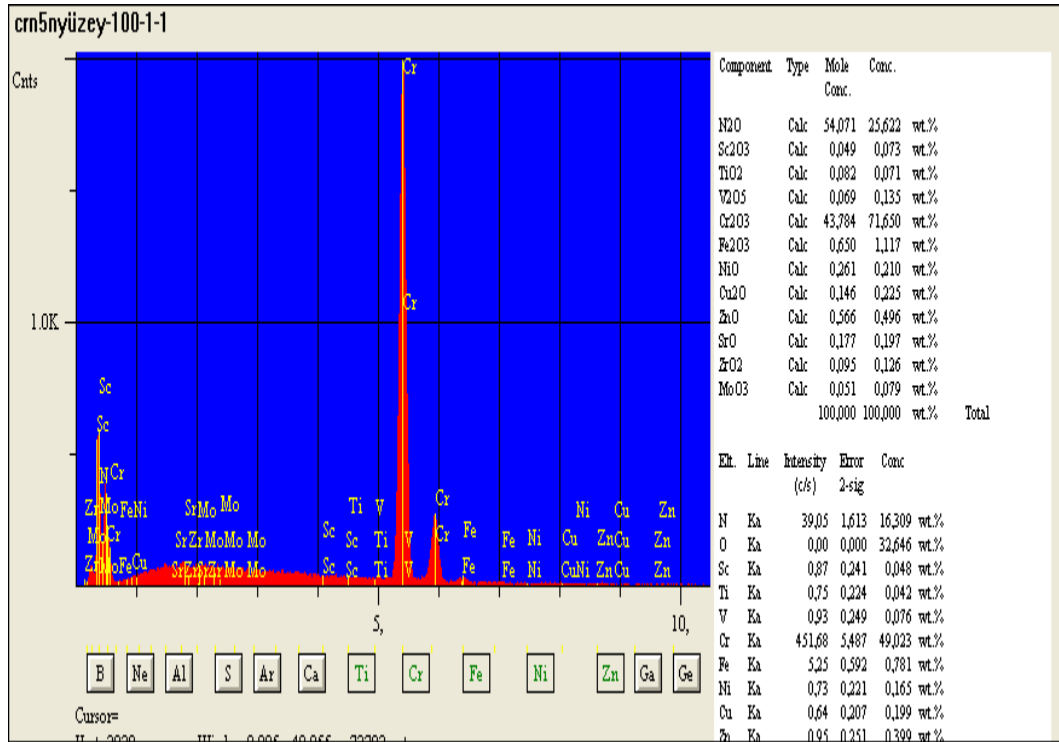
Şekil 4.33. 5N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin kesitten EDS görüntüsü

Resim 4.15'de yer alan CrN kaplamalı numunede kaplamanın kesitine bakıldığında yüzey kısmında kaplamanın sürekli olduğu köşe bölgelerinde ise birbiri ile bağlantılı ancak süreksiz kaplamanın olduğu görülmektedir. Süreksizliğin sebebi ise o bölgede çekirdekleşmenin zor olmasıdır. Bu tür yapılar malzemenin kendisinden büyüyen oksitlerde de görülmektedir. Şekil 4.33'te EDS analizinde aşınan bölgeden alınan görüntüde Fe'nin baskın element olduğu CrN'nin de yapıda bulunduğu tespit edilmiştir. Bu durum krom ve demir esaslı oksitlerin oluştuğunu gösterir.

CrN kaplamalı 5N yükle aşındırılan numunenin yüzeyinden alınan SEM ve EDS görüntüleri Resim 4.16 ve Şekil 4.34'de gösterilmektedir.



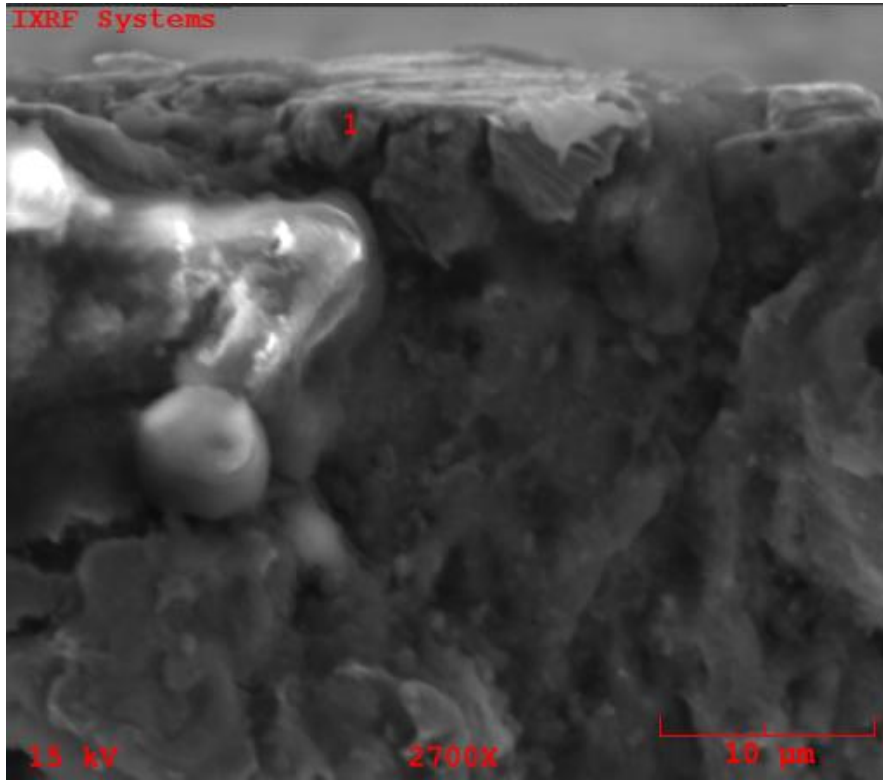
Resim 4.16. 5N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin yüzeyden alınan SEM görüntüsü



