

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Y.LİSANS TEZİ

**İYON NİTRÜLENMİŞ AISI 5140 ÇELİĞİNİN
KOROZYON DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

Elif ÇOLAK

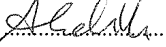
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM
2010

Her Hakkı Saklıdır

Prof. Dr. Ayhan ÇELİK danışmanlığında, Elif ÇOLAK tarafından hazırlanan bu çalışma .../.../2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

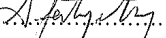
Başkan: Prof. Dr. Ayhan ÇELİK

İmza: 

Üye: Doç. Dr. Fikri ALPARAN

İmza: 

Üye: Doç. Dr. Fehiye NERİM

İmza: 

Yukarıdaki Sonucu Onaylarım

(İmza)

.....
Prof. Dr. Ömer AKBULUT
Enstitü Müdürü

ÖZET

Y. Lisans Tezi

İYON NİTRÜRLENMİŞ AISI 5140 ÇELİĞİNİN KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Elif ÇOLAK

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayhan ÇELİK

Bu çalışmada, AISI 5140 çeliği 400°C, 450°C ve 500°C sıcaklıklarda %50N₂-%50H₂ gaz karışımında 1, 4 ve 8 saat süre ile nitrürlenmiştir. Numunelerin korozyon deneyleri %3,5 NaCl çözeltisinde ve %3,5 NaCl çözeltisi içerisine N₂ gazı verilerek potansiyostat cihazıyla yapılmıştır. Nitrürlenmiş malzemenin yapısal ve mekanik özellikleri, XRD, SEM ve mikrosertlik cihazıyla belirlenmiştir. Korozyon özellikleri de potansiyostat korozyon test cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak, malzemenin sertliği ve korozyonu artmıştır. En yüksek sertlik ve korozyon dayanımı 500°C-8 saatte elde edilmiştir. Korozyon dayanımı, %3,5 NaCl çözeltisine N₂ gazı verilerek artırılmıştır.

2010, 47 sayfa

Anahtar Kelimeler: AISI 5140, plazma, nitrüleme, sertlik, korozyon,

ABSTRACT

MS Thesis

CORROSION BEHAVIOR OF PLAZMA NITRIDED AISI 5140 STEEL

Elif ÇOLAK

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ayhan ÇELİK

In this study, AISI 5140 steel was nitrided at temperatures 400°C, 450°C and 500°C in a gas mixture of 50%N₂-50%H₂ for 1,4,8 hours. The corrosion tests of samples in 3.5% NaCl solution and with given N₂ gas into the NaCl solution was performed by a potansiyostat equipment. The structural and mechanical properties of nitrided specimens were determined by XRD, SEM and microhardness equipment. Corrosion properties were determined by potansiyostat corrosion tester. As a result, hardness and corrosion resistance of material were increased. Maximum hardness and corrosion resistance were obtained at the experiment applying at 500°C for 8 hours. Corrosion resistance was increased with grant nitrogen gas inside %3.5 NaCl solution.

2010, 47 pages

Keywords: AISI 5140, plasma, nitriding, hardness, corrosion,

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım esnasında, yardımlarından dolayı tez yöneticim Sayın Prof. Dr. Ayhan ÇELİK'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımda ve tezin hazırlanması esnasında katkı ve yardımları nedeniyle Sayın Yrd. Doç. Dr. A. Fatih YETİM'e, Sayın Arş. Gör. Ebru Emine DEMİRCİ'ye ve emeği geçen arkadaşlarıma ve aileme çok teşekkür ederim.

Elif ÇOLAK

Őubat, 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	7
2.1. Plazma Hali.....	7
2.2. Plazma Özellikleri	7
2.3. Plazmanın Elde Edilmesi.....	8
2.4. Elektrik Boşalması ve Mekanizması	8
2.5. Yüzey İşlemleri.....	11
2.5.1. Plazma ile termo kimyasal yüzey işlemleri	13
2.5.2. Plazma ile karbürleme	14
2.5.3. Plazma ile nitrürasyon	14
2.5.4. Plazma ile nitrokarbürleme.....	15
2.5.5. Plazma ile borlama	16
2.6. Korozyon	16
2.6.1. Korozyon ve önemi	16
2.6.2. Elektro-kimyasal etkenler.....	17
2.6.3. Fiziksel etkenler.....	18
2.6.4. Çevresel etkenler	18
2.7. Korozyon Çeşitleri.....	19
2.7.1. Uniform (yüzeysel) korozyon.....	19
2.7.2. Galvanik (elektro kimyasal) korozyon	19
2.7.3. Pitting (çukurcuk) korozyonu	20
2.7.4. Taneler arası (intergranular) korozyon.....	20

2.7.5. Filiform (ipliğimsi) korozyon	20
2.7.6. Pullanma (exfoliantion) korozyon	21
2.7.7. Konsantrasyon hücre (concentration cell) korozyon	21
2.7.8. Gerilmeli (stress) korozyon	21
2.7.9. Yorulma korozyonu	22
2.7.10. Sürtünme (fretting) korozyonu	22
2.8. Korozyonun Önlenmesi	22
2.8.1. Saf metal kullanımı.....	23
2.8.2. Alaşım elementi katma	23
2.8.3. Uygun tasarım	23
2.8.4. Katodik koruma	24
2.8.5. Korozyon önleyicisi (inhibitör) kullanımı.....	24
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	26
3.1. Kullanılan Malzeme	26
3.2. Plazma ile Nitrüleme İşlemi.....	26
3.3. Korozyon Deneyleri	29
3.4. XRD ve SEM Çalışmaları	30
3.5. Mikrosertlik Ölçümleri	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	32
4.1. XRD Sonuçları	32
4.2. İç Yapı Analizleri.....	36
4.3. Yüze Sertliği, Beyaz Tabaka ve Difüzyon Tabakası Kalınlığının Belirlenmesi.....	37
4.4. Korozyon Deneyi Bulguları.....	38
5. SONUÇ.....	46
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

E_d	Disosyasyon enerjisi
E_i	İyonizasyon enerjisi
HV	Vickers sertlik birimi
γ	YMK yapılı demir fazı
ϵ	HSP yapılı demir fazı
γ_N	Genişletilmiş ostenit fazı
μm	Mikronmetre

Kısaltmalar

YMK	Yüzey merkezli kübik kafes sistemi
HMK	Hacim merkezli kübik kafes sistemi
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
XRD	X ışını kırınım ölçer

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Farklı boşalma tiplerinin gerilim-akım karakteristiği	9
Şekil 2.2. Elektriksel boşalma (a) ve (b) katot düşüm	10
Şekil 3.1. İyon nitürasyon deney düzeneği.....	28
Şekil 3.2. Korozyon deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	30
Şekil 4.1. %50N ₂ +%50H ₂ atmosferinde, 400°C sıcaklık ve 1, 4, 8'er saat süre ile nitürleme yapılan AISI 5140 çeliğinin X-Ray analizi	32
Şekil 4.2. %50N ₂ +%50H ₂ atmosferinde, 450°C sıcaklık ve 1, 4, 8'er saat süre ile nitürleme yapılan AISI 5140 çeliğinin X-Ray analizi	33
Şekil 4.3. %50N ₂ +%50H ₂ atmosferinde, 500°C sıcaklık ve 1, 4, 8'er saat süre ile nitürleme yapılan AISI 5140 çeliğinin X-Ray analizi	34
Şekil 4.4. %50N ₂ +%50H ₂ atmosferinde, 400°C, 450°C, 500°C sıcaklık ve 1 saat süre ile nitürleme yapılan AISI 5140 çeliğinin X-Ray analizi	34
Şekil 4.5. %50N ₂ +%50H ₂ atmosferinde, 400°C, 450°C, 500°C sıcaklık ve 4'er saat süre ile nitürleme yapılan AISI 5140 çeliğinin X-Ray analizi	35
Şekil 4.6. %50N ₂ +%50H ₂ atmosferinde, 400°C, 450°C, 500°C sıcaklık ve 8'er saat süre ile nitürleme yapılan AISI 5140 çeliğinin X-Ray analizi.....	36
Şekil 4.7. 450°C sıcaklıkta, 4 h işlem süresinde ve %50H ₂ ve %50N ₂ gaz karışım oranında plazma ile nitürlenen AISI 5140 az alaşımlı çeliğin sertlik dağılımı	36
Şekil 4.8. 400°C sıcaklıkta nitürlenmiş numunelerin %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri.....	38
Şekil 4.9. 450°C sıcaklıkta nitürlenmiş numunelerin %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri	39
Şekil 4.10. 500°C sıcaklıkta nitürlenmiş numunelerin %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri	40
Şekil 4.11. 400°C'de azot+%3,5 NaCl çözeltisinde korozyona uğratılmış numunelerin polarizasyon eğrileri.....	41

Şekil 4.12. 450°C’de azot+%3,5 NaCl çözeltisinde korozyona uğratılmış numunelerin polarizasyon eğrileri	42
Şekil 4.13. 500°C’de azot+%3,5 NaCl çözeltisinde korozyona uğratılmış numunelerin polarizasyon eğrileri.....	43
Şekil 4.14. (a) İşlemsiz numunenin azotsuz ortamdaki (b) İşlemsiz numunenin azotlu ortamdaki korozyonu.....	43
Şekil 4.15. (a) 400°C-1h nitrürlenmiş çeliğin azotsuz ortamdaki (b) azotlu ortamdaki korozyonu.....	44
Şekil 4.16. (a) 500°C-8h nitrürlenmiş çeliğin azotsuz ortamdaki (b) azotlu ortamdaki korozyonu.....	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yüzey mühendisliğinde uygulanan metotlar.....	12
Çizelge 2.2. Plazma destekli yüzey işlemlerine bakış.....	13
Çizelge 3.1. AISI 5140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu.....	26
Çizelge 3.2. AISI 5140 çeliğinin mekanik özellikleri.....	26
Çizelge 4.1 İyon Nitrasyon sonucu oluşan sertlik ve beyaz tabaka kalınlıklarının sıcaklıkla değişimi.....	41

1. GİRİŞ

Makine elemanlarının kullanım sürelerini, mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini artırarak daha verimli kullanılması için yüzey mühendislik teknikleri 20. yüzyılın ikinci yarısından sonra yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu amaçla yüzey mühendisliği, aşınma ve korozyon gibi yüzey problemlerine çözüm üretmek için günümüzde endüstriyel alanda geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bu problemler yüzey kaplama ve termokimyasal işlemler gibi yüzey teknikleri kullanılarak önemli derecede azaltılmıştır (Lorin 1974; Totik vd 2007).

Yapılan araştırmalara göre, aşınma ve korozyondan dolayı dünya da her yıl önemli malzeme kayıplar olmaktadır. Bazı tahminlere göre, korozyonun bir ulusa maliyeti gayri safi milli hasılanın %3.5-5.0'ine ulaşmaktadır. Türkiye için bu değer %4.5 'dan daha az olmadığına ilişkin tahminler vardır (www.korozyonderneği.org). Bu nedenle korozyon ile yapılacak mücadelenin, korozyon maliyetini azaltmasının yanı sıra ulusal ekonomi üzerinde de etkisi vardır. Çevre kirliliği ve emniyet ile ilgili endişelerin giderek arttığı günümüzde, bilim adamları ve mühendislere düşen görev korozyonun etkin kontrolünü sağlayacak teknikleri geliştirip uygulamaktır.

Malzeme yüzeyinin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde en kolay ve ekonomik yol, çeliklerde yapılan yüzey sertleştirme işlemleridir. İyon (plazma) nitrürleme yöntemi bu amaçla kullanılan bir yöntemdir. Özellikle otomotiv sanayide, metalürji sektöründe ve takım imalat sanayinde uygulama alanı bulan iyon (plazma) nitrürleme yöntemi, çeliklerin yüzeylerinin serleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Özdemir vd 2003).

1960'lı yıllardan itibaren uygulama alanı bulan iyon nitrürleme, diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine göre nispeten yeni bir yöntem olmakla birlikte, günümüzde pek çok alanda uygulanmaktadır. Bunun temel nedeni diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine göre sağlamış olduğu üstünlüklerdir. Bu üstünlükler; (Özdemir vd 2003)

- Sadece iş parçasının ısıtılması nedeniyle enerji tasarrufu sağlanır ve ısı verim yüksektir.
- İşlem süresi açısından değerlendirme yapıldığında; diğer nitürasyon yöntemlerine göre aynı sıcaklık ve derinlik için işlem süresi yaklaşık %50-70 daha kısadır.
- İşlem sırasında ölçü değişimi ve deformasyon riski minimum düzeydedir.
- Düşük basınçlarda çalışıldığında gaz tasarrufu sağlanabilir.
- Sert ve daha az kırılabilir bir yüzey elde edildiği için, yüzey bitirme işlemlerine daha az gereksinim duyulur.
- Nitürasyon yapılmak istenilmeyen yüzeylerin mekanik olarak izolasyonu mümkündür.
- Nitürleme yapılan yüzeyde oluşan beyaz tabaka, korozif ortamda ve asidik olmayan klorlü çözeltilerde yüksek korozyon direncine sahiptir.
- Gaz veya diğer atıklarla çevreyi kirletmez, insan sağlığı açısından zararlı değildir.
- Otomasyona uyumludur. Sistem değişkenlerin kontrol altında tutulması kolaydır.
- İş parçası üzerindeki tüm girinti, çıkıntı ve delikler üzerinde homojen bir azot difüzyonu sağlanabilir.
- Reaksiyonun gerçekleştiği fırında hareketli parçalar söz konusu olmadığından fırın bakım masrafları daha düşüktür.
- Nitürlenecek parçanın büyüklüğü ve ağırlığı önemli değildir.

Plazma nitürasyon yönteminin avantajları olmasına rağmen birtakım dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlar şöyle sıralanabilir: (Özdemir vd 2003)

- İlk yatırım maliyetleri yüksektir. Bu nedenle sadece seri üretimde ekonomiktir.
- Nitürlenecek parçanın hacmine, dolayısıyla reaksiyon fırının hacmine bağlı olarak 40 kw ile 1000 kw arasında enerji gereksinimine ihtiyaç vardır.
- Aynı şartlarda; sadece aynı boyut ve kesitteki parçalara nitürasyon uygulanabilir.

Son zamanlarda endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlayan iyon nitrürleme yöntemi, korozyonla ilgili çalışmalara konu olmuştur ve nitrürleme işleminin korozyon direncini malzemenin türüne göre artırdığı veya azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Plazma nitrürleme ile değişen malzeme özelliklerini etkileyen birçok faktör vardır. Plazma nitrürleme parametreleri adı verilen bu faktörlerin, malzeme özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi ile ilgili birçok çalışmalar yapılmıştır.

Çelik vd (2000); AISI 8620 çeliğini farklı gaz karışımlarında sertleştirerek, optimum sertlik değerlerini, difüzyon tabakası derinliğini beyaz tabaka değişimlerini incelemişlerdir. Karışım gazları olarak azot, hidrojen ve argon kullanılmış ve belirli oranlarda ikili, üçlü karışım oluşturulmuştur. Deneysel sonuçlar X-Ray difraktometre, optik mikroskop ve mikro sertlik cihazları ile incelenmiş, sonuçta gaz karışımlarında hidrojen miktarındaki artış ile birlikte malzemenin yüzey sertliği ve difüzyon derinliği artarken, beyaz tabaka kalınlığında azalma olmuştur. Azot-argon gaz karışım oranları incelendiğinde, argonun sertlik artışına sınırlı bir katkısı olduğu ve bu karışımda beyaz tabaka kalınlığında da düşüş olduğu görülmüştür. Ayrıca difüzyon tabakası, nitrürleme zamanının artışıyla birlikte kalınlaşmaktadır. Argon gazı, azot gazı ile karışım olarak kullanıldığında malzemenin yüzey sertliğine sebep olmaktadır. Ayrıca istenmeyen beyaz tabakanın da incelmelerini sağlamaktadır. Sonuç olarak, azot gazı ile argon gazının kullanılması uygun olabilir.

Alsaran vd (2004); plazma nitrürlenmiş AISI 5140 çeliğini 500°C sıcaklıkta ve 15, 30 ve 60 dk zamanlarda oksidasyon işlemine maruz bırakılarak, tribolojik ve korozyon özelliklerini araştırmışlardır. Plazma nitrürasyon sonucunda aşınmaya, korozyona dayanım artmış, ve sürtünme kat sayısında iyileşme görülmüştür.

Alsaran vd (2002) AISI 5140 çeliğini 1, 4, 8 ve 12 saat zaman, 400, 450, 500 ve 550°C sıcaklıklarda ve 0.05, 0.33, 1 ve 3 N₂/H₂ gaz karışım oranlarında nitrürlenmiştir. Yorulma mukavemeti, yüzey sertliği, beyaz tabaka kalınlığı gibi özellikler için optimum özellikler Taguchi modeli kullanılarak belirlenmiştir. Yorulma mukavemeti ve yüzey

sertliğini maksimum etmek için, beyaz tabaka kalınlığı minimize edilmiştir. Beyaz tabaka kalınlığındaki en etkin parametre gaz karışım oranıdır. Optimum sonuçlar 0.05 N₂/H₂ karışım oranı ile 450°C ve 12 saat sürede elde edilmiştir.

