

**ÇİFT YÜZEY İŞLEMİ UYGULANMIŞ ÇELİKLERİN
ÜZERİNDEKİ TABAKALARIN
BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yüksel YILMAZ

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. ŞÜKRÜ TAKTAK

METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

OCAK 2007

“Bu tez çalışması “104M213” numaralı proje olarak TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.”

T.C.

AFYONKARAHİSAR KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇİFT YÜZEY İŞLEMİ UYGULANMIŞ ÇELİKLERİN ÜZERİNDEKİ
TABAKALARIN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Yüksel YILMAZ

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Şükrü TAKTAK

METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

OCAK 2007

ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. Şükrü TAKTAK danışmanlığında, Yüksel YILMAZ tarafından hazırlanan “Çift Yüzey İşlemi Uygulanmış Çeliklerin Üzerindeki Tabakaların Bazı Mekanik Özellikleri” başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri

uyarınca

22/01/2007

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından

Metal Eğitimi Anabilim Dalında

Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI

İmza

Jüri Üyesi : Doç.Dr. Kubilay ASLANTAŞ
(Başkan)

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr Şükrü TAKTAK
(Danışman)

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr Ayhan EROL

.....
.....
.....

Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun

23 / 01 / 2007 tarih ve

02/14 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇİFT YÜZEY İŞLEMİ UYGULANMIŞ ÇELİKLERİN ÜZERİNDEKİ TABAKALARIN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Yüksel YILMAZ

Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Şükrü TAKTAK

Teknolojik uygulamalarda kullanılan malzeme yüzeylerinin fonksiyonel olması gerekmektedir. Mühendislik malzemelerine olan ihtiyacın giderek artması yüksek korozyon ve aşınma gibi gelişmiş yüzey özellikleri gösteren malzemelerin geliştirilmesine imkan vermiştir. Endüstrideki performansı artırma talebi metal yüzeylerinde dubleks kaplamaların kullanılmasını zorlamıştır ve bu dubleks kaplamalar yaygın bir şekilde araştırılmaktadır. Bu kaplamalardan biri de Cr-N kaplama sistemidir.

Bu çalışmada çeliklere kromlama ve plazma nitrüleme ısıl işlemi ardı ardına uygulanmış ve dubleks yüzey elde edilmeye çalışılmıştır. Kaplama için AISI 8620 ve 52100 çelikleri kullanılmıştır. Kromlama termo-reaktif difüzyon yöntemi (TRD) ile %55 Al₂O₃, %35 ferro-krom ve %10 NH₄Cl içeren bir kutu içerisinde 1000 °C'de 5 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. İkinci olarak kromlanmış numuneler üzerinde plazma iyon yöntemi ile %50 H₂ ve %50 N₂ gazı ortamında 500 °C'de 5 saat süre ile nitrüleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kesitten kesilen numuneler metalografik işlemlerden

geçirilerek optik mikroskop altında incelenmiştir. Numuneler üzerinde X-ışınları analizi ve mikrosertlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca krom karbür ve krom nitrit kaplanmış numunelere çizik testi uygulanarak kaplama tabakasının adhezyonu ölçülmüştür.

Yapılan incelemeler sonucunda AISI 52100 çeliği üzerinde kaplama tabakasının daha fazla oluştuğu gözlenmiştir. Kromlanmış numunede darbeli plazma nitritleme işlemi neticesinde XRD analizi ile CrN ve Cr₂N fazları tespit edilmiştir. Dupleks işlem ile oluşturulan tabakaların sertlikleri tek işlem görmüş çeliklere oranla fazla çıkmıştır. Çizik testi dupleks yüzey işleminin adhezyonu artırdığını göstermiştir.

2007, 61 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kromlama, plazma nitritleme, dupleks kaplama, çizik testi

ABSTRACT

M.Sc

SOME MECHANICAL PROPERTIES OF LAYERS ON STEELS TREATED DOUBLE SURFACE PROCESSES

Yüksel YILMAZ

Afyonkarahisar Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metal Education

Supervisor: Asst. Prof. Şükrü TAKTAK

Material surfaces used in technological applications must be functional for desired performance. With the increasing progress in engineering a growing need has been felt for materials that exhibit improved surface properties, such as an increased resistance to wear and corrosion. The demand for increased performance of industry has forced the use of duplex coated metals and duplex surface treatments applied on metals increasingly become widespread. One of these duplex surface treatments is Cr-N coating system.

In this study, plasma nitriding surface treatments, followed by chromizing, were performed and multi-layer coatings were obtained. AISI 8620 and 52100 bearing steels were used for coatings. Chromizing heat treatment was performed by thermo-reactive deposition method in a pack containing 55 % Al_2O_3 , 35 % ferro-chromium, 10 % NH_4Cl powder mixtures at 1000 °C for 5 h. Secondly, chromized samples were nitrided in 50 % N_2 : 50 % H_2 plasma at 500 °C for 5 h. Dublex treated samples were prepared from cross-section for metallographic investigation and they examined by optical

microscopy. X-ray diffraction analysis and microhardness test were performed on the samples. In addition, adhesion of formed layers on the chromized and duplex treated samples were measured by scratch test.

It was observed that coating layer on 52100 steel was thicker than that of 8620 steel. XRD analysis showed CrN and Cr₂N phases for samples double surface treated. Surface hardness of double treated steels was harder than that of only TRD treated. Scratch test results showed that double surface treatment increased the adhesion.

2007, 61 pages

Key Words: Chromizing, plasma nitriding, duplex coatings, scratch test

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın yürütölmesi esnasında büyük bir sabır göstererek, yardımlarını ve ilgisini esirgemeyen, ok değerli danışman hocam Sayın Yrd.Do.Dr. Şükrü TAKTAK' a,

Bu aőamaya gelmemde ve yetiőmemde maddi, manevi tüm gücüyle desteğini gösteren ve emeklerini hiçbir zaman ödeyemeyeceğim çok kıymetli aileme,

Bu çalıőmanın deneysel aőamasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Arő.Gör. İbrahim GÜNEŞ'e, Şükrü ÜLKER'e, ve çok değerli Metal Eğitimi Bölümü Öğretim Üyeleri ve Elamanlarına,

Numunelerin izik testinin yapılmasında yardımcı olan Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümü Öğretim Üyelerinden Sayın Yrd.Doç.Dr. Őengül DANIŞMAN'a ve Arő.Gör. Soner SAVAŐ'a

Çalıőmam esnasında karşılaőtığım zorlukları aőmamda yardımcı olan değerli arkadaşlarım Sayın Selda ARSLAN, Ercan ŐİMŐEK, Recep PEYNİRCİ ve Hakan AKBABA'ya,

Ve bu tezi proje olarak destekleyen TÜBİTAK'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Yüksel YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Plazma Nitrürleme	4
2.2 Plazma Nitrürasyon Deney Düzenneği	5
2.3 Plazmanın Tanımı ve Elemanları	5
2.4 Plazma Karışımını Meydana Getiren Elemanlar	6
2.5 Plazma Konumu Geçiş	8
2.6 Plazma Elde Etme Yöntemleri	8
2.6.1 Isı Enerjisi ile Elde Etme	8
2.6.2 Işınla Elde Etme	8
2.6.3 Kompresyon = Sıkıştırma ile Elde Etme (Mekanik)	8
2.6.4 Elektrik Boşalmasıyla Elde Etme	9
2.7 Elektriki Boşalma Mekanizması (Glow Discharge)	9
2.8 Plazmanın Özellikleri	11
2.9 Plazmanın Sınıflandırılması	11
2.10 Endüstriyel Uygulamalarda Plazma Nitrürleme	12
2.11 Plazma ile Termokimyasal Yüzey İşlemleri	14
2.11.1 Plazma ile Borlama	15
2.11.2 Plazma ile Nitrürleme	16
2.11.2.1 Sıvı Nitrürleme (Tuz Banyosunda Nitrürleme)	17
2.11.2.2 Gaz Nitrürleme	18

2.11.3 Plazma ile Karbürleme	18
2.11.4 Plazma ile Nitrokarbürleme	18
2.12 Ekipman ve Prosesler	19
2.13 Ekonomik Olarak Plazma Nitürleme	20
2.14 Metalurjik Yönden Plazma Nitürleme	21
2.15 Plazma Nitürleme Yönteminin Numune Hazırlama Yönünden Avantajları	22
2.16 Plazma Nitürleme Yöntemi Kullanılarak Yapılmış Literatürdeki Bazı Çalışmalar	22
3. YÜKSEK SICAKLIK DİFÜZYON KAPLAMALARI	24
3.1 Termo-Reaktif Difüzyon Prosesi (Difüzyon Esaslı Kaplama TRD) .	24
3.2 Temel Prensipler	24
3.3 Termokimyasal Difüzyon Yöntemlerinin Etkilendiği Değişkenler	25
3.4 TRD (Difüzyon Esaslı Kaplama) Yöntemiyle Karbür Tabakası Oluşturulan Ortamlar	26
3.4.1 Katı Ortamda Yapılan Karbürleme	26
3.4.2 Sıvı Ortamda Yapılan Karbürleme	26
3.4.3 Gaz Fazından Çökeltme ile Oluşan Karbürleme	27
3.4.4 Akışkan Yatakta Yapılan Karbürleme	27
3.5 Karbürler	27
3.6 Karbürlenmiş Yüzeylerin Genel Özellikleri	28
3.6.1 Oksidasyon Direnci	29
3.6.2 Aşınma Dayanımı ve Ömrü	29
3.6.3 Sertlik	29
3.6.4 Korozyon Direnci	29
3.7 TRD Yönteminin Endüstriyel Uygulamaları	30
3.8 TRD (Difüzyon Esaslı Kaplama) Prosesinin Üstünlükleri	31
4. KAPLAMALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	32
4.1 Kaplamalarda Yüzey İşlemlerinin Önemi	32
4.2 Yüzey İşlemlerinin Amacı	32
4.2.1 Ana Metalin Aşınma ve Sürtünme Özelliklerinin Geliştirilmesi	32

4.2.2 Korozyona Karşı Direncin Arttırılması	33
4.2.3 Üretim Maliyetinin Düşürülmesi	33
4.3 Metal Yüzeylerin Temizlenmesi	33
4.3.1 Yağlı Maddelerin Alınması	33
4.3.1.1 Organik Çözücüler	34
4.3.1.2 Alkali Çözelti Kullanılması	34
4.3.1.3 Elektriksel Temizleme İşlemi	34
4.3.1.4 Dağlama	34
4.3.2 Kabukların ve Diğer Oksitlerin Alınması	35
4.3.2.1 Demir ve Çeliği Asitle Temizleme(Pikaj İşlemi)	35
4.3.2.2 Oksit Tabakasının Elektrolitik Yolla Kaldırılması	35
4.3.2.3 Kum Püskürtme	35
4.3.2.4 Tel Fırça ile Fırçalama	36
4.3.2.5 Dönen Fırçalar	36
4.4 Kaplamalarda Aşınmaya Neden Olan Durumlar	37
4.4.1 Adhezyon (Yapışma)	37
4.4.2 Abrazyon	38
4.4.3 Erozyon	39
4.4.4 Korozyon	39
4.4.5 Delaminasyon (Kavkırma)	39
4.4.6 Yüzeysel Yorgunluk	39
5. MATERYAL ve METOD	40
5.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler	40
5.2 Kromlama ve Plazma Nitürleme İşleminin Yapılması	40
5.3 Metalografik İnceleme	41
5.4 XRD Çalışmaları	41
5.5 Tabaka Kalınlığı, Mikrosertlik Deneyi Ve Yüzey Pürüzlülüğü ...	41
5.6 Scratch Test (Çizik Testi)	42
6. BULGULAR	43
6.1 Metalografik Bulgular	43
6.2 XRD Sonuçları	45

6.3 Tabaka Kalınlığı, Mikrosertlik ve Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları ..	47
6.4 Çizik Testi (Scratch Test) Sonuçları.....	49
7. TARTIŞMA ve SONUÇ	53
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	61

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

<u>1. Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Akım
E ₁ , E ₂ , E ₃	Enerji
E _i	İyonizasyon enerjisi
HRC	Rockwel sertliği
HV	Vickers sertliği
Lc ₁	Akustik emisyon
Lc ₂	Kritik yük
Ra	Pürüzlülük Değeri
T	Sıcaklık
t	Zaman
V	Gerilim

2. Kısaltmalar

AE	Akustik emisyon
CFE	Karbür oluşturuçu element
CrC	Krom karbür
CrN	Krom nitrür
CVD	Kimyasal buhar biriktirme
Ft	Sürtünme kuvveti
NFE	Nitrür oluşturuçu element
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
PN	Plazma nitrürleme
TD	Termo difüzyon
TRD	Termoreaktif difüzyon

ŞEKİLLER DİZİNİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Plazma Nitürasyon Cihazının Şematik Gösterimi	5
Şekil 2.2	Bir Atoma Ait Elektronların Formal Olarak Enerji Seviyeleri Şeması.....	7
Şekil 2.3.	Farklı Elektriki Boşalma Tiplerinin Voltaj-Akım Karakteristiği	10
Şekil 2.4.	Borlanan Malzemede (AISI 4140) Borlu Tabakanın Optik Mikroskop Görünüşü	15
Şekil 2.5	Nitürülenmiş Malzemede (AISI 5140) Nitürlü Tabakanın Sem Görünüşü	17
Şekil 2.6	Nitrokarbürülenmiş Malzemede (Saf Demir) Nitrokarbürü Tabakanın Optik Mikroskop Görünüşü	19
Şekil 2.7	İyonitürasyon İşlemi Prensi Şeması	20
Şekil 3.1	Proses Sırasında Aktivatörün ve Karışım Tozlarının Sıcaklıkları	25
Şekil 4.1	Yapışma Ek Yerindeki Kuvvetler	38
Şekil 5.1	Scratch Test (çizik testi) cihazı	42
Şekil 6.1	AISI 52100 ve 8620 Çelikleri Üzerinde Oluşturulan Krom Karbür ve Krom Nitür Tabakalarının Optik Mikroyapı Sonuçları	43
Şekil 6.2	AISI 52100 ve 8620 Çeliklerinin X-Işınları Difraksiyonu Analizi	45
Şekil 6.3	AISI 52100 ve 8620 çeliklerinin çizik testi izleri	49
Şekil 6.4	AISI 52100 ve 8620 Çeliklerinin Çizik Testi Grafikleri	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1	Plazma Destekli Yüzey İşlemlerine Bakış 14
Çizelge 2.2	Çalışma Faktörü Parametreleri 23
Çizelge 3.1	Bazı Sert Malzemelerin Sertliklerinin Kıyaslanması 28
Çizelge 3.2	TRD Prosesine Tabi Tutulan Takımların Uygulamaları 30
Çizelge 4.1	Yüzey Temizleme İşlemleri 36
Çizelge 5.1	Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Çeliklerinin (%) Kimyasal Bileşimi 40
Çizelge 6.1	AISI 52100 ve 8620 Çelikleri Üzerinde Yüzey İşlemleri ile Oluşturulan (Krom Karbür, Krom Nitrür) Tabakaların Kalınlığı ve Mikro Sertlik Değerleri..... 47
Çizelge 6.2	Çizik Testine Tabi Tutulacak AISI 52100 ve 8620 Yatak Çeliklerinin Çizik Testi Öncesi Sabit Frekansa Elde Edilen Pürüzlülük Değerleri 48
Çizelge 6.3	AISI 52100 ve 8620 çeliklerinin çizik resti sonuçları 52

1. GİRİŞ

Yaklaşık yüzyıl önce Amerikalı kimyacı ve fizikçi Dr. Irving Langmuir(1881-1957) tarafından iyonlaşmış gaz plazma olarak adlandırıldıktan sonra plazma üzerine birçok deneysel ve kuramsal araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan en önemliler arasında bulunan plazma nitrüleme yöntemi çok değişik alanlarda kullanım imkanı bulmuştur (Öksüz 2001).

Plazma nitrüleme işlemi çeliklerin korozyona ve aşınmaya karşı davranışlarını artırmak için kullanılan en etkili metotlardan birisidir. Plazma veya iyon nitrüleme adı verilen yüzey sertleştirme yönteminde, malzemeye difüze olmak için metal yüzeyine gönderilen elemental azotun eldesin de glow deşarj tekniği kullanılır. Vakum ortamında, plazmayı oluşturmak için yüksek gerilimli elektrik enerjisi kullanılır ve azot iyonları iş parçasına nüfuz etmesi için hızlandırılır. Bu iyon bombardımanı iş parçasını ısıtır, yüzeyi temizler ve aktif azot sağlar. Kullanılan gaz karışımı ağırlıklı olarak H₂ ve N₂ 'nin çeşitli oranlardaki karışımı olup bazı durumlarda argon gazı da ilave edilebilir.

Endüstrideki plazma nitrüleme ve seramik kaplamaların plazma destekli yapılması, yüzey mühendisliği tekniklerinin en yaygın kullanılan yöntemleridir. Plazma nitrüleme işlemlerinde nitrüleme reaksiyonu sadece malzeme yüzeyinde gerçekleşmez, aynı zamanda azotun yüzeyden malzeme merkezine doğru uzun mesafeli difüzyonundan dolayı yüzey altında da meydana gelir. Yüzeyde oluşan bir iyon nitrüleme tabakasının yanında yüzey altında nispeten daha kalın (yaklaşık 0.5mm) ve sert (Vickers sertliği yaklaşık 1000 HV) bir yapı meydana gelmektedir. Bu kalın tabaka numune merkezine inildikçe azotça fakirleşmekte ve sertliği düşmektedir. Bu sadece malzemenin yorulma mukavemeti ve aşınma dayanımını iyileştirmekle kalmaz aynı zamanda yük taşıma kapasitesini de artırır.

Plazma nitrüleme günümüzde askeri amaçlı olarakta kullanılır. Ayrıca özellikle motor pistonlarında, krank millerinde, valflerde, kam milinde, dişlilerde, matkap, zımba gibi kesici takımlarda, derin çekilebilen malzemelerde, dönme ve eğilmeye maruz kalan tüm

makine parçalarında kullanılmaktadır. Bu işlemin ekonomik ve kolay uygulanabilmesi endüstride kullanım alanını artırmıştır (Çelik vd. 2002).

Gelişmiş ülkelerde, plazma teknolojisi biyolojide, kağıt endüstrisinde, uzay endüstrisinde, materyal aşındırma ya da sertleştirme teknolojilerinde, tekstil endüstrisinde, elmas yapımında, yarı-iletken teknolojisinde, elektronik çip yapımında, iletişim teknolojisinde, kaplama teknolojisinde, kristal büyütmede, radar ve füzyon araştırmalarında denenmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

Endüstride yaygın olarak kullanılan malzemelerin başında dökme demirler ve çelik gelmektedir. Bu malzemelerden yapılan parçalar, gerek korozyon ve aşınma dayanımlarının artırılması ve gerekse dış görünümlerinin güzelleştirilmesi için, dış etkenlere dayanıklı, parlak ve sert metallerle kaplanırlar (Dubpernell 1985). Kaplama; elektrolitik, sıcak daldırma, sıvı metal püskürtme, metal giydirme ve iyon implantasyon yöntemleriyle yapılmaktadır. Endüstride kullanılan parçalar başta krom olmak üzere alüminyum, bakır, kobalt, nikel, çinko, kadmiyum, kalay ve kurşun gibi saf metallerle ya da bunların alaşımları ile kaplanır. Krom kaplanan parçalar daha çok makine endüstrisinde kullanılır. Mühendislik ve dekoratif amaçlı olmak üzere ikiye ayrılan krom kaplama; kromun korozyon ve aşınma direnci ile sertliğinin yüksek, sürtünme katsayısının düşük olması nedenleriyle tercih edilmektedir.