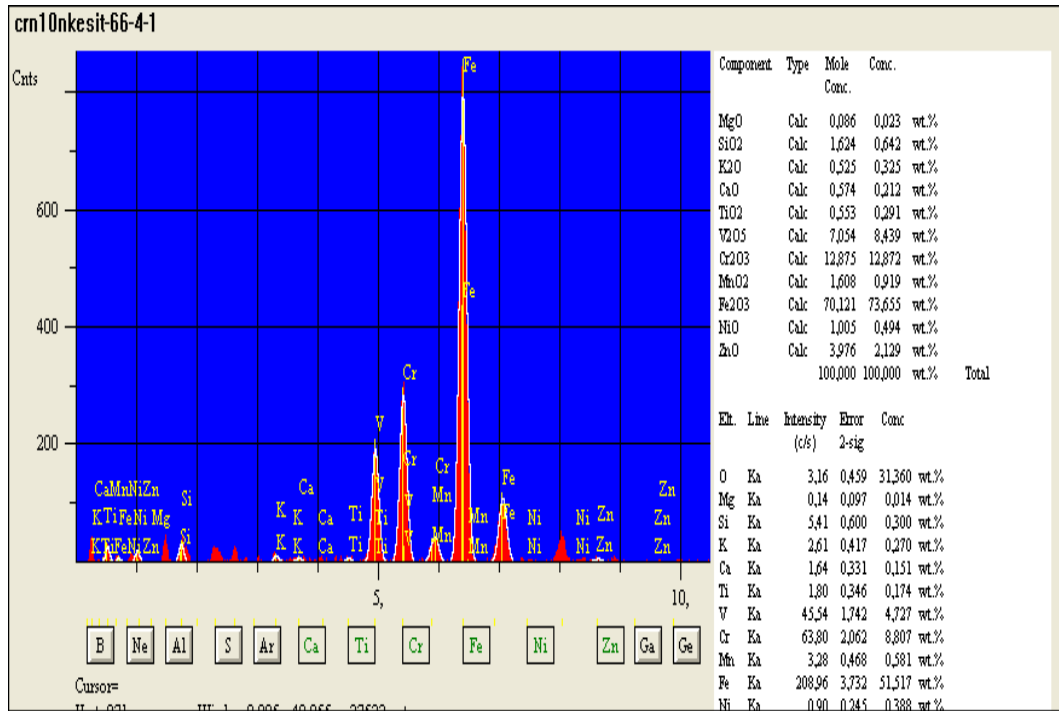
Şekil 4.34. 5N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin yüzeyden alınan EDS görüntüsü

Resim 4.16'da yüzey bölgesinden alınan resimde kaplamanın homojen olduğu yüzeyin herhangi bir pürüzlülük göstermediği zaman zaman birkaç mikrometre büyüklüğünde parçaların olduğu bunlarında belli bir doğrultuda oluştuğu görülmektedir. Aşınma deneylerinin yapıldığı bölgede ise bu izlerin bir kısmının kaybolduğu ve tipik aşınma yüzeyi görülmektedir. EDS analizinden de (Şekil 4.34) anlaşıldığı üzere ağırlıklı olarak Cr ihtiva ettiği görülmektedir.

CrN kaplamalı,10N yükle aşındırılan numunelerin kesitten alınmış SEM ve EDS görüntüleri Resim 4.17 ve Şekil 4.35'de gösterilmektedir.



Resim 4.17. 10N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü

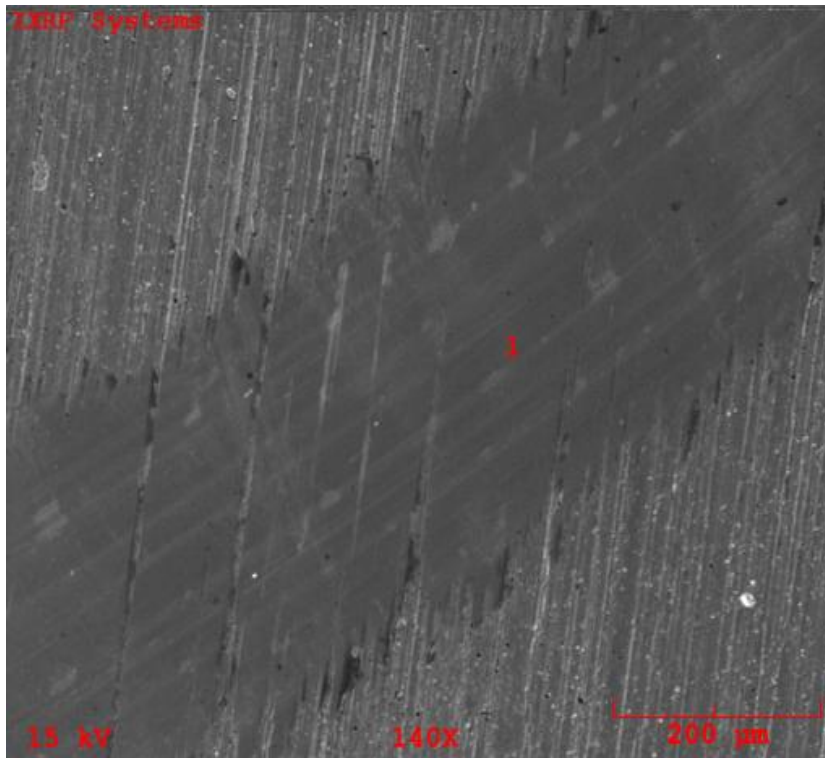


Şekil 4.35. 10N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin kesitten alınan EDS görüntüsü