Gavgalı vd (1999) AISI 8620 çeliğini 520°C sıcaklıkta 1h ,4h ve 8h süre ile %50N₂+ %50H₂ gaz karışımında 5mbar basınç ortamında iyon nitrürleme işlemine tabi tutmuşlardır. Nitrürleme sonrası malzemeler KCl ve H₂SO₄ çözeltilerinde katodik ve anodik yönde polarize edilerek akım yoğunluğu-potansiyel diyagramları elde edilmiştir. Buradan korozyon hızının maksimum olduğu durumlar saptanmış ve nitrürlemenin korozyon hızına etkisi incelenmiştir. Sertlik ve iç yapı incelemelerinde de optik mikroskop, SEM ve mikrosertlik cihazları kullanılmıştır. Sonuç olarak, en yüksek yüzey sertliği, difüzyon derinliği ve beyaz tabaka kalınlığı 8 saatlik süre de elde edilmiştir. KCl çözeltisinde, en düşük korozyon potansiyelide 4 saatlik sürede elde edilmiştir. Nitrürlenmemiş yüzeyde ise hem anodik hemde katodik bölgede aktif bir tutum sergilemiştir. H₂SO₄ çözeltisinde de 4 saatlik sürede daha soy bir yapı elde edilmiş ve en küçük korozyon potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. KCl çözeltisinde olduğu gibi, H₂SO₄ çözeltisinde de nitrürlenmemiş numunede her yerde aktif bir tutum gözlemlenmiştir.

Nosei *et al.* (2008) çalışmalarında, iki farklı sürede (30dk ve 6 saat) iyon nitrürlenmiş 316L paslanmaz çeliğinin korozyona karşı hassasiyetini çalışmışlar ve işlemsiz malzemelerin korozyon duyarlılığıyla karşılaştırmışlardır. Nitrürlenmiş ve nitrürlenmemiş numunelere korozyon dayanımlarını belirlemek için anodik potansiyodinamik eğrileri ve daldırma testleri yapılmışlar korozyon dayanımının nitrürleme zamanına bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca 30 dk. nitrürlenen numunelerde daha iyi korozyon dayanımı elde etmişlerdir.

Li *et al.* (2006) çalışmaların da AISI 410 martenzitik paslanmaz çeliği 20 saatlik sürede 420°C, 460°C ve 500°C sıcaklıklarda plazma nitrürlemişlerdir. Nitrürlenmiş ve nitrürlenmemiş numunelerin korozyon özelliklerini, %1 HCl asidik su çözeltisinde daldırma testi yaparak ve %3.5 NaCl'de anodik polarizasyon kullanılarak

değerlendirilmiştir. Plazma ile nitrürleme sonucu, 410 paslanmaz çeliğinin yüzeyinde azot difüzyon tabakası ve beyaz tabakasının yeterli bir kalınlıkta meydana geldi görülmüştür. Plazma nitrürasyon sonrası yüzey sertliğinde artış olmamıştır. Fakat martenzitik paslanmaz çeliğin korozyon dayanımı artmıştır. %1 HCl daldırma testinde, nitrürlenmiş numunelerde daha az ağırlık kaybı ve işlemsiz numunelerden daha düşük korozyon oranı görülmüştür. %3.5 NaCl'deki elektro korozyon testlerinde, nitrürlenmiş numunelerin daha yüksek korozyon ve pitting potansiyeli ve oldukça azalan akım yoğunluğu görülmüştür. Sonuç olarak, plazma nitrürasyon esnasında martenzitik paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan demir nitrür tabakasının korozyon dayanımının artmasında etkin olduğu kanısına varılmıştır.

Basu *et al.* (2008) düşük alaşımlı, yüksek karbonlu bir çeliği 450-560°C sıcaklık ve 1-5 saat sıcaklık periyotlarında plazma nitrürlemişler ve korozyon dayanımının iyileşme durumunu bildirmişlerdir. Nitrürasyon sonrası çoğunlukla γ' -Fe₄N fazı ve az miktarda ϵ -Fe₃N/Fe₂N fazı oluşmuştur. Sıcaklık ve zamanın artmasıyla nitrür oluşumunda artış olmuştur. Korozyon çalışması, plazma nitrürasyonun korozyon dayanımını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir. Bu iyileşmeye yüzeydeki nitrürler ve katı çözeltilerin oluşumunun etkili olduğu düşünülmüştür.

Gil *et al.* (2006) yaptıkları çalışmada, iyon nitrürasyonun 316L paslanmaz çeliğin korozyon dayanımına etkisini, nitrürlenmiş 316L ve işlemsiz numunelerin her ikisinde de lineer polarizasyon ve potansiyodinamik polarizasyon gibi elektrokimyasal testleri ve %0,9 NaCl çözeltisini kullanarak değerlendirmişlerdir. Korozyon testinden önce ve sonra yüzey karakterizasyonu SEM elektron mikroskobu ve X-ray analizleri kullanarak yorumlamışlardır. %25N₂–%75H₂ atmosferindeki nitrürasyon işleminde 410°C'de 316L paslanmaz çeliğinin yüzey sertliğinin iyileştiği görülmüştür. Bu araştırma deney koşulları altında gerçekleşmesine rağmen, nitrürlenmiş çeliğin, işlemsiz çelik kadar korozyona karşı meyilli olduğunu tesbit etmişlerdir. Bunun sebebinin proses esnasında çökelen CrN'in varlığından kaynakladığı düşünülmüştür.

Corengia *et al.* (2004) farklı metalurjik yapılarda AISI 410 martenzitik paslanmaz çeliği örneklerini 623, 723 ve 773K sıcaklıklar da, %25N₂ ve %75H₂ gaz karışımında Darbeli-DC plazma ile nitrürlemişlerdir. Optik ve taramalı elektron mikroskopta, X-ray difraktometre ve mikrosertlik ölçümleri kullanılarak iyon nitrürlenmiş yüzeyler incelenmiştir. Bütün plazma nitrürlenmiş numuneler 1000HV'den daha yüksek sertlik değerleri gösterdi, en yüksek değer 673K'de elde edildi. 673 ve 773K'de nitrürlenen numuneler için tabaka derinliği yaklaşık olarak 30 µm'dir. 623K'de nitrürlenmiş numunelerde Fe₄N çökmesini yeni başladığı ve genişlemiş ferrit fazı (α_N) oluştuğu görülmüştür. Elektro kimyasal testler, 673 ve 773K'de 20 saat nitrürlenmiş numunelerde korozyon dayanımının azaldığını göstermiştir. Buna karşın, 623K'de nitrürlenmiş numunede düşük korozyon akımı ve daha yüksek korozyon potansiyeli tespit etmişlerdir.

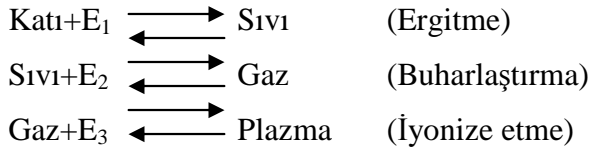
Yapılan literatür çalışmalarında, nitrürleme sıcaklığı ve zamanının korozyona çoğu kez olumlu etki ettiği görülmektedir. Ancak AISI 5140 çeliğinin korozyonuyla ilgili çalışmaların yapıp optimum şartların belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, düşük alaşımlı AISI 5140 çeliği mekanik olarak parlatıldıktan sonra, 400°C, 450°C ve 500°C sıcaklıklarda %50N₂-%50H₂ gaz karışımında 1, 4 ve 8 saat süre ile nitrürlenmiştir. Nitrürleme sonrası malzemelerin yapısal özellikleri, korozyon özellikleri ve mekanik özellikleri XRD, SEM, mikrosertlik test cihazı ve potansiyodinamik korozyon test cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. İşlemsiz numunelerle işlem görmüş numunelerin sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Plazma Hali

Plazma hali, kendine has özellikleri bulunan maddenin yüksek enerjili halidir. Bu nedenle katı, sıvı ve gaz hallerinin yanı sıra, plazma hali sıklıkla maddenin dördüncü hali olarak anılır. Bu haller arasındaki esas fark sahip oldukları enerjidir. Maddenin herhangi bir halindeki enerjisini değiştirmek suretiyle maddeyi diğer bir hale 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 alınarak tekrar plazma halinden gaz, sıvı ve katı hale geçmek mümkündür. Yani hal değişimleri tersinirdir.



Plazma; içerisinde nötral atom veya molekül, iyon, elektron, uyarılmış atom ve foton içeren bir karışımdır. Plazma doğada güneş ve bazı yıldızlar içinde, yıldırımda ve elektrik boşalmalarında görülür. Bunların yanı sıra düşük enerji ve sıcaklıklı plazmalar da özellikle neon ve floresan aydınlatma sistemlerinde kullanılmaktadır (Karadeniz 1990; Bayrak 2007).

2.2. Plazma Özellikleri

Plazmanın sahip olduğu özellikler aşağıda verilmiştir:

- Plazma dış ortama karşı elektrikli olarak nötrdür. Yani plazma içerisindeki pozitif yüklerin (iyonların yükleri) sayısı, negatif yüklerin (elektronlar) sayısına eşittir.

- b. Plazmaya manyetik ve elektrik alanla etki edilebilir.
- c. Plazma iyi bir elektrik ve ısı iletkenidir.
- d. Plazma yüksek sıcaklık ve enerji dağılımına sahiptir.
- e. Plazmayı magnetik ve termik olarak sıkıştırmak, sıcaklığını ve enerji yoğunluğunu sınırsız bir şekilde yükseltmek mümkündür.

2.3. Plazmanın Elde Edilmesi

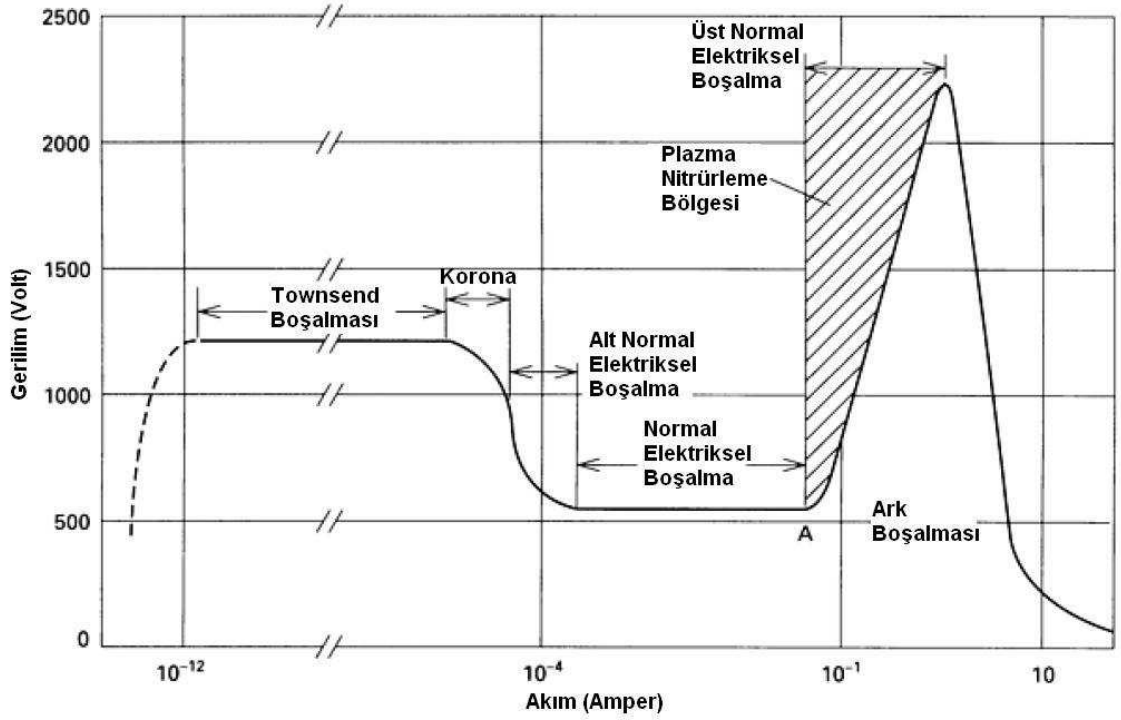
Bir atoma kendi iyonizasyon enerjisinden daha büyük bir enerji verilirse atom iyonize olur. Bu işlem bir gaz kütlesi için gerçekleştirilirse plazma edilmiş olur. Plazma elde etme yöntemleri;

- Isı enerjisi vererek
- Sıkıştırma ile
- Işınla
- Elektrik boşalmasıyla

Bu yöntemler arasında en önemlisi ve en yaygın olanı elektrik boşalmasıyla elde edilendir.

2.4. Elektrik Boşalması ve Mekanizması

Elektriki boşalma mekanizması, bir elektrik gerilim kaynağı gaz içinde bulunan iki iletken plaka arasına bağlanırsa belirli şartlar gerçekleştiği takdirde, uygulanan gerilim plakalar arasındaki gazın delinme geriliminin üzerinde ise, bu iki plaka arasından bir elektrik boşalması olur ve bu iki iletken plaka arasında bir elektrik akımı akar. Akan akımın büyüklüğüne göre ortaya çıkan elektrik boşalma sistemleri sınıflandırılır. Şekil 2.1'de çeşitli gaz boşalma tiplerinin gerilim-akım karakteristiği gösterilmiştir.

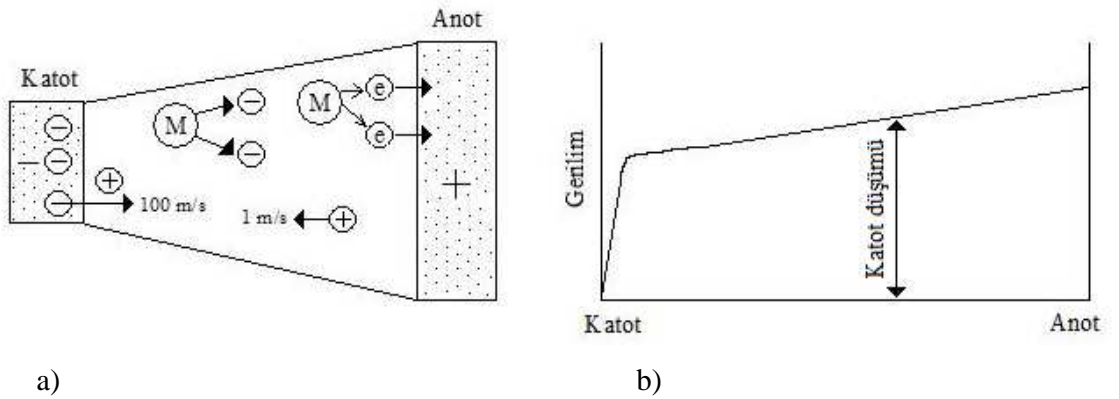


Şekil 2.1. Farklı boşalma tiplerinin gerilim-akım karakteristiği (O'Brien vd 1991; Bayrak 2007)

Plazma ile nitrüleme, gerilim-akım ilişkisinin tek değerli fonksiyon olduğu yer olan, üst normal boşalma bölgesinde oluşur. Sisteme potansiyel fark uygulandığı zaman gazın molekül ve atomları uyarılır ve iyonize olur. Böylece elektriksel boşalma denilen parıltılı olay meydana gelir. Bu yöntemin en büyük avantajı, gazın pozitif iyonlarının negatif uca bağlanmış taban malzemeye doğru hızlanarak yüksek bir kinetik enerji ile yüzeye çarpması ve ortaya çıkan enerji ile taban malzemenin ısınmasıdır. Böylece ek bir ısıtma tertibatına gerek kalmaz (Edenhofer 1974a). Burada dikkat edilmesi gereken şey, uygulanan akımın 10 Amperi aşmamasıdır. Bu değer aşıldığı takdirde ark boşalması oluşmakta ve malzeme hasar meydana gelmektedir. Teorik olarak bu bölgede plazmanın kontrolü zordur, yani plazma dengesizdir. Bu nedenle iyon nitrülemenin endüstride kullanımını azaltmıştır. Fakat günümüzün gelişen teknoloji, elektronik ve mikro işlemci kontrollü güç sistemleri vasıtasıyla bu tür problemler büyük ölçüde aşılmıştır (Bayrak 2007).

