

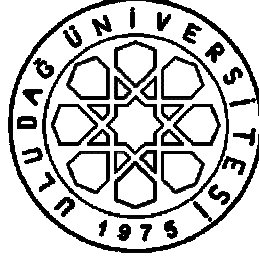
T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI ŞARTLARDA PLAZMA NİTRÜLENMİŞ
ÇELİKLERİN AŞINMA DAVRANIŞININ
BELİRLENMESİ**

Şükrü TOPÇU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BURSA -2010



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI ŞARTLARDA PLAZMA NİTRÜLENMİŞ
ÇELİKLERİN AŞINMA DAVRANIŞININ
BELİRLENMESİ**

Şükrü TOPÇU

Prof.Dr. Ali BAYRAM

(Danışman)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

BURSA -2010

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI ŞARTLARDA PLAZMA NİTRÜLENMİŞ ÇELİKLERİN AŞINMA
DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ

Şükrü TOPÇU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez/...../2010... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Ali BAYRAM

.....
Danışman

Prof.Dr.Nurettin YAVUZ

.....

Prof.Dr.Recep EREN

.....

ÖZET

Bu çalışmada nitrüleme işlemleri için ostenitik AISI 304, martenzitik AISI 420, ferritik AISI 430 paslanmaz çelikler kullanılmıştır. AISI 304, AISI 420 ve AISI 430 paslanmaz çelik numuneleri tekil olarak 570 °C de 90 dakika tuz nitrasyon , 570 °C de 13 saat gaz nitrasyon , 450 °C de 8 saat süreyle plazma nitrüleme ve 520 °C de 8 saat plazma nitrüleme işlemine tabi tutulmuştur. Nitrülenen malzemelerin aşınma davranışı ball on disc yöntemi ile incelenmiştir. Ayrıca korozyon davranışları da tuzlu sis kabini de incelenmiştir. Dene y numunelerinde nitrüleme işleminin yüzey sertlik değerlerine etkisini ve mikroyapıyı incelemek amacıyla sertlik ölçümü yapı lıp daha sonra da ğlama işle mi yapı lmıştır. Aşınma testlerine tabi tutulan numunelerin yüzeyleri Scanning electron mikroskobunda incelenmiştir.

Yapılan incele me ve testler neticesinde en yüksek sertlik değerine sahip numunenin 520 °C de plazma nitrülenen AISI 430 numunesinde oluştu ğu gözlemlenmiştir. Aşınma değerlendirmesi yapı ldığında en yüksek aşınma dayanımının AISI 430 numunesinde 570 °C de tuz nitrüleme işleminde oluştu ğu gözlemlenmiştir. Korozyon dayanımında en yüksek dayanıma 450 °C de plazma nitrülenen AISI 304 numunesinde gerçekleşti ği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plazma nitrüleme, gaz nitrüleme, tuz nitrüleme, korozyon, aşınma

ABSTRACT

In this study for nitriding operations austenitic AISI 304 , martensitic AISI 420, ferritic AISI 430 stainless steels were used. AISI 304, AISI 420 and AISI 430 stainless steel samples as singularly exposed to 570 °C during 90 minutes salt bath nitriding, at 570 °C gas nitriding during 13 hours, at 450 °C during 8 hours plasma nitriding and at 520 °C during 8 hours plasma nitriding operations. For the nitrided materials wear behaviours examined by ball on disc test method. Also corrosion behaviours examined in salt spray test cabinet. In order to evaluate the hardness values and microstructure by the effect of nitriding operations after hardness measurement branding operation was applied. To the wear test exposed specimen surfaces examined in Scanning electron microscope.

At the end of performed tests highest hardness value observed at AISI 430 sample which was plasma nitrided at 520 °C. Regarding wear evaluation test highest wear resistance value observed at AISI 430 sample which was salt bath nitrided at 570 °C. In corrosion resistance observed highest corrosion resistance at AISI 304 sample which was plasma nitrided at 450 °C .

Key Words: Plasma nitriding, gas nitriding, salt bath nitriding, corrosion, wear

İÇİNDEKİLER	sayfa
Özet	i
Abstract	ii
İçindekiler	iii
Çizelgeler Dizini	vi
Şekiller Dizini	ix
1- GİRİŞ	1
2- KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Tribolojik Performans Artırıcı Yüzey Bölgesi İşlemleri	6
2.1.1. Alev ile yüzey bölgesinin sertleştirilmesi	6
2.1.2. İndüksiyon ile yüzey bölgesinin sertleştirilmesi	6
2.1.3. Lazer ile yüzey bölgesinin sertleştirilmesi	7
2.1.4. Çeliklerin sementasyonu	7
2.1.4.1. Katı ortam sementasyonu	8
2.1.4.2. Tuz banyosunda sementasyon	8
2.1.4.3. Gaz atmosferinde sementasyon	8
2.1.5. Çeliklerin nitrülenmesi	9
2.1.5.1. Gaz atmosferinde nitrasyon	9
2.1.5.2. Tuz banyosunda nitrasyon	10
2.1.6. Borlama	12
2.1.7. Sert kromlama	12
2.1.8. Plazma nitrüleme	12
2.1.9. Plazma nitrüleme sonucu yapı	15