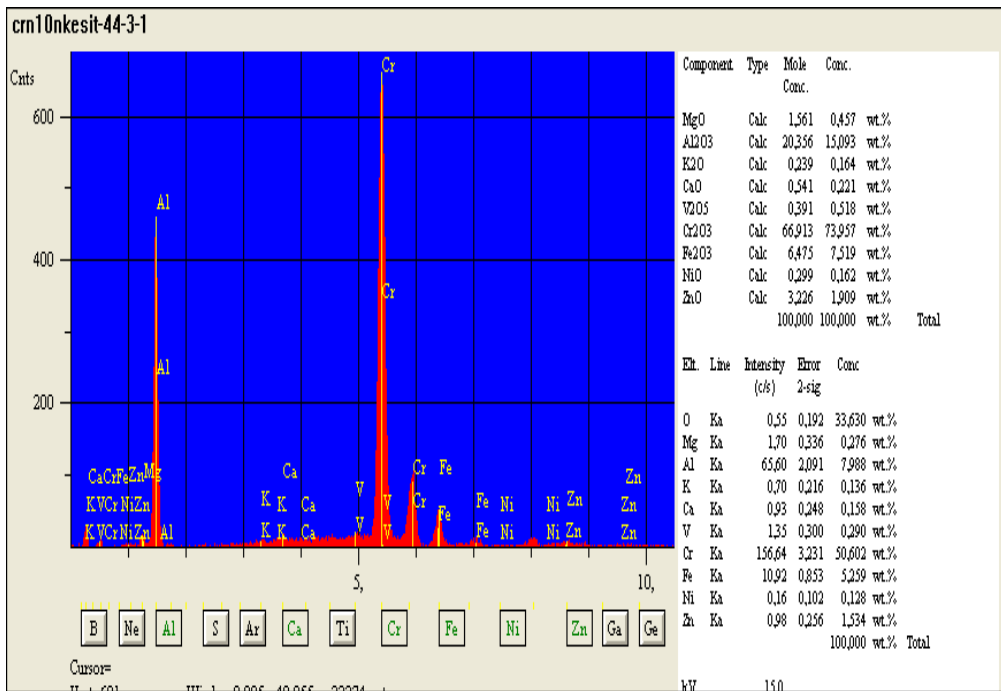
10N yükle aşındırılan CrN kaplamalı numunenin kaplama kesitinden de görüldüğü gibi kaplamanın yüzey kısmında sürekli olduğu köşe bölgelerinde ise birbiri ile bağlantılı ama süreksiz olduğu Resim 4.17'de gözlenmiştir.

Şekil 4.35'de ise ağırlıklı olarak Cr ve Fe'nin olduğu EDS analizinde görülmektedir.

10N yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin yüzeyden alınan SEM ve EDS görüntüleri Resim 4.18 ve Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



Resim 4.18. 10N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin yüzeyden alınan SEM görüntüsü

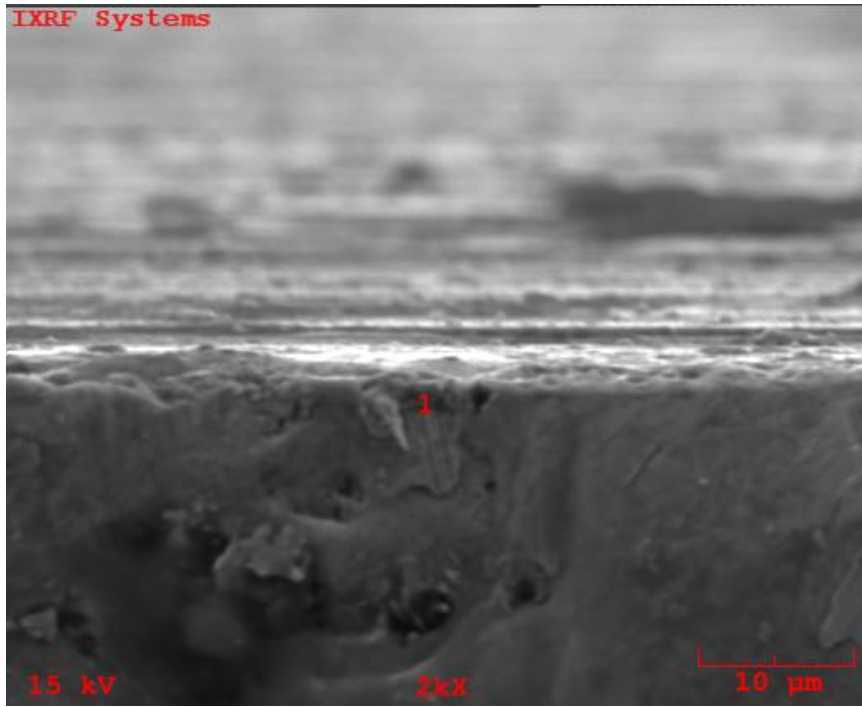


Şekil 4.36. 10N Yükle aşınan CrN kaplamalı numunenin yüzeyden alınan EDS görüntüsü

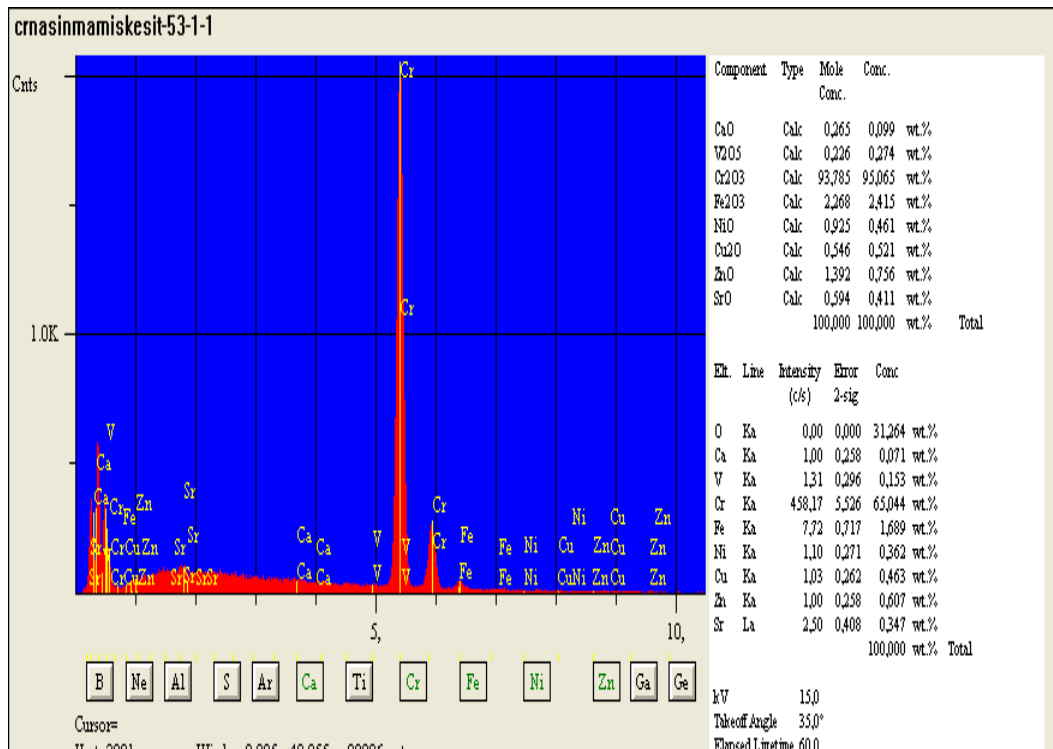
Resim 4.18'de yüzey bölgesinden alınan görüntüde kaplamanın homojen olduğu yüzeyin pürüzlülük göstermediği, küçük parçacıkların olduğu ve belirli bir doğrultuda olduğu görülmektedir. Aşınmanın yapıldığı bölgede bu izlerin kaybolduğu görülmektedir.