Plazma hali gaz atom ve moleküllerinin iyonizasyonu ile elde edilir. Tamamen termal bir işlemden, bu durum ancak gazın birkaç yüz bin derece ısıtılması ile sağlanabilir. Bu durum için eğer elektrik kullanılırsa elektriksel boşalmadaki gibi kolayca elde edilebilir. Her gazda bulunan yük taşıyıcılar anot-katot arasındaki gerilim düşümünde kullanılırlar. Diğer gaz parçacıklarını da içine alan çarpışma işlemiyle moleküllerin disosyasyonu yanında atom ve moleküllerin iyonizasyonu ve uyarılması da söz konusudur. Yani yük taşıyıcılar bu şekilde sürekli olarak üretilirler. Elektronlar anodik bağlantıya, pozitif iyonlar ise katodik bağlantılı iş parçasına hızlandırılırlar (Şekil 2.2a).

Anot önünde biriken elektronlar, anoda giden elektronlara bir direnç gösterir ve bu direnç nedeniyle o bölgede plazma bölgesine nazaran daha yüksek elektrik alanı oluşur. Zira aynı yükler birbirini ittiğinden anoda ulaşmak isteyen elektronlar, bulut içinden geçerken daha dolambaçlı yol izleyeceklerdir ve aynı zamanda anot ve katot önünde biriken bu elektronların hızları düşecektir. İş parçası ile anot arasındaki gerilim düşümü lineer olmayıp iş parçası önünde çoğalan pozitif yük tarafından geniş ölçüde değiştirilebilir. Bunun sonucu olarak direnç o bölgede artar. Katot önünde de iyonlar için durum aynıdır. Bu farklılık elektrik arkını, elektrik alanı yönünden anot bölgesi, katot bölgesi ve plazma bölgesi olarak üç parçaya böler. Buna göre, uygulanan gerilimin hemen hemen tamamı katot önünde birkaç milimetrik mesafede düşer (Şekil 2.2b) (Alsaran 2001).



Şekil 2.2. (a) Elektriksel boşalma ve (b) katot düşümü (Karadeniz 1990)

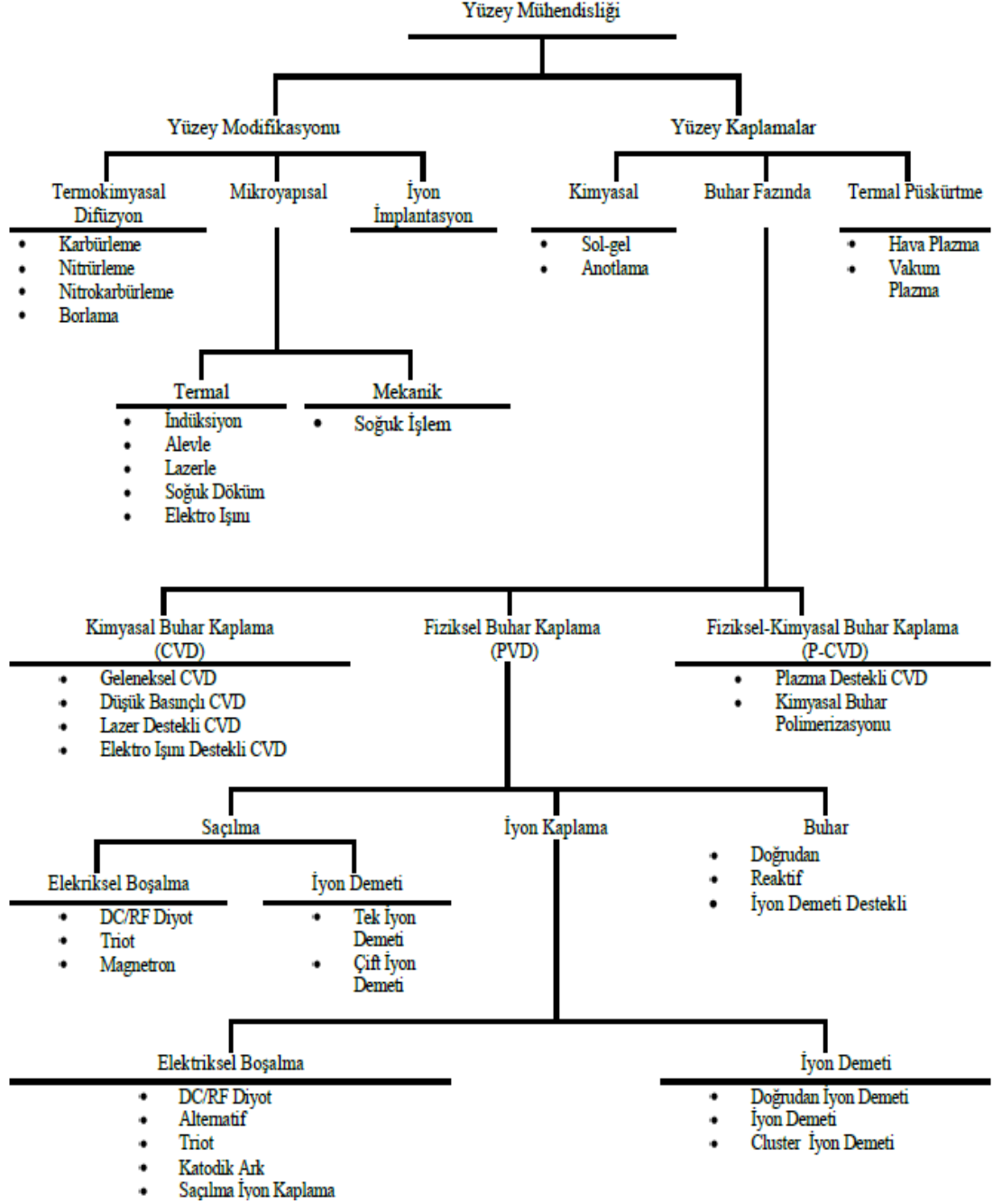
Tüm çarpışma ve iyonizasyon işlemleri katodik gerilim düşümü bölgesinde meydana gelir. Böylece, işlem gazını mükemmel plazma haline ancak iş parçasını hemen önünde rastlanırken, kalan bölgede yük taşıyıcılarıyla biraz zenginleştirilmiş olan normal işlem gazı bulunur. Pratikte anot ile katot arasındaki mesafenin bu nedenle etkisi yoktur. Katota meydana gelen parlaklık iş parçasının çevresiyle sınırlıdır. Böylelikle iş parçasının tüm yüzeyini mor renkli bir parlaklık kaplar ve üniform olarak sertlik elde edilir (Alsaran 2001).

2.5 Yüzey İşlemleri

Yüzey işlemleriyle malzemenin yorulma, süneklik ve sertlik gibi mekanik özellikleriyle, aşınma direnci ve korozyon özellikleri iyileştirilmektedir. Malzeme yüzeyinin mekanik özelliklerini iyileştirmenin en basit ve ekonomik yolu yüzey sertleştirme işlemleridir.

Malzemenin yüzey sertliğini artırmak için yapılan sertleştirme işlemleri uzun yıllardır uygulanmaktadır. En yaygın olarak kullanılan nitrürasyon, sementasyon, borlama bunlardan birkaç tanesidir. Ancak özellikle sanayileşmiş ülkelerde son yıllarda iyon nitrürasyon (glow discharge) metodu yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Edenhofer 1974; Çelik vd 2002). Çizelge 2.1’de yüzey işlemlerinin bir sınıflandırması yapılmıştır.

Çizelge 2.1. Yüzey mühendisliğinde uygulanan metotlar (Alsaran 2001)



2.5.1. Plazma ile termokimyasal yüzey işlemleri

Yüzey işlemlerinde plazma ortamının kullanılması yaygınlaşarak devam etmektedir. Plazma yüzey İşlemleri değişik endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Bu yöntemin temelleri yaklaşık 70 yıl önce Bernhard Berghaus (Berghaus 1932; Berghaus 1939) tarafından atılmış ve günümüzde endüstri için vazgeçilmez bir unsur olmuştur. Plazma destekli yayınım işlemlerinde amaç, karbon veya azot gibi ara yer atomlarını parça yüzeyine göndermektir. Plazma ile yüzey işlemleriyle malzemenin yüzey ve yüzeye yakın bölgelerinin yapısal özellikleri değiştirilerek aşınma, korozyon direnci ve yorulma mukavemeti artırılır. Bu yöntemler temelde alaşımlı çeliklere uygulanmaktadır. Çizelge 2.2’de uygulanan plazma destekli termokimyasal işlemler için işlem sıcaklığı ve basıncına göre, elde edilen yüzey sertliği ve yayınım tabakası kalınlığı verilmiştir (Çelik vd 2002).

Çizelge 2.2. Plazma Destekli Yüzey İşlemlerine Bakış (Çelik vd 2002)

Uygulanan İşlem	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’un çözünümü	350-590	1-10	500-1200	50-1500
Plazma ile nitrokarburleme	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

2.5.2. Plazma ile karbürleme

1934 yılında patente edilmiş ve 1960 yılında Kanin tarafından plazma ile karbürleme sistemi kurularak deneysel sonuçlar rapor edilmiştir. Ancak bu sistem ile alışlagelmiş karbürleme sistemine göre pek çok avantaj elde edilememiştir. Yakın zamanlarda Edenhofer, Callinon ve Girube kurdukları sistemler ile bilinen tekniklere göre, bu yöntemin bir çok avantaja sahip olduğunu göstermişlerdir (Staines 1985). 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. Karbürleme işlemi ostenitik termokimyasal işlem olarak sınıflandırılabilir. Çünkü işlem tamamen ostenitik şartlarda meydana gelmektedir. Bu işlem 850-1050°C arasındaki sıcaklıklarda yapılmaktadır. Bu işlem sonrası malzemenin ısıl çarpılması hemen hemen yoktur, çünkü soğuma vakum ortamında olmaktadır. Parçaların geometrisi homojen tabaka elde edilmesi için önemli değildir, her geometriye sahip malzemede homojen kalınlık elde edilebilir. Hatta işlem parametresinin iyi seçilmesi ile 0,5 mm çapındaki bir delik bile karbürlenebilir. Plazma ile karbürleme, işlem süresinin kısa olması, az distorsiyon ve yapının kontrol edilebilmesi gibi avantajlarından dolayı endüstride çok geniş uygulama alanı bulmuştur (Alsaran 2001).

2.5.3. Plazma ile nitrürasyon

Nitrürasyon, demir esaslı malzemelerde ferrit fazında atomik hale azotun yayılması ile oluşan ferritik bir termokimyasal işlemdir. Sertleştirme işlemi 500-590°C sıcaklıklar arasında yapılır. İlk olarak 1920 yılında kullanılmaya başlanmış ve bu tarihten itibaren endüstride geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Temel olarak tuz banyosu, gaz ve toz nitrürasyon olmak üzere üç nitrürasyon yöntemi vardır. Yüzey sertliği ve sertleşme derinliği öncelikle işlem zamanına, sıcaklığa, gaz karışımına ve demir esaslı malzemenin alaşım içeriğine bağlıdır (Strafford et al. 1995). Endüstride gaz nitrürasyon

yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu işlemde 500-590°C arasında ısıtılan taban malzeme üzerine atomik azotun yayılmasını sağlamak için amonyak gazı çözünür. Çözünen amonyak, taban malzeme üzerinde nitrürler oluşturmak için Al, Cr gibi alaşım elemanlarıyla reaksiyona girer. Nitrürasyon sonrası ϵ (HSP) ve γ (YMK) fazlarını içeren kırılğan beyaz tabaka oluşma eğilimindedir. Bu iki fazın farklı kafes yapıları içermesi yüksek iç gerilmeler doğurur ve mikroçatlakların bu bölgede oluşmasına sebep olur. (Edenhofer 1974b). Plazma ile nitrürasyon yöntemi ise bilinen nitrürasyon yöntemlerine göre işlem süresinin kısa olması, düşük sıcaklıklarda (400-600°C) nitrürleme yapılabilmesi, meydana gelen yapıların kontrolü gibi bir çok avantaja sahip olması nedeniyle endüstrinin ilgisini çekmiştir. İyon nitrürasyon yöntemi elektriksel boşalma şartlarında oluşur. İlk olarak 1930 yılında İsviçreli mühendis Bernard Berghaus tarafından patente edilmiştir. Bu yöntemde, malzeme yüzeyine iyonize edilmiş azotu difüze etmek için aktif ve reaktif plazma hali kullanılır. İşlem, teorik açıdan elektriksel olarak iletken malzeme yüzeyine N, C, B gibi arayer elementlerinin difüze edilmesi işlemidir (Strafford *et al.* 1995).

Günümüzde askeri amaçlı olarak kullanılan plazma ile nitrürleme işlemi, özellikle motor pistonlarında, krank millerinde, valflerde, kam milinde, dişlilerde, matkap, zımba gibi kesici takımlarda, derin çekilebilen malzemelerde, dönme ve eğilmeye maruz kalan tüm makina parçalarında kullanılmaktadır. Bu işlemin ekonomik ve kolay uygulanabilmesi endüstride kullanım alanını artırmıştır.

2.5.4. Plazma ile nitrokarbürleme

Plazma ile nitrokarbürleme malzemenin ferritik şartlarda bulunduğu 592°C'nin altında yapılmaktadır. Plazma ile nitrürleme işleminin tersine bu işlemde kullanılan gazlar azot/hidrojen/metan veya azot/hidrojen/karbondiyoksittir. Bu işlemin amacı, düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin yüzeyinde ϵ -karbonitrat tabakası oluşturarak korozyon ve aşınma dayanımını artırmaktır.

Günümüzde bu işlem hem sıvı hem de gaz atmosferinde çok sık olarak yapılmaktadır. Burada amaç istenen şartlara uygun tek fazlı ϵ -karbonitrat tabakasının oluşturulmasıdır. Ancak bu işlem yapılırken istenen şartların oluşmasında birçok zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bu durum çoğunlukla, işlem esnasında yüzeyden saçılan karbonun etkisi ile ilgilidir. Çünkü saçılan karbon, nitrürleme için seçilen gaz karışımına katılabilir. Çok fazla miktarda karbon bu gaz karışımına katıldığı takdirde beyaz tabaka (ϵ) içerisinde (Fe_3C) sementiti oluşturabilir. Bu durum ise bu tabakanın işlevini tam olarak görmesini engelleyebilir (Staines 1985).

2.5.5. Plazma ile borlama

Borlama işlemi 700-1000°C arasında hem demir esaslı malzemelere hem de demir olmayan malzemelere bor ilavesini içerir. Bu işlem endüstride geniş ölçüde kullanılmamasına rağmen, birkaç uygulamada büyük avantajlar sağlamaktadır (Rie 1999). Bu yöntem, çelik kalıpların korunmasında ve seramik tuğlaların imal edilmesinde kullanılmaktadır. Borlama işleminde malzeme yüzeyinde FeB , Fe_2B tabakaları oluşturulmaktadır. Bu tabakaların sertliği 1800-2000 HV değerindedir. Elde edilen bu sert tabaka aşınmaya karşı dayanımı artırmaktadır. Plazma ile nitrürleme ve karbürleme işleminin tersine borlama işleminde zehirli bir gaz ortamı vardır. Genellikle bu teknik laboratuvar amaçlı olup, oldukça pahalı ve işlemin kontrolü oldukça zordur (Staines 1985).

2.6. Korozyon

2.6.1. Korozyon ve önemi

Metal ve alaşımlarının çoğunlukla sulu ve gaz ortamlardan oluşan çevreleri ile girdikleri elektrokimyasal ve kimyasal tepkimeler sonucu uğradıkları hasar korozyon olarak adlandırılır.

Sanayide kullanım bulan metallerin büyük çoğunluğu atmosferik hava ve zeminin de kapsandığı çok farklı ortamlarda kararlılıklarını kaybederler. Altın ve platin dışındaki metallerin tamamı doğada oksitlenmiş halde bulunurlar. Metalleri oksitlerinden ayırmak zorlu bir süreçtir, ve büyük miktarlarda hammadde, enerji ve insangücü kullanımı ile gerçekleşir. Termodinamik anlamda, bu süreç sonunda metaller daha yüksek bir enerji düzeyine taşınırken, entropileri düşer. Metallerin doğadaki durumlarına dönme eğilimi korozyon olayının gerisindeki itici güçtür.

Korozyon bazen yavaş seyreden bir olaydır. Bu nedenle, zararlı sonuçlarının ortaya çıkması uzun zaman alır. Bu olgu, metalik yapıların tasarımında korozyonun gözardı edilmesinin başlıca nedenidir. Gerçekte, korozyon sanayide yatırım ve üretim maliyetlerini belirleyen başlıca etmenlerdendir. Bazı tahminlere göre, korozyonun bir ulusa maliyeti gayri safi milli hasılanın %3.5-5.0'ine ulaşmaktadır. Türkiye için bu değer %4.5 'dan daha az olmadığına ilişkin tahminler vardır. Çevre kirliliği ve emniyet ile ilgili endişelerin giderek arttığı günümüzde, bilim adamları ve mühendislere düşen görev korozyonun etkin kontrolünü sağlayacak teknikleri geliştirip uygulamaktır (www.korozyondernegi.org.tr).