2.1.9.1. Beyaz tabaka	16
2.1.9.2. Difüzyon tabakası	17
2.2. Aşınma	18
2.2.1. Aşınma türleri	19
2.2.1.1. Abrazif aşınma	19
2.2.1.2. Difüzyon Aşınması	19
2.2.1.3. Oksidasyon Aşınması	19
2.2.1.4. Yorulma Aşınması	19
2.2.1.5. Adeziv aşınma	19
2.3. Korozyon	20
2.3.1.Korozyon türleri	21
2.3.2. Yüzeylerde aşınma korozyonu	22
2.3.3. Oyuklu korozyon (pitting)	22
2.3.4. Çatlak korozyonu	22
2.3.5. Gerilim yırtılması korozyonu	22
2.3.6. Titreşim nedeniyle yırtılma korozyonu	23
2.3.7. Kristaller arası korozyon	23
2.3.8. Bimetal korozyonu	24
3- MATERYAL ve YÖNTEM	24
3.1. Deney Malzemeleri	24
3.1.1. Ferritik paslanmaz çelikler	25
3.1.2. Martensitik paslanmaz çelikler	25
3.1.3. Ostenitik paslanmaz çelikler	26
3.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Nitrürleme İşlemleri	27

3.2.1. Numunelerin hazırlanması	27
3.2.2. Nitrüleme İşlemleri	28
3.2.2.1. Deney numunelerinin gaz nitrasyonu	28
3.2.2.2. Deney numunelerinin tuz nitrasyonu	29
3.2.2.3. Deney numunelerinin plazma nitrülenmesi	29
3.3.Korozyon Testleri	31
3.3.1.Çevrim testleri	31
4- ARAŞTIRMA SONUÇLARI	32
4.1 Korozyon Dayanımı	33
4.2. Mikrosertlik	38
4.3. Mikroyapı	40
4.4. Aşınma	44
5- SONUÇLAR	58
6- KAYNAKLAR	59
7-TEŞEKKÜR	63
8- ÖZGEÇMİŞ	64

ÇİZELGELER DİZİNİ		sayfa
Çizelge 3.1	Nitrüleme çalışmasında kullanılan malzemelerin analiz değerleri	25
Çizelge 4.1	Farklı şartlarda nitrüleme işlemi uygulanan deney numunelerinde kütle kaybı değerleri	46
Çizelge 4.2	Nitrüleme deneyinde kullanılan deney numunelerinin poisson, elastiklik modülü ve hertz temas basıncı değerleri	46
Çizelge 4.3	Aşınma deneyinde kullanılan bilyenin özellikleri	47

ŞEKİLLER DİZİNİ		sayfa
Şekil 2.1	Plazma ile nitrürleme işleminin demir esaslı malzemeler için mekanizması	13
Şekil 2.2	Plazma nitrürasyon ünitesinin şematik gösterimi	14
Şekil 2.3	Alaşım elementlerinin çeliğin nitrürasyonu sonrası sertliğe etkisi	14
Şekil 2.4	Plazma nitrürleme sonrası oluşan iç yapılar	16
Şekil 2.5	Modifiye olmuş bölge ile mikro sertlik arasındaki ilişki	16
Şekil 2.6	SAE 1050 çeliğinden imal edilmiş dişlilerin plazma nitrürleme fırınında işlem sırasındaki görüntüsü	18
Şekil 2.7	Dizel araçlarda kullanılan krank millerinin plazma nitrürleme işlemi sırasındaki görüntüsü	18
Şekil 2.8	Korozyona uğramış civataların görüntüsü	21
Şekil 3.1	Gaz nitrürleme ünitesi	28
Şekil 3.2	Tuz Nitrürleme Ünitesi	29
Şekil 3.3	Plazma nitrürleme ünitesi	30
Şekil 3.4	Plazma nitrürleme fırını içerisindeki parçaların görüntüsü	30
Şekil 3.5	Tuzlu sis test kabini	32
Şekil 4.1	AISI 304 450 0C de plazma nitrürlenmiş numune	34
Şekil 4.2	AISI 304 Plazma Nitrürleme 450 0C de 690 saat sonundaki görüntüsü	34
Şekil 4.3	AISI 420 450 0C de plazma nitrürlenmiş numune	34
Şekil 4.4	AISI 420 Plazma Nitrürleme 450 0C de 165 saat sonundaki görüntüsü	34
Şekil 4.5	AISI 430 450 0C de plazma nitrürlenmiş numune	34
Şekil 4.6	AISI 430 Plazma Nitrürleme 450 0C de 165 saat sonundaki görüntüsü	34
Şekil 4.7	AISI 304 520 0C de plazma nitrürlenmiş numune	35
Şekil 4.8	AISI 304 Plazma Nitrürleme 520 0C de 68 saat sonundaki görüntüsü	35
Şekil 4.9	AISI 420 520 0C de plazma nitrürlenmiş numune	35
Şekil 4.10	AISI 420 Plazma Nitrürleme 520 0C de 165 saat sonundaki görüntüsü	35
Şekil 4.11	AISI 430 520 0C de plazma nitrürlenmiş numune	35
Şekil 4.12	AISI 430 Plazma Nitrürleme 520 0C de 237 saat sonundaki görüntüsü	35
Şekil 4.13	AISI 304 570 0C de tuz nitrürlenmiş numune	36
Şekil 4.14	AISI 304 Tuz Nitrürleme 570 0C de 327 saat sonundaki görüntüsü	36
Şekil 4.15	AISI 420 570 0C de tuz nitrürlenmiş numune	36
Şekil 4.16	AISI 420 Tuz Nitrürleme 570 0C de 327 saat sonundaki görüntüsü	36