Şekil 4.36'da EDS analizine bakıldığında, Şekil 4.34'deki 5N yükü aşınan numune kadar olmasa da Cr ağırlıklı olarak ihtiva ettiği ve ana malzemeye difüze etmediği görülmektedir.

CrN kaplamalı aşınmaya maruz bırakılmamış numunenin SEM ve EDS görüntüleri Resim 4.19 ve Şekil 4.37'de gösterilmektedir.



Resim 4.19. Aşınmaya tabi tutulmayan CrN kaplamalı numunenin kesitten alınan SEM görüntüsü



Şekil 4.37. Aşınmaya tabi tutulmayan CrN kaplamalı numunenin kesitten alınan EDS görüntüsü

Aşınmaya maruz bırakılmayan numunenin Resim 4.19'deki SEM görüntüsünde kaplamanın kesitinden bakıldığında kaplamanın birbiri ile bağlantılı olduğu ancak süreksiz olduğu ve yüzey kısmına bakıldığında kaplamanın sürekli ve homojen olduğu, herhangi bir pürüzlülük göstermediği gözlemlenmektedir. Kaplama kalınlığı yaklaşık olarak 3 mikron olarak ölçülebilmektedir.

EDS analizinde (Şekil 4.37) ise Cr'nin yoğun olduğu, kaplama kalınlığının yaklaşık 3µm olduğu Calotest yöntemi ile bulunan değeri doğruladığı görülmektedir.

SEM görüntülerinde kaplama kalınlıklarının TiN ve CrN'nin 3 µm olduğu görülmektedir. Kaplamaların ana malzemeye difüze olmadığı tespit edilmektedir. Ayrıca EDS analizlerinde kaplama elementlerinin baskın olduğu

ancak Fe ve O 'nun da yapıda olduğu tespit edilmiştir. Bu yapılar demir esaslı oksitlerin oluştuğunu göstermektedir.

Wilson ve arkadaşları da, yüksek hız çeliği malzemenin Pin-On disk sistemi ile yaptıkları aşınma çalışmasında, çelik malzemenin kayma temaslarında Fe₂O₃ oksitlerinin bulunduğu gözlemlenebilmektedir ve benzer sonuçlar olduğunu belirtmişlerdir [60].

4.2.9. İstatistiksel çalışmalar

Yapılan çalışmalar sonucunda aşınma testi verileri (Çizelge 4.3 – Çizelge 4.5), sürtünme katsayısı (Çizelge 4.6) ve yüzey pürüzlülüğü (Çizelge 4.8 - Çizelge 4.10) verileri SPSS 10.0 ve JMP 7.0 istatistik programlarında incelenmiştir.

SPSS 10.0 programında incelenen aşınma testinin istatistiksel sonuçları Çizelge 4.11- Çizelge 4.14'de verilmektedir.

Çizelge 4.11. Aşınmış değerlerinin genel istatistiksel değerleri

			İstatistik	Std. Hata
Aşınma Farkı	Ortalama		11,1479	0,2925
	%95 güven aralığı için ortalama	Alt Sınır	10,5723	
		Üst Sınır	11,7235	
	5% Düzeltilmiş Ortalama		11,0818	
	Medyan		10	
	Varyans		26,617	
	Std. Sapma		5,1591	
	Minimum		2	
	Maksimum		20	
	Aralık		18	
	Bölümler Arası Aralık		8	
	Çarpıklık		0,45	0,138
	Basıklık		-0,92	0,276

Çizelge 4.12. Aşınmış numunelerin ortalama ve standart sapma değerleri

	Numune Sayısı	Ort. (mg)	Stn.sap. (mg)
Aşınma Farkı	36	8,64E-04	4,72E-04
Gruplar	36	2	0,8281

Çizelge 4.13. Aşınmış numunelerin gruplara göre ortalaması

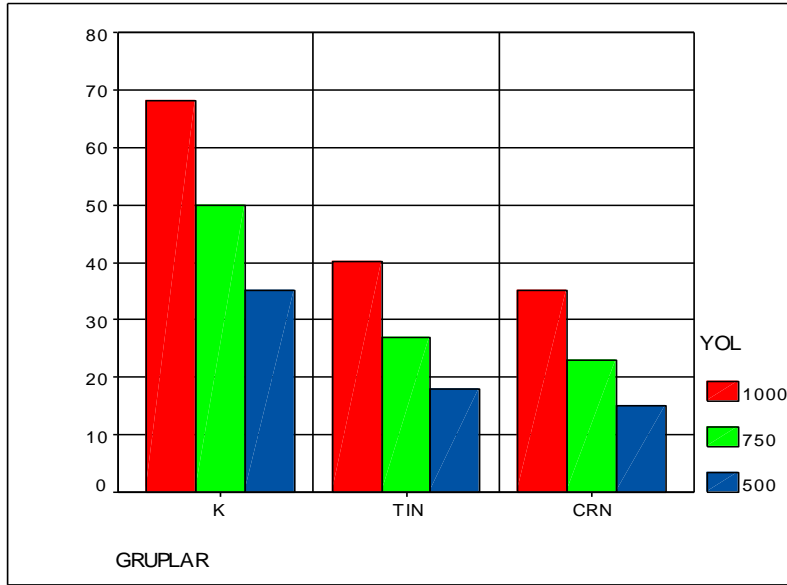
	Gruplar	Numune Sayısı	Ort. Sıra (mg)
Aşınma Farkı	1,00 Kaplamasız	12	26,67
	2,00 TiN	12	16,08
	3,00 CrN	12	12,75
	Total	36	