Korozif etkenler; elektro-kimyasal, fiziksel ve çevresel olarak üç ana grup altında toplanabilir.

2.6.2. Elektro-kimyasal etkenler

Elektro-kimyasal korozyonun olabilmesi için bazı şartların sağlanması gereklidir. Öncelikle metallerle temas eden nemin olması, metallerin elektro potansiyelleri arasında fark olması, oluşan akımın devreyi tamamlaması gerekir. Kısaca bir elektro korozyon hücresinde dört eleman bulunur. Bu elemanlar; anot, katot, metal yolu ve elektrolittir. Bu elemanların biri olmaz ise, korozyon oluşmaz. Korozyon hücresinde korozyonun başlaması ve devam etmesi için aynı elemanlar gereklidir. İki metal, elektrolite daldırıldığında, çözültide çözünme kabiliyetini yönlendiren elektrik potansiyeline sahip

olurlar. Metaller çözeltilerde çözüldüğünde, metal atomları yüzeyde bir veya daha fazla elektron bırakarak pozitif yüklü iyon şeklinde metalden ayrılırlar. Yüzeyde bırakılan elektronlar, metal yoluyla (iletken vasıtasıyla) katoda erişir. Korozyon anotta olur, anodik metal elektrolitte çözünür. Anoda göre daha az aktif olan ve korozyona uğramayan elektron katottur. Elektronların anottan katoda taşındığı yola Metal Yolu denir. Korozyon hücrelerini oluşturan elektrolit, nemi içeren iyonize çözeltilerdir. Korozyon hücrelerinde elektrolit bulunmaz ise metal çözünemediğinden iyon anodik metali terk etmez ve korozyon oluşmaz (www.enerjiplatformu.org).

2.6.3. Fiziksel etkenler

Yüksek basınç ve sıcaklık, maddelerin korozyona uğraması için daha elverişli bir ortam sağlar. Örneğin, yüksek basınç ve sıcaklık gaz türbinli motorlarda türbin bölümünde doruğa çıkar. Bu bölümde türbin paleleri yüksek sıcaklık ve basınca dayanacak ve korozyon etkenlerinden en az etkilenecek titanyum malzemesi kullanılarak optimize edilebilir. Aynı şekilde bir parça üzerine dayanımından çok daha fazla miktarda yük biniyorsa veya çok yönlü kuvvetlerin etkisi altındaysa korozyona uğraması kaçınılmazdır. Bir başka fiziksel etken olan sürtünme ile malzemelerin koruyucu yüzeyleri tahrip olarak korozyona maruz kalabilirler. Örneğin, gün içinde aşırı derecede sıcaklık farklarının olduğu bir ortam korozyon için adres çıkarmaktadır.

2.6.4. Çevresel etkenler

Korozyona neden olma açısından coğrafik konuma göre iklim şartları da önemli rol oynar. Sıcaklık-nem etkisi, özellikle tropikal deniz ikliminin görüldüğü bölgeler korozyon etkisini hat safhada arttırmaktadır. Korozyona neden olma açısından coğrafik yerleşime göre iklimler dörde ayrılır. Yüksek sıcaklık ve nemin birlikte etki ettiği en korozyon ortamı tropikal denizel ortamdır. Bu ortamda korozyon, sıcaklıkla birlikte hızla artar. Sıcaklığın -25°C ile 37°C arasında, nemin ise %10–100 arasında değiştiği ılıman iklimli ve endüstriyel kirlenme, duman ve sis gibi kalıntıları taşıyan ortam endüstriyel ortamdır. Endüstriyel kuruluşlardan yükselen gazlar havanın nemi ile birleşerek asit şeklinde

yoğunlaşır ve korozyonu hızlandırır. Sıcaklığın çok düşük olduğu ve düşük elektrokimyasal reaksiyonun olduğu ortam kutupsal ortamdır. Bu ortamda elektrokimyasal ortamın çok düşük olmasına karşın çok soğuk durumdaki metal ısındığında nem toplanır. Bu da metalde korozyon yaratır. Nemin çok düşük olduğu ve korozyon olmadığı tek ortam çöl ortamıdır. Bu ortamda nem olmadığından sıcaklığın etkisi olmaz (www.enerjiplatformu.org).

2.7. Korozyon Çeşitleri

2.7.1. Uniform (yüzeysel) korozyon

Sıvılarda veya kirli ortamda, metal yüzeylerinde kimyasal bir etki ile atmosferik şartlarda oluşan korozyonun en basit şeklidir. Metalin yüzeyinde bir renk değişimine neden olur. Genellikle metal yüzeylerinde matlaşma şeklinde kendini gösterir. Demirin paslanması, bakırın renginin matlaşması, nikel yüzeyinin sislenmesi, gümüşteki kararma bu tip korozyona örnek verilebilir. Bu tür korozyon, yüzeyde kaba ve dalgalı bir görünüş oluşturur. Parlatma ile yüzeydeki bu tür korozyon alınabilir.

2.7.2. Galvanik (Elektro Kimyasal) Korozyon

Galvanik korozyon, farklı metallerin ısı ve nem ortamında birbirlerine teması halinde meydana gelir. Örneğin, alüminyum alaşımlı bir malzemenin üzerine arada herhangi bir izolasyon malzemesi kullanmadan paslanmaz çelik veya titanyum malzeme monte edildiğinde zamanla alüminyum malzemenin üzerinde korozyon meydana gelecektir. Bu galvanik korozyondur. Galvanik korozyona meydan vermemek ve iki farklı metal arasında elektron transferini önlemek için ipek bant, amyant, sealink (macun) gibi izolasyon malzemeleri kullanmak gerekir.

2.7.3. Pitting (Çukurcuk) Korozyonu

Pitting (çukurcuk) korozyonu nemle temas eden alaşım yüzeyinde, nemle temas eden anodik ve katodik kısımların bulunması sonucu oluşur. Metal alaşımı, elektronların taşınması için metal yolu meydana getirir. Pitting korozyonu, alüminyum ve magnezyum alaşımlarında sık rastlanan bir tür korozyondur. İlk belirtisi yüzeyde toplanan ve kabaran beyaz ve gri tozumsu yığıntılardır. Bu yığıntılar temizlendikten sonra küçük oyuklar veya boşluklar görülebilir. Oyuklar baştan küçük olmasına rağmen zamanla büyür. Pitting (çukurcuk) korozyonunun oyukları parça kalınlığı uygun ise kazınarak temizlenebilir.

2.7.4. Taneler Arası (Intergranular) Korozyon

Tane sınırları boyunca oluşan korozyonlara Taneler Arası Korozyon denir. Taneler arasındaki metal bileşimi tane içine göre farklıdır. Alaşım elemanları, çökeltileri, tane sınırlarına yerleşir. Hatalı ısıl işlem tane sınırlarını hasarlar ve onları tane içine göre daha anodik yapar. Taneler arası korozyon, gözle tespit edilemediğinden en tehlikeli korozyon türüdür.

2.7.5. Filiform (İpliğimsi) Korozyon

Bu tür korozyon, boya tabakasının altında ipliğimsi şekilde bıraktığı izden tanınır. İpliğimsi korozyon havadaki nem oranının %78–90 arasında olduğu ve yüzeyin hafif asidik olduğu hallerde görülür. Bu tür korozyon bağlayıcıların çevresinde boya tabakasının kesintiye uğradığı çiziklerden başlar. Su ve havadaki oksijen bu çizgilerden boyanın altına nüfuz eder. Bu tür korozyondan korunmak için uçak ve yer destek teçhizatını %70'den az nem içeren ortamda muhafaza etmek, oksijen difüzyonunu önleyici boya kullanmak ve yüzeydeki asidik kirleri ortadan kaldırmak için sık sık yıkamak gerekir.

2.7.6 Pullanma (Exfoliation) Korozyon

Pullanma korozyonu, taneler arası korozyonun ilerlemiş şeklidir. Burada hemen yüzeyin altına tane sınırları altında ilerleyen taneler arası korozyonun genişlenmiş ürünü, yüzeydeki metali pul pul kaldırır. Genellikle haddelenmiş veya kalıptan çekilmiş parçalarda, kabarma ve pul pul olma şeklinde kendini gösterir.

2.7.7. Konsantrasyon Hücre (Concentration Cell) Korozyon

Alüminyum uçak gövdesi, su tabakası ile kaplandığında ve su damlacıkları metal levha birleşimlerinin arasına girdiğinde konsantrasyon hücre korozyonu oluşur. Konsantrasyon hücre korozyonunun olabileceği belli başlı yerler; oyuklar, bindirme dikişleri, kalıntılar, metal ara yüzeyleri olarak sayılabilir. Bu yerler konsantrasyon hücre korozyonu oluşumu için nemin hapis olduğu uygun yerlerdir. Bu tür korozyona elektrolitteki metal iyon konsantrasyon farkı veya oksijen iyonu konsantrasyonu farkı neden olabilir.

2.7.8. Gerilmeli (Stress) Korozyon

Gerilmeli korozyon, taneler arası korozyonun özel bir çeşididir. Bu korozyon, metal çekme gerilimi ile karşılaştığında korozif ortamda oluşur. Bağlayıcılara ısı işlem veya pres işlemlerinden sonra uygun olmayan şekilde su ile soğutma yapıldığında gerilmeli korozyon oluşur. Gerilmeli korozyon sadece çekme gerilmeleri sonucu olur. Bazı ısı işlemli alüminyum alaşım parçalarında bu tip korozyonu önlemenin tek yolu püskürtmeli sertleştirme yüzeyi ile sıkıştırma stresli bir yüzey oluşturmaktır. Gerilmeli korozyon uçaklarda perçinli birleştirmelerde, perçinler arasındaki gerilmiş yüzeylerde görülür. Korozyonu tespit etmek için yüzeye dikkatlice bakmak yeterlidir.

2.7.9. Yorulma Korozyonu

Yorulma korozyonu, gerilmeli korozyon çatlağına benzer şekilde, dinamik yükler ve metaldeki korozyonun etkisiyle oluşan çatlamlardır. Korozif ortam olan ve dinamik yüklere maruz kalan tüm metallerde bu tür çatlamlar oluşur. Yorulma korozyonu iki aşamada olur. Birinci aşamada korozif ortamın ve dinamik yüklerin etkisi ile metal yüzeyinde korozyon oyuğı ve çatlak oluşur. Çatlak oluştuğundan sonra korozif ortamın etkisi ortadan kalksa bile dinamik yükün etkisi ile çatlak ilerlemesi devam eder. Korozif etkiyi ortadan kaldırmak için korozif ortamın metalle teması kesilmelidir.

2.7.10. Sürtünme (Fretting) Korozyonu

Sürtünme korozyonu, nemin girmesine engel olamayan, titreşime maruz kalan statik yüklerle yüklenmiş parçalarda görülür. Burada korozyon ve aşınmanın etkisi birlikte oluşur. Sürtünme korozyonu, metalde ufalanma ve metal aşınması ile kendini gösterir. Uçak üstünde sürtünme korozyonunun en sık görüldüğü yerler, iniş takım dikmelerindeki burçlar, çok küçük toleransla burçlara geçirilen civatalar ve kanadı gövdeye bağlayan kaplamalardır (www.enerjiplatformu.org).

2.8. Korozyonun Önlenmesi

Korozyonu önlemek veya korozyondan korunmak için bir çok yöntem geliştirilmiştir.

Bu yöntemlerden bazıları;

- a) saf metal kullanımı,
- b) alaşım elementi katma,
- c) ısı işlemi,
- d) uygun tasarım,
- e) katodik koruma,
- f) korozyon önleyicisi (inhibitör) kullanımı ve

Söz konusu yöntemler kısaca açıklanmaktadır.

2.8.1. Saf Metal Kullanımı

Çoğu uygulamalarda saf metal kullanılarak, homojen olmayan kısımlar en aza indirilir ve böylece çukurcuk (pitting) korozyonu büyük ölçüde engellenir. Dolayısıyla parçanın veya elemanın korozyona karşı direnci artırılır.

2.8.2. Alaşım Elementi Katma

Alaşım elementi katmak suretiyle bazı metallerin korozyon direnci artırılabilir. Örneğin, ostenitik paslanmaz çelikler 880 ile 1380°C arasındaki sıcaklıklardan soğutulduğunda tane sınırlarında krom karbürler çökeler. Bu çökeltme, çeliği taneler arası korozyona duyarlı hale getirir. Bu tür korozyonu önlemek için ya karbon oranını düşürmek, ya da karbürleri daha kararlı bir şekle dönüştürmek gerekir. Karbürleri daha kararlı bir duruma dönüştürmek için çeliğe titanyum ve kolombiyum katılır. Karbona karşı ilgileri yüksek olan bu elementler, yüksek sıcaklıkta ostenit fazı içinde çözünmeyen daha kararlı karbürler oluştururlar. Bunun sonucunda, krom ile birleşmesi için çok az karbon kalır ve çelik stabilize edilmiş olur. Bazı alaşım elementleri malzemenin yüzeyinde gözeneksiz oksit filmleri oluşturarak veya oluşmasına yardım ederek malzemenin korozyon direncini artırırlar. Örneğin; bakır alaşımlarına katılan mangan ve alüminyum, paslanmaz çeliğe katılan molibden ve alüminyuma katılan magnezyum bu malzemelerin korozyon dirençlerini artırır.

2.8.3. Uygun Tasarım

Parçanın korozyon ortamıyla temasını en aza indirmek için uygun tasarım yapılmalıdır. Elektromotif seride birbirine uzak olan elementler arasında temastan kaçınılmalıdır. Eğer bu başarılamazsa, galvanik korozyonu önlemek için plastik veya kauçuk kullanılarak metal malzemelerin teması önlenmelidir. Benzer olmayan metallerin birleşmesi durumunda oluşan iki galvanik korozyon olayı görülmektedir. Alüminyum, çeliğe göre daha anot olduğundan çelik levhaları birleştirmek için kullanılan alüminyum perçinlerin korozyona uğramaları beklenebilir. Eğer alüminyum levhaları birleştirmek

için çelik perçinler kullanılırsa, alüminyum levhada oluşan galvanik korozyon perçinlerin gevşemesine veya işlevini yapamaz hale gelmesine neden olabilir. Metal levhalarla perçin ve civatanın temas ta olduğu bölgeyi, yumuşak ve yalıtkan bir malzeme ile ayırarak teması önlemek veya temas eden yüzeylere önce çinko kromat daha sonra alüminyum boya sürmek suretiyle bu tür korozyon önenebilir. Civata gibi birleştiricilerin temas noktaları plastik veya metal olmayan manşon (bilezik), pul ve sızdırmazlık rondelaları gibi parçalar ile yalıtılabilir.

2.8.4. Katodik Koruma

Katodik koruma normal olarak, elektriksel temas durumunda korozyona uğrayan metalin galvanik seride kendisinden daha yukarıda yer alan metal ile birleştirilmesi sonucunda sağlanır. Katodik korumada, korozyondan korunmak istenen metal katot yapılarak galvanik bir pil oluşturulur. Bu tür koruma sağlamak için, genelde çinko ve magnezyum kullanılır. Bazı durumlarda bir gerilim kaynağı aracılığı ile koruyucu akım elde edilir. Bu durumda anot karbon, grafit veya platin gibi koruyucu malzemelerden oluşur. Yer altındaki borular, gemi gövdeleri ve buhar kazanları gibi yapılar bu yöntemle korunurlar. Yer altındaki boruların korunması için anotlar borudan 2,4-3,0m uzağa gömülür. Anotların her biri kollektör kabloya bağlanır ve bu da boru hattına lehimlenir. Akım anotdan toprağa gönderilerek, boru hattında toplanır ve kollektör kablo vasıtasıyla anoda geri döner.

Gemilerin katodik yöntemle korunması için dümen veya pervane bölgesinde tekneye çinko ve magnezyum anotlar bağlanır. Ev ve endüstriyel su ısıtıcılarında ve yüksek su tanklarında katodik koruma için yaygın olarak magnezyum anotları kullanılır.