Şekil 4.17	AISI 430 570 0C de tuz nitrülenmiş numune	36
Şekil 4.18	AISI 430 Tuz Nitrüleme 570 0C de 327 saat sonundaki görüntüsü	36
Şekil 4.19	AISI 304 570 0C de gaz nitrülenmiş numune	37
Şekil 4.20	AISI 304 Gaz Nitrüleme 570 0C de 237 saat sonundaki görüntüsü	37
Şekil 4.21	AISI 420 570 0C de gaz nitrülenmiş numune	37
Şekil 4.22	AISI 420 Gaz Nitrüleme 570 0C de 68 saat sonundaki görüntüsü	37
Şekil 4.23	AISI 430 570 0C de gaz nitrülenmiş numune	37
Şekil 4.24	AISI 430 Gaz Nitrüleme 570 0C de 68 saat sonundaki görüntüsü	37
Şekil 4.25	AISI 304 mikrosertlik değerleri	39
Şekil 4.26	AISI 420 mikrosertlik değerleri	39
Şekil 4.27	AISI 430 mikrosertlik değerleri	39
Şekil 4.28	AISI 304 450 0C Plazma Nitrüleme	40
Şekil 4.29	AISI 420 450 0C Plazma Nitrüleme	40
Şekil 4.30	AISI 430 450 0C Plazma Nitrüleme	41
Şekil 4.31	AISI 304 520 0C Plazma Nitrüleme	41
Şekil 4.32	AISI 420 520 0C Plazma Nitrüleme	42
Şekil 4.33	AISI 430 520 0C Plazma Nitrüleme	42
Şekil 4.34	AISI 304 570 0C Gaz Nitrüleme	42
Şekil 4.35	AISI 420 570 0C Gaz Nitrüleme	43
Şekil 4.36	AISI 430 570 0C Gaz Nitrüleme	43
Şekil 4.37	AISI 430 570 0C Gaz Nitrüleme	43
Şekil 4.38	AISI 304 570 0C Tuz Nitrüleme	43
Şekil 4.39	AISI 304 570 0C Tuz Nitrüleme	43
Şekil 4.40	AISI 420 570 0C Tuz Nitrüleme	44
Şekil 4.41	AISI 430 570 0C Tuz Nitrüleme	44
Şekil 4.42	AISI 430 570 0C Tuz Nitrüleme	44
Şekil 4.43	AISI 304 450 0C Plazma Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı	48
Şekil 4.44	AISI 420 450 0C Plazma Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı	48
Şekil 4.45	AISI 430 450 0C Plazma Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı	48
Şekil 4.46	AISI 304 520 0C Plazma Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı	49
Şekil 4.47	AISI 420 520 0C Plazma Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı	49
Şekil 4.48	AISI 430 520 0C Plazma Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı	49
Şekil 4.49	AISI 304 570 0C Gaz Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı	50
Şekil 4.50	AISI 420 570 0C Gaz Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı	50

Şekil 4.51	AISI 430 570 0C Gaz Nitrürleme Ortalama Sürtünme Katsayısı	50
Şekil 4.52	AISI 304 570 0C Tuz Nitrürleme Ortalama Sürtünme Katsayısı	51
Şekil 4.53	AISI 420 570 0C Tuz Nitrürleme Ortalama Sürtünme Katsayısı	51
Şekil 4.54	AISI 430 570 0C Tuz Nitrürleme Ortalama Sürtünme Katsayısı	51
Şekil 4.55	AISI 304 450 0C Plazma Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü	52
Şekil 4.56	AISI 420 450 0C Plazma Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü	52
Şekil 4.57	AISI 430 450 0C Plazma Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü	53
Şekil 4.58	AISI 304 520 0C Plazma Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü	53
Şekil 4.59	AISI 420 520 0C Plazma Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü	54
Şekil 4.60	AISI 430 520 0C Plazma Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü	54
Şekil 4.61	AISI 304 570 0C Gaz Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü	55
Şekil 4.62	AISI 420 570 0C Gaz Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü	55
Şekil 4.63	AISI 304 570 0C Tuz Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü	56
Şekil 4.64	AISI 420 570 0C Tuz Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü	56
Şekil 4.65	AISI 430 570 0C Tuz Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü	57