Çizelge 4.14. Numunelerin aşınma değerlerinin Ki-Kare testi

	Aşınma Farkı (mg)
Ki-Kare	11,509
Serbestlik Derecesi	2
Anlamlılık	0,003

SPSS 10.0 istatistik programında gruplar arasındaki ilişki parametrik olmayan verilerde kullanılan Kruskal Wallis testine göre değerlendirilmiştir. Gruplar arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p=0,003<0,05$). Bu grupları incelendiğinde sıra ortalamalarında CrN kaplamanın en düşük değer ile en az aşınma miktarına sahiptir.

Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamaları grup altında toplayarak inceleyen programda gruplar ve alınan yola bağlı olarak SPSS 10.0 programında grup-yol grafiği Şekil 4.38'de gösterilmektedir.



Şekil 4.38. Grupların yola bağlı olarak çapraz aşınma grafiği

Grup-yol çapraz aşınma grafiğinden de (Şekil 4.38) görüldüğü gibi alınan yola bağlı olarak kaplamasız (K) numunenin TiN ve CrN göre daha fazla aşındığı gözlemlenmektedir.

Çoklu regresyon analizi iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkileri ölçmek için kullanılmaktadır. Aşınma farklılığını oluşturan unsurlarda aşınma farkı bağımlı değişken, grup, yol ve ağırlık bağımsız değişkenlerdir. Çoklu regresyon analiz sonuçları Çizelge 4.15'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.15. Numunelerin aşınma farkı ve grupların istatistik verileri

	Ortalama (mg)	Std. Sapma (mg)
Aşınma Farkı	1,12E-03	5,16E-04
Gruplar	1,7428	0,814

Çizelge 4.16. Numunelerin çoklu regresyon modeli

Model Özeti										
Model	R	R Kare	Düzeltilmiş Kare	Std. Hata Tahmini	Değişen İstatiki Sonuçlar					Durbin Watson İstatistik Sonucu
					R Kare Değişimi	F Değişimi	df1	df2	Sig. F Değişimi	
1	.934 ³	.873	.872	1,85E-01	.873	704,000	3	307	.000	.080

SPSS 10.0 İstatistik programında verileri çoklu regresyon analizi ile incelendiğinde korelasyon katsayısı $r=0,93$ dür. Kurulan modelde güçlü ve pozitif bir korelasyon vardır. Belirtme katsayısı olan $r^2=0,87$ gruplar, yol ve ağırlık bağımsız değişkenleri ile aşınma farkının %87'sini açıklıyor demektir. Açıklanmama oranı $1-r^2 =0,13$ olarak ortaya çıkmaktadır. Çizelge 4.17'da anova testi sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Numunelerin çoklu regresyon Anova testi

Model	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.
Regresyon	7,20E-05	3	2,40E-05	704	0
Kalıntı	1,05E-05	307	3,41E-08		
Toplam	8,25E-05	310			

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında kurulan model (Çizelge 4.17) anlamlıdır ve önemlidir ($p=0,00<0,05$).

Çizelge 4.18. Numunelerin çoklu regresyon katsayı modeli

Katsayılar									
Model		Standart Olmayan Katsayılar		Standart Katsayılar	t	Sig.	Korelasyon		
		B	Stn. Hata				Beta	ilk Sıra Korelasyon	Kısmi Korelasyon
1	Sabit	3,130E-03	.000		64,652	.000			
	Gruplar	-4,140E-04	.000	-0,653	-32,06	.000	-0,661	-0,877	-0,652
	Yol	-3,592E-04	.000	-0,549	-26,97	.000	-0,510	-0,839	-0,548
	Ağırlık	-5,780E-04	.000	-0,395	-19,36	.000	-0,409	-0,741	-0,394

Çoklu regresyon katsayı modeli (Çizelge 4.18) incelendiğinde aşınma farkını oluşturan en önemli etkenin ağırlık olduğu görülmektedir. Sonrasında sırası ile grup ve yol gelmektedir.

Tahmini aşınma farkı da (Y); ağırlık, grup ve yol değerlerinin aşağıdaki formül de yerine konulması ile bulunur.

$$Y = -0,00313 + 0,0000414(\text{grup}) + 0,00000359(\text{yol}) + 0,0000578(\text{ağırlık})$$

JMP 7.0 programında incelenen aşınma testi veri analiz sonuçları çizelge 4.19'da verilmektedir.

Çizelge 4.19. JMP 7.0 programında aşınma farkının varyans analizi

Varyans Analizi					
Kaynak	DF	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Oranı	Prob> F
Yol	2	1,69444E-06	8,4722E-07	8,5196	0,0050*
Yük	1	9,38889E-08	9,3889E-08	0,9441	0,3504
Yol*Yük	2	1,94444E-07	9,7222E-08	0,9777	0,4043
Hata	12	1,19333E-06	9,9444E-08		
Toplam	17	3,17611E-06			0,0231*

Yapılan varyans analizinde aşınmalar üzerinde yolun etkili olduğu, yük ve yolxyük etkileşiminin etkili olmadığı görülmüştür ($p < 0.005$).