Mühendislik amaçlı kaplamalarda krom doğrudan esas metal üzerine kalın bir tabaka halinde (2,5-500 μm) kaplanır. Makinalarda yaygın olarak kullanılan miller, piston segmanları, motor subap itecekleri, içten yanmalı motor silindirleri ile takım tezgahlarına ait bazı parçalar sert krom kaplanırlar. Ayrıca, ucuz ve kolay bulunan metallere üretilen ve yüzey özellikleri iyi olmayan parçalar da krom kaplanarak kullanım süreleri artırılabilir (Guffie 1989).

Dekoratif amaçlı krom kaplamaların en önemli özellikleri arasında, kaplama yüzeyinin parlak bir görünüme sahip olması gösterilebilir. Fakat, dekoratif amaçlı kaplamalarda krom tabakasının kalınlığı 0,13 μm ile 1,3 μm arasında değişir. Bu kalınlık parça yüzeylerini korozyona ve aşınmaya karşı korumada yeterli olmayabilir.

Bu nedenle dekoratif amaçlı krom kaplamalarda parçalar, bakır ve nikel kaplandıktan sonra krom kaplanırlar (Weiner and Walmslay 1980).

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Plazma Nitürleme

Plazma içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötral atom içeren bir karışımdır. Bir atoma iyonizasyon enerjisinden daha büyük enerji verilirse atom iyonize olur. Bu işlem eğer bir gaz kütlesi için gerçekleştirilirse plazma elde edilmiş olur. Plazma dış ortama karşı elektrik olarak nötrdür. Plazma içerisinde disosyasyon, iyonizasyon ve bu olayların tersi olan rekombinasyon olayları sürekli meydana gelir. Plazma iyi bir elektrik ve ısı iletkenidir. Plazma içerisindeki parçacıklar bir enerji taşıyıcısıdır. Dolayısıyla elektrik ve ısı enerjisini de iletirler.

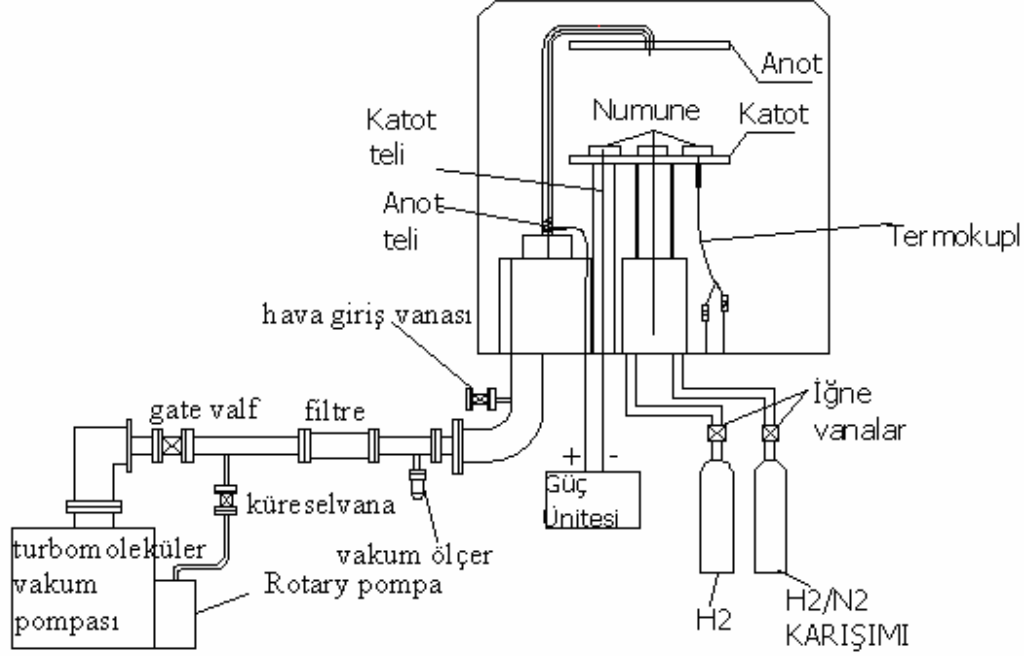
Metal parçacıklarının yüzeylerini sert ve aşınmaya dayanıklı duruma getirmek, yorulma, korozyon ve sürtünme davranışlarını iyileştirmek için malzemelerin yüzeyinden iç kısımlara doğru yabancı atomların nüfuziyetini sağlamak gerekmektedir. Malzeme yüzeyinin hemen kenarında böyle bir tabaka oluşturmak için birçok değişik yöntem olmasına rağmen bu yöntemlerden hangisinin uygun olduğuna karar verebilmek için malzemenin kimyasal kompozisyonuna, durumuna ve yüzey şartlarına bakılır (Çelik ve Karadeniz 1993).

Plazma nitürleme yönteminde sertliğin artışı martenzit dönüşümünden değil, 723°C altındaki sıcaklıklarda azotun atomsal olarak parça yüzeyinden içeri yayınıp nitür oluştuğundan ileri gelir. Alüminyum, krom, titanyum en uygun nitür yapıcılarıdır.

Nitürleme sonrası parçaya su verme ve bundan kaynaklanan çarpılma söz konusu olmadığından, taşlama v.b. bir işlem çoğunlukla gerekmez. Yüzeyde azot miktarının fazlalığı yanında, sertliğin çok yüksek ve ısıl kararlı oluşu 550°C-600°C işletme sıcaklığına kadar olağanüstü aşınma direnci sağlar. Ayrıca korozyon ve yorulma mukavemeti de belirgin oranda iyileşir. Nitürasyon işlemi matkap ucu, freze bıçağı, torna kalemi gibi takım imalinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Tekin 1984).

2.2 Plazma Nitrürasyon Deneş Düzeneği

Plazma nitrürasyon deneş düzeneği Şekil 2.1'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Plazma nitrürasyon cihazının şematik gösterimi

2.3 Plazmanın Tanımı ve Elemanları

Maddenin kendine has özellikleri bulunan katı, sıvı, gaz ve plazma hali olmak üzere dört hali vardır. Bu haller arasındaki esas fark sahip oldukları enerjidir. Yani maddenin herhangi bir konumundaki (hal) enerjisini değiştirmek suretiyle maddeyi diğer bir konuma geçirmek mümkündür. Örneğin katı haldeki bir maddeye belirli, o maddeye özel bir enerji vermek suretiyle sıvı, sıvı hale de belirli bir enerji vererek gaz ve gaz hale de belirli bir enerji vererek plazma haline geçmek mümkündür. Bu işlemin tersi yapılarak, yani verilen bu enerjileri geri alarak tekrar plazma halinden gaz, sıvı ve katı hale geçmek mümkündür.

$$\text{Katı} + E_1 = \text{Sıvı} \quad (\text{Ergitme})$$

$$\text{Sıvı} + E_2 = \text{Gaz} \quad (\text{Buharlaştırma})$$

Gaz + E_3 = Plazma (İyonize etme)

Bu durumda en küçük enerji konumunda olan katı ve en büyük enerji konumunda olan da plazmadır. Plazma yakın bir geçmişe sahiptir. Plazmanın kendine has özelliklerinin oluşu onun maddenin “dördüncü hali” adını almasına neden olmuştur. Plazma içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötral atom veya molekül içeren bir karışımdır. Plazma doğada güneş ve bazı yıldızlar içinde, yıldırım ve elektrik boşalmalarında görülür.

2.4 Plazma Karışımını Meydana Getiren Elemanlar

Nötral Atom veya Nötral Molekül: Pozitif yükler sayısının, negatif yükler sayısına eşit olan atom ve molekül içeriğidir. Nötral bir moleküle, o elemente özel bir disosyasyon enerjisinden (E_d) daha büyük enerji verilirse, bu molekül atomlarına ayrışır yani disose olur. Bu olaya disosyasyon denir (Karadeniz 1990).

İyon: İçerdiği (+) yük sayısı, (-) yük sayısından büyük olan atomlardır. Nötr olan bir atoma, o elemente özel bir iyonizasyon enerjisinden (E_i) daha büyük bir enerji verildiği zaman, bu atom en az bir elektronu (negatif yükünü) yitirir ve iyon haline geçer, yani iyonize olur. Bu olaya iyonizasyon denir. İyonizasyon tabiatta ve teknikte çeşitli yollarla gerçekleşir. Bunlardan önemlileri şunlardır;

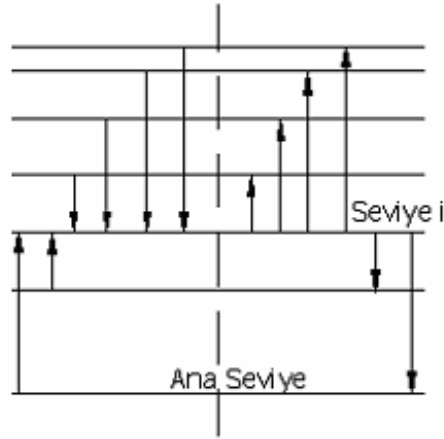
- Termik iyonizasyonu,
- Çarpışma iyonizasyonu,
- Işın iyonizasyonu,
- Elektrik boşalması ile gerçekleşen iyonizasyondur.

Atom bir elektron kaybederse bir katlı “n” elektron kaybederse “n” katlı iyonizasyon ortaya çıkar. Bir atomdan ilk elektronu çıkarmak için gerekli enerji, daha sonraki çıkarılacak elektronlar için gerekli enerjiden daha küçüktür.

Elektron: Atomun negatif yükü olup,değeri $e = 1,6.10^{-19}$ kulombdur.

Foton: Enerji yüklü ışığın parçacığdır. Işın enerjisi taşıyıcısıdır.

Uyarılmış Atom: Üzerine iyonizasyon enerjisinden daha küçük bir enerji almış, elektron kaybetmemiş atomdur. Bu atoma o elementin iyonizasyon enerjisinden daha küçük bir enerji verilirse, bu atomun çevresindeki elektronlar atomu terk etmeyip, bunlardan bir veya birkaçı yörünge değiştirir. Yani bir üst enerji seviyesine geçer. Böylece uyarılmış atom olur. Şekil 3.2’de bir atoma ait elektronların enerji seviyeleri ve elektronların enerji seviyelerinin değişimi şematik olarak görülmektedir. Solda alt ve üst enerji seviyelerinden “i” seviyesine geçiş, sağda “i” enerji seviyesinden alt ve üst seviyelere geçiş görülmektedir.



Şekil 2.2 Bir atoma ait elektronların formal olarak enerji seviyeleri şeması. Solda “i” seviyesine elektron gelmesi, sağda “i” seviyesinden elektron gitmesi (Karadeniz 1990).

Uyarma: Enerji alarak bir üst seviyeye geçiştir.

Sükûnete Gelme: Enerji (foton) vererek bir alt seviyeye geçiştir.

2.5 Plazma Konumu Geçiş

Bir atom iyonizasyon enerjisinden daha büyük enerji alırsa bu atom iyonize olur. Eğer bu işlem bir gaz kütlesi için geręekleřtirilecek olursa plazma elde edilmiş olur. Plazma için gerekli olan enerjiyi gaz kütlesine ısı, ışın magnetik, mekanik ve elektrik enerjisi şeklinde vermek mümkündür (Güneş 2006).

2.6 Plazma Elde Etme Yöntemleri

2.6.1 Isı Enerjisi İle Elde Etme

- Plazma fırını ile elde
- Q – Makinesi ile elde etme
- Kimyasal reaksiyon ısıyla plazma eldesi

2.6.2 Işınla Elde Etme

- Elektron ışını ile plazma eldesi
- Lazer ışını ile plazma eldesi

2.6.3 Kompresyon = Sıkıştırma ile Elde Etme (Mekanik)

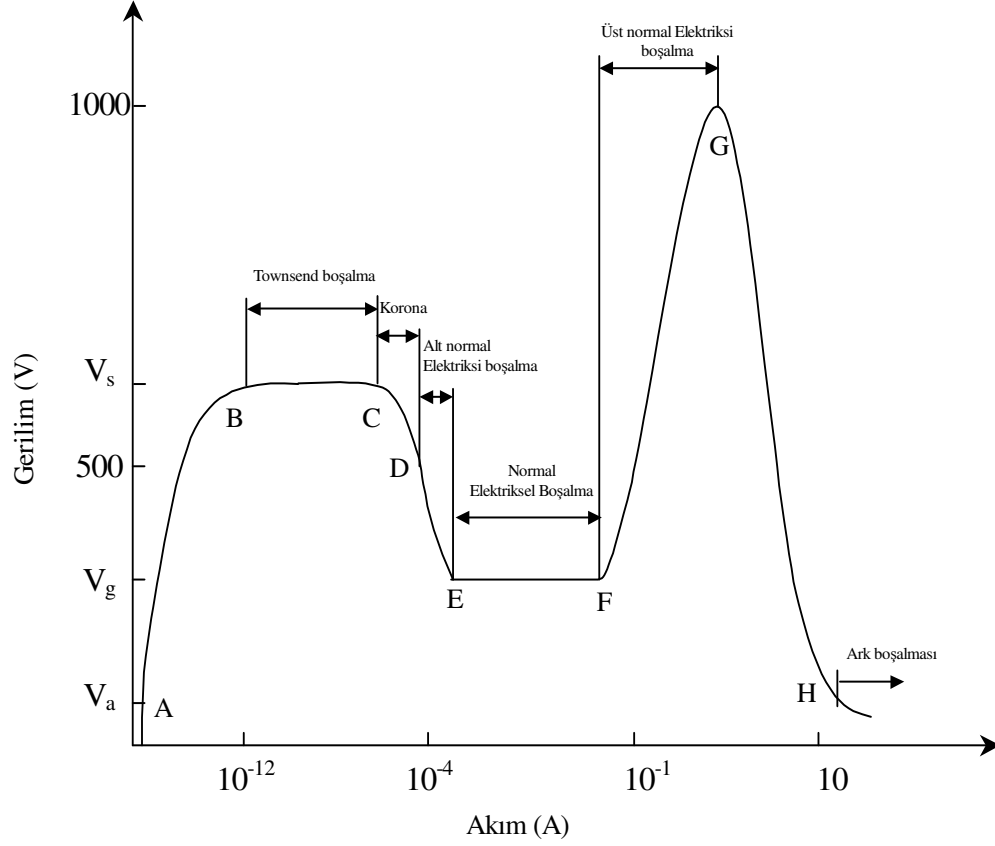
- Balistik kompresör
- Mekanik impuls dalgası tüpü
- Elektromagnetik impuls dalgası tüpü
- Magnetik kompresyon ile plazma eldesi

2.6.4 Elektrik Boşalmasıyla Elde Etme

- Glow – deşarj (Glimm – boşalması) ile plazma eldesi
- Elektrik arkı ile plazma eldesi
- Korona boşalması ile plazma eldesi
- Elektrik atlaması ile plazma eldesi

2.7 Elektriki Boşalma Mekanizması (Glow Discharge)

Plazma, içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötral atom veya molekül içeren bir karışımdır. Pratikte plazma, ısı enerjisi verilerek, ışınla veya elektriksel boşalma ile elde edilir. Plazma elde etme yöntemlerinin en önemlisi ve en yaygın olarak kullanılanı elektriki boşalmadır. Elektriki boşalma mekanizması, bir elektrik gerilim kaynağı gaz içinde bulunan iki iletken plaka arasına bağlanırsa belirli şartlar gerçekleştiği takdirde, tatbik edilen gerilim plakalar arasındaki gazın delinme geriliminin üzerinde ise, bu iki plaka arasında bir elektrik boşalması olur ve bu iki iletken plaka arasında bir elektrik akımı akışı olarak gerçekleşir. Akan akımın büyüklüğüne göre ortaya çıkan elektrik boşalma sistemleri sınıflandırılabilir. Şekil 2.3’de gaz boşalma bölgeleri ve elektrik arkı boşalma bölgeleri ve tiplerinin voltaj-akım karakteristiği gösterilmiştir (Alsaran vd. 2002).



Şekil 2.3 Farklı elektriki boşalma tiplerinin voltaj-akım karakteristiği

Genel olarak termokimyasal işlemler katı, sıvı veya gaz ortamında gerçekleştirilir. Son yıllardaki gelişmelerle, bu işlemlerin çoğu için elektriki boşalma (glow discharge) ortamı kullanılmaya başlanılmıştır. Bu yöntem günümüzde yaygın bir şekilde Avrupa, Amerika ve Japonya'da imalatçılar tarafından kabul görmüştür. Bilinen yüzey sertleştirme yöntemlerine göre, plazma ile yüzey sertleştirme işlemleri önemli avantajlara sahiptir. Bunlar; güvenilirlik, çevresel temizlik, ekonomiklik, kısa işlem süresi, kolay maskeleme, mükemmel aşınma direnci, minimum distorsiyon ve mikroyapının kontrol edilebilirliği.

2.8 Plazmanın Özellikleri

- Plazmayı magnetik ve termik olarak sıkıştırmak, dolayısıyla enerji yoğunluğunu ve sıcaklığını sınırsız bir şekilde yükseltmek mümkündür.
- Plazma yüksek sıcaklık ve enerji yoğunluğuna sahiptir. Plazmanın sıcaklığı, enerji yoğunluğu, iyonizasyon derecesi (iyonize olmuş atom sayısının toplam atom sayısına oranı) ve plazma çıkış hızı (elektron hızı) plazma ekseninde maksimum olup, radyal yönde dışa doğru bu değerler azalır.
- Plazma iyi bir elektrik ve ısı iletkenidir. Plazma içerisindeki parçacıklar bir enerji taşıyıcısıdır. Dolayısıyla elektrik ve ısı enerjisini de iletirler (taşır). Plazma içerisindeki hızlarının yüksek oluşu nedeniyle özellikle elektronlar elektrik ve ısı iletiminde esas rolü oynarlar.
- Plazma dış ortama karşı elektrik olarak nötrdür. Yani plazma içerisindeki pozitif yüklerin (iyonların yükleri) sayısı, negatif yüklerin (elektronlar) sayısına eşittir.
- Plazma içerisinde disosyasyon, iyonizasyon ve bu olayların tersi olan rekombinasyon olayları sürekli meydana gelir. Adı geçen bu olaylar kendi aralarında plazma içerisinde bir dinamik denge halinde bulunurlar.
- Plazma rotasyonsimetrik bir yapıya sahiptir. Buradaki silindirik simetrisini sağlayan katottan çıkıp, anoda kadar kendini idame ettiren plazma akışıdır.
- Plazmaya elektrik ve manyetik alanla tesir edilebilir.