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Modern bir yüzey sertleştirme yöntemi olan plazma nitrürasyonu, günümüzde çelik, dökme demir, titanyum ve sinterlenmiş ürünlerde geniş ölçüde kullanılmaktadır (Saraçoğlu 2007). Makine elemanları kendilerinden beklenen fonksiyonları yerine getirirken, parçaların yüzeyleri iç kısımlarına nazaran daha yüksek gerilme ve daha yüksek aşındırıcı kuvvetlere maruz kalır. Bu gerilme ve kuvvetler malzemenin yüzey dayanım sınırını aşınca malzeme yüzeyinde kırılmalar başlar ve böylece aşınma ve korozyon oluşur. Bu nedenle daha uzun bir ömür için bu tür etkilere maruz kalan malzemelerin yüzey dayanımları arttırılmalıdır. Plazma nitrürleme yöntemi bu amaçla kullanılan bir yöntemdir. Özellikle otomotiv sanayinde, metalürji sektöründe ve takım imalat sanayinde uygulama alanı bulan plazma nitrürleme yöntemi, çeliklerin yüzey sertleştirilmesinde yaygınca kullanılmaktadır.

Kullanım amaçlarına bağlı olarak; yüzeyi sert ve aşınmaya dayanıklı, buna karşılık içyapılarının sünek olması arzu edilen çelik malzemelerde yüzey sertleştirme yöntemi uygulanır. Bunun için, malzeme yüzeyinde istenilen derinliğe kadar sertleşme sağlayan, sünek içyapıyı etkilemeyen değişik yüzey sertleştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Yüzey sertleştirme yöntemleri incelendiğinde sertleştirilen malzeme özellikleri, arzu edilen sertlik değeri ve derinliği, uygulanabilirlik, malzemenin kullanım şartları ve gelişen teknolojiye bağlı olarak çok değişik yüzey sertleştirme yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir.

Normal şartlarda yeterli düzeyde sertlik elde edilemeyen çeliklerin yüzeyine karbon verilerek sertleştirilmenin yapıldığı sementasyon yöntemi, iyi sertleşme kabiliyeti olan çeliklerin arzu edilen sertleşme derinliğine kadar olan kısmının ostenitleme sıcaklığına kadar ısıtılıp aniden soğutulduğu alevle yada indüksiyonla yüzey sertleştirme, yüzeye sertlik arttırıcı element atomlarının nüfuz ettirildiği nitürasyon yöntemi bunlardan bazılarıdır. Bunların dışında; yüzeyin sert bir malzeme ile kaplanması, yüzeye çelik püskürtülerek veya haddelenerek yüzey sertliğinin arttırılması da uygulanan yöntemler arasındadır (Özdemir ve Erten 2003).

1960'lı yıllardan itibaren uygulama alanı bulan plazma nitrürleme, diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine göre nispeten yeni bir yöntem olmakla birlikte, günümüze pek çok alanda uygulanmaktadır. Bunun temel nedeni diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine göre sağlamış olduğu üstünlüklerdir. Bu üstünlükler içinde en önemlileri kuşkusuz, sadece iş parçasının ısıtılması ve aynı yüzey sertliği için işlem süresinin daha kısa olması nedeniyle sağlanan enerji tasarrufudur. Bunun yanı sıra; işlem sırasında ölçü değişimi ve deformasyon riskinin minimum düzeyde olması, düşük basınçlarda çalışıldığından gaz tasarrufunun maksimum düzeyde olması, nitrürasyon yapılması istenilmeyen yani sertleşmesi istenilmeyen yüzeylerin mekanik olarak izolasyonunun mümkün olması, gaz veya diğer atıklarla çevreyi kirletmemesi, insan sağlığı açısından zararlı olmaması, nitrürleme parametrelerinin dolayısıyla işlemin otomasyona uyumlu olması, iş parçası üzerindeki tüm girinti, çıkıntı ve delikler üzerinde homojen bir azot difüzyonunun sağlanabilmesi, nitrürlenecek parçanın büyüklüğü ve ağırlığının önemli olmaması da bu yöntemin sağlamış olduğu diğer üstünlüklerdir. Plazma nitrürleme yönteminin sağlamış olduğu bir diğer önemli avantaj, nitrürleme sonrasında nitrürlenmiş yüzeyde sağlanan tribolojik özelliklerdeki iyileşmelerdir. Bu durum özellikle sürtünme nedeniyle hasara uğrayan ya da sürtünme nedeniyle ekonomik ömürlerini tamamlayan makine elemanları açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle; plazma nitrürleme yöntemiyle malzemelerin tribolojik özelliklerinin iyileştirilmesi önemli bir inceleme alanı olarak karşımıza çıkmaktadır (Özdemir ve Erten 2004). Plazma nitrürlenmiş sıcak dövme kalıplarının ömürlerinin, nitrürleme yapılmamış kalıpların ömürlerine oranla önemli ölçüde arttırılabileceği gösterilmiştir (Çapa ve Tamer 2000). AISI 420 nin zayıf aşınma dayanımı nedeniyle iyileştirilmesi gerekmektedir. Günümüzde yüzey teknolojisindeki ilerlemeler sayesinde martenzitik paslanmaz çeliklere ostenitik çeliklere uygulanan plazma nitrürleme ve iyon implantasyon prosesi uygulanabilmektedir.