AISI 3343 çeliğinin kaplamasız, TiN ve CrN kaplayarak aşınma davranışlarının SPSS 10.0 ve JMP 7.0 istatistik programlarında varyans analizleri incelenerek alınan yolun etkili olduğu ve CrN kaplamalı numunenin daha az aşındığı saptanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Kaplamasız, TiN ve CrN kaplamalı numuneler kullanılarak kuru sürtünme ve oda sıcaklığı ortamında yapılan çalışmada, alınan yol ve yükün değişken parametreler kullanılarak Pin-On disk deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. PVD yöntemiyle AISI 3343 çeliklerinde TiN ve CrN tabakası başarıyla oluşturulabilmektedir.
2. Aşınma deneyleri sonucunda numunelerdeki ağırlık kayıpların da düzenli bir düşüş olduğu fakat $\pm 1\text{mg}$ gibi çok düşük bir seviyede hassasiyette olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç, “aşınma deneylerinde ağırlık kaybı ölçümü, aşınmanın çok düşük olduğu ince ve aşınma dirençli kaplamalar için yeterince hassas değildir [57].” görüşünü desteklemektedir.
3. Kaplamasız deney numunesi ile TiN ve CrN kaplı deney numunelerini aşınma dirençleri karşılaştırıldığında kaplanmış numunelerin kaplamasız numunelere göre daha az aşındığı gözlenmiştir. Bu sonuç, “kaplamalı numunelerin aşınma dirençlerinin daha fazla olduğu görülmüştür. TiN tabakanın kalınlığı arttıkça aşınma direnci de artar [38].” görüşünü desteklemektedir.
4. Sürtünme kuvvetinin yol ve zamana bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Artış göstermesi de gayet normaldir. TiN ve CrN kaplamalı numunelerin sürtünme kuvvetleri birbirine paralellik göstermektedir.
5. En fazla sürtünmenin kaplamasız, en az sürtünmenin ise CrN kaplamalı numunelerde gerçekleştiği görülmektedir.

6. Deney numunelerinin SEM görüntüleri incelendiğinde parlamış kaplama bölgesinde oksit tabakalarının oluştuğu, aşınmanın yüzeyde abrasiv karakterde olduğu ve tabaka halinde olmadığı gözlenmiştir. Bu sonuç kaplamanın yapışma mukavemetinin yüksek olduğunu göstermektedir.
7. Numunelerin yüzey pürüzlülüğünün hem iz derinliği hem de iz genişliğine bağlı olarak kaplamasız numunelerin TiN ve CrN kaplamalı numunelere oranla daha fazla aşındığı, TiN kaplamalı numunenin ise CrN kaplamalı numuneye göre fazla aşındığı gözlenmiştir.
8. Şekil 4.5'teki grafikte görüldüğü gibi 5N yük altında CrN kaplamalı numunelerin kaplamasız numunelere oranla aşınma miktarında azalma olduğu görülmektedir.

5.2. Öneriler

Bu çalışmada AISI 3343 çeliklerinde aşınmanın zamana ve yüke bağlı olarak incelenmesinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Literatür araştırmasına bakıldığında farklı parametreler uygulanarak aşınma olayının değerlendirildiği görülmektedir.

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

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

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

Deneylerde kullanılan taban malzemenin aşınmaya maruz bırakılmış bir uygulama alanına sahip olduğu dūřünūlen kalıp zimbalarından hareketle yūksek hız çeliği seçilmiştir. Kalıp zimbalarının kullanıldığı deneysel çalışmalarımızda çeşitli kaplama ve yūk parametreleri kullanılmıştır. Araştırmacılar yapacakları çalışmalarda farklı kaplama yūntemleri, taban malzemeleri veya farklı şartların etkilerini inceleyebilir ve karşılaştırılabilirler.

KAYNAKLAR

1. Dearnley, P.A., "Thin Hard Coating For Tribological Protection", **Heat Treatm.Met.**, 83–91 (1987).
2. Sert, H., Karamış, M.B., "PVD ile TiN kaplı ve Kaplamasız H13 Çeliğinin XRD ve XRS Çalışmaları" **Makina Tasarım Teorisi ve Modern İmalat Yöntemleri Konferansı**, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1-10(1997).
3. Yıldırım, M.M., "Lazerle Yapılan Yüzey İşlemlerde Son Uygulama Teknikleri" **5. Denizli Malzeme Sempozyumu**, Denizli, 560–570 (1993).
4. Karamış, M.B., Gerçekçioğlu, E., Sert, H., " Sert metal tozlarıyla kaplanmış AISI 1050 çeliğinin abrasiv aşınma davranışı", **6th International Machine Design and Production Conference**, METU, Ankara, 1-9 (1994).
5. Godet, M., Berthier, L., Vicent, L., and Flamand, L., "Hard coatings for tribological Application: a pluridisciplinary approach" **Surface and Coating Tech.**, 1-8 (1991).
6. Tönshoff, H.K., Karpuschewski, B., Mohlfeld, A., and Seegers, H., "Influence of stress distribution on adhesion strength of sputtered hard coatings", **Thin Solid Films**, 146–150 (1998).
7. Sert, H., Karamış, M.B., " PVD ve CVD yöntemleriyle yüzey kaplama ve kaplama özellikleri", **5. Denizli Malzeme Sempozyumu**, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 572–575 (1993).
8. Savaşkan, M., Taptık, Y., Ürgen, M., "Deney Tasarımı Yöntemi İle Matkap uçlarında Performans Optimizasyonu" **İtü dergisi/d Mühendislik**, 117-128 (2004).
9. Sert, H., Can, A., Samancı, A., Dağ, M., " TiN Kaplanmış AISI 304 çeliklerinin aşınma davranışlarının incelenmesi" **III. Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi**, Konya, (2005).
10. Karamış, M.B., Sert, H., "Physical Vapour Deposition Techniques For Endustrial Application", **Balcantrib'96 2nd International Conference of Tribology**, Thessaloniki, 379–383 (1996).
11. Sert, H., "PVD ile TiN kaplanmış Alüminyum Ekstrüzyon Kalıplarının Yüzey Özellikleri ve Aşınma Performanslarının Deneysel İncelenmesi", Doktora Tezi, **Erciyes Üniversitesi**, Kayseri, 1-47 (1997).