2.9 Plazmanın Sınıflandırılması

Plazmayı en iyi şekilde sınıflandırmak gerekirse, bu sınıflandırmanın basınca göre yapılması gerekmektedir. Plazmanın amacı yönünden bu çok önemli bir faktördür. Buna göre plazma üç grup altında şu şekilde sınıflandırılabilir:

- a) Düşük basınç plazmaları $P < 1,3 \cdot 10^2 \text{ Pa}$
- b) Orta basınç plazmaları $1,3 \cdot 10^2 \text{ Pa} < P < 1,33 \cdot 10^4 \text{ Pa}$
- c) Yüksek basınç plazmaları $P > 1,33 \cdot 10^4 \text{ Pa}$

Plazma içerisindeki yüksek basınç, yüksek elektrik alanı ve yüksek yüklü parçacık yoğunluğuna neden olur. Yüklü parçacık yoğunluğu, atomlarla elektronların elastik olmayan çarpışması neticesi ortaya çıkan iyonizasyon ihtimaline bağlıdır. (Karadeniz 1990).

2.10 Endüstriyel Uygulamalarda Plazma Nitrüleme

Plazma endüstride yedi alanda kullanım imkanına sahiptir:

- I. Enerji dönüştürücü olarak plazma
 1. MHD (Magnetohidrodinamik) – Generatörler
 2. Termoiyonik dönüştürücüler
 3. Çekirdek füzyonu generatörleri
- II. Elektrik iletkeni olarak plazma
 1. Elektrik şalterleri
 - a) Basıncılı gaz şalterleri
 - b) Vakum şalterleri
 2. Yan ark
- III. Işın kaynağı olarak plazma
 1. Plazma ışık kaynakları
 - a) Düşük basınç ışık kaynakları
 - b) Yüksek basınç ışık kaynakları
 - c) Özel ışık kaynakları
 2. Gaz laserleri
 - a) He – Ne Laseri
 - b) Asal gaz iyonu laseri
 - c) Metal iyonu laseri
 - d) Metal buharı laseri
 - e) UV – Azot laseri
 - f) CO₂ – Laseri
 - g) CO₂ – yüksek basınç – impuls laseri
 - h) Asal gaz – Halojenid laseri

- i) Elektronik tüpler
 - j) Tablo gösterme sistemleri
 - 3. Plazma gösterme sistemleri (Rakam, şekil vs. gösterme)
- IV. İş aracı olarak (imalatta) plazma
 - 1. Plazma ile malzeme işleme
 - a) Plazma ile kaynak
 - b) Plazma ile ergitme kesmesi
 - c) Plazma ile ergitme
 - d) Plazma ile püskürtme
 - e) Özel metotlar
 - 2. Plazma ile dış yüzey işleme
 - a) Plazma ile kaplama tekniği
 - b) Plazma – kimyasal tabaka oluşturma
 - c) Plazma ile üst yüzey aktifleştirme
 - d) İyon dağlaması (erozyon)
 - e) Plazma ile dağlama (erozyon)
- V. Malzeme dönüştürücü olarak plazma
 - 1. Termik plazma kimyası
 - 2. Termik olmayan plazma kimyası
- VI. Parçacık kaynağı olarak plazma
 - 1. Yüklü parçacık kaynakları
 - 2. Hızlı nötral parçacık kaynakları
- VIII. Tahrik aracı olarak plazma
 - 1. İyonla tahrik sistemleri
 - a) Kaulmann – İyon tahrik sistemleri
 - b) HF (Yüksek Frekans) – İyon tahrik sistemleri
 - c) Atom emisyonu – İyon tahrik sistemleri
 - 2. Plazma tahrik sistemleri
 - a) Ark – Tahrik sistemleri
 - b) İç (kendi) magnetik plazma tahrik sistemleri
 - c) Dış (yabancı) magnetik plazma tahrik sistemleri

Ayrıca sıcak iş çeliğinden yapılmış kalıplar, plastik işleme makinelerinin helezon milleri ve silindirleri, çok çeşitli yerlerde kullanılan dişliler, kamlar, azdırma bıçakları, plastik enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıpları, çeşitli takım, kalıp ve makine parçaları, soğuk iş takım çeliği, soğuk çekilmiş borudan hidrolik silindir uygulamaları, dökme demirden yapılmış kızaklar, makine elemanları, cam şekillendirmede kullanılan sıcak iş çeliği, paslanmaz ve ısıya dayanıklı çelik ve dökme demirden yapılmış çeşitli takım ve kalıplar, yüksek hız dişli kutuları gemi ve otomotiv dişli kutuları ülkemizde yeni yeni tanınmakta olan kullanım alanlarıdır.

Bir başka kullanım alanı ise buhar türbinleridir. Yüksek sıcaklıkta buhar atmosferinde çalışan 422 ve 410 paslanmaz çelik vana gövdeleri ve rekorlarının aşınma dirençlerini arttırmak için iyon nitrürleme başarıyla kullanılmıştır. Bu parçaların büyük bölümü 20 yıl ve daha fazla süreyle zorlanmadan çalışmıştır (Keneş 1995).

2.11 Plazma ile Termokimyasal Yüzey İşlemleri

Plazma işleminin temelleri yaklaşık 70 yıl önce İsviçreli mühendis Bernhard Berghaus tarafından atılmış ve günümüzde endüstri için vazgeçilmez bir unsur olmuştur. Plazma nitrürlemede amaç, karbon veya azot gibi ara yer atomlarını parça yüzeyine göndererek bu atomları malzeme içerisinde bulunan alaşım elementleriyle reaksiyona sokup aşınma ve korozyona dayanıklı bir yapı oluşturmaktır. Çizelge 2.1’de uygulanan plazma destekli termokimyasal işlemler için işlem sıcaklığı ve basıncına göre, elde edilen yüzey sertliği ve yayılım tabakası kalınlığı verilmiştir.

Çizelge 2.1 Plazma destekli yüzey işlemlerine bakış (Çelik vd. 2002).

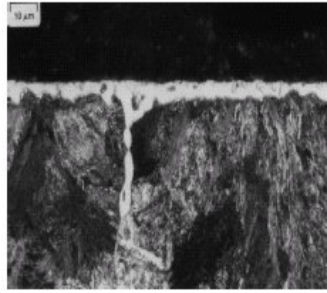
Uygulanan işlem	Temel Mantığı	İşlem Sıcaklığı (°C)	İşlem Basıncı (mbar)	Elde Edilen Sonuç	
				Yüzey Sertliği(HV)	Difüzyon Tabakası Kalınlığı (µm)

Plazma ile karbürleme	Karbonun çözünümü ve takip eden su verme	800 – 1000	1 – 20	700 – 800	50– 2000
Plazma ile nitrürleme	Arayer N çözünümü	350 – 590	1 – 10	500 – 1200	50– 1500
Plazma ile Nitrokarbürleme	Arayer C ve N çözünümü	450 – 580	1 – 10	800 - 1100	5 – 10
Plazma ile borlama	Arayer Bor çözünümü	700 – 1000	1 – 10	1800 – 2000	5 – 400

Çizelge 2.1 (Devamı) Plazma destekli yüzey işlemlerine bakış (Çelik vd. 2002).

2.11.1 Plazma ile Borlama

Plazma borlama ile çok sert, düşük sürtünme katsayısına sahip, yüksek sıcaklık mukavemeti fazla olan ve korozyon dirençli malzeme yüzeyleri elde edilir. Bir termokimyasal yüzey sertleştirme yöntemi olan borlama, bor atomları metal yüzeyine termokimyasal olarak yayılarak sert bor tabakası oluştururlar. Borlama işlemi esnasında FeB ve Fe₂B tabakaları yüzeyde oluşur. Bu tabakaların sertliği 1800–2000 HV değerine çıkartılabilir. Bu yöntem, yaklaşık 700–1100 °C sıcaklık aralığında yapılır. Borlama işlemleri arasında sadece paket borlama B₄C-KBF₄-SiC tozları kullanılarak ticari amaçlı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Çelik vd. 2002). 950 °C’ de 1 saat borlanmış AISI 4140 çeliğinde oluşan bor tabakasının görünüşü şekil 2.4’de görülmektedir.



Şekil 2.4. Borlanan malzemedeki (AISI 4140) borlu tabakanın optik mikroskop görünüşü, T = 950 °C, t = 1 saat (Çelik vd. 2002).

Plazma ile borlama işlemi ile ilgili olarak yaklaşık 20 yılı aşkın süredir çalışılmasına rağmen, henüz bu yöntem tam olarak anlaşılammıştır. Ar, H₂ gazları ile birlikte bor kaynağı olarak BCl₃, B₂H₆, BF₃ veya B(OCH₃)₃ (trimetilborat) kullanarak, 800-1000 °C sıcaklıkta, yaklaşık 10⁻² Pa gibi bir düşük bir basınçta oluşturulmuş plazma içerisinde yapılan borlamadır. Mikroyapı ve demir bor tabakalarının büyümesi işlem sıcaklığı, gaz karışım oranları, malzeme kompozisyonları, işlem basınç değişim oranları ve uygulanan akım yoğunluğuyla kontrol edilebilmektedir.

2.11.2 Plazma ile Nitrüleme

İlk olarak 1920 yılında kullanılmaya başlanmış ve bu tarihten itibaren endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Plazma nitrüleme demir esaslı malzemelerde ferrit fazında azotun yayılması ile oluşan termokimyasal bir işlem olarak adlandırılır. Bu işlem 500–590 °C sıcaklık aralığında N₂, H₂, Ar ve NH₃ gaz ortamında yapılır. Plazma ile nitrürasyon işlemi sonrası en dışta beyaz tabaka ve onun altında da difüzyon tabakası olarak adlandırılan yapılar oluşur. Yüzey sertliği ve sertleşme derinliği işlem zamanına, sıcaklığa, gaz karışımına ve demir esaslı malzemenin alaşım içeriğine bağlıdır. Bu yöntemin avantajları kısaca şu şekilde özetlenebilir(Karadeniz 1990).

- İşlem sonucunda yüzeyde çok az pürüzlülüğün oluşması.
- Prosesi 350 °C'ye kadar düşürmek suretiyle distorsiyonların azaltılması ve çekirdek özelliklerinin değişmemesi.
- Yüzey altı gevrek nitrülenmenin engellenmesi dolayısıyla çekirdek duktilitesinin artması.
- Hassas olarak sertleşme kalınlığının kontrolü
- Metal maskeler kullanılarak lokal sertleştirmelerin mümkün olması
- İstenmeyen beyaz tabakanın (FeN, Fe₂₋₃N) kalınlığının kontrolü

Plazma ile nitrürasyon yöntemi elektriki boşalma (glow discharge) şartlarında oluşur (Çelik vd. 2002). Bu yöntemde, malzeme yüzeyine iyonize edilmiş azotu yaymak için aktif ve reaktif plazma hali kullanılır. İşlem teorik olarak iletken malzeme yüzeyine N

ara yer atomunun yayınması işlemidir. Plazma ile nitrürasyon işlemi N_2 , H_2 , Ar ve NH_3 gaz ortamında gerçekleştirilir. Yüzeyi sertleştirilecek malzemenin Cr, Al, V, Mo ve Ti gibi alaşım elemanlarını içermesi yüzey sertliğini daha da artıracaktır. Plazma nitrürlemeye örnek olarak hazırlanmış $450\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 4 saat nitrürlenmiş AISI 5140 çeliğinde oluşan nitrürlü tabakanın SEM görünüşü şekil 2.5’ de görülmektedir.



Şekil 2.5 Nitürlenmiş malzemede (AISI 5140) nitürürlü tabakanın SEM görünüşü,
 $T = 450\text{ }^\circ\text{C}$, $t = 4$ saat (Çelik vd. 2002).

Günümüzde askeri amaçlı olarak kullanılan plazma ile nitürleme işlemi, özellikle motor pistonlarında, krank millerinde, valflerde, kam milinde, dişlilerde, matkap, zımba gibi kesici takımlarda, derin çekilebilen malzemelerde, dönme ve eğilmeye maruz kalan tüm makine parçalarında kullanılmaktadır. Nitürleme ayrıca sıvı ve gaz nitürleme olarak da iki şekilde yapılır.

2.11.2.1 Sıvı Nitürleme (Tuz Banyosunda Nitürleme)

Tuz banyosunda çeliğin nitürasyonu, gaz nitürasyon yöntemi gibi oldukça eskidir. Bu yöntemde genellikle kullanılan gaz karışımı %60 – 70 NaCN ve % 30-40 KCN içerir. İlave madde olarak karbonatlar, (Na_2CO_3) ve siyanatlar ($NaCNO$) mevcuttur. Banyo kompozisyonu bunlarla sınırlı değildir. Farklı kompozisyonlarda tuzlar da kullanılabilir. Örneğin tuz banyosunda kompozisyonu Li^+ , K^+ , Na^+ / CNO^- , CO_3^{-2} olan çözelti kataliz olarak kullanılmaktadır. İlave edilen çözelti kimyasal ve ısı olarak denge sağlamaktadır (Arslan 2001). Bu yöntem daha çok değişken (periyodik) yüklemenin mevcut olduğu ve çok yüksek olmayan yüzey basınçlarının sürtünme ile aşındırarak şekilde etki ettiği taşıt ve motor yapımında kullanılır.

2.11.2.2 Gaz Nitrürleme

Parçanın uygun bir sıcaklıkta tutulması ile yüzeye azotun yayındırıldığı bir yüzey sertleştirme yöntemidir. Bu yöntemde genellikle azot içeren bir gaz amonyak kullanılır. Nitrürleme sıcaklığı 500 – 570 °C arasındadır. Gaz nitrürleme işlemi; Al içeren az alaşımlı çeliklere, orta karbonlu krom içeren çeliklere, ferritik, martenzitik, ostenitik, çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklere uygulanabilmektedir. Gaz nitrürleme yöntemi ile 0,5 mm'ye kadar nitrürleme derinliği elde edilmektedir. Yapılan deneylerde gaz nitrürleme işleminde en büyük sertlik 538 °C'de, en büyük nitrürleme derinliği ise, 650 °C'de elde edilmiştir (Arslan 2001).

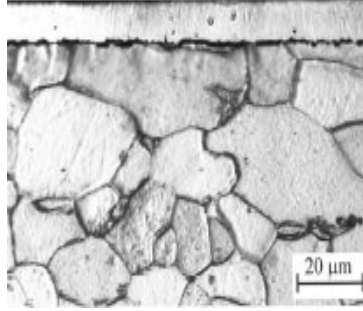
2.11.3 Plazma ile Karbürleme

Bu işlem, düşük karbonlu çeliklerin 850–1050 °C sıcaklık aralığında yüzeylerine karbon emdirilmesi esasına dayanır. Günümüzde endüstriyel amaçla kurulmuş birçok plazma ile karbürleme sistemi mevcuttur. Plazma ile karbürleme işlemi, plazma ile nitrürleme işlemi ile hemen hemen aynıdır. Sadece kullanılan gaz ve gerilim değeri farklıdır. Bu işlemde doğru akım kullanılmaktadır. Gaz basıncı 1-20 torr olup, anot ve katot arasına genellikle 1000 voltluk bir gerilim uygulanarak plazma oluşturulur. Karbürleme gazı ise genellikle hidrokarbondur. İşlem ostenitik şartlarda meydana gelmektedir. (Çelik vd. 2002).

2.11.4 Plazma ile Nitrokarbürleme

Plazma nitrokarbürleme işlemi 450–580 °C sıcaklıklar arasında, demir esaslı malzemelerin yüzeyine azot ve karbonun yayınmasını içeren termokimyasal işlemdir. Yüzeyde γ - demir nitür ile beraber ϵ - nitür tabakası, onun altında da difüzyon tabakası oluşur. Plazma ile nitrürleme işleminin tersine bu işlemde kullanılan gazlar azot-hidrojen-metan veya azot-hidrojen-karbondioksit'tir. Nitrokarbürleme, katı, sıvı, gaz veya elektriksel boşalma şartlarında gerçekleştirilir. Günümüzde bu işlem hem sıvı hem de gaz atmosferinde çok sık olarak yapılmaktadır. Burada amaç istenen şartlara uygun

tek fazlı ϵ -nitür tabakasının oluşturulmasıdır. Plazma ile nitrokarbürlemeye örnek olarak hazırlanmış 560 °C sıcaklıkta 1 saat nitrokarbürlenmiş saf demir üzerinde oluşan nitrokarbür tabakasının optik mikroskoptaki görünüşü Şekil 2.6’da verilmektedir.



Şekil 2.6 Nitrokarbürlenmiş malzemedeki (saf demir) nitrokarbür tabakanın optik mikroskop görünüşü, T = 560°C, t = 1 saat (Çelik vd. 2002).

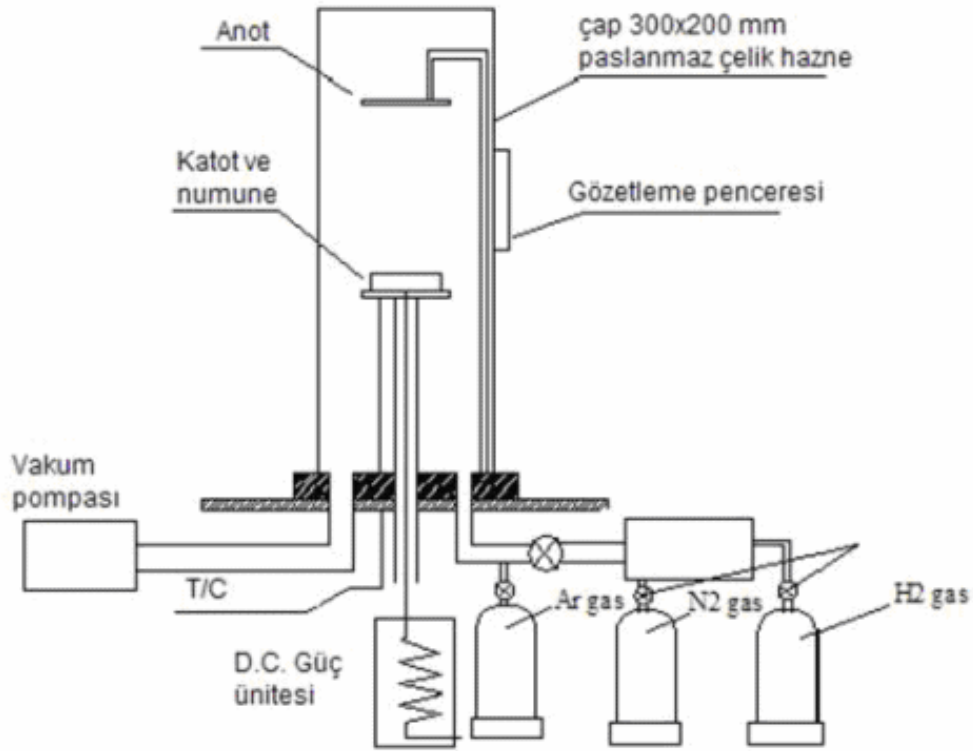
2.12 Ekipman ve Prosesler

Plazma (iyon) nitürleme tesisatının başlıca kısımları şunlardan oluşmaktadır.