2.8.5. Korozyon Önleyicisi (İnhibitör) Kullanımı

Korozyon önleyicileri, korozif etkiyi azaltmak veya önlemek için korozyon ortamına katılan maddelerdir. Bu maddeler çoğu durumlarda metal yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturarak korozyonu önlerler. Otomobil radyatörlerinde kullanılan antifiriz

karışımının içine veya ısıtma sisteminde kullanılan suyun içerisine inhibitör katılır. Örneğin; korozyon ortamına oksit yapıcı maddeler katılarak alüminyum, krom ve mangan gibi metallerin yüzeylerinde oksit filmleri oluşturulur ve böylece bu metallerin korozyondan korunması sağlanır (www.forumto.com).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Kullanılan Malzeme

Deneysel çalışmalar için tablo 3.1’de içeriği verilen AISI 5140 çeliği kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. AISI 5140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	S	Cu	P
0,426	0,770	0,287	0,845	0,134	0,054	0,0287	0,064	0,154	0,0197

AISI 5140 çeliğinin mekanik özellikleri ise aşağıda çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. AISI 5140 çeliğinin mekanik özellikleri

Malzeme	Sertlik		Çekme mukavemeti (N/mm ²)	Kopma uzaması (%)
	HV10	HB		
AISI 5140	240-260	230-250	750-850	20-21

3.2. Plazma ile Nitrüleme İşlemi

Plazma ile nitrüleme işlemi Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde imal edilen ve Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilen laboratuvar tipi deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Vakum ünitesi, gaz dağıtım tertibatı, güç ünitesi ve paslanmaz çelik vakum odası plazma ile nitrüleme ünitesinin temel elemanlarını oluşturmaktadır. Vakum odası içerisine, anot ve katot yerleştirilmiş olup, tam orta noktaya yerleştirilen katot numune tutucu olarak kullanılmaktadır. Katoda, izoleli bir şekilde negatif kutup ve

termokupul bağlanmıştır. Sıcaklık ölçümleri katot üzerinde bulunan numunelerin altından açılan delikten geçirilen 0.5 mm çapında Ni-CrNi termokupuldan alınmıştır. Numuneler silindirik bir anotla çevrilidir. Bu silindirik anot vasıtası ile numuneler, plazma içerisinde homojen bir şekilde bombardıman edilmektedir. Deney düzeneğinde kullanılan başlıca elemanlar ve özellikleri şunlardır;

Vakum odası: Isıya dayanıklı, çan şeklinde ve gözlem pencereci olup, paslanmaz çelikten imal edilmiştir.

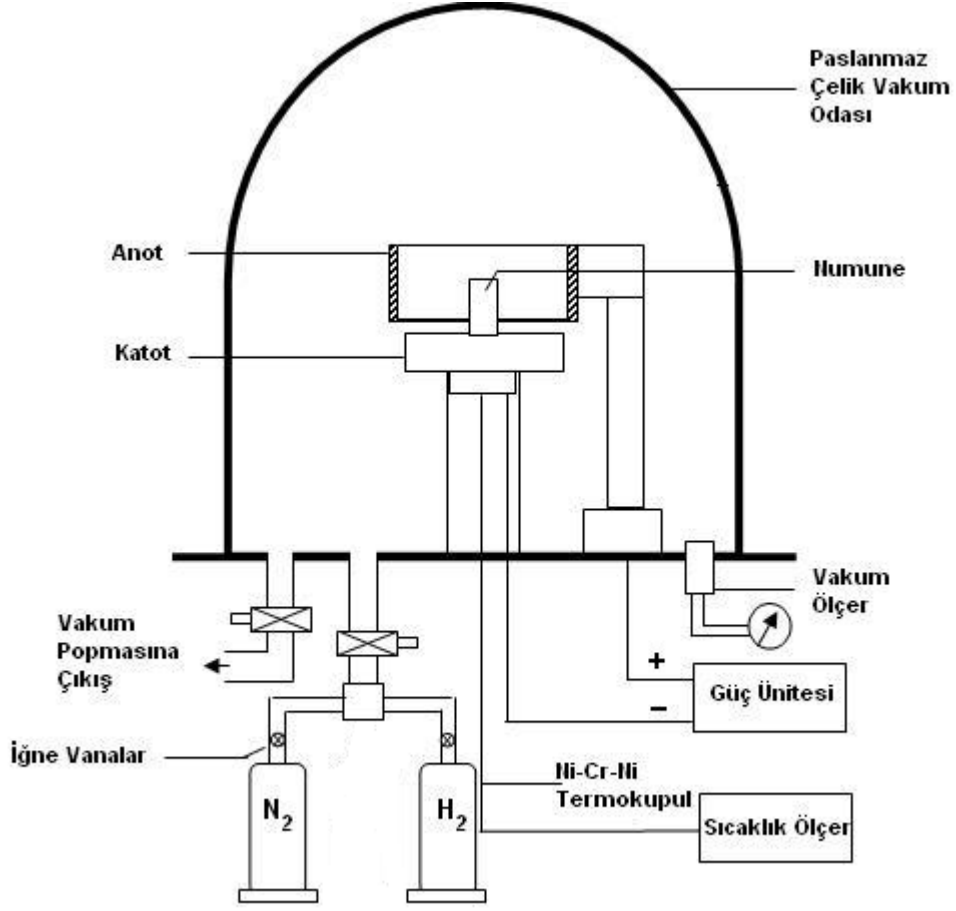
Vakum pompası: Edwards RV12, 1×10^{-1} Pa basınca inebilen pompa, gerekli vakumun sağlanması için kullanılır.

Güç ünitesi: Sistem için gerekli olan gerilimin sağlandığı 1500 V gerilim kapasiteli doğru akım (DC) elektrik güç ünitesidir.

Vakum ölçer: Vakum odasındaki vakum seviyesinin sürekli kontrolünü sağlar. 1×10^{-1} Pa basınca kadar ölçüm skalasına sahiptir.

İğne vanalar: İstenen oranda gaz karışımının oluşturulmasını sağlar.

Sıcaklık ölçer: Numuneye temas halinde olan Ni-CrNi termokupul vasıtasıyla sıcaklık ölçümünü sağlar.



Şekil 3.1. İyon nitrürasyon deney düzeneği

Plazma ile nitrürasyon işlemi ve numelerin hazırlanma aşamaları aşağıdaki adımlarla gerçekleşmiştir.

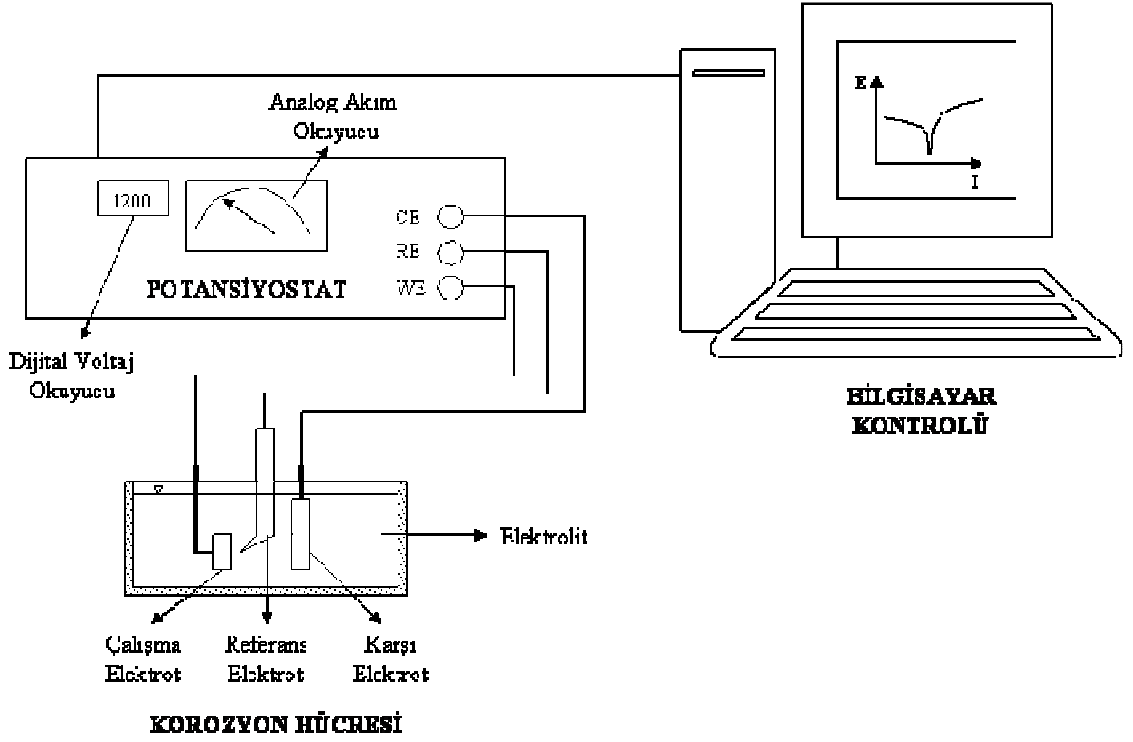
- Numuneler 12 mm çapında ve 10mm kalınlığında kesilerek, sırasıyla 80,220,400,800 ve 1200 numaralı zımpara kağıtlarında zımparalanmış ve daha sonra 1-0,05µm'lik alümina tozu ile parlatılmıştır.
- Şekil 3.1'deki işlem odasına numuneler konularak işleme başlanmıştır. Başlangıçta işlem odasına vakum pompası yardımıyla 5×10^{-2} Pa'a getirilmiştir.
- İyon nitrürasyon işlemine başlamadan önce numuneler üzerinde bulunabilecek kirlilikleri gidermek amacıyla, 500 V gerilim altında, 20dk süre ile ortama H₂ gazı verilerek ön bir saçılma yapılmıştır.
- Temizleme işlemi bittikten sonra ortama %50H₂ ve %50N₂ gazı karışımı ortama verilmiştir.

- Ortam basıncı iğne vanalar yardımı ile 5mbar'a sabitlenmiştir.
- Elektriksel boşalma güç ünitesinin açılmasıyla deney başlamıştır.
- Uygulanan gerilim artırılarak sıcaklık istenilen değere getirilmiştir. Sıcaklık ölçümü alttan parçaya temas eden termokupul vasıtasıyla yapılmıştır.
- İstenilen sıcaklığa ulaşıncaya nitrürasyon zamanı başlatılmıştır.
- Deney sonunda vakum ortamında numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur.

Numuneler, 400°C, 450°C, 500°C işlem sıcaklıklarının her birinde 1,4 ve 8 saatlik sürelerde plazma nitrülenmiştir.

3.3. Korozyon Deneyleri

Numunelerin iyon nitrürasyon işlemi sonrası korozyon deneyleri %3,5 NaCl çözeltisi içinde gerçekleştirildi. Korozyon deneylerinde kullanılan numuneler 25x25x2 mm³ boyutlarında ve üst yüzeylerine elektron geçişini sağlayacak iletkenlik kat sayısı yüksek bakır teller monte edildikten sonra uygun kalıplar içinde bakalite alınmışlardır. Korozyon deneyleri hazırlanan çözelti içerisinde normal atmosfer şartlarında ve şematik olarak Şekil 3.2'de gösterilen Wenking-PGS9S polarizasyon test cihazında gerçekleştirilmiştir. Polarizasyon ölçümleri Ag/AgCl referans elektrot (RE), karşıt elektrot (CE) olarak platin tel ve çalışma elektrotu (WE) deney numunesi kullanılarak üç elektrot tekniğine göre yapılmıştır. Numune açık devre potansiyeline erişinceye kadar yaklaşık 30 dakika bekletildi. Daha sonra numuneler -800/800 mV potansiyel aralığı içinde 1 mV/sn'lik tarama hızında potansiyodinamik olarak polarize edildi.



Şekil 3.2. Korozyon deney düzeneğinin şematik gösterimi

Korozyon deney düzeneğinin şematik gösteriminde; referans elektrot (RE); polarize olmayan potansiyeli sürekli olarak aynı kalabilen elektrotları, karşıt elektrot (CE); yardımcı elektrotta denilen bu elektrot polarizasyonda üzerinde çalışma yapılan elektrota dıştan bir akım uygulayabilmek için kullanılan elektrotu, çalışma elektrotu (WE), korozyona uğrayacak olan deney numunesini göstermektedir. Açık devre potansiyeli (OCP) ise; bir elektro kimyasal hücreden hiç akım geçmezken ölçülen potansiyeli göstermektedir.

3.4. XRD ve SEM Çalışmaları

Plazma ile nitrürlenmiş malzeme yüzeyinde oluşan fazlar Cu-K α katot kullanılarak, Rigaku-2200D/Max XRD cihazı vasıtasıyla belirlenmiştir. Kullanılan ışınının dalga boyu $\lambda=1.5405 \text{ \AA}$ 'dur. Elde edilen sonuçlar JCPDS (Joint Committee on Powder

Diffraction Standarts) pik listeleri ile karşılaştırılarak oluşan fazların kimyasal kompozisyonları tespit edilmiştir.

Numunelerin iç yapısı, yüzey görünümü, aşınma izleri, korozyon sonrası yüzey görüntüsü ve yorulmuş malzemelerin kırılma yüzeyleri Jeol 6400 SEM (taramalı elektron mikroskobu) kullanılarak incelenmiştir.

Beyaz tabaka kalınlığını tespit etmek için hazırlanan numuneler %2 Nital çözeltisi ile dağlanarak optik mikroskop vasıtasıyla incelenmiştir.

3.5. Mikrosertlik Ölçümleri

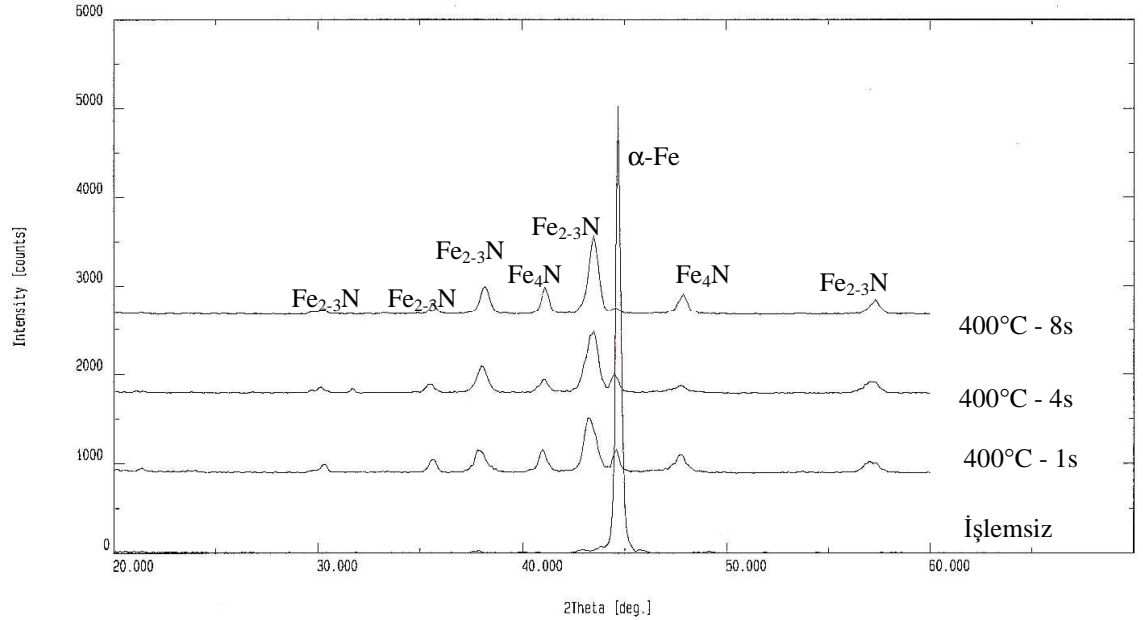
Plazma ile nitrürasyon işleminden sonra 10 mm boyunda ve 9 mm çapındaki numuneler sırasıyla 80, 220, 400, 800, 1200 nolu SiC zımparalardan geçirildikten sonra 1µ ve 0,05µ'luk alumina pasta ile parlatılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri 100 gr yük altında ve 15 sn yükleme süresinde Buehler mikrosertlik cihazı ile yapılmıştır. Sertlik dağılımını belirlemek için, her bir numune kesitinden birbirini etkilemeyen her mesafede en az üç ölçüm alınmış ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. XRD sonuçları

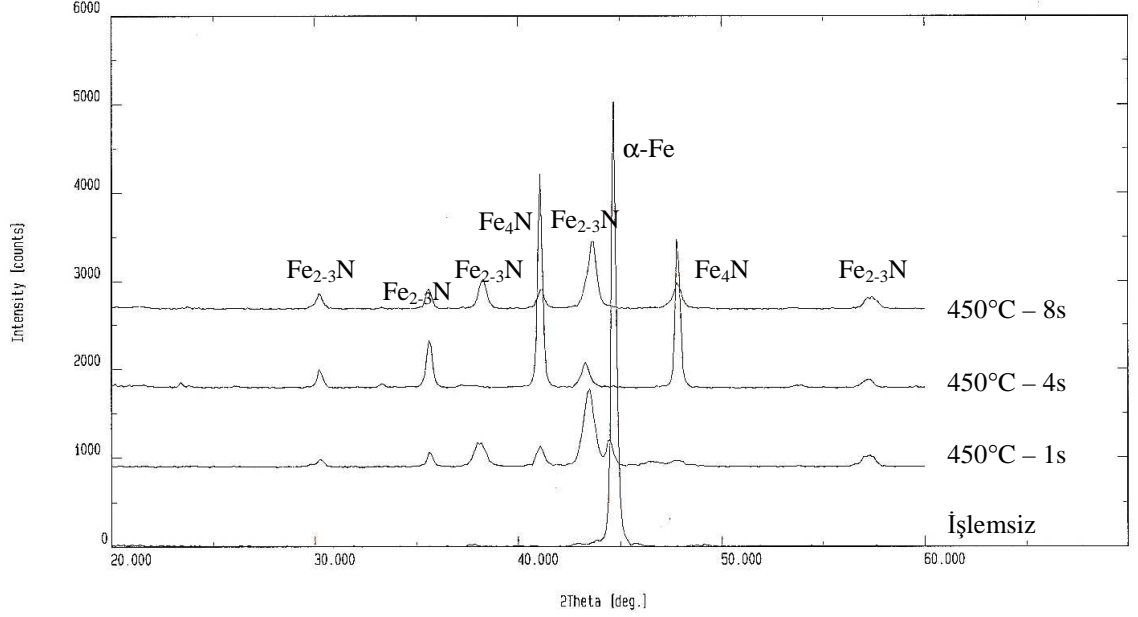
Plazma ile nitrürlenmiş malzeme yüzeyinde oluşan fazlar Cu-K α katot kullanılarak, Rigaku-2200D/Max XRD cihazı vasıtasıyla belirlenmiştir. Kullanılan ışınının dalga boyu $\lambda=1.5405 \text{ \AA}$ 'dur. Elde edilen sonuçlar JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) pik listeleri ile karşılaştırılarak oluşan fazların kimyasal kompozisyonları tespit edilmiştir.