12. Karamış, M.B., "Abresiv aşınma mekanizmasında yüzey basıncın aşınmaya etkisi" **2. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi**, 493–500 (1986).
13. Tsao, C.-C., "Prediction of flank wear of different coated drills for JIS SUS 304 stainless steel using neural network", **Journal of Material Processing Technology**, 5618, 1-7 (2002).
14. Kopac, J., "Influence of Cutting Materials and Coating on Tool Quality and Tool Life", **Journal of Materials Processing Technology**, 95–103 (1998).
15. Ezugwu, E., Okeke, C.I., "Tool Life and Wear Mechanism of TiN Coated Tools in an İntermittent Cutting Operation", **Journal Materials Processing Technology**, 116: 10-15 (2001).
16. Yalçın, B., Yılmaz, N., "Ark PVD Yüzey Kaplama Metoduyla Titanyum nitrür (TiN) Kaplanmış Matkap Takımlarında Takım Aşınmasının Deneysel olarak incelenmesi", **Yüzey İşlemler Dergisi**, 300-304 (2000).
17. Gökkaya, H., Sur, G., Dilipak, H., "PVD ve CVD Kaplamalı Sementit Karbür Kesici Takımların İşleme Parametrelerine Bağlı Olarak İncelenmesi", **Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi**, 4(7): 473-478 (2004)
18. AB Sandvik coromant, "**Sandvik tornalama takımları kataloğu**", C-1000:8-Tur/01 İsveç, 41-47 (2002).
19. Renea, C., "Wear resistance of thin coatings based on Titanium" **Balkantrib**, Kayseri, 783-788 (2002).
20. Habalı, K., Gökkaya, H., Sert, H., " Kesici Takım kapla malzemesi ve kesme parametrelerinin AISI 1040 çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi" **Politeknik Dergisi**, 1(9): 35-38 (2005).
21. Sert, H., Meriç, C., " Aşınan metallerin hayata kazandırılmasında yeni bir yöntem çelik toz püskürtme ve mekanik testleri" **5. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi**, ODTÜ,Ankara, 563-571 (1992).
22. Sert, H., Can, A., " AISI 5140 çeliğinin tornalanmasında kesme ve kaplama değişkenlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi" **II. Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi**, Konya, 125-135 (2003).

23. Padley, S., and Devi, S.C. "Single Layer and Multilayer Wear resistant coatings of Ti, Al, N a review", ***Material Science and Engineering***, 342, 58-79 (2003).
24. Gökçaya, H., Nalbant, M., "Kaplama Çeşidi ve İşleme Parametrelerine Bağlı Olarak Takım-Talaş Ara Yüzey Sıcaklığı VE Yüzey Pürüzlülüğündeki Değişim", ***5.Uluslararası İleri Teknolojileri Sempozyumu (IATS'09)***, 1-8 (2009).
25. Totik, Y., Efeoğlu, İ., Gavgalı, M., Sadeler, R., "Isıl İşlem Görmüş (TiAl)N Seramik Filmin Yapısal özelliklerinin Araştırılması", ***Umtik2000_87***, 1-6 (2000).
26. Gadelmavla, E.S., Koura, M.M., "Roughness Parameter", ***Journal Of Material Processing Tecnology***, 123, 133-145 (2002).
27. Martin, P.J., Bendavid, A., "The Filtered Arc Process and Materials Deposition", ***Surface and Coating Tecnology***, 142-144, 7-10 (2001).
28. Tay, B., Shi, X., Yang, H., Tan., Chua, D., Teo, S.y., "The Effect of Deposition Conditions on the Properties of TiN Thin Films Prepared by Filtered Cathodic Vacuum-Arc Technique", ***Surface and Coatings Technology***, 11, 229-233 (1999).
29. Cheng, Y.H., Tay, B.K., "Development of Texture in TiN Films Deposited by Filtered Cathodic Vacuum Arc", ***Journal of Crystal Growth***, 252, 257-264 (2003).
30. Zhengyang, L., Wubiao, Z., Yong, Z., Guiying, L., Eryan, C., "Effects of Superimposed Pulsed Bias on TiN Coating in Cathodic Arc Deposition", ***Surface and Coatings Technology***, 131, 158-161 (2000).
31. Mustapha, N.M., Howson, R.P., "Reactive Filtered Arc Evaporation", ***Vacuum***, 60, 361-368 (2001).
32. Kothari, D.C., Kale, A., "Recent Trends in Surface Engineering Usig Cathodic Arc Technigue", ***Surface and Coatings Technology***, 158-159, 174-179 (2002).
33. Prengel, H., Jindal, P.C.,Wendt, K.H., Santhanam, A.T., Hegde, P.L., Penich, R.M., "New Class of High Performance PVD Coatings for Carbide Cutting Tools", ***Surface and Coatings Technology***, 139, 25-34 (2001).
34. Tanaka, Y., Ichimiya, N., Onishi, Y., Yamada Y., "Structure and Properties of Al-Ti-Si-N Coatings Prepared by the Cathodic Arc Ion Plating Method for High Speed Cutting Applications", ***Surface and Coatings Technology***, 146-147, 215-221 (2001).

35. Çınar, O., "TiAlN, TiN Tek ve Çok Katlı Kaplamaların Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 1-50 (1998).
36. Tuck, J.R., Korsunsky, A.M., Bhat, D.G., Bull, S.J., "Indentation Harness Evaluation of Cathodic Arc Deposited Thin Hard Coatings", **Surface and Coatings Technology**, 139, 63-74 (2001).
37. Türküz, M.C., "Ark PVD Yöntemiyle TiN Kaplanmış Kesici Takımların Karakterizasyonu ve Performanslarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 50-116 (1997).
38. Dağ, M., "PVD yöntemiyle TiN kaplanmış AISI 304 çeliğinin aşınma deneyleri ve yüzey pürüzlülüklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-93 (2002).
39. Özer, A.E., "PVD Yöntemiyle Yapılan Sert Seramik Kaplamalar", **Metal Dünyası Dergisi**, 1-5 (2003).
40. Kıyak, M., Çakır, O., Altan, E., "CVD ve PVD Kaplama Yöntemlerinin Kesici Takımlara Uygulanması", **II. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi**, Konya, 115-124 (2003).
41. Okay, F., "PVD Yöntemiyle TiN Kaplı Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Adhesiv Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-70 (2006).
42. Özcan, A., "PVD Kaplamaların Sert Metallere Uygulanması" Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, 12-18 (1997).
43. Hazar, H., Öner, C., "CrN Kaplamanın Bir Dizel Motor Üzerindeki Etkileri", **Mühendis ve Makine**, 48 (574):1-5 (2007).
44. Sert, H., Can, A., Samancı, A., Toprak, H., "Borlanmış ve PVD TiN Kaplanmış Kam Millerinin Aşınma Davranışları", **III. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi**, Konya, 1-9 (2005).
45. Titanit Ultra Sert Kaplamalar San. ve Tic. Ltd. Şti., "PVD Kaplama ", <http://www.titanit.com.tr/tin.asp>, Zeytinburnu/İstanbul, (2009)
46. Pulker, H.K., "Wear and Corrosion Resistant Coatings by CVD and PVD" **Expert-Verlag**, 6-20 (1989).
47. Chang, L.C., "Carbon Content of Austenite in Austempered Ductile Iron" **Department of Mechanical Engineering, Scripta Materialia**, 39;35-38 (1998).