- a. Vakum Kabı,
- b. Vakum pompası,
- c. Güç Kaynağı,
- d. Kullanılan Gazlar
- e. Filtre

Endüstride kullanılan bu malzemeler birbirinden bağımsız ayrı ayrı parçalar halinde bulunmaktadır. Bunlar sistemin en önemli ekipmanlarıdır. Proses olarak fırının, yani iş parçasının nitürleneceği kabın içinde basınç 0,1–10 Torr’dur. Doğru akım gerilimi 100 –1500 Volt olup, akım yoğunluğu 100–1000 Am⁻²’dir. Gerilim katot (iş parçası) ile anot (fırın duvarı) arasına uygulanır. Kullanılan gazlar, amaca göre N₂+H₂, N₂+H₂+A veya bunların hidrokarbon gazı ilave edilmiş karışımlarıdır. Gaz atom ve

molekülleri katot–anot arasındaki elektrik boşalması ile ortaya çıkan plazma içinde iyonize olurlar. Pozitif iyonlar negatif kutup olan iş parçasına büyük bir enerji ile çarparak yüzeyden içeriye doğru difüze olurken açığa çıkan çarpma enerjisi malzemeyi ısıtır. Dolayısıyla fırın için ayrı bir ısıtıcıya gerek yoktur. Sıcaklık voltaj ve akımı değiştirmek sureti ile ayarlanabilir. İşlem süresi 10 dakikadan 20 saate kadar değişir (Güneş 2006). Şekil 2.7’de iyonitürasyon işlemi prensip şeması görülmektedir.



Şekil 2.7 İyonitürasyon işlemi prensip şeması

2.13 Ekonomik Olarak Plazma Nitrüleme

Plazma nitrüleme ekonomik yönden birçok üstün özelliğe sahiptir. Plazma tesisatındaki işletme giderleri; düşük gaz tüketimi ve düşük elektrik tüketiminden oluşmaktadır. Çünkü işlem vakum ortamında gerçekleştirilmektedir. Vakum ortamındaki enerji kaybı da çok düşük seviyededir. Gerekli olan ısı, iş parçalarının yüzeyine doğru gerçekleşen iyon bombardımanından sağlandığından gerekli elektrik enerjisi sadece fırın içindeki toplam şarjın yüzey alanı ile bağlantılıdır.

Vakum pompalarından başka hareketli hiçbir parça olmaması tamir ve bakım masraflarını da düşürmektedir. Plazma nitrürlemede kullanılan gazlar korozif özelliğe sahip olmadığından dolayı tesisat için korozyon problemi de yoktur. Plazma nitrürleme ile bir seferde işlem görecektir malzeme miktarı diğer işlemlere göre yaklaşık üç kat daha fazla, işlem zamanı da daha kısadır. Ayrıca, nitrürleme işlemi tamamlandığında, parçaların yıkanması gibi herhangi bir işlem gerekmemektedir (Güneş 2006). Plazma nitrürleme tesisatı ile doğrudan ilgili bütün bu kazançların yanı sıra yöntemin; uzun servis ömrü ve iyi yüzey özellikleri gibi dolaylı avantajları da vardır (Çelik 1993, Karaoğlu 1998).

2.14 Metalurjik Yönden Plazma Nitrürleme

Plazma nitrürleme yöntemini metalurjik yönden incelemek için nitrürasyon ile oluşan tabakaların iyi bilinmesi gerekir. Bu tabakalar şunlardır:

Beyaz Tabaka: En üstteki bu tabaka Fe_4N (γ) veya $Fe_{2-3}N$ (ϵ) fazlarından birisi veya ikisinin karışımından ibarettir. Bu tabakanın özellikleri nitrür yapısının homojenliğine ve kalınlığına bağlı olarak değişir. Eğer γ ve ϵ fazları birlikte oluşuyorsa farklı kafes yapıları dolayısıyla iç gerilmeler artarak gevrek kırılmaya olan eğilim büyüyecektir. İyonitrürasyon işleminde bu tabaka hassas olarak kontrol edilebilir. Örneğin $N_2 + H_2$ gazı kullanarak beyaz tabaka kalınlığı azaltılabilir. H_2 gazı saçılmayı artırarak yüzeyi temizler, yani beyaz tabakanın azalmasını hatta yok olmasını sağlar.

Difüzyon Tabakası: Beyaz tabakanın altındaki bu bölge çok ufak ve sık dağılmış sert nitrür fazları ihtiva eder. Konvansiyonel nitrürasyonda azot atomları daha yüksek enerjili bölgeler olan tane sınırlarından difüze olurlar ve buralarda daha önce bulunan karbür fazları ile birleşerek çok gevrek olan karbonitrürleri oluştururlar. Bunun sonucunda difüzyon tabakasının gerilmelere olan hassasiyeti büyük ölçüde artmış olur ve gevrek karbonitrür fazları iç kısımlara doğru itilerek yüzeyin aşınmaya ve yorulmaya olan dayanımı da sağlanır (Ülker 2006).

2.15 Plazma Nitrüleme Yönteminin Numune Hazırlama Yönünden Avantajları

Plazma nitrüleme alaşımlı, alaşımsız, paslanmaz ve takım çeliklerine, dökme demirlere, titanyum ve alaşımlarına uygulanır. Nitrülenecek parçalar parlatma dışında bir operasyon gerektirmez. Fakat bazı malzemelerden su alabilenlere su verilip temperlenir ve gerilim giderme tavlaması uygulanır. Çökme ile sertleşen alaşımlar istenilen özelliklere göre yaşlandırılır ve gerilim giderme tavlaması uygulanır.

Temperleme, yaşlanma ve gerilim giderme tavlamaları yüksek çekirdek mukavemeti elde etmek amacı ile düşük oranlarda uygulanır. Bu işlem neticesinde parçalarda boyut değişmesi ihmal edilecek kadar küçüktür.

2.16 Plazma Nitrüleme Yöntemi Kullanılarak Yapılmış Literatürdeki Bazı Çalışmalar

Şakar düşük alaşımlı AISI 8620 çeliğini 450-600 °C sıcaklık aralığında 10 mbar basınçta, ½, 8 saat aralığında; %70 H₂ - %30 N₂ gaz karışımını içeren ortamda iyon nitrülemiştir ve optimum difüzyon derinliği ve yüzey sertliğini bulmuştur. Maksimum yüzey sertliğini 500 °C sıcaklıkta 4 saatlik deneylerde yaklaşık 490 HV, maksimum difüzyon derinliği 600 °C sıcaklıkta 8 saatlik deneylerde 420 µ olarak bulmuştur (Şakar 1998).

Çelik ve diğerleri gaz karışımlarının iyon nitrüleme üzerine etkisinin araştırılması isimli bir çalışma yapmışlardır (Çelik vd. 2000). Bu çalışmada da ikili ve üçlü gaz karışımları oluşturularak işlem için en iyi gaz karışımını araştırmışlardır. İyon nitrürasyon işleminden sonra, numuneler incelendiğinde iki farklı bölgenin oluştuğunu görmüşlerdir. En dış kısımda demir nitrürlerden Fe₂₋₃N (ε), Fe₄N(γ) oluşmuş çok ince bir tabaka meydana geldiğini saptamışlardır. Gaz karışımlarında hidrojen miktarındaki artış ile birlikte malzemenin yüzey sertliği ve difüzyon derinliği artarken, beyaz tabaka kalınlığında azalma olduğunu görmüşlerdir. Azot-argon gaz karışım oranları incelediklerinde, argonun sertlik artışına sınırlı bir katkısı olduğu ve bu karışımda beyaz tabaka kalınlığında da düşüş olduğu görmüşlerdir. Bu düşüş hidrojen gazının etkisinden daha azdır. Difüzyon tabakası, nitrüleme zamanının artışıyla birlikte kalınlaşmaktadır.

Argon gazı, azot gazı ile karışım olarak kullanıldığında malzemenin yüzey sertliğine sebep olmaktadır. Ayrıca istenmeyen beyaz tabakanın da incelmesini sağlamaktadır. Ancak sertlik ve beyaz tabaka kalınlığına etkisi hidrojen gazı kadar değildir. Hidrojen gazının elde edilmesi, taşınması ve maliyeti göz önüne alındığında, azot gazı ile birlikte argon gazının kullanılması uygun olabilir sonucuna varmışlardır (Çelik vd. 2000).

Jeong ve diğerleri AISI M2 çeliğini 530 °C ve 6 torr basınç altında 4 saat boyunca %80 N₂ - %20 H₂ gaz karışımında plazma nitrürleyerek duty (çalışma) faktörün etkisini araştırmışlardır. Kullandıkları faktörler çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Çalışma faktörü parametreleri

Çalışma faktörü	1	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1
Puls on/off zamanı (µs)	DC	150/15	35/15	15/15	15/35	15/150

Sonuç olarak çalışma faktörü 1, 0.9 ve 0.7 için yüzey pürüzlülük değerleri tamamen yüksek, çalışma faktörü 0.5 ve 0.3 için diğerlerine göre düşük, 0.1 duty faktöründe ise çok düzgün yüzey çıktığını bulmuşlardır. Çalışma faktörün artmasıyla difüzyon tabakası ve yüzey pürüzlülüğünün arttığını saptamışlardır (Jeong et al 2000).

Pulslu sistemler, işlem süresini azaltmakta, boşalım (deşarj) süresince pozitif iyonlarca numunenin saçılımını sınırlamakta, elektrik ark oluşmasını önlemekte, elektrik enerjisinden tasarruf yapmaktadır (Yong M. Kim et al 2002).

Pulslu plazmanın puls süresi (pulse duration and duty cycle) ve çalışma oranının kullanımıyla pek çok avantajı vardır. En düşük plazma gücünün kullanımı aşırı ısınmayı önler, düzgün sıcaklık dağılımına imkan verir. Ayrıca pulslu plazmanın kullanımıyla birçok çelik nitrürlenebilir (Podgornik, Vizintin 2001).

3. YÜKSEK SICAKLIK DİFÜZYON KAPLAMALARI

3.1 Termo-Reaktif Difüzyon Prosesi (Difüzyon Esaslı Kaplama TRD)

Termo-reaktif difüzyon prosesi; karbür, nitrür ve karbo-nitrür gibi sert ve aşınma direnci yüksek olan tabakaların, çelik malzemelerin yüzeyinde oluşturulduğu bir yöntemdir. TRD prosesinde çelik ve altlık malzemedeki karbon ve azot, vanadyum, niyobyum, tantalum, krom, molibden veya tungsten gibi karbür veya nitrür oluşturu elementlerle, biriken bir tabaka oluşturmak için difüze olur. Difüze olan karbon ve azot, karbür ve nitrür oluşturu elementlerle altlık malzeme yüzeyinde metalürjik olarak bağlanmış olan karbür ve nitrür kaplamaları oluşturacak şekilde yoğun bir biçimde reaksiyona girer.

TRD prosesi geleneksel yüzey sertleştirme metotlarına benzemez. Çünkü geleneksel yüzey sertleştirme metotlarında karbon ve azot, altlık malzemenin yüzeyini sertleştirmek amacıyla dışarıdan difüze edilmektedir. TRD Prosesi konvansiyonel difüzyon metoduna benzememesine rağmen, TRD prosesinde de altlık malzemenin yüzeyinde kaplama tabakasının oluşumu gerçekleşmektedir (Heat Treatment 1991).

3.2 Temel Prensipler

TRD yönteminde kullanılan toz karışımları temel olarak üç bileşenden oluşmaktadır bunlar:

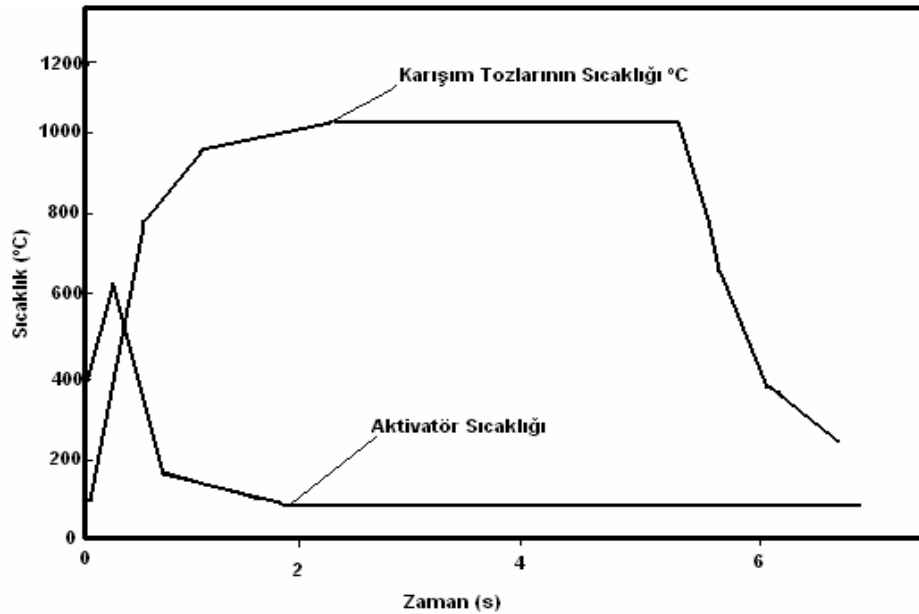
- Kaplama element kaynağı (verici malzeme, örn. Fe–Cr, Fe–V, Cr)
- Karışım tozlarının birbirleriyle sinterleşmesini önlemek için inert bir dolgu maddesi (Al_2O_3 veya SiO_2)
- Aktivatör (genellikle NH_4Cl) kullanılır. (İpek 1996).

3.3 Termokimyasal Difüzyon Yöntemlerinin Etkilendiği Değişkenler

TRD yöntemi gibi termokimyasal difüzyon yöntemleri birçok değişkenden etkilenir. Bu değişkenler şu şekilde sıralanır:

- Aktivatör miktarı
- Numune malzemesinin yapısı (alaşım elementleri, karbon içeriği)
- Verici malzemenin miktarı
- Difüzyon süresi
- Difüzyon sıcaklığı
- Son işlemler (ısıl işlem)

Aktivatör karışım bileşenlerinin önemli bir elemanıdır. Aktivatör olarak muhtelif halojenür tuzları (NaF, -Cl, -Br, -I; MgF, -Cl, -Br, -I; NH₄F, -Cl, -I) kullanılır. TRD prosesi ile kaplama işleminde aktivatör ve karışım tozlarının proses sırasındaki değişimi Şekil 3.1’de verilmiştir. Buna göre aktivatör işlem süresinin ilk 15 dakikasında yaklaşık 580 °C’de parçalanmaktadır. Parçalanma sırasında ortaya çıkan gazlar bir tahliye borusuyla dışarı atılır (Üstel 1998).



Şekil 3.1 Proses sırasında aktivatörün ve karışım tozlarının sıcaklıkları

Proseste kullanılan altılığın karbon içeriğine bağılı olarak, düşük karbon miktarında metalik tabakalar (alüminyum, krom, titanyum, silisyum), yüksek karbon içeriğinde ise kullanılan ferro alaşımın cinsine bağılı olarak da seramik esaslı tabakalar (krom karbür, titanyum karbür, vanadyum karbür vb.) elde edilir.

3.4 TRD (Difüzyon Esaslı Kaplama) Yöntemiyle Karbür Tabakası Oluşturulan Ortamlar

- Katı ortamda yapılan karbürleme.
- Sıvı ortamda yapılan karbürleme.
- Gaz fazından çöktirme ile oluşan karbürleme.
- Akışkan yatakta yapılan karbürleme.

3.4.1 Katı Ortamda Yapılan Karbürleme

Bu yöntem yüzeyi karbürlenecek malzemenin toz halindeki karbür yapıcı ortam içerisinde 850–1050 °C arasındaki sıcaklıklarda 10–30 saat tutulmasıyla gerçekleşir. Kutu sementasyonuna benzeyen bu metot soy gaz atmosferinde veya sıkı kapatılmış kutularda normal atmosferde yapılabilir.

3.4.2 Sıvı Ortamda Yapılan Karbürleme

Bu yöntemde karbürleme ortamı sıvıdır. Karbürlenecek malzeme 800–1200 °C arasında 1–11 saat bekletilerek karbür oluşumu sağlanır (Öktem vd.1994). Karbürleme ortamının bileşenleri; karbon içeren bir bileşik, karbür yapıcı element, aktivatör ve dolgu malzemesidir. Burada aktivatör, parçalandığında ve karbür yapıcı elementlerle reaksiyona girdiğinde aktif bir gaz ortamı meydana getirir. Buda karbür yapıcı element parçacıklarının topaklaşmasını ve malzeme yüzeyine yapışması önler (Tohrü 1989).

3.4.3 Gaz Fazından Çökeltme ile Oluşan Karbürleme

Vakum teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, gaz fazında çökeltme tekniklerinde de ilerlemeler olmuştur. Bu yeniliklere örnek olarak CVD ve PVD teknikleri gösterilebilir. CVD yöntemi, çökeltmek istenen maddelerin buharının malzeme yüzeyinde kimyasal bir reaksiyon oluşturmasıyla uçucu olmayan bir çökelti yapması şeklinde açıklanabilir. Proses genellikle yüksek sıcaklıklarda 500 °C'nin üzerinde 10–760 Torr basıncı altında yapılır. PVD (Buhar Fazından Kaplama) yöntemi, CVD yöntemine benzer şekilde gaz fazından fiziki olarak çökeltmedir. Bu yöntemler ve alaşımları üzerinde nitrür, oksit, karbür gibi bileşikler vakum altında, ısı enerjisi veya parçacık bombardımanı yardımıyla çökeltilir (Öktem vd.1994).

3.4.4 Akışkan Yatakta Yapılan Karbürleme

Bu karbürleme sisteminde akışkan bir ortam sağlanır. Bu durum kapalı bir ortam içine yerleştirilen, boyutları 100–200 µm arasında değişen seramik tozları ve tabandan beslenen hava inert gaz ile sağlanır. Ortama karbür yapıcı tozlar ilave edilir. Bu tozlar 900–1200 °C aralığındaki sıcaklıklarda çelik yüzeyinde birleşerek karbür tabakası oluştururlar (Öktem vd. 1994).

3.5 Karbürler

En yüksek ergime sıcaklığına sahip ve sertlikleri oldukça yüksek malzemeler karbürler olarak adlandırılır. Bu özelliklerinden dolayı karbürler önemli mühendislik malzemeleri arasında yer alır. Fakat silisyum karbür dışında karbürlerin oksidasyon direncinin zayıf olması, nemli atmosferde karbürlerin kullanım alanını sınırlar.

Karbürler genel olarak dört gruba ayrılır. Bunlar:

- Tuz benzeri karbürler oluşturan elementler CaC_2 gibi.
- Metal benzeri karbürler oluşturan elementler, WC gibi.

- Elmas benzeri karbürler B₄C gibi.
- Metalik olmayan elementlerin karbürleri CO gibi.

Çizelge 3.1 Bazı sert malzemelerin sertliklerinin kıyaslanması (Ulman 1986).