Şekil 4.1'de %50N₂+%50H₂ gaz karışımında, 400°C sıcaklıkta 1, 4 ve 8'er saat nitrürlenmiş numunelere ait XRD analizi verilmiştir. 400°C sıcaklıkta, Fe₂₋₃N, Fe₄N demir nitrürleri meydana gelmektedir. Özellikle Fe₃N'in yoğunluğu daha fazladır. Ayrıca artan süre ile oluşan nitrür miktarında değişim olmuştur.



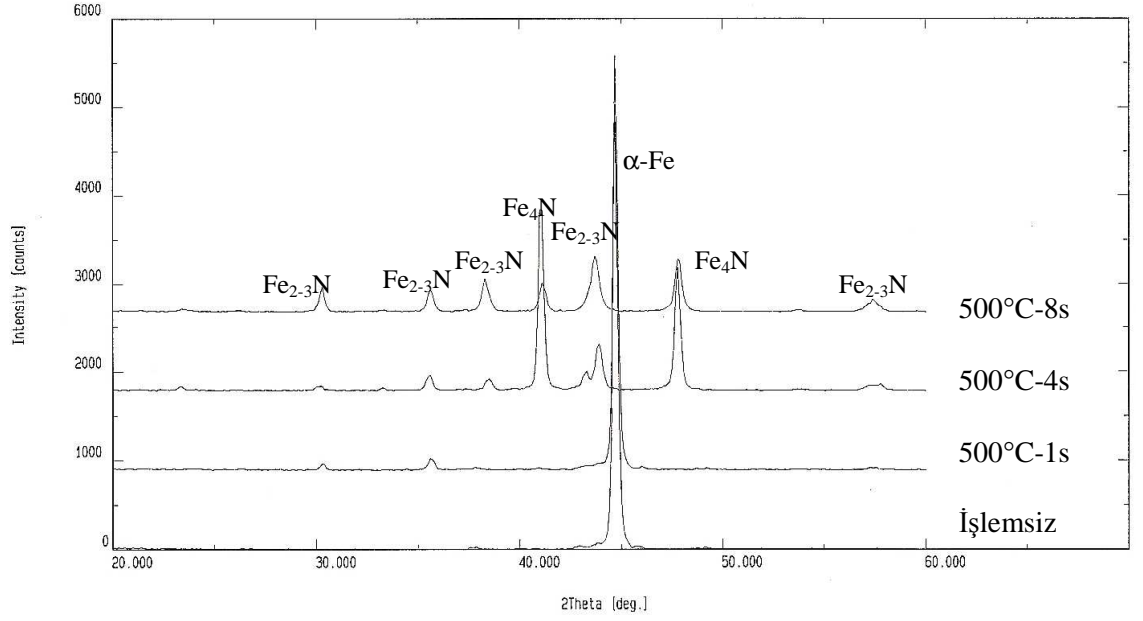
Şekil 4.1. %50N₂+%50H₂ atmosferinde, 400°C sıcaklık ve 1, 4, 8'er saat süre ile nitrürlenmiş AISI 5140 çeliğinin X-Ray analizi

Şekil 4.2.'de %50N₂+%50H₂ gaz karışımında, 450°C sıcaklıkta 1, 4 ve 8'er saat süreyle iyon nitrüleme sonucunda Fe₂N, Fe₃N ve Fe₄N fazlarının oluştuğu ve artan nitrüleme zamanına paralel olarak nitrür miktarında da artış görülmektedir.



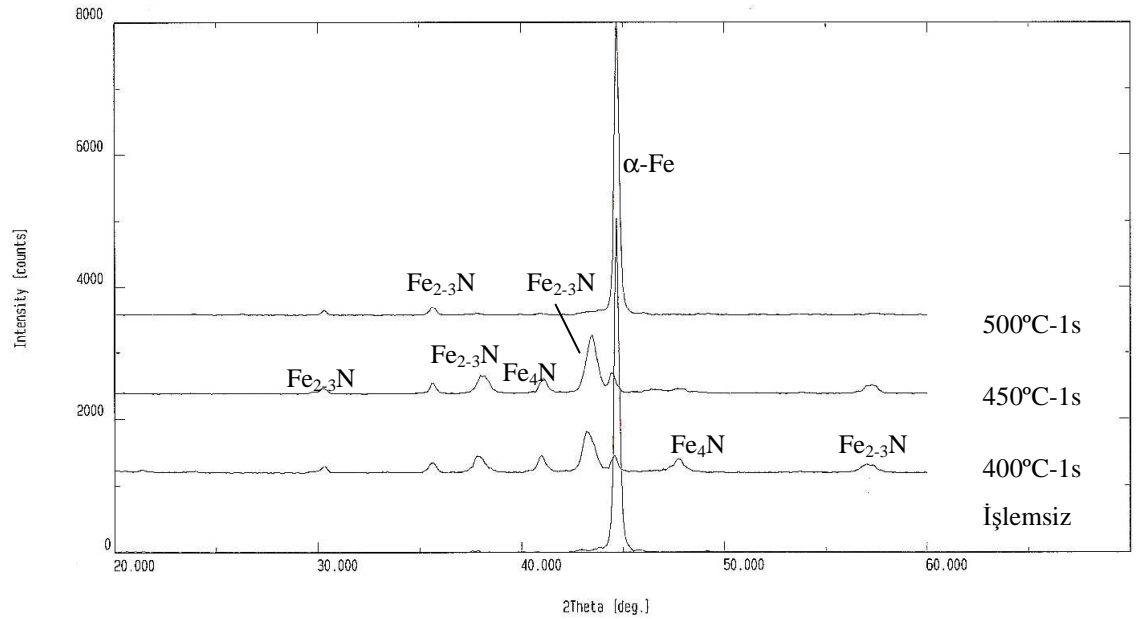
Şekil 4.2. % 50N₂+%50H₂ atmosferinde, 450°C sıcaklık ve 1, 4, 8'er saat süre ile nitrüleme yapılan AISI 5140 çeliğinin X-Ray analizi

Şekil 4.3'de %50N₂+%50H₂ atmosferinde, 500°C sıcaklıkta 1, 4, ve 8'er saat nitrülenen numunelere ait XRD analizi verilmiştir. 500°C sıcaklıkta, Fe₂N, Fe₃N, Fe₄N demir nitrürleri meydana gelmektedir. Nitrüleme süresinin artmasıyla nitrür oluşumunda artış olmuştur.



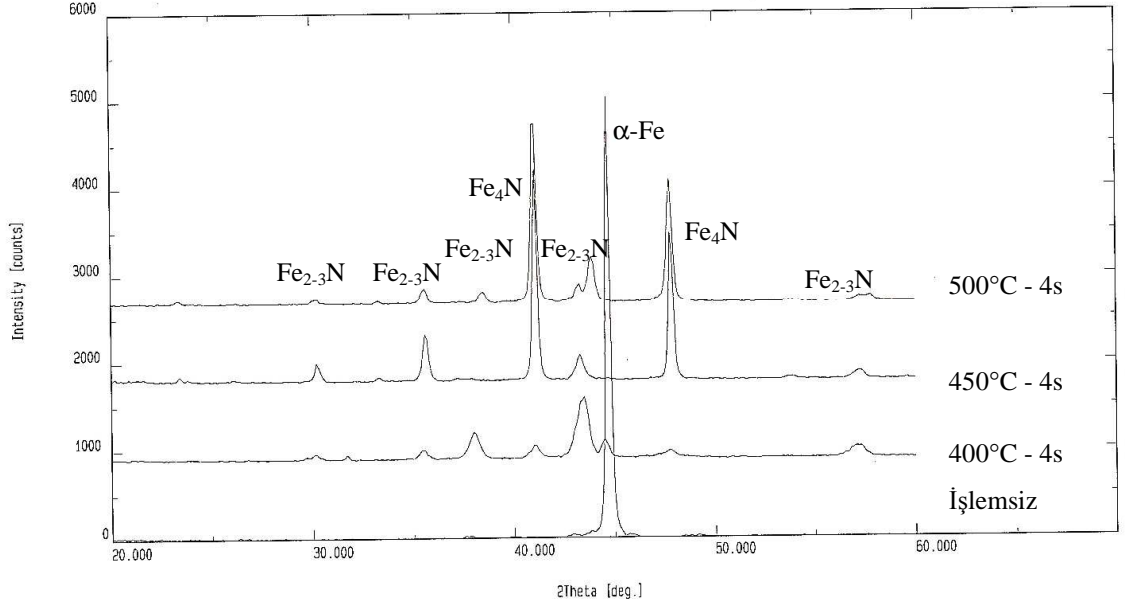
Şekil 4.3. %50N₂+%50H₂ atmosferinde, 500°C sıcaklık ve 1,4,8'er saat süre ile nitrüleme yapılan AISI 5140 çeliğinin X-Ray analizi

Şekil 4.4'de 400°C, 450°C, 500°C şer derece sıcaklıklarda 1saat süre ile nitrülenen numunelere ait XRD analizi verilmiştir. Nitrüleme sonrası az da olsa Fe₂N, Fe₃N, Fe₄N demir nitürleri oluşmuştur. Fakat nitrüleme süresinin az oluşu nedeniyle, sıcaklık artışıyla nitrülemenin çok fazla değişmediği görülmüştür.



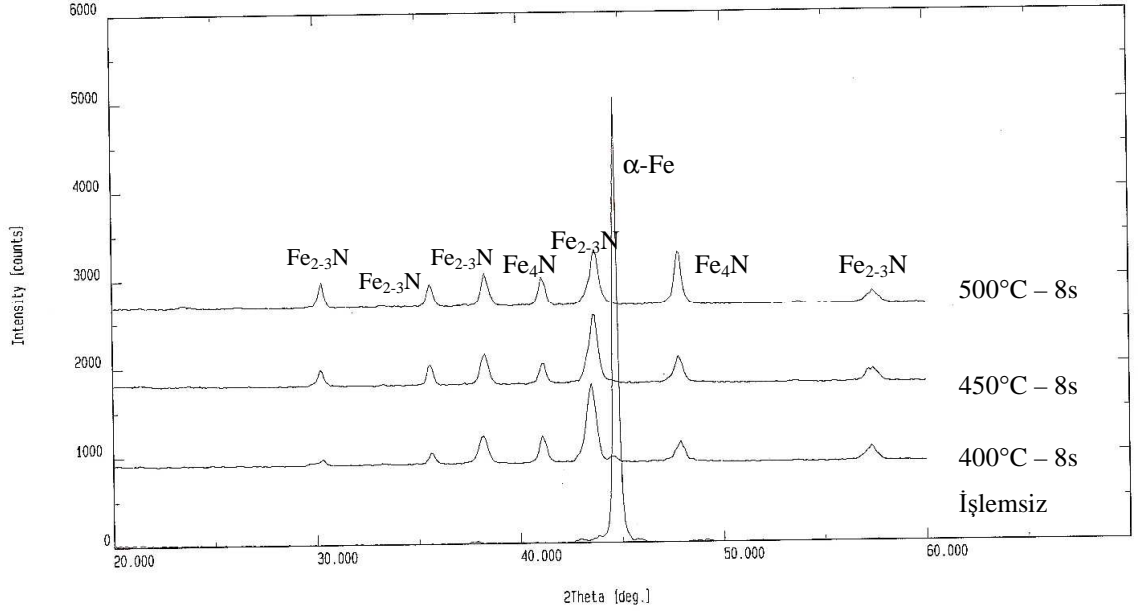
Şekil 4.4. %50N₂+%50H₂ atmosferinde, 400°C, 450°C, 500°C sıcaklık ve 1 saat süre ile nitrüleme yapılan AISI 5140 çeliğinin X-Ray analizi

Şekil 4.5’de 400°C, 450°C, 500°C şer derece sıcaklıklarda 4 saat süre ile nitrürlenmiş numunelere ait XRD analizi verilmiştir. Nitrürlenme sonrası Fe₂N, Fe₃N, Fe₄N demir nitrürleri meydana gelmektedir. Artan sıcaklıkla az da olsa nitrür oluşumunda artış görülmüştür.



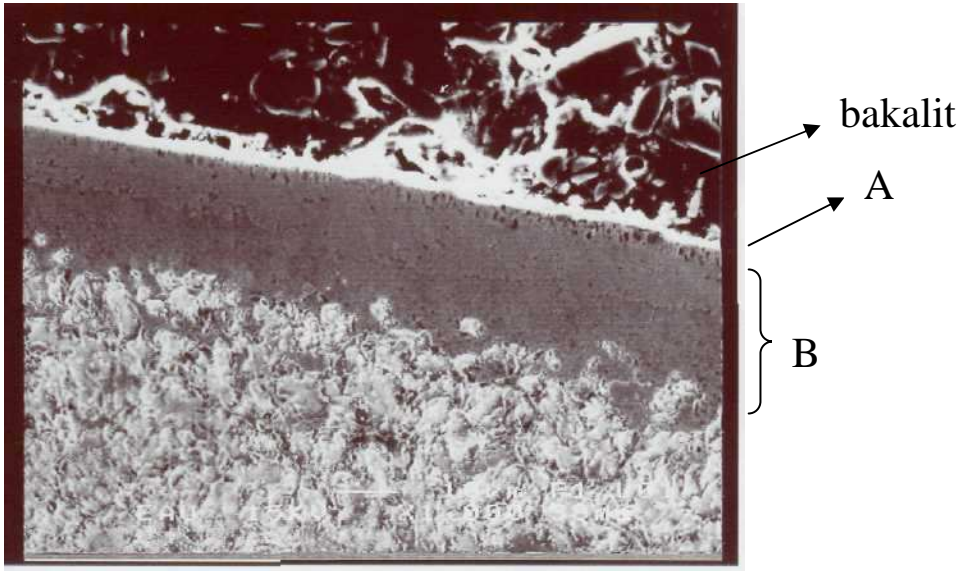
Şekil 4.5. % 50N₂+% 50H₂ atmosferinde, 400°C, 450°C, 500°C sıcaklık ve 4'er saat süre ile nitrürlenmiş yapılan AISI 5140 çeliğinin X-Ray analizi

Şekil 4.6’de 400°C, 450°C, 500°C şer derece sıcaklıklarda 4 saat süre ile nitrürlenmiş numunelere ait XRD analizi verilmiştir. Nitrürlenme sonrası Fe₂N, Fe₃N, Fe₄N demir nitrürleri meydana gelmektedir.



Şekil 4.6. %50N₂+%50 H₂ atmosferinde, 400°C, 450°C, 500°C sıcaklık ve 8'er saat süre ile nitrüleme yapılan AISI 5140 çeliğinin X-Ray analizi

4.2. İç Yapı Analizleri



Şekil 4.7. 500°C-1 saat işlem süresinde, 0.5 N₂/H₂ gaz karışım oranında nitrülenen AISI 5140 çeliğinin görüntüsü (A:Beyaz tabaka, B:Difüzyon tabakası)

Şekil 4.7’de de görüldüğü gibi numunenin yüzeyinde iki farklı yapı görülmektedir. En dışta oluşan ve beyaz tabaka olarak adlandırılan yapı yaklaşık 0-15µm kalınlığındadır. Beyaz tabakanın altında oluşan, alaşım nitürleri içeren ve difüzyon tabakası olarak adlandırılan yapı da yaklaşık 100-600µm kalınlığındadır.