Plazma nitrürleme metallerin yüzeyini sertleştirmek, aşınmayı, sürtünmeyi ve korozyon dayanımını amacıyla oluşturulmuş bir metot dur. Bu termokimyasal bir proses olup hedef malzemenin yüzeyinin içine nitrojen atomu difüzyonunun sokulmasıyla metal elemanlarda sert nitrür oluşturulmaktadır. Plazma nitrürleme prosesinde konvansiyonel nitrürlemenin aksine hedef malzeme içerisine sürekli olarak elektriksel boşalmada nötr iyon akışı gerçekleşmektedir. Nitrojen iyon implantasyonu ve mikro

çarpımlı plazma nitrüleme prosesi nedeniyle sertlik, aşınma dayanımı ve gücü iyileşmektedir (Xi ve Liu 2007). Genel olarak nitrüleme sıcaklığı nispeten kalın tabakanın elde edilmesi için 500 °C nin üzerinde gerçekleşmektedir fakat ostenitik paslanmaz çelikler 450 °C üzerinde CrN oluşumu neticesinde sert yapıdan krom uzaklaşmaktadır. Yapıda kromun eksikliği ile paslanmaz çelikte korozyon dayanımında kayıplar gerçekleşir. Bunun akabinde ostenitik paslanmaz çelikler için herhangi bir nitrüleme prosesi yüzeydeki kalın tabakayı artırırken korozyon dayanımını düşürür. 400 °C civarında yapılan nitrüleme işlemi paslanmaz çeliğin korozyon dayanımına olumsuz bir etki yapmamaktadır. Bu sebeptendir ki plazma nitrüleme 400 °C üzerinde malzeme yüzeyine azot sokulmasıyla yüzey sertliğinde iyileşme sağlanabilmektedir (Trabzon ve İğdil 2005). Malzemenin özellikleri ve mikro yapısı arasında yakın ilişki olduğundan değişen proses parametreleri yapıyı etkileyebilmekte, kompozisyon ve bununla birlikte nitrürlenmiş tabakada özellikler değişmektedir (Wang ve Ji 2005).

Martenzitik paslanmaz çeliklerde nitrüleme işlemi neticesinde yüzeyin 20–30 µm derinliğindeki tabakanın yüzey sertliği çeliğin orijinal sertliğine göre 3-4 kat daha fazla sertlik göstermektedir (Tuckart ve Forlerer 2007). Plazma nitrüleme ile orijinal komponentin yüzeyine önemli etki olmaktadır yüzey nitrüleme sırasında ve nitrülemeden sonraki özelliklerinde (Özdemir ve Erten 2006). Yüksek oranda azot gazının kullanılması yüksek yüzey sertliğinin ve derinliğinin oluşumunu sağlar. Hidrojen gazının artışı yüzey pürüzlülüğünü artırdığından yüksek azot konsantrasyonlu gazın kullanılması tavsiye edilmektedir (Epik 2004).

Düşük sıcaklık plazma nitrüleme sadece yüzey sertlik değerini artırmamakta aşınma ve erozyon dayanımını artırmaktadır. AISI 420 çeliğinin yorulma dayanımı 350 °C de iyileştirilebilir (Çetin ve Tek 2007). 350 °C düşük sıcaklık plazma nitrüleme ile AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin korozyon dayanımı önemli derecede iyileştirilebilir (Yun-tao ve Dao-xin 2008).

Plazma nitrürlenmiş ostenitik paslanmaz çeliklerin sertlik ve derinliği proses sıcaklığına bağlı olduğu bulunmuştur. Yüzey sertliği orijinal malzemeye göre karşılaştırıldığında 450 °C de nitrülemede 6-7 kat yükseltilebilir (Liang 2003).

2.1. Tribolojik Performans Artırıcı Yüzey Bölgesi İşlemleri

Özellikle otomotiv sanayisinin bütün dallarında, tekstil makineleri ve ağır sanayi makine ve sistemlerinde izafi hareket yapan bir çok parçalar sürtünme ve aşınma zorlanmalarına maruz kalırlar. Böyle parçaların teknik ömürleri genellikle aşınma dayanımları ile sınırlanır. Sürtünme ve aşınma olayları ise teknik parçaların yüzey bölgesinde cereyan eder. Tribolojik zorlanmalara (özellikle abrasiv aşınma zorlanmasına) maruz malzemelerin sadece yüzey bölgesinin sert ve aşınmaya dayanıklı olması gerekli ve yeterlidir. Yüksek ivmeli hareket eden veya darbeli yüklemeler altında çalışması gereken parçaların ise tam tersine sertlik kaybı pahasına tokluk (süneklik) kazanması beklenir. Birbirine zıt yönde gelişen bu mekanik özellik değerlerinin aynı parçada, en yüksek derecede birleştirilmesi yüzey sertleştirme yöntemleri ile mümkün olur (Demirci 2004).