Malzeme	Sertlik Vickers (Kg/mm²)
Elmas	8000
Bor karbür	5000
Titanyum karbür	3300 - 4000
Titanyum borür	3400
Silisyum karbür	3400
Titanyum nitrür	3000
Vanadyum karbür	2100 - 2700
Niyobyum karbür	1900 - 2500
Krom karbür	1700 - 2300
Demir borür	2000
Volfram karbür (WC)	1600
Sert krom kaplama	1100
Sertleştirilmiş takım çeliği	900
İnşaat çeliği	150

Titanyum, niyobyum, vanadyum, krom, tungsten yada molibden gibi güçlü karbür oluşturu elementler mevcut olduğu zaman, çökelti, sementit yerine daha stabil alaşım karbürleri olabilir (İpek 1996).

3.6 Karbürleşmiş Yüzeylerin Genel Özellikleri

Karbürlü tabakaların faz yapıları, banyo bileşimine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle kaplamada yer alan bileşiklerin iyi bilinmesi gerekir.

3.6.1 Oksidasyon Direnci

Vanadyum (V) ve Niyobyum (Nb) karbür kaplı çelikler 500 °C civarında açık havada uzun süre kalırlarsa oksidasyona uğrarlar. Buna karşılık krom karbür kaplı çelik 800 °C civarında bile zor oksitlenir.

3.6.2 Aşınma Dayanımı ve Ömrü

Karbürle kaplanmış çelik yüzeyler serttir ve sürtünme katsayıları düşüktür. Bu nedenle bu yüzeyler aşınmaya karşı yüksek dayanım gösterir.

3.6.3 Sertlik

Karbür tabakaların sertliği yüksektir. Bazı mikro sertlik değerleri aşağıda gösterilmiştir (Güneş 2006).

$Cr_{23}C_6$	1100–1300 $H_{v0,02}$
Cr_7C_3	1700–2300 $H_{v0,02}$
NbC	1900–2500 $H_{v0,02}$
VC	2100–2700 $H_{v0,02}$

3.6.4 Korozyon direnci

Karbür kaplı demirler iyi korozyon direnci gösterirler. Cr karbür kaplı çelikler açık hava, klorin içeren atmosfer ve tuz püskürtme testlerinde çok iyi korozyon direnci göstermiştir (Öktem vd.1994).

3.7 TRD Yönteminin Endüstriyel Uygulamaları

Karbür kaplı malzemeler; döküm dövme, presler, toz sıkıştırma, kalıplar, boru çekme, kauçuk, tel yapımı plastik imalatı, kesme takımları ve otomobil parçalarında kullanılmaktadır. Ayrıca bu proses, metal ve tekstil endüstrisinde yönlendirici olarak kullanılan malzemelerde, pompa parçalarında, hadde zincirlerinde aşınan ve yıpranan parçaların özelliklerini iyileştirmede kullanılır (Güneş 2006). Çizelge 3.2’de TRD prosesine tabi tutulan bazı takımların uygulamaları verilmiştir (Heat Treatment 1991).

Çizelge 3.2 TRD prosesine tabi tutulan takımların uygulamaları

Saç metal şekillendirme	Derin çekme kalıpları, sürücüler, iticiler, şekillendirme merdaneleri, iz çekiçleri, folya merdaneleri, kesme bıçakları, sıyrıcı yardımcı pimler ve bujingleri, pilot pimler ve diğerleri
Boru ve tüp ürünleri	Çekme kalıpları, sıkıştırma haddeleri, frenleyici merdaneler, boş merdaneler ve yardımcı merdaneler vs.
Boru ve tüp işleri	Bükme kalıpları, basmakalıplar, mandal, genişletme çekiçleri, sıvama ve yayma kalıpları, vs.
Tel üretimi	Çekme kalıpları, doğrultma merdanesi, oksit kaldırıcı merdane, besleme merdaneleri, yardımcı merdaneler ve kesme takımları.
Tel çekme işleri	Bükme kalıbı, yardımcı merdane, besleme merdanesi, sıyırma bıçağı vs.
Soğuk ve ılık dövme	Ekstrüzyon koçları ve kalıpları, derin çekme kalıpları, yağma çekiçleri ve kalıpları, markalama çekiç ve kalıpları, hadde kalıplar, merdane, kesiciler.
Sıcak dövme	Prete dövme kalıpları, hadde kapakları, yağma kapakları, döner sıvama kalıbı, kapalı dövme kalıbı, vs.
Döküm (Al, Zn)	Gravite döküm maça pimi, basınçlı döküm maça pimi, maça besleyiciler vs.
Kauçuk şekillendirme	Şekillendirme kalıbı, Ekstrüzyon kalıbı, Ekstrüzyon itici sonsuz vidası, torpido silindir kolları, torpido, silindir kolları, nozullar, giriş vs.
Plastik şekillendirme	Şekillendirme kalıpları, enjeksiyon vidası, kollar, silindirler, sevk ediciler, nozullar, giriş vs.
Cam şekillendirme	Şekillendirme kalıbı, pompalar, yanma nozulları, makine

	parçaları vs.
Toz kompaktlama	Şekillendirme kalıpları, maça çubukları, Ekstrüzyon kalıpları, vida vs.
Kesme ve işleme	Kesme takımları, kesme bıçakları, matkap tapa germe pimi, takım tutucular, yardımcı plakalar vs.

Çizelge 3.2 (Devamı) TRD prosesine tabi tutulan takımların uygulamaları

3.8 TRD (Difüzyon Esaslı Kaplama) Prosesinin Üstünlükleri

TRD Prosesinin üstünlükleri; koruyucu atmosfer gerektirmemesi, atık ve zehirli gaz olmaması, çevreye zarar vermemesi, malzemeye yapışan tozun kolay temizlenmesi, basit donanım, düşük maliyet, kolay operasyon, kalıp parlatılmasında kullanılan işçilikten tasarruf, yağlayıcıdan tasarruf(bazen hiç yağlayıcı kullanılmaması), seçici karbür kaplama, kolay su verebilme(göbek sertliği), girintili çıkıntılı bölgelerde üniform kaplama, uzun banyo ve kalıp ömrü, yüzey işlemlerindeki ve boyutsal hassasiyetteki artıştan ötürü, ürün kalitesinin artması gibi üstünlükler sayılabilir (Öktem vd.1994).

4. KAPLAMALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Kaplamanın taban malzemeye yapışması kaplamanın kalitesi ve mukavemeti açısından çok önemli bir faktördür. Kaplama hem çalışma sırasında oluşacak gerilimlere, hem de kaplama sonu soğuma sırasındaki gerilimlere dayanacak derecede iyi olmalıdır. Bunun için kaplama ve taban malzemelerinin genleşme katsayılarının birbirlerine yakın olması avantajdır, aksi halde kaplama kalkar. Eğer kaplamanın genleşme katsayısı daha yüksek ise soğuma sonunda kaplama basınca çalışır ve mukavemeti en yüksektir. Yapışmayı kötü yönde etkileyecek faktörler arasında kaplama, taban malzeme, ara yüzeyde kırılğan intermetalikler oluşumu, düşük çekirdeklenme yoğunluğu ve taban malzemenin hidrürleşmesi gibi durumlar sayılabilir. Denge diyagramları yardımı ile en uygun malzeme ve kaplama sıcaklığı seçimi bu sorunları kısmen veya tamamen giderebilir.

4.1 Kaplamalarda Yüzey İşlemlerinin Önemi

Malzeme biliminin gelişimine paralel olarak iç yapı ile mekanik ve fiziksel özellikler arasında kurulan bağlar ve bunların bilinçli olarak uygulanması günümüzde kullanılan yüzey işlemlerini de beraberinde getirmiştir. Tabii ki bu işlemler en yaygın kullanım alanını çağımızın metali olan demir ve demir-esaslı ürünler arasında bulmuştur. Son yıllarda çok hızlı gelişen teknoloji ile birlikte yüzey işlemleri de çeşitlenmekte ve termal püskürtme, iyon aşılması gibi ileri tekniklerin laboratuvar düzeyinden seri üretim safhasına girmesini sağlamaktadır.

4.2 Yüzey İşlemlerinin Amacı

Metal yüzeylere uygulanan işlemler amaç olarak üç ana başlık altında toplanabilir.

4.2.1 Ana Metalin Aşınma ve Sürtünme Özelliklerinin Geliştirilmesi

Genel olarak aşınmaya dayanım, sertlik ile doğru orantılıdır. Ancak bir malzemenin

sertliği arttıka gevrekliği de artmakta, dolayısıyla yük taşıma kapasitesi düşmektedir. Bu nedenle uygulanacak yüzey işlemi, her iki özelliği (sertlik ve tokluk) tek bir parçada birleştirmeyi amaçlar. Böylece işlem sonrası oluşturulan metal yüzeyindeki sert tabaka aşınmaya karşı direnç sağlarken, çekirdeği oluşturan ana metal, nispeten yumuşak ancak tok yapısı ile parçaya binen yükü kaldıracabilmelidir. Bu amaca örnek olarak kesici uçlar üzerine kaplanan ince TiC tabakası verilebilir (İnt. Kyn 1).

Sürtünme ile ilgili uygulamalarda sürtünme katsayısı ön plana çıkmaktadır. Düşük yük altında çalışan metal parçalar üzerine teflon, ağır yük altında çalışan parçalar üzerine kaplanan babbıt alaşımı bu tür uygulamalara örnek verilebilir.

4.2.2 Korozyona Karşı Direncin Arttırılması

Aşınma direncinde olduğu gibi, bu tür uygulamalarda ana metalin dayanımı ile kaplamanın korozyona karşı direnci birleştirilmek istenir. Dekoratif amaçlı uygulamaları da bu sınıf altında toplamak mümkündür. Krom, nikel kaplama, galvanizleme en sık kullanılan yöntemlerdendir. Daha dar kapsamlı uygulamalara ise termal püskürtme, iyon aşılması, kladlama vb. rnek verilebilir.

4.2.3 Üretim Maliyetinin Düşürülmesi

Çalışma koşullarına çok uygun olmasına karşın birim fiyatının yüksek olması bir malzemenin sürekli olarak kullanılmasını engelleyebilir. Bu durumda çok daha ucuz bir malzeme üzerine yapılacak kaplama maliyeti düşürecektir.

4.3 Metal Yüzeylerin Temizlenmesi

4.3.1 Yağlı Maddelerin Alınması

Metalik yüzeyler yakın zamanda temizlenmemiş veya paslanmayı önlemek için yüzeylerine yağ sürülmüş olabilir. Bu yağları almak için çeşitli yöntemler uygulanır.

4.3.1.1 Organik Çözücüler

Temizlenecek cisim gazolin, benzen veya karbon tetra klorür ile yıkanır. Gazolin ve benzen ucuz olduklarından tercih edilirler. Ancak tutuşma olasılıkları ve benzenin zehirli özellikleri kullanılma alanlarını sınırlar.

4.3.1.2 Alkali Çözelti Kullanılması

Yağlar sıcak alkali ile sabunlaşmaya tabi tutulurlar ve metalik yüzeyden alınırlar. Emülsiyon teşkil edici maddeler ise NaOH, Na₂CO₃ çözeltileri ve sabundur. Elektro kaplama işletmeleri genellikle hazır metal temizleyicileri satın alırlar (İnt Kyn. 1).

4.3.1.3 Elektriksel Temizleme İşlemi

Temizlenecek cisim alkali çözelti içeren bir tanka bağlanır. Akım uygulanarak temizlenecek cisim üzerinde hareketli hidrojen gazı çıkışı başlar. Temizleme işlemi küçük gaz habbecikleri yardımıyla, kaldırma işlemi ile birlikte katot yüzeyinde serbest alkali oluşumu ile olur.

4.3.1.4 Dağlama

Kaplamayı imkansız kılan oksit vb. şeylerin parça yüzeyinden giderilmesi için maddenin cinsine göre muhtelif asit karışımları kullanılır. Parçaların bu karışımlarla temizlenmesine dağlama adı verilir. Kaplanacak parçaların dağlanmadan önce esaslı olarak yağdan temizlenmesi gerekir. Parçaların dağlanmasında sülfürik asit, fosforik asit, hidroflüorik asit vb. asitli karışımlar kullanılır.

4.3.2 Kabukların ve Diğer Oksitlerin Alınması

Bazı nedenlerle kaplanması gereken malzemelerin yüzeyini, ince bir oksit tabakası kaplar. Bunu önlemek için yüzeye koruyucu bir madde sürülür. Fakat bu oksit tabakası koruyucu madde sürülmeden önce de meydana gelmiş olabilir. Bu tabakaları gidermek için çeşitli yöntemler kullanılır.

4.3.2.1 Demir ve Çeliği Asitle Temizleme(Pikaj İşlemi)

Demirden yapılmış cisimler için genellikle H_2SO_4 ve HCl asitleri tavsiye edilse de genellikle HCl asit tercih edilir. Nedeni H_2SO_4 'den daha çabuk etki eder. HCl'ün pahalı olması pek çok hallerde H_2SO_4 'ın kullanılmasını gerektirir. Asidin oksit kabuğu üzerine etkisi, metale döküldüğünde metalle kabuk arasında oluşan hidrojen habbeciklerinin meydana getirdiği mekanik ayırma ve çözeltilerin etkileşimi neticesinde olur.

4.3.2.2 Oksit Tabakasının Elektrolitik Yolla Kaldırılması

İnce bir tabaka halinde oksit kabuğu ihtiva eden demir veya çelik $60^{\circ}C$ 'deki %30'luk H_2SO_4 çözeltisinde katot olarak bağlanırsa, kabuk demire indirgenir. Absorbe edilen hidrojen, metali kırılgan yapar. Aynı banyoda demir anot olarak da kullanılır. Bu taktirde demirin fiziksel özelliklerinde bir bozulma olmamasına rağmen metal kaybı oldukça büyüktür (İnt. Kyn 1).

4.3.2.3 Kum Püskürtme

Dökümler kum püskürtme ile temizlenir. Döküm üzerine basınçlı hava ile kum püskürtülür ve oksit kabuğu mekanik olarak kaldırılır. Tüm tedbirlere rağmen ince kum solunum sistemine girer. Kum püskürtme kapalı yerlerde yapılmalıdır. Bu yöntem temizlenecek cismin yüzeyini etkiler ve bazen de mat bir yüzey elde edildiğinde son işlem olarak kullanılır.

4.3.2.4 Tel Fırça ile Fırçalama

Tel fırçalar çok etkilidir, yalnız başına ya da zımpara, sünger taşı, silisyum karbür gibi aşındırıcılarla ve alkali çözeltilerle birlikte de kullanılabilirler.

4.3.2.5 Dönen Fırçalar

Ufak cisimler dönen fırçalar ile kolayca temizlenirler. Temizlenecek cisim çelik bilya, kum, zımpara veya diğer uygun bir aşındırıcı ile sabun veya başka bir alkali ile birlikte dönen varile yerleştirilir. Bu aşındırıcılar yaş ve kuru olarak kullanılırlar. Yuvarlanma ile kabuklar, pürüzler, sivri uçlar, çıkıntılar, girintiler giderilir. Çizelge 4.1’de yüzey temizleme yöntemleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Yüzey Temizleme İşlemleri (İnt. Kyn. 1).

TEMİZLEME YÖNTEMİ	Yağ ve Gress	Talaş Parçaları Ve Kesme İşleminde Kullanılan Lubrikantlar	Parlatma Pastası	Oksit Tabakası
Solvent	--	X	-	-
Buhar	X	X	X	-
Alkalin	X	X	X	X
Asit	X	X	X	X
Tuz banyosu	-	-	-	X
Ultrasonik	-	-	X	X

Kum püskürtme	-	-	-	X
Mekanik parlatma	-	-	-	X
Kimyasal dağlama	-	-	-	X
Elektrolitik dağlama	-	-	-	X

Çizelge 4.1 (Devamı) Yüzey Temizleme İşlemleri

4.4 Kaplamalarda Aşınmaya Neden Olan Durumlar

Kaplamalarda aşınmaya neden olan durumlar şunlardır:

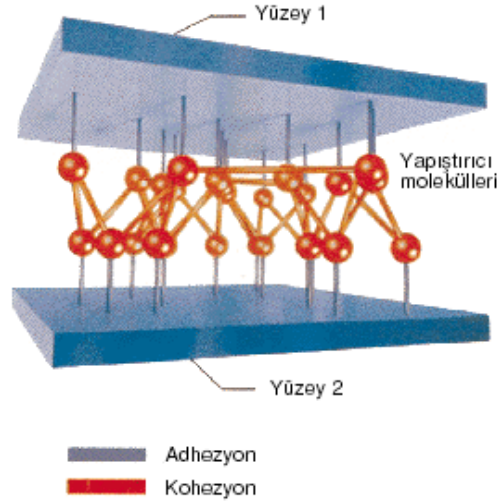
- Adhezyon
- Abrazyon
- Erozyon
- Korozyon
- Delaminasyon (Kavkıma)
- Yüzeysel yorgunluk

4.4.1 Adhezyon (Yapışma)

Adhezyon, iki maddenin temas yüzeylerindeki yapışma kuvvetidir. “Van der Waals kuvvetleri” olarak adlandırılan çekim ve yüzeye tutunma fiziksel kuvvetleri yapışmada en önemli faktördür. Mekanik olarak işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlere kaplamalar tam olarak temas edemezse, bu moleküller arası kuvvetler oldukça zayıflar. Bu nedenle

yapışmanın yüzey pürüzlerine tam olarak nüfuz etmesi gerekir. Dolayısıyla, yapışmanın kuvveti moleküller arası maksimum temasa ve yüzeyin yapışma özelliklerine bağlıdır. Yüzeyde kirlerin bulunması da yapışmayı olumsuz etkiler (İnt. Kyn. 2).

İki nesne birbirlerine bir kuvvet altında sürtünürlerken yüzeydeki pürüzleri oluşturan küçük tepecikler geçici olarak birbirlerine yapışıp kaynak olurlar. Kaynak olmuş bu tepecikler iki nesnenin hareketlerine devam etmesi sonucu koparlar ve küçük parçacıklar serbest kalırlar. Böylece aşınma gerçekleşmiş olur. Buradan da anlaşılacağı üzere adhezyon aynı zamanda bir aşınma nedeni de olabilir. Kohezyon aynı cins moleküller arasındaki çekim kuvvetine denir adhezyon ve kohezyon kuvvetleri şematik olarak şekil 4.1’de görülmektedir



Şekil 4.1 Yapışma ek yerindeki kuvvetler.

4.4.2 Abrazyon

Birbirine sürtünen nesnelere daha sert olanının yumuşak olan diğer nesnenin yüzeyini kazıyarak parçalar koparması temeline dayanır.

4.4.3 Erozyon

Bir yüzeye hızla püskürtülen katı parçacıklarının, sıvı veya gaz jetlerinin o yüzeyi aşındırarak kütle kaybetmesine yol açmasıdır.

4.4.4 Korozyon

Kimyasal maddelerin (katı, sıvı veya gaz) katı nesnelerin yüzeyleriyle kimyasal etkileşim sonucu kütle yitirmesine neden olmasıdır. Paslanma ve eriyip yok olma bunun örnekleri olarak gösterilebilir.