4.3. Yüzey sertliği, beyaz tabaka ve difüzyon tabakası kalınlığının belirlenmesi

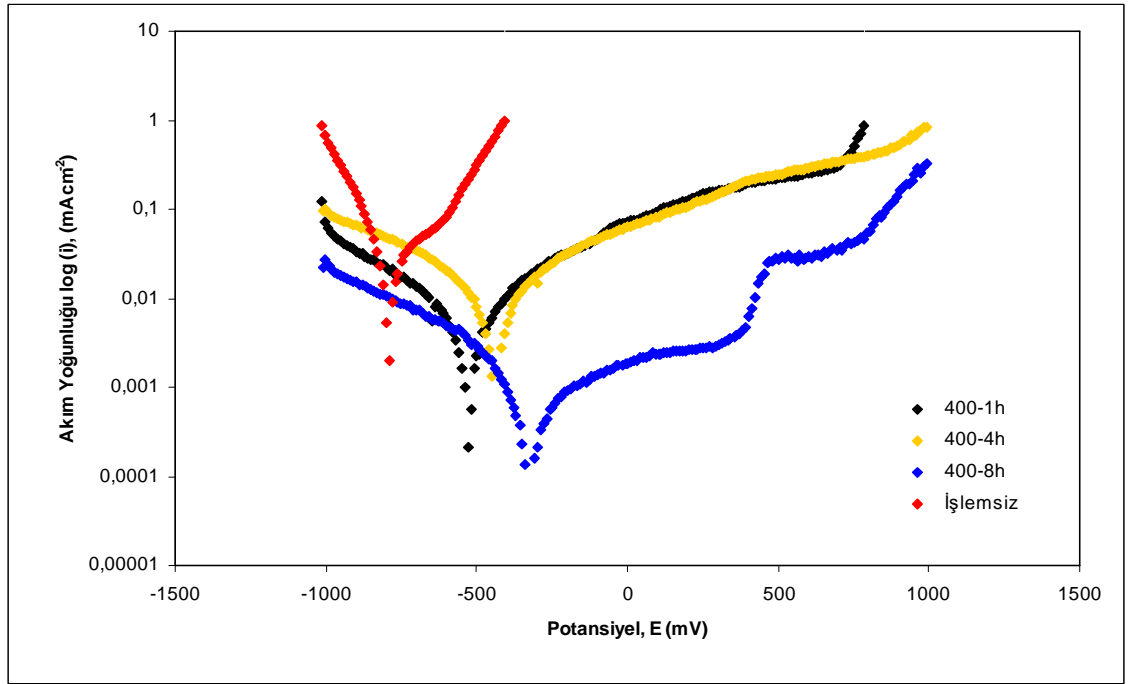
Çizelge 4.1’de, iyon nitürasyon sonrası oluşan uygulanan işlem süreleri ve sıcaklıklarına göre ölçülen sertlik değerleri verilmiştir. Sertlik ölçümleri Vickers mikrosertlik ölçüm yöntemiyle yapılmış olup 100gr yük kullanılmıştır. En yüksek sertlik değeri 500°C’de 8 saat nitürlenmiş numunede elde edilmiştir. Bu numunede difüzyon tabakası kalınlığı 425-675 µm civarındadır. En düşük yüzey sertliği de 400°C- 1 saatte elde edilmiştir. Tabaka kalınlığı, numune kesitinden incelenmiş olup, numunelerin kenarından başlayarak çekirdeğe doğru alınan sertlik değerlerinin çekirdek sertliğinin yaklaşık olarak %10 fazlasına ulaştığı mesafe olarak kabul edilmiştir. Malzeme yüzeyinden iç kısma doğru mesafe arttıkça yüzey sertliği azalmaktadır.

Çizelge 4.1. İyon Nitürasyon sonucu oluşan sertlik ve beyaz tabaka kalınlıklarının sıcaklıkla değişimi

Nitürleme Parametreleri		Difüzyon Tabakası Derinliği (µm)	Beyaz Tabaka Kalınlığı (µm)	Yüzey Sertliği (HV _{0,1})
İşlemsiz				240-260
400°C	1	0-150	0-5	300-550
	4	0-175	0-8	350-600
	8	100-300	3-12	400-850
450°C	1	150-175	3-4	540-550
	4	175-500	4-6.5	550-700
	8	175-700	4-10	550-900
500°C	1	100-600	0-15	425-550
	4	200-650	3-15	550-750
	8	425-675	3-12	600-800

4.4. Korozyon deneyi bulguları

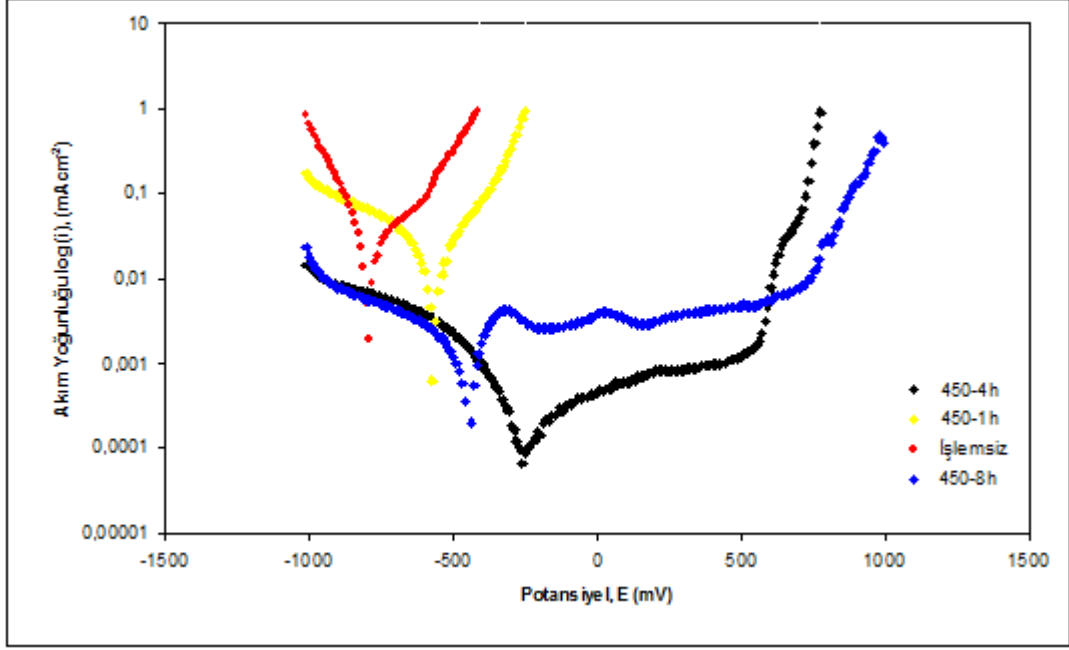
Nitrürasyona uğramamış numunelerin korozyon deneyleri %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde ve ayrıca %3,5 NaCl çözeltisine azot verilerek yapılmıştır. Şekil 4.1’de 400°C sıcaklıkta 1, 4 ve 8 saat nitrürlenmiş numunelerin %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.8. 400°C sıcaklıkta nitrürlenmiş numunelerin %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, işlemsiz numunenin korozyon potansiyeli daha düşük (-750V civarında) ve çok daha yüksek anodik akımlarda aktif davranış gösterdiği görülmüyor. En yüksek korozyon potansiyeli 400°C sıcaklıkta ve 8 saat nitrürlenmiş numunede elde edilmiştir. Genel olarak, nitrüleme süresi arttıkça, korozyon potansiyellerinde artış olmuştur. Akım yoğunluğu açısından bakınca en yüksek akım yoğunluğu işlemsiz numunede, en düşük akım yoğunluğu da 400°C sıcaklık ve 8 saat sürede elde edilmiştir. Korozyondaki bu artışa sebep olarak Fe₄N fazındaki artış verilebilir.

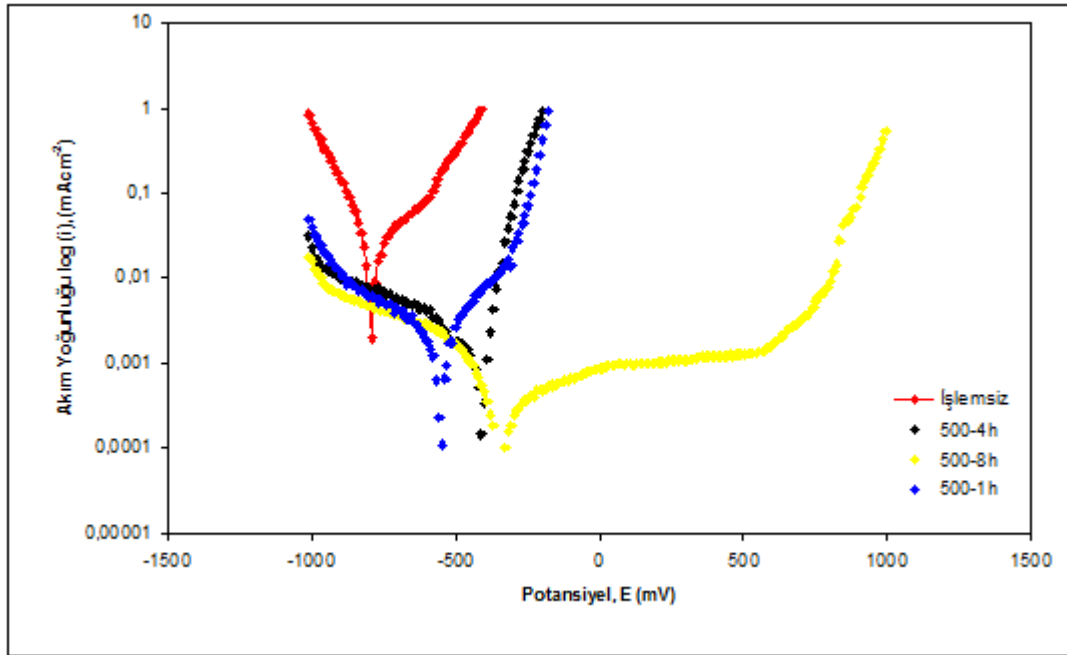
Şekil 4.9’de 450°C sıcaklıkta nitrürlenmiş numunelerin %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.9. 450°C sıcaklıkta nitrürlenmiş numunelerin %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri

Şekil 4.9’da da görüldüğü gibi, işlemsiz numunenin korozyon potansiyeli daha düşük (-750V civarında) ve çok daha yüksek anodik akımlarda aktif davranış gösterdiği görülüyor. En yüksek korozyon potansiyeli 450°C sıcaklıkta ve 4 saat nitrürlenmiş numunede elde edilmiştir. Akım yoğunluğu açısından bakınca en yüksek akım yoğunluğu işlemsiz numunede, en düşük akım yoğunluğunda 450°C sıcaklık ve 4 saat sürede elde edilmiştir. En yüksek pasifleşme bölgesi 450°C sıcaklıkta ve 8 saat nitrürlenmiş numunede görülmüştür.

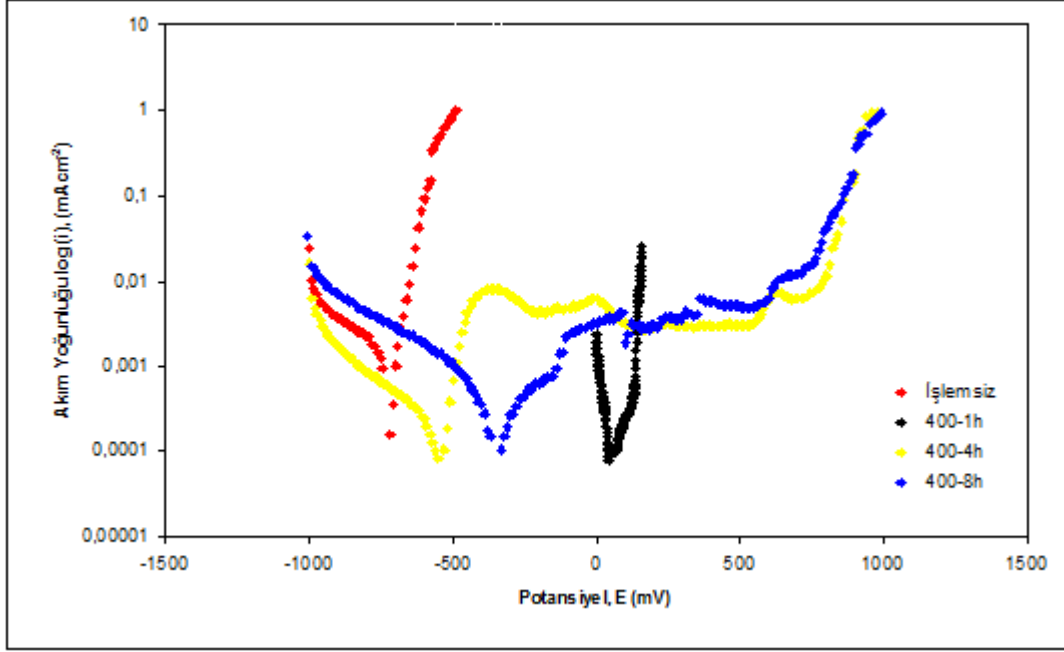
Şekil 4.10’de 500°C sıcaklıkta nitrürlenmiş numunelerin %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri verilmiştir.



Şekil 4.10. 500°C sıcaklıkta nitrürlenmiş numunelerin %3,5 NaCl çözeltisi içerisindeki polarizasyon eğrileri

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, işlemsiz numunenin korozyon potansiyeli daha düşük (-750V civarında) ve çok daha yüksek anodik akımlarda aktif davranış gösterdiği görülüyor. En yüksek korozyon potansiyeli de 500°C sıcaklıkta ve 8 saat sürede nitrürlenmiş numunede elde edilmiştir. Akım yoğunluğu açısından bakınca en yüksek akım yoğunluğu işlemsiz numunede, en düşük akım yoğunluğunda 500°C sıcaklık ve 1 saat sürede elde edilmiştir. En yüksek pasifleşme bölgesi 500°C sıcaklık ve 8 saat sürede nitrürlenmiş numunede görülmüştür.

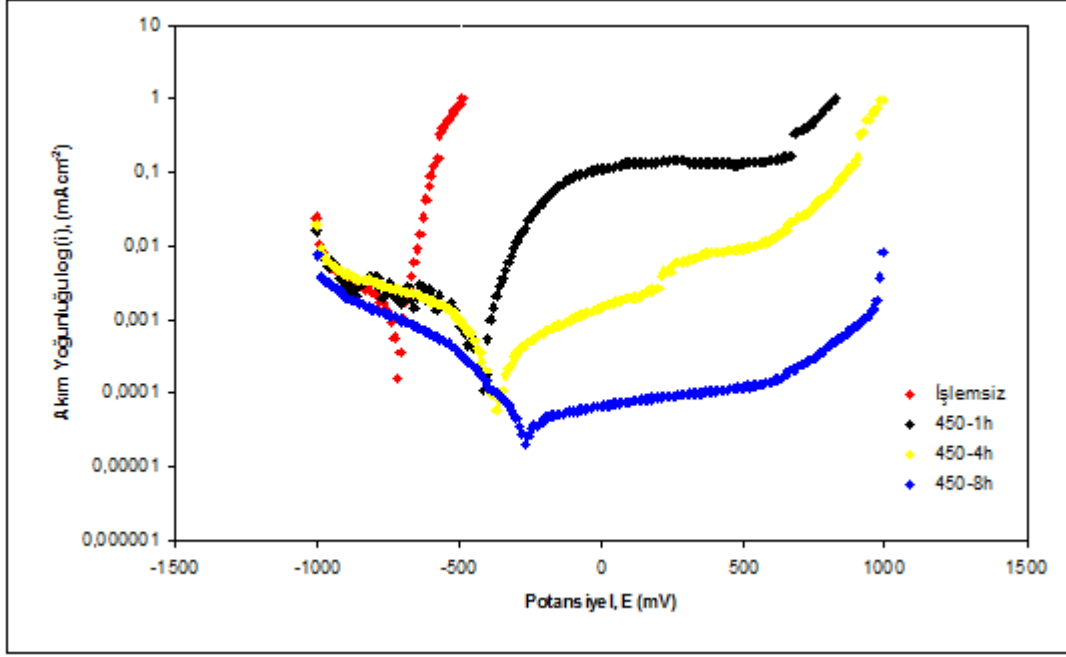
Aşağıda nitrürlenmiş numuneler %3,5 NaCl çözeltisine konulup içerisinde azot verilerek yapılan korozyon deneyi polarizasyon eğrileri verilmiştir. Şekil 4.11'de 400°C'de %3,5 NaCl çözeltisine N₂ gazı verilerek korozyona uğratılmış numunelerin polarizasyon eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.11. 400°C’de %3,5 NaCl çözeltisine N₂ gazı verilerek korozyona uğratılmış numunelerin polarizasyon eğrileri

Şekil 4.11’de de görüldüğü gibi, işlemsiz numunenin korozyon potansiyeli daha düşük (-750V civarında) ve çok daha yüksek anodik akımlarda aktif davranış gösterdiği görülüyor. En yüksek korozyon potansiyeli de 400°C sıcaklık ve 1 saat sürede elde edilmiştir. Nitritleme süresi ile korozyon potansiyeli orantılı şekilde değişmemiştir. Akım yoğunluğu açısından bakınca en yüksek akım yoğunluğu işlemsiz numunede, en düşük akım yoğunluğuda 400°C sıcaklık ve 4 saat sürede elde edilmiştir.