2.1.1. Alev ile yüzey bölgesinin sertleştirilmesi

Proses genellikle fırında ısıtılması pratik olmayan veya parça üzerindeki lokal yüzey bölgesi sertleştirmelerinde kullanılan bir yöntemdir. İşlem parçanın yüzey bölgesinin oksit-asetilen veya oksit- hidrojen vb hamlacı kullanılarak direkt olarak yüksek sıcaklık alevinin yüzey bölgesine tatbik edilmesi ile yüzey bölgesi sıcaklığının ostenitik bölgeye çıkarılması ve akabinde yüzey bölgesinde martenzitik sert yapı teşekkülü için hızla soğutulması (su verme) şeklinde gerçekleştirilir. İşlem kontrolü tamamen manuel olarak tatbik eden operatörce yapıldığı için ustalık gerektiren ve homojenik açısından güvenilirliği düşük yöntemdir (Saraçoğlu 2007). Sertleşme derinliği alevin sıcaklığına ve ısıtma süresine bağlıdır (Demirci 2004).

2.1.2. İndüksiyon ile yüzey bölgesinin sertleştirilmesi

İndüksiyonla yüzey sertleştirme işlemi malzeme yüzey bölgesinin indüksiyon akımı ile ostenitik yapıya getirilmesi ve yüzey bölgesinde martenzitik yapı oluşturmak için su verilmesi prensiplerine dayanır. Yüzey bölgesinin ısıtılması için parça, yüksek frekanslı alternatif akımın geçtiği bobinler içerisine konulur. Bobinde oluşan hızlı

alternatif manyetik alan parçanın yüzeyinde devamlı akıma neden olur. Bu akımda malzeme elektrik direnci ile birlikte ısının oluşumunu sağlar.

Alternatif akım frekansı ısıtma derinliğini etkiler. Frekansın yükselmesi ısınan yüzey bölgesi derinliğini düşürür (Saraçoğlu 2007). İndüksiyonla yüzey sertleştirme yöntemi düzenek ve işleyiş bakımından alevle sertleştirmeye esasen benzer sadece ısıtma başlıkları farklıdır. Yöntemin yaygın kullanılmaması esas itibarı ile yatırım maliyetinin yüksekliğindedir (Demirci 2004).

2.1.3.Lazer ile yüzey bölgesinin sertleştirilmesi

Lazerde yüzey bölgesi sertleştirmede malzeme yüzey bölgesinde ince bir tabakanın lazer kaynaklı ısı ile ostenitik bölge sıcaklığına getirilip yüzeyde martenzitik yapının oluşumu için soğutulması (su verme) işlem adımları mevcuttur. Soğutma için malzemenin kendisi, işlem gören yüzey bölgesi derinliğinin düşük olması nedeni ile çoğunlukla yeterli olmaktadır. Kompleks geometriye parça yüzey bölgelerinin homojen bir biçimde sertleştirilmesinde başarı ile uygulanabilen bir yöntemdir (Saraçoğlu 2007). İleri teknoloji ürünü olmasından kaynaklanan kullanım sınırlılığı yanında bazı teknik mahzurlarının da olmasına rağmen (maliyet yüksekliği, odaklanmış ince ışın demeti ile taranma zorluğu, işleme yüzeyinde sertleşme izlerinin örtüşmesi ve buna ilişkin gerilme ve çatlama tehlikesi gibi sorunlar lazer ışınlarıyla yüzey sertleştirme yöntemini gelecekte de vazgeçilmez kılacak sebepler vardır: Ayarlanabilirlik ve kontrol hassasiyeti yüksektir (Demirci 2004).

2.1.4. Çeliklerin sementasyonu

Sementasyon işlemi çeliğin yüzey merkezli kübik ostenitik yapıda olduğu üst dönüşüm sıcaklığı olan A3 üzerindeki sıcaklıklarda çeliğe karbon ilave edilmesidir. Fe-C diyagramından da anlaşılacağı üzere alaşımın karbon eritebilirliği 723 °C de yaklaşık %0,8 iken 1148 °C de yaklaşık %2 ye ulaşır. Gerek maliyet gerek ekipman yetersizlikleri nedeni ile uygulamada işlem 850 - 950 °C de gerçekleştirilir. Sementasyon işleminden sonra malzeme yüzey bölgesinde martenzitik yapı

oluşturabilmek için malzemeye ostenitik şartlardan su verilir. Böylece yüzey bölgesi sertleştirilmiş ve iç kısmı tok malzeme elde edilmiş olur (Saraçoğlu 2007).

2.1.4.1. Katı ortam sementasyonu

Parçalar sementasyon yapıcı toz ile karıştırıldıktan sonra hava geçirmeyen kapalı sementasyon kutularında yaklaşık 900 °C 'da tavllanır. Sementasyon da kullanılan tozun bileşimi: odun kömürü, kok veya kemik kömürü ile alkali bileşiklerin 3...6 mm 'lik taneler halindeki karışımı şeklindedir. Yüksek sıcaklıkta CO ve CO₂ den meydana gelen bir gaz karışımı oluşur. Alkali bileşikleri aktivasyon maddeleri olarak tesir ederler; yani sementasyon süresini kısaltırlar. En tesirlileri baryum oksit ve baryum karbonattır (Saraçoğlu 2007).