4.4.5 Delaminasyon (Kavkırma)

Bir nesnenin başka bir nesne üzerine uyguladığı yükün yüzey altında oluşturduğu gerilmeler ile o nesnenin gerilme direncinin üzerine çıkılarak yüzey altında çatlaklar oluşur bu çatlaklar yüzey altında ilerleyip yüzeye ulaştıklarında yüzeyde parçacıklar kavkıma görünümünde serbest kalırlar. Bu durum "delaminasyon" (Kavkıma) olarak adlandırılır (İnt. Kyn. 2)

4.4.6 Yüzeysel Yorgunluk

Katı malzemeler etkisi altında buldukları gerilmelerin sürekli olarak periyodik bir şekilde artıp azalması sonucu olağan gerilme dirençlerinden daha az bir gerilme ortamında dahi zayıflayıp parçalanabilirler. Bu durum "yüzeysel yorgunluk" olarak adlandırılır.

5. MATERYAL ve METOD

5.1 Deneyde Kullanılan Malzemeler

Deneyisel çalışmalarda kullanılan yatak çeliklerinin kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Deneyisel çalışmalarda kullanılan çeliklerinin (%) kimyasal bileşimi
(%) Kimyasal Bileşim

Çelik Türü	C	Cr	Mn	Si	Cu	Ni	P	Mo	Sn
AISI 52100	0,95	1,45	0,318	0,194	0,155	0,107	0,0143	0,0137	0,0095
AISI 8620	0,202	0,52	0,78	0,27	0,22	0,46	0,011	0,19	0,014

Numuneler 6 mm kalınlığında ve 25 mm çapında kesilerek kaplama işlemi için 1200 grid’lik zımparalama kademesine kadar zımparalanmış ve sonra parlatılmıştır.

5.2 Kromlama ve Plazma Nitrürleme İşleminin Yapılması

Bu çalışmada; 120–1200 grid’lik zımpara kademelerinden geçirilen AISI 52100 ve AISI 8620 çelikleri termo-reaktif difüzyon yöntemi (TRD) ile %55 Al₂O₃, %35 ferro-krom, %10 NH₄Cl tozlarını içeren bir paslanmaz çelik kutu içerisinde kromlanmıştır. Kaplama işlemi 1000 °C’de 5 saat süreyle elektrik rezistanslı bir fırın içerisinde gerçekleştirilmiştir. İkinci olarak kromlanmış AISI 52100 ve 8620 çeliği plazma iyon yöntemi ile %50 H₂- %50 N₂ gazı, ortamında 500 °C’de 5 saat sürelerle puls nitrürlenmiştir. Numuneler alkolle temizlendikten sonra plazma haznesine yerleştirilmiş ve haznenin havası 0,025 mbar basınca boşaltılmıştır. Deney süresince sıcaklık numuneye temas halinde olan bir termokupul vasıtasıyla ölçülmüştür ve plazma 500-550 V gerilimde, 0,5–0,55 Amper akımda, 5 kHz frekansa, 10 mbar çalışma

basıncında, %75 Duty cycle (çalışma oranı)'da oluşturulmuştur. Kesitten kesilen numuneler metalografik işlemlerden geçirilerek optik mikroskop altında incelenmiştir.

5.3 Metalografik İnceleme

Yüzey işlemlerine tabi tutulan numuneler, kesitten kesilerek kalıplanmış ve 120–1200 grid' lik zımparalama kademesinden geçirilmiştir. Metalografik olarak parlatılmış olan numuneler % 3'lük nital ile dağlanarak mikro yapılar ortaya çıkarılmıştır. Metalografik olarak hazırlanan numuneler Olympus Bx6 marka optik mikroskop ile incelenmiştir

5.4 XRD Çalışmaları

TRD yöntemiyle kromlanmış ve TRD+darbeli plazma ile nitrülenmiş numuneler X-ışını difraksiyon yöntemiyle incelenmiştir. X-ışını radyasyonu olarak $CuK\alpha$ radyasyonu kullanılmış olup numune yüzeyleri 20–100 derece ve 2θ açısı arasında taranmıştır.

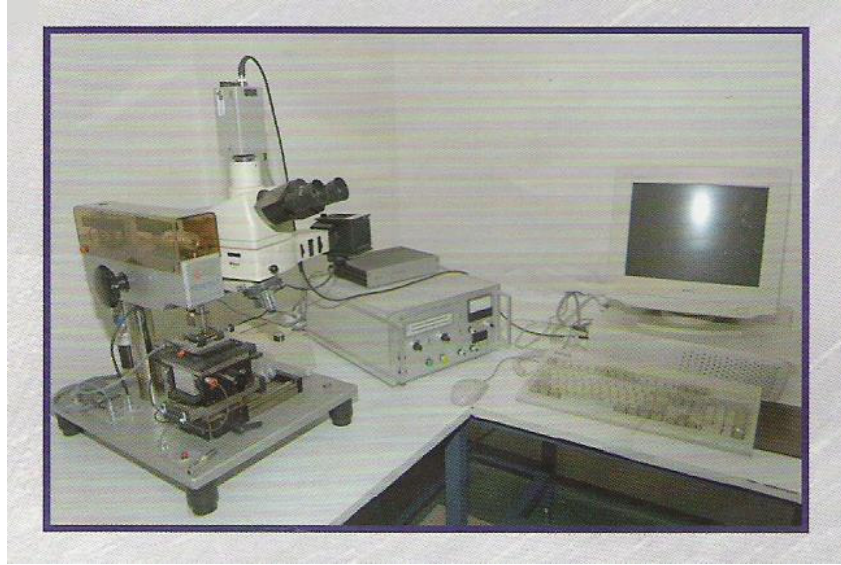
5.5 Tabaka Kalınlığı, Mikrosertlik Deneyi ve Yüzey Pürüzlülüğü

Deneyde kullanılan numunelerin tabaka kalınlıkları optik mikroskop yardımıyla tespit edilmiştir. Kromlanmış ve TRD+Plazma nitrülenmiş numunelerin sertlikleri Knoob ucuyla 25 gr yük altında kesitten Shimadzu HMV-2 mikrosertlik cihazında ölçülmüştür.

TRD yöntemiyle kromlanmış ve plazma nitrülenmiş çizik testi numunelerinin yüzey pürüzlülükleri Perthometer M2 marka yüzey pürüzlülüğü cihazında ölçülmüştür.

5.6 Scratch Test (Çizik Testi)

Scratch Test cihazı kaplamaların, elmas bir uç ile 0-200 N arasında değişen yüklerle çizilmesi prensibiyle çalışan bir cihazdır. Kaplamanın çatladığı ve yüzeyden ayrılmaya başladığı yük kritik yük olarak optik ve akustik yöntemlerle tayin edilir. Bu cihazla kritik yükün yanı sıra kaplamanın sürtünme katsayısı da ölçülür. Scratch Test cihazı bilgisayar kontrollüdür. Kaplamaların adhezyon (yapışma), kırılma ve deformasyon gibi yüzey mekanik özelliklerinin karakterize edilmesi için ideal bir cihazdır. Bu cihaz şekil 5.1’de şematik olarak görülmektedir.



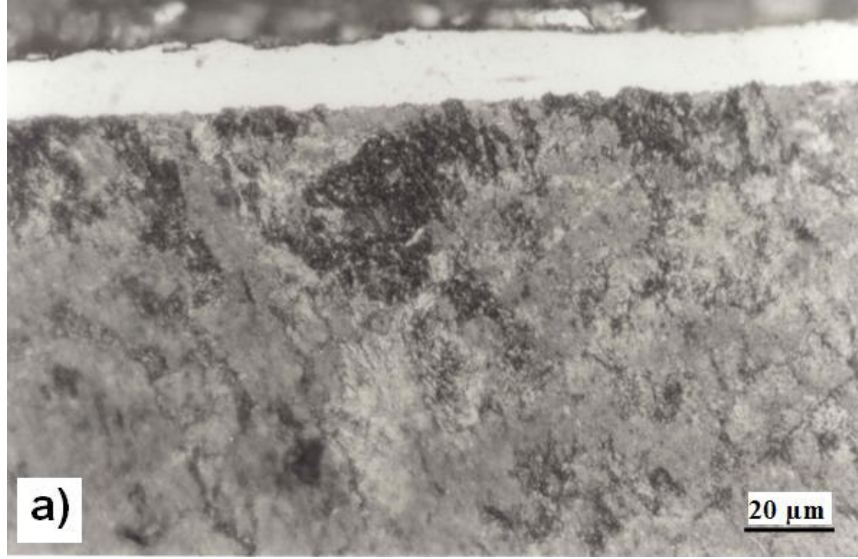
Şekil 5.1 Scratch Test (çizik testi) cihazı

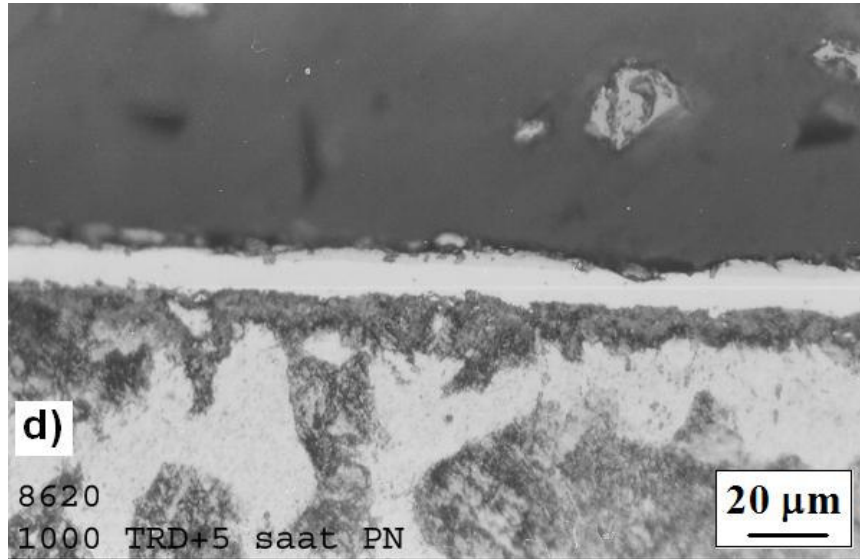
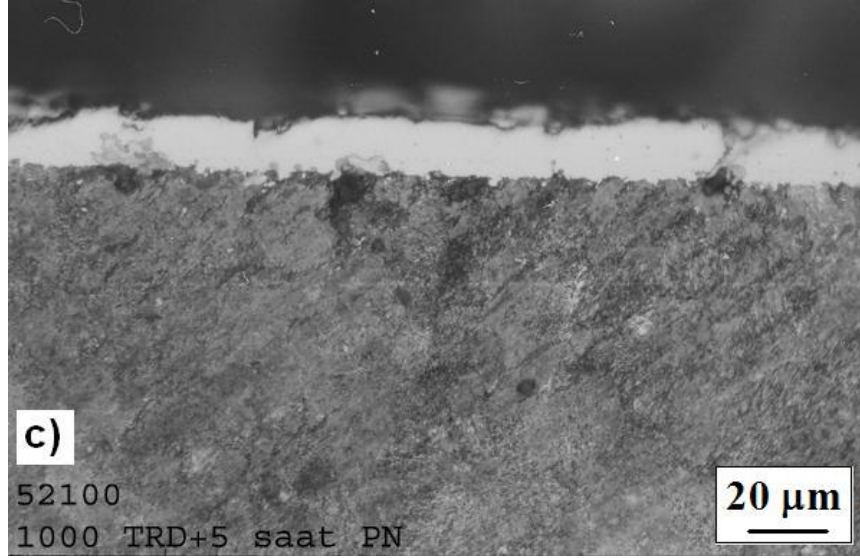
TRD yöntemiyle kromlanmış, ve dubleks yüzey işlemi uygulanmış (CrN) numuneler Kayseri Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde çizik testine tabi tutulmuştur. Bu test CSEM-REVETEST markalı cihazda belirli bir kritik yük uygulanarak yapılmıştır. Uygulanan kritik yük 1-100 N arasında olup uç olarak standart Rockwell C (Rc) elmas uç kullanılır. Bu testler sonucunda Akustik Emisyon (Lc, AE) ve Sürtünme Kuvveti (Lc, Ft) değerleri tespit edilir. Akustik Emisyon değeri numunede ilk hasarın oluşmaya başladığı kuvvet Sürtünme Kuvveti değeri ise taban malzemeye geçişin olduğu kuvvettir.

6. BULGULAR

6.1 Metalografik Bulgular

Şekil 6.1'de 500 °C 5saat işlem süresinde termo-reaktif difüzyon yöntemi (TRD) ile kromlanan ve dubleks yüzey işlem uygulanan AISI 52100 ve 8620 çeliklerinin kesit mikroyapıları görülmektedir.





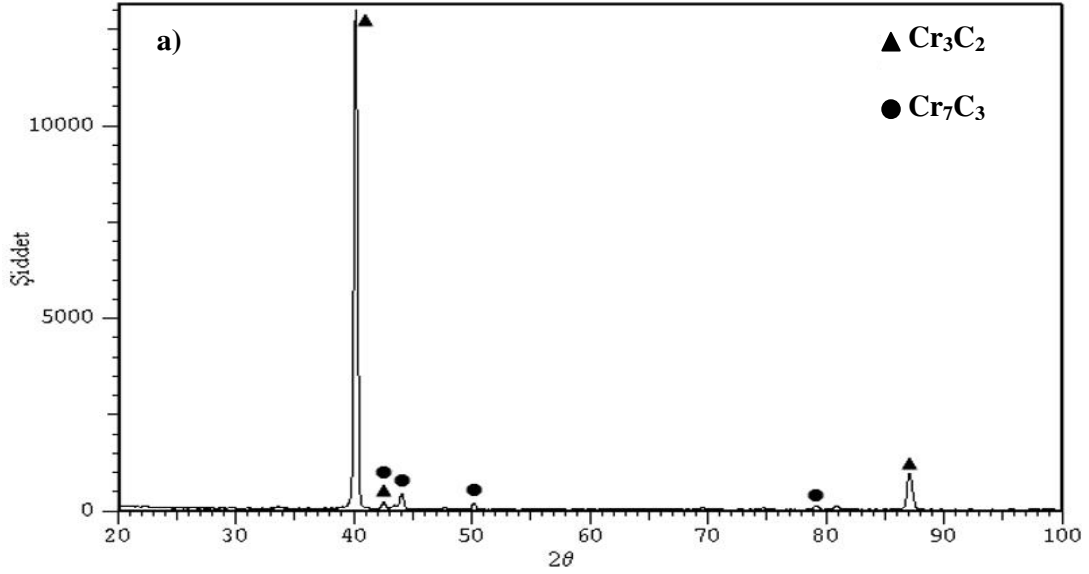
Şekil 6.1 AISI 52100 ve 8620 çelikleri üzerinde oluşturulan krom karbür ve krom nitür tabakalarının optik mikroyapı sonuçları. a) Kromlanmış 52100 b) Kromlanmış 8620 c) Dupleks işlem görmüş 52100 d) Dupleks işlem görmüş 8620

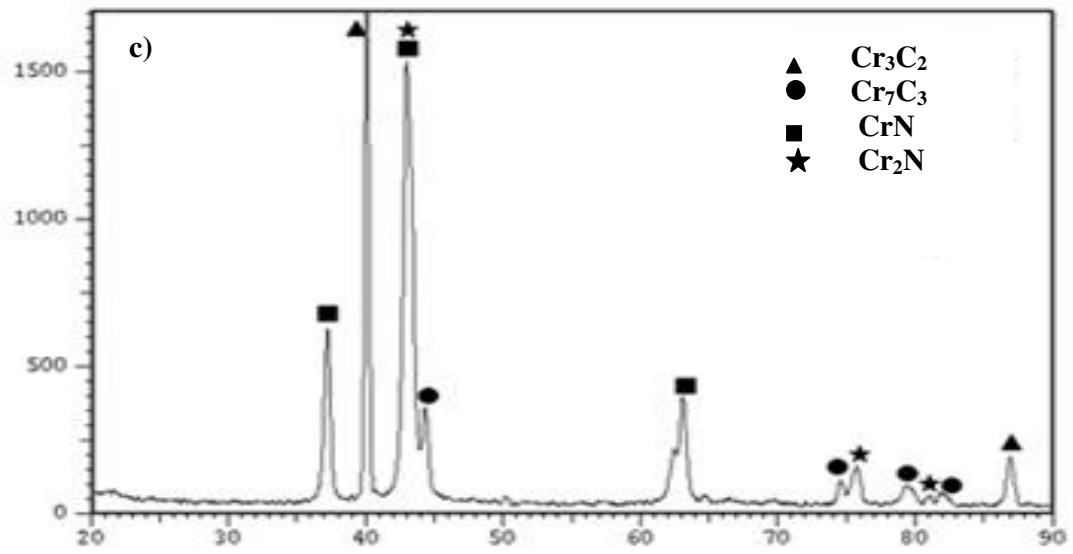
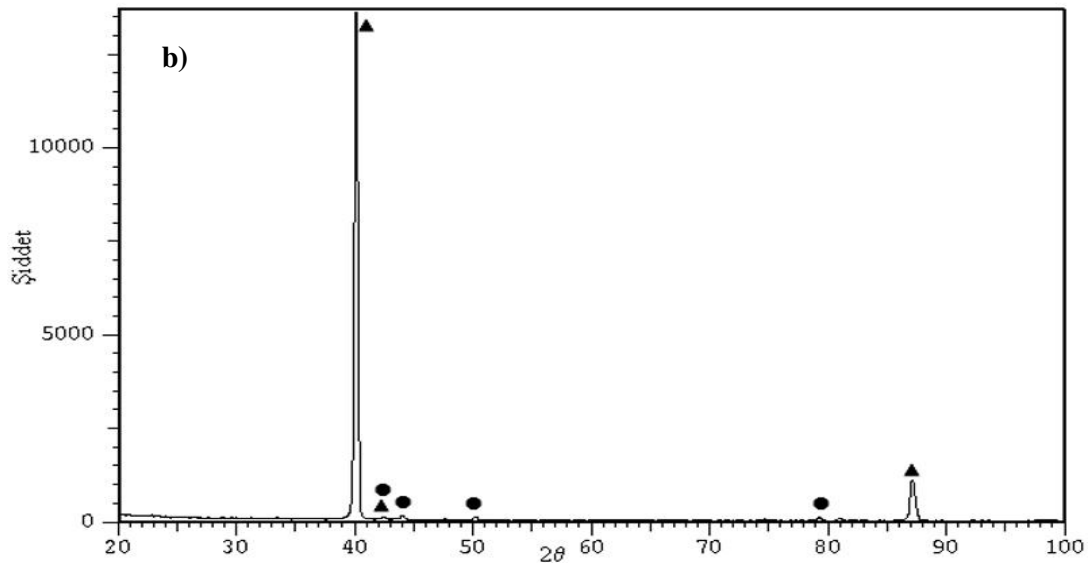
Şekil 6.1 a-b'de görüldüğü gibi 52100 çeliği üzerinde oluşan tabaka 8620 çeliğine oranla daha fazladır. Bunun nedeni AISI 52100 çeliğinin daha fazla karbon içermesidir. 52100 çeliği üzerinde oluşan tabaka daha düzgün bir dağılım sergilemiştir.