48. Kesik, M., “ Mo-N Esaslı PVD Kaplamaların Oksidasyon Davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 7-34 (1997).
49. Chin, J., Gantzel, K.P., Hudson, G.R., “**Thin Solid Films**”, 40-77 (1977).
50. Thornton, A.J., “Designing the Surface for the Web – Thin Film Applications”, **19th National SAMPE Symposium**, Buena Park, CA, 55-66 (1974).
51. Konuma, M., “Film Deposition by Plazma Techniques”, **Springer-Verlag**, New York, 140-153 (1992).
52. Hocking, M.G., Vasantasree V., Sidney P.S., “Metalic and Ceramik Coatings”, **John Wiley & Sons Inc.**, New York, 120-132 (1989).
53. Lankey, R.L., Hsiung, L.M., Wadley, H.N.G., Karecki, S.M., Smith, D.T., Halpern, B.L., Schmit, J.j., “Artificially Layered Al/Cu Nonocomposites Fabricated by Jet Vapour Deposition”, **Proc. MRS**, San Francisco, 382, 113 (1995).
54. Hubler, G.K., “Comparison of Vacuum Deposition Tecniques in Pulsed Laser Deposition of Thin Films”, **Jhon Wiley & Sons Inc.** 327 (1994).
55. Sert, H., Samtaş, G., Toprak, H., “Doğrudan Buhar Biriktirme Tekniği (DVD), ekipmanları ve kullanımı” **Umtik**, İstanbul, 1-15 (2002).
56. Duman, Ü., Dağlılar, S., “Katı Hal Kaynağı ile Birleştirilen AISI 3343 S 600-AISI4140 Çeliklerinin Araştırılması”, **Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Dergisi**, (139):1-5 (2005).
57. Akkaş, O., “TiN Kaplama Parametrelerinin, Aşınma Davranışı Üzerindeki Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 1-60 (1998).
58. He, J.L., Lin, Y.H., Chen K.C., “Wear Performance of CAP-Titanium Nitride-Coated High-Speed Steel in Different Dry Sliding Conditions”, **Wear**, 208, 36-41 (1997).
59. Savaş, S., “PVD Metodu ile TiN kaplanmış S 6-5-2 Yüksek Hız Çeliğinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”,Yüksek Lisans Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 1-167 (2004).
60. Wilson, S., Alpas. A.T., “TiN Coating Wear Mechanismis in Dry Sliding Contact Against High Speed Steel”, **Surface and Coatings Technology**, 108-109, 369-376 (1998).

61. Hogmark, S., Hedenqvist, P., Jacobson, S., "Tribological Properties of Thin Hard Coatings: Demands and Evaluation" **Surface and Coatings Technology**, 90, 247-257 (1997).
62. Ahlatcı, H., " Kesici Takımların Performansına Takım Malzemesinin ve TiN Kaplamanın Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 1-50 (1997).
63. Alpdoruk, D., " Kesici Takımlar Üzerine Yapılan TiN Sert Seramik Film Kaplamanın Kesici Takım Ömrüne Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 1-65 (1996).
64. Karagöz, H., " Kesici Takım Malzemesinde PVD CVD Tipi Modern Seramik Katmanların Takım Ömrüne Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi**, Kocaeli, 25-65 (1994).
65. Şahin, Y., "Talaş Kaldırma Prensipleri 1", **Nobel Yayın Dağıtım**, Ankara, 201 (2000).
66. Topbaş, M.A., "Isıl İşlemler", **Yıldız Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 437 (1993).
67. Candemir, L., "Katodik Ark PVD Yöntemi ile Üretilmiş TiAlN ve TiN Kaplamaların Korozyon Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 1-75 (1995).
68. Değerli, B., "Aşınma Deneğinde Kullanılan Deney Düzenekleri", **Mühendis ve Makine**, 37, (23): 3-18 (1986).
69. Şafak, H.E., "Yüzeyi PVD ile Kaplanmış Metallerde Tribolojik Özelliklerin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 20-60 (2008).
70. Osmalı, A., "İnce Sert Seramik Kaplamaların Kazımalı Aşınma Davranışları ile Zımbalama İşlemine Uygulamaları", Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 1-80 (1999).
71. Hazar, H., "Bir Dizel Motoru Silindir Yüzeyinin Seramik Malzeme İle Kaplanarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 112 (2004).
72. Karamış, B., Özdemir, A., Karataş, Ç., Sert, H., "The Investigation Of Production Performance Of The Die Punces Which Are Non-Coated And Coated TiN With PVD", **Balcantrib'99 3rd International Conference of Tribology**, Romanya, 221-229 (1999).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :ÖZTÜRK, Uğur
Uyruğu :T.C.
Doğum tarihi ve yeri :09.09.1984 / TOKAT
Medeni hali :Evli
Telefon :0(312) 363 00 06
e-mail :ugur_oztrk@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliği Bölümü	2005
Lise	Tokat Endüstri Meslek Lisesi	2000

Yabancı Dil

İngilizce