2.1.4.2. Tuz banyosunda sementasyon

Parçalar bir ön tavlamaya (ısıtmaya) tabi tutulduktan sonra sudan arındırılmış bir tuz eriyiği içerisine asılırlar. Sıcaklık 850...930 °C civarındadır. Kullanılan tuzlar ticari anlamda kolay bulunabilen tuzlardır ve karbon taşıyıcı olarak NaCN ihtiva ederler. Yüksek sıcaklıkta siyanür parçalanarak karbon ve bir miktar azot verir. Azot sementasyonu kolaylaştırır (Saraçoğlu 2007).

2.1.4.3. Gaz atmosferinde sementasyon

Gaz ile sementasyon prensip olarak toz ile sementasyona benzer. Kullanılan sementasyon tozu, sementasyonu sağlayan bir gaz karışımının teşekkül etmesine sebep olur. Bu amaçla fırın sıcaklığı 900 - 950 °C ye çıkartılır. Sementasyon için taşıyıcı gaza belirli oranda hidrokarbon ilave edilir. Bu amaç için en uygun gaz, tüplerde sıvı gaz olarak satılan C₃H₈ dir. Daha sonra parçalar fırına yerleştirilerek karbon kaynağı olarak kullanılmak istenen (metan, bütan, propan vs.) fırına verilir ve C 'un parça içerisine difüze olmasını sağlamak amacıyla bu sıcaklıkta istenen sertleştirme tabakası kalınlığına göre belirli bir süre bekletilir. Yüzeyde istenen sertliğe ulaşabilmesi için, işlem sonrası su verme uygulanır. Böylece dışı sert ve göbek yapısı tok olan bir malzeme elde edilmiş olur (Saraçoğlu 2007).

2.1.5. Çeliklerin nitrürlenmesi

Nitrüleme, çelikler ferritik hacim merkezli kübik yapıda iken çelik yüzey bölgesine atomik yapıda atom N ilave edilmesi olarak özetlenebilir. Diğer yüzey sertleştirme yöntemlerinden ayrılan en önemli özelliği yüzeyde sementit kristalleri yerine bu kristallerden daha sert özelliklere sahip olan nitrür katmanının oluşmasıdır (Serfiçeli 2000). İşlem sıcaklığı ve işlem süresi yöntemin uygulanacağı çelik alışıma ve istenilen yüzey bölgesi derinliğine göre değişmek kaydı ile 495 - 595 °C arasında değişir. İşlem ile malzeme yüzey bölgesinde nitrürler oluşur. Bu nitrürlerin oluşumu yüzey bölgesinde sertlik artışına neden olur. Nitrüleme işlemi, çeliği ostenitik yapıya getirip ardından yüzey bölgesinde martenzitik sert yapının oluşması için su vermeyi gerektirmediği ve işlem esnasında yüzey merkezli kübik-hacim merkezli kübik dönüşümü bulunmadığı için karbürleme ve karbonitrülemeye nispeten çarpılma ve hacim değişimleri yönünden daha kararlı bir işlemdir. Yüzey bölgesinde amonyak gazının $\text{NH}_3 \leftrightarrow \text{N}+3\text{H}$ şeklinde ayrışması ile oluşan atomik azot sıcaklık ve azot konsantrasyonuna bağlı olarak çelik yüzey bölgesine emilir. Yüzey bölgesinde demir nitrürler oluşur. Yüzey bölgesine uygulama prosesindeki hatalar ile aşırı azot transferi gerçekleşebilir. Aşırı azot transferi neticesinde beyaz tabaka olarak bilinen istenmeyen kalın demir nitrür tabakası oluşabilir. Bu nedenle azot sağlama prosesinin beyaz tabaka oluşumunun istenilen seviyede olması adına kontrollü yapılması gerekir (Saraçoğlu 2007).

2.1.5.1. Gaz ortamında nitrasyon

Malzemenin yüzey sertliğini artırmak için yapılan sertleştirme işlemleri uzun yıllardır uygulanmaktadır. Ayrıca işlem sonrası elde edilen tabakaların (beyaz tabaka ve difüzyon tabakası) hassas olarak kontrol edilebilir olması işlem sonrası sert, aşınmaya ve yorulmaya dayanıklı yapı elde edilmesi bu avantajlardandır. Gaz nitrüleme ya NH_3 içeren bir gaz atmosferinde ya da NH_3 ve endotermik üretilmiş CO, N_2 ve H_2 den ibaret bir gaz karışımı içerisinde yapılır (Çelik ve Karakan 2000).

Gaz nitrüleme süresi 50 -100 saat arasında değişebilir, nitrüleme süresi arttıkça yüzeyin sertliği azalır (Evcin 2006). Proses ana olarak amonyakın ayrılması ile kontrol

edilmektedir. Amonyak gazı 500 - 520°C de çelik yüzeyinde reaksiyona girerek ayrışmaya başlamaktadır. Öylelikle oluşan azot çelik yüzeyine difüze olmaktadır. Bileşen tabakası ve difüzyon bölgesi tuz banyosundaki özelliklerin oluşumuna benzer. Bununla birlikte bileşen tabakasının kalınlığı kesin olarak kontrol edilebilir veya tamamen kaldırılabilir. Bu çelik yüzeyini çok sert fakat kırılğan olmayan hale getirir. Bakır kaplama veya özel dayanıklı malzemeler kullanarak nitrürleme istenmeyen bölgeler maskelenebilir ([http://www.struers.com/resources/elements/ %20Notes%20Aluminium%20English.pdf](http://www.struers.com/resources/elements/%20Notes%20Aluminium%20English.pdf) 2009).