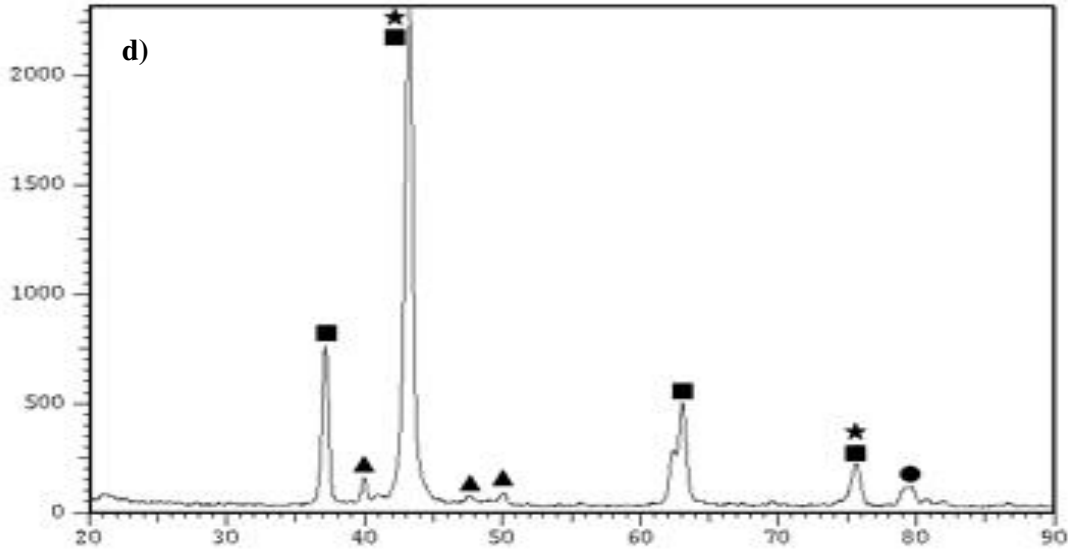
Şekil 6.1 c-d'de dubleks yüzey işlemleri uygulanmış AISI 52100 ve 8620 çelikleri görülmektedir. Benzer olarak yine 52100 çeliği üzerinde oluşan kaplama tabakası 8620 çeliğine oranla daha fazladır. TRD yöntemi ile dubleks yüzey işleminin kesit mikroyapıları karşılaştırıldığında dubleks yüzey işlemleri uygulanmış numunelerdeki tabaka kalınlıklarında biraz azalmalar görülmüştür. Bu beklenmeyen bir durumdur. Bu durum darbeli plazma nitrürleme esnasında malzeme yüzeyinde gerçekleşen bombardımandan (sputter) kaynaklanabilir. Darbeli plazma nitrürleme esnasında katoda hareket eden ve onu bombardıman eden azot iyonları kaplama tabakasından atom koparmaktadır. Bu ayrılan (ikincil emisyon) atomlar yüzeye geri depozit olan miktardan daha fazla olduğunda yüzeydeki tabakada da azalma oluşmuş olabilir.

6.2 XRD Sonuçları

Şekil 6.2 a,b,c,d'de çelikler üzerinde oluşturulmuş difüzyon kaplamalarının XRD analizleri görülmektedir.







Şekil 6.2 AISI 52100 ve 8620 çeliklerinin X-ışınları difraksiyonu analizi,
a) Kromlanmış 8620, b) Kromlanmış 52100, c) Dupleks işlem görmüş 8620,
d) Dupleks işlem görmüş 52100

Şekil 6.2 a-b'de görüldüğü gibi 1000 °C'de 5 saat kromlama yüzey işlemine tabi tutulmuş her iki çelikte de tabaka Cr_3C_2 ve Cr_7C_3 fazlarından oluşmaktadır. Baskın faz olarak Cr_3C_2 görülmüştür.

Şekil 6.2 c ve d'de çift yüzey işlemine tabi tutulmuş her iki çeliğin X-ışınları difraksiyon paterni görülmektedir. Görüldüğü gibi tabaka Cr_3C_2 , Cr_7C_3 , CrN ve Cr_2N fazlarından oluşmaktadır. XRD sonuçları darbeli plazma nitrüleme işleminin yüzeyde krom nitrid bazlı bir tabaka oluşturduğunu göstermektedir.

6.3 Tabaka Kalınlığı, Mikrosertlik ve Yüzey Pürüzlülüğü Sonuçları

Çizelge 6.1 AISI 52100 ve 8620 çelikleri üzerinde yüzey işlemleri ile oluşturulan (krom karbür, krom nitrid,) tabakaların kalınlığı ve mikro sertlik değerleri

Çelik	İşlem türü/Sıcaklık (1000 °C)	Tabaka kalınlığı (μm)	Mikro sertlik ($HK_{0.025}$)
AISI 52100	TRD	14.8±1.66	1823

AISI 8620	TRD + PN	14±0.66	2245
	TRD	10.5±1.27	1769
	TRD + PN	10±1.36	2134

Çizelge 6.1 (Devamı) AISI 52100 ve 8620 çelikleri üzerinde yüzey işlemleri ile oluşturulan (krom karbür, krom nitür,) tabakaların kalınlığı ve mikro sertlik değerleri

Çizelge 6.1’de TRD ve TRD+plazma nitrülenmiş çelikler üzerinde oluşan tabakaların kalınlıkları ve mikrosertlikleri görülmektedir. Sadece TRD işlemine maruz bırakılmış çelikler mukayese edilirse AISI 52100 çeliğinin yüzeyinde oluşan tabakanın diğer çeliğe göre daha sert olduğu görülür. Bu durumun nedeni oluşan Cr_3C_2 faz oranının 52100 çeliğinde daha fazla olmasıdır. Plazma nitürleme esnasında oluşan krom nitürler tabakanın sertliğini artırmaktadır. CrN günümüzde kesici takım çeliklerinin kaplanmasında adhezyon ve sertliğinin yüksek olmasından dolayı kullanılmaktadır. Krom nitür tabakaları PVD yüzey işlemi ile çelik üzerinde oluşturulmaktadır. Bu işlem pahalı ve tabakanın adhezyonunda zayıftır. Bu dubleks yüzey işlemi PVD işlemine alternatif olabilecek bir işlemdir. TRD işlemine benzer olarak plazma nitürlemeden sonra 52100 çeliği üzerindeki tabakanın sertliği 8620 çeliğinden daha fazladır.

Çizelge 6.2 Çizik testine tabi tutulacak AISI 52100 ve 8620 yatak çeliklerinin yüzey pürüzlülük değerleri (Ra)

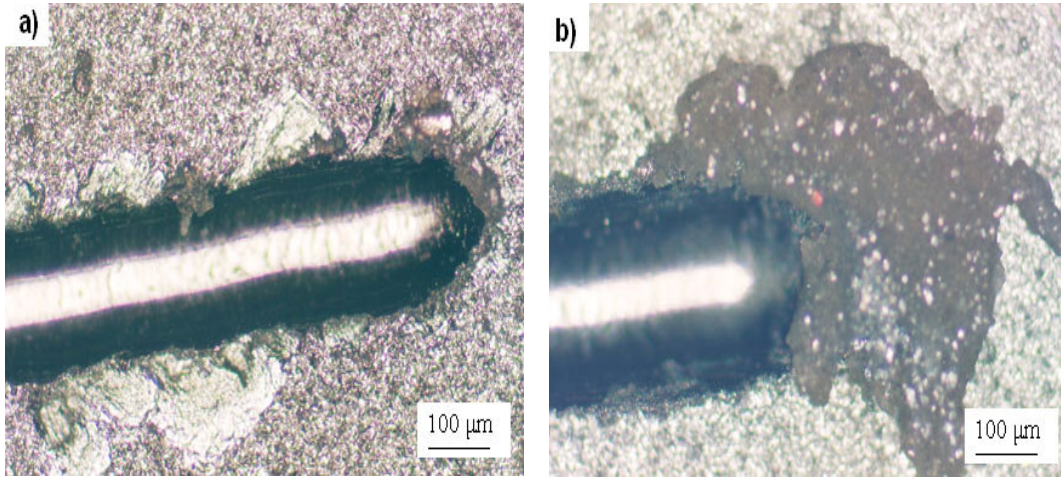
Çelik	İşlem türü	Yüzey pürüzlülüğü, Ra (μm)
AISI 52100	TRD	0.42±0.04
	TRD + PN	0.634±0.1
AISI 8620	TRD	0.415±0.06
	TRD + PN	0.612±0.08

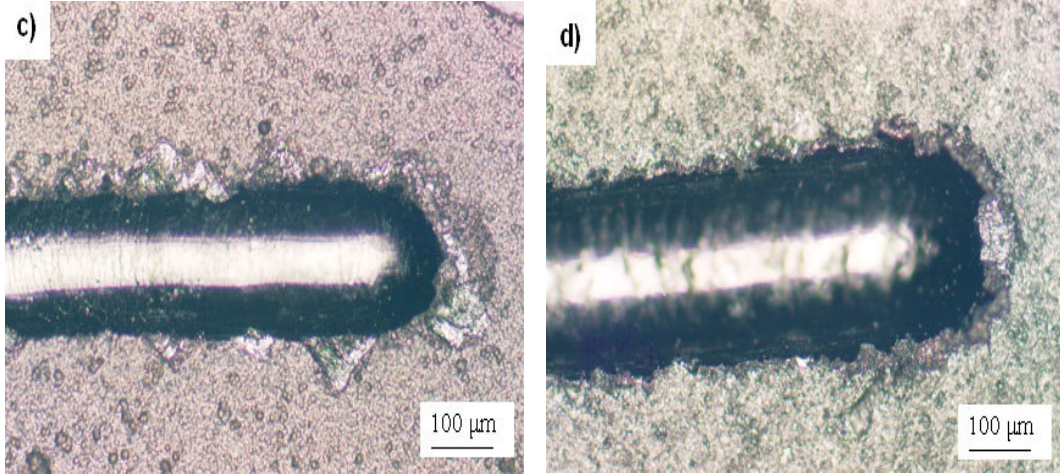
Çizelge 6.2’de çeşitli yüzey işlemleri uygulanmış AISI 52100 ve 8620 çeliklerinin işlem türüne göre yüzey pürüzlülük değerlerinin değişimi görülmektedir. Bu çeliklerden dubleks işlem görmüş olan numunelerin tek işlem görmüş olan numunelere oranla pürüzlülük değerleri daha yüksektir. Bilindiği gibi plazma yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır. Yapılan çalışmada da plazma işleminden sonra numunelerin yüzeyinde pürüzlülük değerleri artmıştır. Dubleks ve tek işlem uygulanmış durumdaki 52100 çeliğinin pürüzlülük değerlerinin aynı işlemlere tabi tutulmuş 8620 çeliğinin pürüzlülük değerlerine yakın olduğu görülmektedir.

6.4 Çizik Testi (Scratch Test) Sonuçları

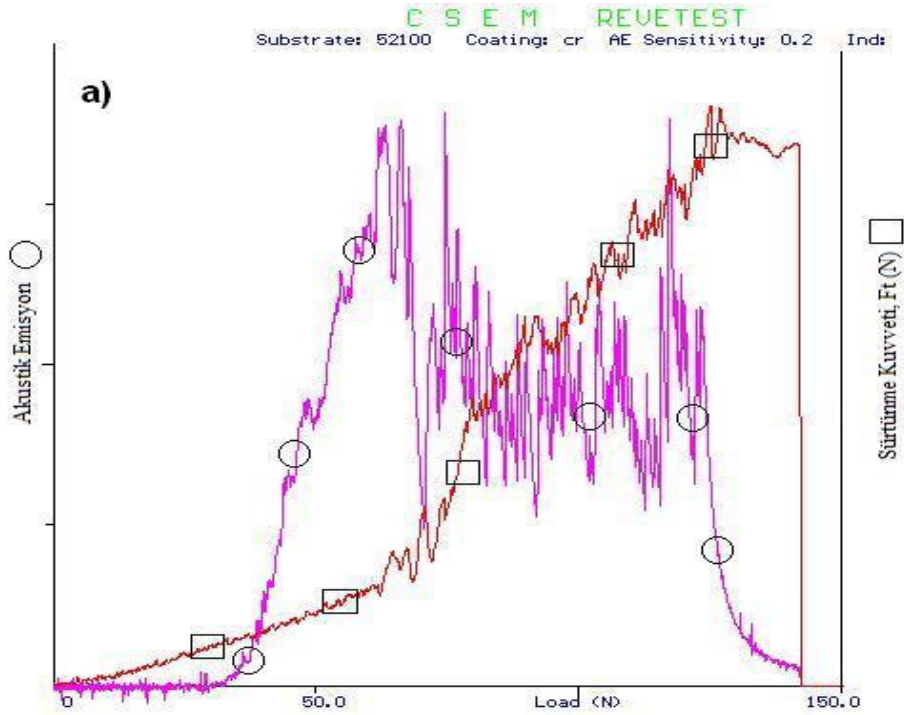
Şekil 6.3 ve 6.4'de çizik testi uygulanan numunelerin tipik çizik testi izleri ile grafikleri görülmektedir. Şekil 6.3'de AISI 52100 ve 8620 çelikleri üzerinde oluşan çizik izleri ile birlikte kaplama tabakasındaki çatlaklar görülmektedir. Resimler 100 N kuvvet uygulandıktan sonra oluşan çizik optik görüntüleridir. Şekil 6.3 c ve d'de gözlenen delaminasyon a ve b'deki delaminasyondan daha azdır. Bu da dubleks yüzey işleminin adhezyonu artırdığının bir kanıtı olabilir. TRD ve plazma nitrüleme nispeten yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen difüzyon esaslı yüzey işlemleri olduğundan kaplama tabakalarının çeliğe adhezyonu, PVD veya CVD yöntemleriyle oluşturulan kaplamaların adhezyonundan daha iyidir. PVD veya CVD yöntemleriyle oluşturulan kaplamalarda çizik testlerinde daha derin hasarlar meydana gelmekte ve kaplama çelikten sıyrılmaktadır.

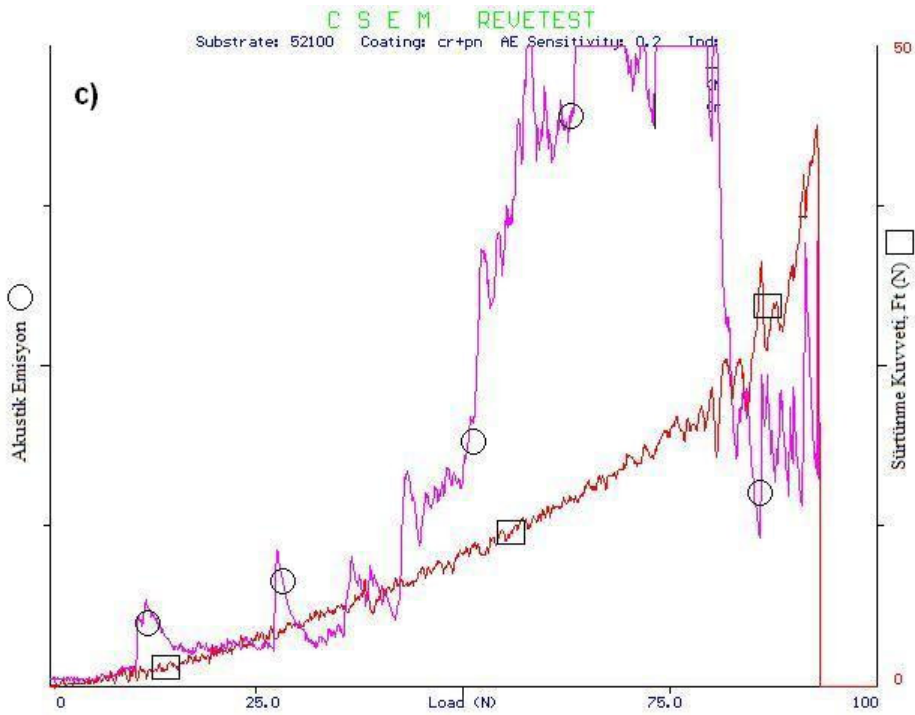
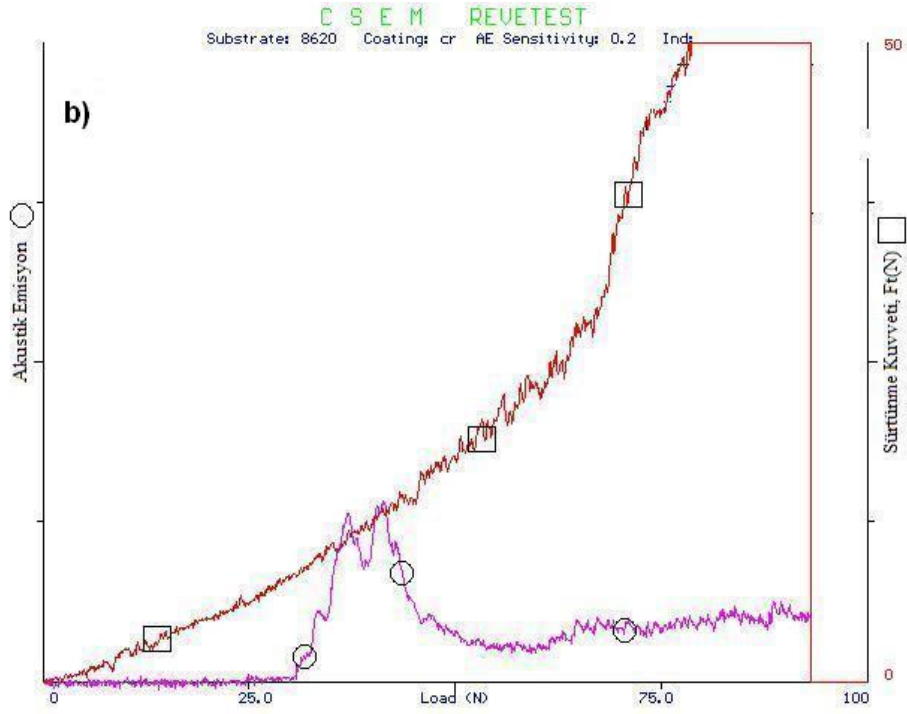
Şekil 6.4'den faydalanılarak 52100 ve 8620 çeliklerinin Akustik Emisyon Lc (AE) ve Sürtünme Kuvveti Lc (Ft) değerleri tespit edilmektedir. Şekil 6.4'deki grafiklerde çizgilerin ilk dalgalanmaya başladığı nokta hasara başlangıç noktaları olarak alınmaktadır. Bu grafiklerden elde edilen değerler ise çizelge 6.3'de verilmiştir. Lc_1 (AE) çizik testi sırasında hasarın ilk görüldüğü kuvvet, Lc_2 (Ft) ise taban malzemeye geçişin görüldüğü kuvvettir. Literatürdeki adhezyon belirlemelerinde sürtünme kuvvetinin değerleri baz alınarak değerlendirme yapılmaktadır. Bu değerlere göre (Lc_2) dubleks işlem görmüş numunelerdeki adhezyon daha fazladır.