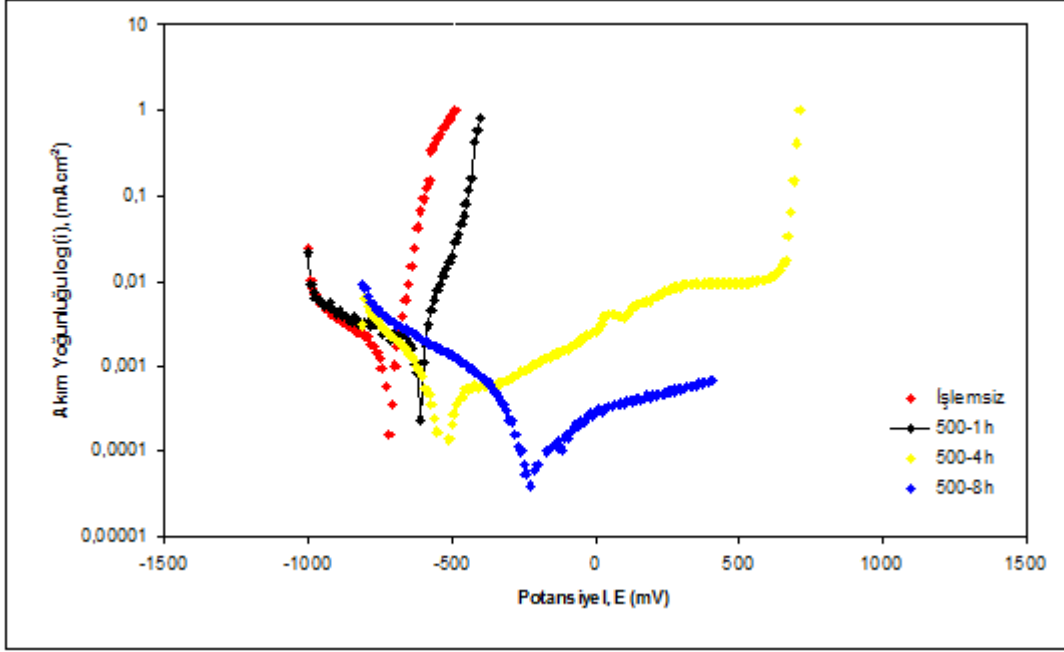
Şekil 4.12’de 450°C’de %3,5 NaCl çözeltisine N₂ gazı verilerek korozyona uğratılmış numunelerin polarizasyon eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.12. 450°C’de %3,5 NaCl çözeltisine N₂ gazı verilerek korozyona uğratılmış numunelerin polarizasyon eğrileri

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi, işlemsiz numunenin korozyon potansiyeli daha düşük (-750V civarında) ve çok daha yüksek anodik akımlarda aktif davranış gösterdiği görülüyor. En yüksek korozyon potansiyeli de 450°C sıcaklık ve 8 saat sürede elde edilmiştir. Genel olarak, nitrüleme süresi arttıkça, korozyon potansiyellerinde artış olmuştur. Akım yoğunluğu açısından bakınca en yüksek akım yoğunluğu işlemsiz numunede, en düşük akım yoğunluğuda 450°C sıcaklık ve 8 saat sürede elde edilmiştir.

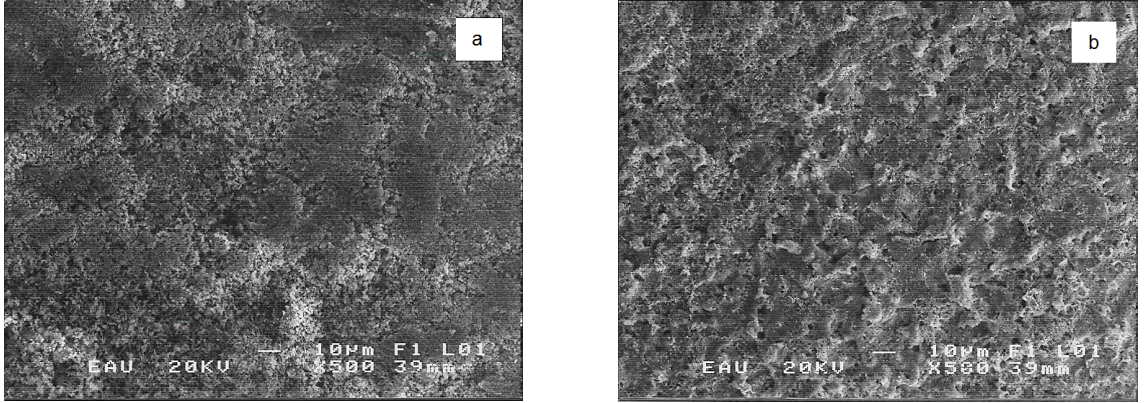
Şekil 4.13’de 500°C’de %3,5 NaCl çözeltisine N₂ gazı verilerek korozyona uğratılmış numunelerin polarizasyon eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 4.13. 500°C’de %3,5 NaCl çözeltisine N₂ gazı verilerek korozyona uğratılmış numunelerin polarizasyon eğrileri nb

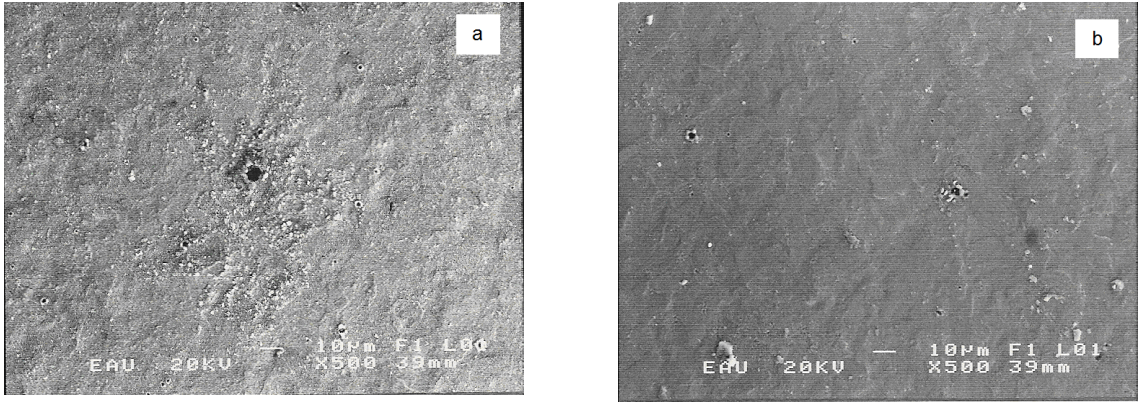
Şekil 4.13’de görüldüğü gibi, işlemsiz numunenin korozyon potansiyeli daha düşük (-750V civarında) ve çok daha yüksek anodik akımlarda aktif davranış gösterdiği görülüyor. En yüksek korozyon potansiyeli de 500°C sıcaklık ve 8 saat sürede elde edilmiştir. Genel olarak, nitrüleme süresi arttıkça, korozyon potansiyellerinde artış olmuştur. Akım yoğunluğu açısından bakınca en yüksek akım yoğunluğu işlemsiz numunede, en düşük akım yoğunluğunda 500°C sıcaklık ve 8 saat sürede elde edilmiştir.

Şekil 4.14,15 ve 16’de, korozyon sonrası işlemsiz ve işlem görmüş numunelerin yüzey SEM görüntüleri verilmiştir.



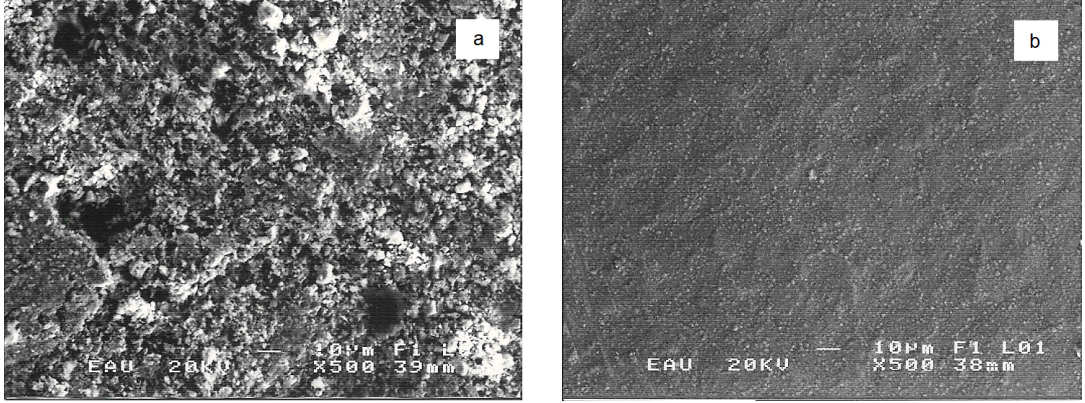
Şekil 4.14. (a) İşlemsiz numunenin azotsuz ortamdaki (b) İşlemsiz numunenin azotlu ortamdaki korozyon sonrası yüzey görüntüleri

İşlemsiz numunelerin azotlu ve azotsuz ortamlarda yapılan korozyon testleri sonrası yüzey görüntüleri verilmiştir. Şekil de görüldüğü gibi azotlu ortamda yapılan deneyde daha iyi sonuç elde edilmiştir.



Şekil 4.15. (a) 400°C-1h nitrülenmiş çeliğin azotsuz ortamdaki (b) azotlu ortamdaki korozyonu

Şekil 4.15'de de görüldüğü gibi 400°C-1 saat nitrülenmiş numunenin azotsuz ortamda yapılan korozyon deneyinde çukurcuk korozyonu meydana gelmiştir. Oluşan pitting çapı bu ortamda daha büyüktür. Azotlu ortamda yapılan korozyon deneyinde ise oluşan pittingler daha küçük çapta ve daha azdır.



Şekil 4.16. (a) 500°C-8 saat nitrülenmiş çeliğin azotsuz ortamdaki (b) azotlu ortamdaki korozyonu

500°C-8 saat nitrülenmiş çeliğin azotsuz ortamda yapılan korozyon deneyinde, nitrüleme sıcaklığının ve süresinin artmasıyla oluşan çukurcukların çapı ve yoğunluğu, 400°C-1 saatte nitrülenmiş numunelere oranla büyük oranda artmıştır. 500°C-8 saatte nitrülenmiş azotlu numunelerde ise her hangi bir pitting oluşumu görülmemiştir. Buna sebep olarak XRD grafiklerine göre 500°C-8 saat nitrülenmiş numunelerde, Fe_4N fazının oluşumu verilebilir.

5. SONUÇLAR

İyon (plazma) nitrürlenmiş AISI 5140 çeliğinin yüzeyi sertleştirilerek mekanik ve korozyon özellikleri incelenmiş ve aşağıda ki sonuçlar elde edilmiştir.

- Plazma ile nitrüleme sonucu yüzeyde iki farklı yapı meydana gelmiştir. Malzeme yüzeyindeki tabaka beyaz tabaka olarak, beyaz tabakanın altında ki tabaka difüzyon tabakası olarak adlandırılır. Beyaz tabaka $Fe_{2-3}N$ ve Fe_4N demir nitrürlerini içermektedir. Oluşan beyaz tabaka kalınlığı yaklaşık olarak 0-15 μm kalınlığındadır. Difüzyon tabakasının yaklaşık 100-600 μm kalınlığındadır.
- Plazma ile nitrürlenmiş malzemenin yüzey sertliğinde işlem sıcaklığı etkilidir. Sertlik incelemeleri sırasında, en yüksek yüzey sertliği 0.5 N_2/H_2 gaz karışım oranında, 500°C sıcaklıkta ve 8h işlem süresinde 600-800 HV; en düşük ise 0.5 N_2/H_2 gaz karışım oranında, 400°C sıcaklıkta 1h işlem süresinde elde edilmiştir.
- Nitrürlenmiş numunelerde korozyon dayanımı artan sıcaklık ve işlem süresiyle genel olarak artmaktadır. En düşük korozyon direnci 400°C işlem sıcaklığı ve 1saat sürede elde edilmiştir.
- En yüksek korozyon direnci 500°C işlem sıcaklığı ve 8 saatte nitrürlenmiş numunede elde edilmiştir.
- Sadece %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde yapılan korozyon deneyleriyle, %3,5 NaCl çözeltisi içerisine N_2 gazı verilerek yapılan deneyler karşılaştırıldığında, N_2 gazının korozyona olumlu etkisi olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Alsaran, A., 2001. Dupleks Yüzey İşlemi Uygulanmış AISI 5140 Çeliğinin Yapısal, Mekanik Ve Tribolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Alsaran, A. and Altun H. and Karakan M. and Çelik A.,2004, Effect of post-oxidizing on tribological and corrosion behaviour of plasma nitrided AISI 5140 steel. *Surface and Coatings Technology* 176, 344–348
- Alsaran, A. and Çelik A. and Çelik C.,2002. Determination of the optimum conditions for ion nitriding of AISI 5140 steel. *Surface and Coatings Technology* 160, 219–226
- Berghaus, B., 1932. German Patent DRP 668, 669
- Berghaus, B., 1939. German Patent DRP 851, 540
- Basu, A. and Dutta Majumdar J. and Alphonsa J. and Mukherjee S. and Manna I., 2008. Corrosion resistance improvement of high carbon low alloy steel by plasma nitriding. *Materials Letters* 62, 3117–3120
- Corengia, P. and Ybarra G. and Moina C. and Cabo A. and Broitman E., 2004. Microstructure and corrosion behaviour of DC-pulsed plasma nitrided AISI 410 martensitic stainless steel. *Surface & Coatings Technology* 187, 63– 69
- Çelik, A. and Karakan M. and Alsaran A.,2000. Gaz Karışımlarının İyon Nitrürleme Üzerine Etkisinin Araştırılması. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2/2, 87-94
- Çelik, A. and Alsaran A. and Karakan M., 2002. Plazma İle Termokimyasal Yüzey İşlemleri. *Mühendis ve Makine*, 43/510, 17-21.
- Edenhofer, B., 1974b. Physical and Metallurgical Aspect of Ionitriding. *Heat Treatment of Metals*, 2, 59-67.
- Gavgalı, M. and Çelik A. and Efeoğlu İ. and Demir Ü., 1999. İyon Nitrürlenmiş AISI 8620 Çeliğinin Korozyon Davranışının İncelenmesi. *Makina-İmalat Teknolojileri Sempozyumu*, 14 -15 Ekim 1999, KONYA
- Gil, L. and Brühl S. and Jiménez L. and Leon O. and Guevara R. and Staia M. H., 2006. Corrosion performance of the plasma nitrided 316L stainless steel. *Surface & Coatings Technology* 201, 4424–4429
- Karadeniz, S., 1990. Plazma Tekniği. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No:137.
- Lorin, G., 1974. Phosphating of Metals, Finishing Publications, Middlesex.
- Li, C. X. and Bell T.,2006. Corrosion properties of plasma nitrided AISI 410 martensitic stainless steel in 3.5% NaCl and 1% HCl aqueous solutions. *Corrosion Science* 48, 2036–2049
- Nosei, L. and Farina S. and Ávalos M. and Náchez L. and Gómez B.J. and Feugeas J., 2008. Corrosion behavior of ion nitrided AISI 316L stainless steel. *Thin Solid Films* 516, 1044–1050
- O'Brien, J., Goodman, D., 1991. ASM vol4 Heat Treating - Plasma (Ion) Nitriding of Steels. ASM International, 2173 p, USA.
- Özdemir, U. and Erten M., 2003, Plazma (İyon) Nitrürleme ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1/2 (41-48)

- Özgü, B., 2007. Plazma ile Nitriřlenmiř CoCrMo İmplant Malzemenin Yapısal ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Strafford, K.N., Smart, R.C., Sare, I. and Subramain, C., 1995. Surface Engineering. Technomic Publishing Company, USA.
- Staines, A.M., 1985. Thermochemical Treatment in a Glow Discharge Environment. Surface Engineering, December, 739-744.
- Totik, İ. and Alsaran A. and Yetim F. and Efeoğlu İ., 2007. Effect of Plasma Nitriding and Manganese Phosphate Coating On Wear Behaviour of AISI 5140 Steel. Mühendis ve Makine, 50/595, 34-38.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Artvin/Yusufeli'nde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 1999 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2003 yılında bu bölümden mezun oldu. 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Mezuniyetten sonra 2 yıl kadar doğalgaz sektöründe çalıştı. 2007 yılında Karayolları 12. Bölge Müdürlüğünde göreve başladı. Halen Karayollarındaki görevine devam etmektedir.