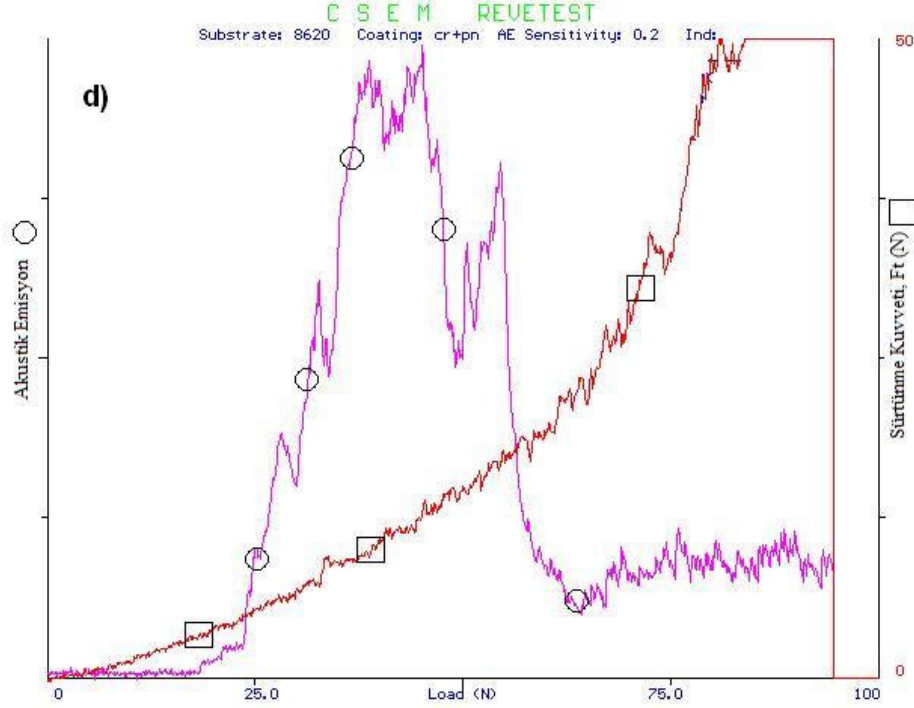




Şekil 6.3 AISI 52100 ve 8620 çeliklerinin çizik testi izleri, a) Kromlanmış 52100
 b) Kromlanmış 8620 c) Dubleks işlem uygulanmış 52100
 d) Dubleks işlem uygulanmış 8620







Şekil 6.4 AISI 52100 ve 8620 çeliklerinin çizik testi grafikleri, a) Kromlanmış 52100
b) Kromlanmış 8620 c) Dupleks işlem uygulanmış 52100
d) Dupleks işlem uygulanmış 8620

Çizelge 6.3 AISI 52100 ve 8620 çeliklerinin çizik resti sonuçları

Numune	Kritik yük (N)	
	L_{C1}	L_{C2}
1000 °C-5 saat kromlama 52100	29.4	71
1000 °C-5 saat kromlama 8620	28.2	68.7
1000 °C-5 saat kromlama+ 5 saat plazma nitürleme 52100	11.7	80.3
1000 °C-5 saat kromlama+ 5 saat plazma nitürleme 8620	24.7	75

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada AISI 52100 ve 8620 yatak çelikleri üzerine Termo-reaktif difüzyon yöntemiyle (TRD) kromlama ve TRD+darbeli plazma nitrüleme işlemi başarıyla uygulanmıştır. Metalografik incelemelerin sonucunda 52100 çeliği üzerinde oluşan tabakanın 8620 çeliğine oranla daha fazla olduğu bulunmuştur. Bunun nedeni AISI 52100 çeliğinin daha fazla karbon içermesidir. Çeliğin karbon içeriğinin fazla olması krom karbür tabakasının fazla oluşmasına sebep olmuştur.

Dubleks yüzey işlemi ile oluşturulan tabakaların kalınlıkları TRD yöntemine göre biraz daha azdır. Bu durum darbeli plazma nitrüleme esnasında malzeme yüzeyinde gerçekleşen bombardımandan (sputter) kaynaklanabilir. Darbeli plazma nitrüleme esnasında katoda hareket eden ve onu bombardıman eden azot iyonları kaplama tabakasından atom koparmaktadır (Heat treatment, 1991). Bu ayrılan (ikincil emisyon) atomlar yüzeye geri depozit olan miktardan daha fazla olduğunda yüzeydeki tabakada da azalma oluşmuş olabilir.

XRD analizi ile dubleks yüzey işlemi neticesinde tabakaların Cr_3C_2 , Cr_7C_3 , CrN ve Cr_2N fazlarından oluştuğu görülmüştür. Darbeli plazma nitrüleme işlemi kromlanmış tabakada krom nitür oluşumunu sağlamıştır. Krom nitür aşınmaya çalışan makine takım çeliklerine ve kesici takım çeliklerine PVD yöntemi ile uygulanmaktadır. PVD yöntemi pahalı ve tabakanın yapışması da zayıftır. Dubleks işlemle oluşturulan krom nitür tabakaları hem daha ucuz hem de difüzyon esaslı olduğundan yapışması daha iyidir. Yapılan bir çalışmada AISI 1020 çeliğini değişik sıcaklıklarda TRD yöntemiyle krom kaplanmış (1073-1573 K sıcaklık aralığı) ve %75 N_2 -% 25 H_2 gaz karışımında 723 K de 1 saat plazmada nitrüleme işlemi yapılmıştır. Bu dubleks işlem neticesinde yaklaşık 25 μm kalınlığında krom nitür ve karbürlerden oluşan bir tabaka elde edilmiştir. Ayrıca yapılan ölçümlerde sertlik de 1400 HV olarak belirlenmiştir. Mevcut çalışmada sertlik literatürde bahsedilen mikro-sertliklerden çok daha fazladır. 52100 çeliğinin 5 saat plazmada nitrülenmesi neticesinde ise 2200 HK değerine varan sertlikler elde edilmiştir (Baggio-Scheid). Yapılan başka bir çalışmada AISI 1020, H13 ve ASTM A213 çeliklerinin krom kaplaması için TRD yöntemiyle 1200-1300 °C

sıcaklık aralığında 5 saat termokimyasal işlem uygulanmış ve ardından %50 N₂-% 50 H₂ gaz karışımında 530 °C sıcaklıkta 1 saat plazma nitrülenmiştir. İşlem sonunda tabakanın CrN ve demir nitrürlerden oluştuğu görülmüş ve yaklaşık 1500 HV sertlik elde edildiği rapor edilmiştir. Ayrıca dubleks işlemin çeliklerin yüksek sıcaklık aşınma direncini artırdığı da raporlarda belirtilmiştir (Do Yon Chang, et al 1999). Bir başka çalışmada AISI D2 çeliğinin TRD yöntemiyle krom kaplanması için 1030 °C'de 4 saat süreyle ısıtılmasına tabi tutulmuş ve %50 N₂-% 50 H₂ gaz karışımında 570 °C'de 5, 10 ve 20 saat plazmada nitrülenmiştir. Çalışma sonunda tabakada Cr₂N, Cr₂₃C₆, Cr₇C₃ fazları tespit edilmiş ve tabaka sertliğinin yaklaşık 1960 HK olduğu rapor edilmiştir. Yapılan aşınma çalışmaları sonucunda plazma işlem süresinin artmasıyla aşınma direncinin arttığı da ifade edilmiştir (Chen-Yi, et al 2005). Mevcut çalışmada tabaka sertliklerinin yüksek olması aşınma direncini de olumlu yönde etkileyecektir.

TRD işlemi neticesinde AISI 52100 çeliğinin yüzeyinde Cr₃C₂ faz oranının 8620 çeliğine oranla daha fazla oluşması bu çeliğin diğer çeliğe göre daha sert olmasını sağlamıştır. 52100 çeliğinin sertliği TRD işleminden sonra 1823 HK_{0,025} olarak ölçülmüş ve 970 HK_{0,025} göbek sertliğine sahip olan bu çeliğin TRD işleminden sonra sertliğinde yaklaşık 2 kat artış olduğu gözlenmiştir. AISI 8620 çeliğinin göbek sertliği 402 HK_{0,025} iken TRD işleminden sonra sertlik 1769 HK_{0,025} olarak ölçülmüştür. TRD işlemi neticesinde çeliğinin sertliğinin yaklaşık olarak 4 kat arttığı görülmüştür. TRD işlemine benzer olarak kromlanmış çelikler plazma nitrüldikten sonra (dubleks yüzey elde etme) 52100 çeliği üzerindeki tabakanın sertliğinin 8620 çeliğinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum plazma nitrüleme esnasında 52100 çeliği üzerinde krom nitrürlerin fazla miktarda oluşmasından kaynaklanır. Dubleks işlem neticesinde 52100 çeliğinin sertliği 2245 HK_{0,025} olarak ölçülmüş ve sertlik artışının sadece TRD işlemi uygulanmış çeliğin sertlik artışından daha fazla olduğu saptanmıştır. Benzer olarak 8620 çeliğinin dubleks işlem sonrası sertliği 2134 HK_{0,025} olarak ölçülmüş ve sertlik artışının dubleks işlem sonucu daha fazla olduğu görülmüştür. Dubleks yüzey elde edilmiş AISI 52100 ve 8620 çeliklerinin sertlikleri sadece TRD işlemi uygulanmış aynı çeliklerin sertliklerinden daha fazla olduğu da tespit edilen sonuçlar arasındadır.

Dubleks işlem görmüş numuneler ile tek işlem görmüş olan numuneler pürüzlülük açısından kıyaslandığında pürüzlük değerlerinin dubleks işlem görmüş olan numunelerde daha yüksek olduğu görülmüştür. Bilindiği gibi plazma yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır. Yapılan bu çalışmada da plazma işleminden sonra deney numunelerinin pürüzlülük değerlerinde artma gözlenmiştir. TRD kaplanmış çelikler ile TRD+Plazma nitrülenmiş çelikler işlem türüne göre kendi aralarında kıyaslandığında ise pürüzlülük değerlerinin her iki çelik içinde birbirine yakın olduğu görülmüştür.

TRD ve plazma nitrüleme işlemi nispeten yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen difüzyon esaslı işlemler olduğundan kaplama tabakalarının çeliğe adhezyonunun PVD veya CVD yöntemleriyle oluşturulan kaplamaların adhezyonundan daha iyi olduğu görülmüştür. PVD veya CVD yöntemleriyle oluşturulan kaplamalarda çizik testlerinde daha derin hasarlar meydana gelmekte ve kaplama tabakası çelikten sıyrılarak ayrılmaktadır. Çizik testi ile yapılan adhezyon ölçümleri dubleks yüzey işlemin yapışmayı artırıcı yönde katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Literatürde dubleks işlemin adhezyonu artırdığından bahsedilmektedir (Alsaran, 2005). Çizik testi sonrası görüntülenen resimlerde dubleks yüzey işleminin adhezyonu artırdığını gösterir. Sadece TRD uygulanmış numunelerden alınan çizikte daha fazla delaminasyon türü hasarlar mevcuttur. TRD uygulanmış numuneler plazmada nitrüledikten sonra çiziklerin kenarındaki delaminasyon hasarlarında azalmalar görülmüştür.

Mevcut çalışmada puls (darbeli) plazma nitrüleme sistemi kullanılarak pulslu sistemler ile ark oluşmasını önlemek, enerjiden tasarruf sağlanmak ve daha pürüzsüz yüzeyler elde etmek amaçlanmıştır. Yapılan bir çalışmada pulslu sistemlerin işlem süresini kısalttığından, ark oluşmasını önlediğinden, elektrik enerjisinden tasarruf sağladığından ve boşalım (deşarj) süresince pozitif iyonların numunenin saçılımını sınırladığından bahsedilmektedir (Yong M. Kim et al 2002). Ayrıca başka bir çalışmada Pulslu plazmanın kullanılmasıyla birçok çeliğin nitrülenebileceği ifade edilmiştir (Podgornik, Vizintin 2001). Bu çalışmadan faydalanarak puls plazma nitrüleme haricinde DC plazma nitrüleme yapılarak puls nitrüleme ile DC plazma nitrüleme arasındaki fark görülebilir.

Bu çalışmaya dayanarak farklı sıcaklıklarda ve farklı sürelerde kromlama, plazma nitrüleme ve dubleks yüzey işlemleri yapılarak dubleks kaplamaların yüzey işlemleri açısından önemi daha ayrıntılı olarak incelenebilir.

Bu çalışmada kaplamaların TRD prosesi ile rahatlıkla yapılabileceği saptanmıştır. Fakat çeliğin içerdėđi alaşım elementlerinin kaplama karakterini nasıl etkiledėđi araştırmaya değer bir konudur.

KAYNAKLAR

- Alsaran, A., Çelik, A., Karakan, M., 2002 “Plazma İle Termokimyasal Yüzey İşlemleri” Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum.
- Alsaran, A., Çelik, A., Çelik, C., 2002 a, “Determination of the optimum conditions for ion nitriding of AISI 5140 Steel”, Surface and Coatings Technology, 1 March, Vol. 160 pp. 219–226.
- Alsaran, A., Çelik, A., Karakan, M., 2005 “Structural, Mechanical and Tribological Properties of Duplex – Treated AISI 5140 Steel”, Materials Characterization, Vol. 54, pp. 85-92.
- Arslan, O., 2001, “Plazma Nitürleme Isıl İşleminin Makina Parçalarının İy Yapı ve Mukavemet Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Chen-Yi Wei, Fan-Shiong Chen, 2005 Characterization on multi-layer fabricated by TRD and plasma nitriding, Materials Chemistry and Physics 90, 178–184.
- Çelik, A., Alsaran, A., Karakan, M., “ Plazma İle Termokimyasal Yüzey İşlemleri”, Mühendis ve Makine, Sayı:510, Temmuz 2002.
- Çelik, A., Karadeniz, S., 1992, İyon Nitürleme Yüzey Sertleştirme İşleminin AISI 4140 Çeliği Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. 5. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi Bildiriler Kitabı, 541-549, Ankara.
- Çelik, A., Karakan, M., Alsaran, A., 2000, “ Gaz Karışımlarının İyon Nitürleme Üzerine Etkisinin Araştırılması”, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Mayıs Cilt: 2, Sayı:2.

Do Yon Chang, Sang Yul Lee, Sung-Goon Kang, 1999 Effect of plasma nitriding on the surface properties of the chromium diffusion coating layer in iron-base alloys, Surface and Coatings Technology 116–119, 391–397.

Dubpernell, G., 1985, Metals Handbook, American Society for Metals, Ohio, USA.

Guffie, R.K., 1989, Hard Chromium Plating, Products Finishing, 74-79

Güneş, İ., 2006, “Plazma Nitrüleme ile Çelikler Üzerinde Kompleks Kaplamaların Oluşturulması ve Aşınma Davranışlarının Araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

Heat Treatment”, Metals Handbook., 1981, 9th Edition, Vol. 4, pp. 27-226, Ohio.

Heat Treatment”.,1991, ASM Handbook, ASM International, Materials Information Society, Vol 4, 437-447.

İpek, M., 1996, “Kutu Sementasyon Yöntemiyle Çelik Yüzeylerine TiC Kaplanması”, SA.Ü. Met. Müh., Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.

J.W. Lee, J.G. Duh, 2004 Evaluation of microstructures and mechanical properties of chromized steels with different carbon contents, Surface and Coatings Technology 177 –178, 525–531.

Jeong, G. H., Hwang, M. S., Jeon, B. Y., Kim, M. H., Lee, C., 2000, “Effects Of The Duty Factor On The Surface Characteristics Of The Plasma Nitrided And Diamond – Like Carbon Coated High Speed Steel”, Surface and Coatings Technology Vol.124, pp. 222–227.

Karadeniz, S., 1990, “Plazma Tekniği”, TMMOB, Ankara.

Karaoğlu, S., Karadeniz, S., Karaoğlu, Ç., 2001. “ Plazma Nitrürlenmiş Az Alaşımlı Bir eliğin Aşınma Davranışının İncelenmesi”, DE  Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Ekim Cilt: 3, Sayı:3.

Öktem, Z., apan, L., ep, H., 1994, “Termoaktif Difüzyon Yöntemiyle elik Yüzeylerin Karbür Kaplanması” Metal Dünyası Dergisi, Sayı 19.

Öksüz,L.,”Plazma Gerçeği” Bilim ve Teknik Dergisi Őubat 2001.

Podgornik, B., and Vizintin, J., 2001“Sliding and Pitting Wear Resistance of Plasma and Pulse Plasma Nitrided Steel”, Surface Engineering Vol.17, No.4.

Podgornik, B., Vizintin, J., Vanstrat, O., Larsson,M., Hogmark, S., Ronkainen, H., Holmberg, K., 2001 “ Tribological Properties Of Plasma Nitrided and Hard Coated AISI 4140 Steel”, Wear, Vol. 249, pp. 254-259.

şakar, G., 1998, “İyon Nitrürasyon Deney D zeneğinin İmali ve Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Tohru, A., 1989, “Devolopment of Carbide and Nitride Coatings By Thermoreactive Diffusion Surfece Modification Technologies III Proceeding of The Third International Conference Held in Neuchate”, Switzerlandda, August 28-September 1.

Ulman’s Encylopedia of Industrial Chemistry”, 1986, Vol. A5, pp. 61-77, Germany.

 lker, ř., 2006 “Puls Plazma Nitrürleme Cihazının Tasarımı Ve AISI 52100 eliğinin Plazma Nitr rlenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.

 stel, F., 1998, “Kutu Sementasyon Tekniği ile Yüksek Hız eliğinin Y zeyine TiCx N_{1-x} T r  Sert Tabakaların  retilibilirliğinin Araştırılması”, Doktora Tezi, SA. . Fen Bil. Ens., Sakarya.

V.H. Baggio-Scheid, G. de Vasconcelos, M.A.S. Oliveira , B.C. Ferreira, 2003 Duplex surface treatment of chromium pack diffusion and plasma nitriding of mild steel, Surface and Coatings Technology 163 –164 313–317.

Weiner, R., Walmsley, A., 1980, Chromium Plating, Finishing Publications Ltd. Teddington.

Yong M. K., Jong U. K., Jeon G. H., 2002 “Investigation on the pulsed DC plasma nitriding with optical emission”, Surface and Coatings Technology, 151 –152 pp. 227–232

İNTERNET KAYNAKLARI

ERİŞİM TARİHİ

1. <http://www.odevindir.net/OdevDetay.ASP?ID=37&OdevID=7507> 10.11.2006
2. <http://tr.wikipedia.org/wiki/A%C5%9F%C4%B1nma> 09.12.2006

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Yüksel YILMAZ
Doğum Yeri	Tokat
Doğum Tarihi	25.08.1980
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dili	İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise	Adana Merkez Endüstri Meslek Lisesi 1998
Lisans	Afyon Kocatepe Üniversitesi 2005
Yüksek Lisans	Afyon Kocatepe Üniversitesi --

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı

Kamak Makine (İmalat)	1998-2000
-----------------------	-----------