Düşük alaşımlı çelikler, takım çelikleri, paslanmaz çelikler, demir gibi birçok metal ve alaşımları bu yöntem ile sertleştirilebilir. Bu malzemelerin plazma nitrülenmesin de genellikle azot ve hidrojen gaz karışımları kullanılmaktadır. Ancak bu karışıma alternatif teşkil edebilecek gaz atmosferleri olarak N + Ar veya N + Ne karışımlarının değişik oranlardaki kompozisyonlarının işlem üzerine etkileri hakkında çalışmalar yapılmıştır (Çelik ve Karakan 2000). Ferritik fazda gerçekleştirilen gaz nitrasyon işlemi alüminyum ekstrüzyon kalıplarında sürtünmeyi azaltarak akışı kolaylaştıran ve elde edilen yüksek yüzey sertliği ile kalıp ömrünü uzatan bir proses olup günümüzde tüm alüminyum ekstrüzyon kalıplarına uygulanan bir yüzey sertleştirme işlemidir (Darbellay 2006). Hidrojen artışı durumunda işlem derinliğini ve yüzey sertliğini yüzeydeki oksit tabakasını kaldırarak artırır. Argonun varlığı yüzey sertliğine tekil veya hidrojenle kombinasyonu neticesinde iyileştirir (Karakan ve Alsaran 2003). Nitrürlemenin amacı olarak;

- Yüksek yüzey sertliği
- Aşınma dayanımı
- Yorulma ömründeki iyileşme
- Korozyon dayanımında iyileşme (paslanmaz malzeme harici) olarak belirtilebilir (Asan 2007).

2.1.5.2. Tuz banyosunda nitrasyon

Nitrürleme metalik malzemelere azotun verilmesi ile yüzey sertliğinin, mekanik özelliklerinin aşınma ve korozyon dayanımını yorulma ömrünü artırdığı kadarıyla iyileştirme sağlayan yüzey işlem tekniğidir (Shen ve Oh 2005). Tuz banyoları, çeliklerin

tam sertleştirilmesinde sertleştirme sıcaklığına ısıtılmasında, sementasyon ve nitrasyon işlemlerinde, gerilim giderme ve diğer tavlama yöntemlerinde, demir olmayan metallerin ısı işlemlerinde endüstride çok kullanılmaktadır.

Özellikle takımların ve hassas yüzey istenen parçaların sertleştirilmeleri tuz banyoları ile daha ekonomik yapılabilmektedir. Keskin ağızlı kesici takımlar ve keskin köşe formu parçaların ısınmadaki deformasyonu önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Parçalar ısınma esnasında tuz banyosuyla direk temasta olduğu için, yüzey korunmasında atmosfer gereği kalmaz. Uygun tuz kullanmak suretiyle reaktif ortamda (sementasyon, nitrasyon) ısı işlem de yapılabilir (Duman 2002). İşlem tuz banyosunda gerçekleşir. Siyanürlü tuzda $570\pm 10^{\circ}\text{C}$ ' de gerçekleşen işlemde, yüzeye azot atomu yayındırılır. Tuzun ısı iletiminin yüksek olması nedeniyle, parça yüzeyi kısa sürede ısınır. 0,5 mm'lik nitrüleme derinliği elde edilebilmesi için yaklaşık 10 h işlem süresi gerekmektedir (Eker 2008). Sıvı nitrüleme de gaz nitrüleme de görülen aşırı temperleme tehlikesi yoktur (Evcin 2006).

Sıvı nitrüleme (erimiş tuz banyosunda) gaz nitrüleme ile benzer sıcaklıklara sahiptir. Bununla birlikte sıvı nitrüleme demir içeren metallere yüksek sıcaklık difüzyon işlemlerinden daha fazla azot ve daha az karbon ilavesini sağlar.

Sıvı nitrüleme prosesi ile birkaç özel modifikasyonla karbonun geniş karbon varyasyonlarına, düşük alaşımlı çeliklere, takım çeliklerine, paslanmaz çeliklere ve dökme demirlere uygulanabilir. Sıvı nitrüleme prosesi ilk olarak yüzeydeki aşınma dayanımının artırılmasında ve yorulma dayanım limitinin artırılmasında kullanılmaktadır. Birçok çelik için korozyon dayanımında iyileştirici etki yapmaktadır. Bu prosesler birçok derin sertleşme gerektiren uygulamalar için ekonomiklik ve performans açısından uygun değildir fakat başarılı bir şekilde diğer ısı işlem tipleri ile yer değiştirebilirler. Genel olarak sıvı nitrüleme ve gaz nitrüleme benzer uygulamalardır. Gaz nitrüleme daha derin sertleştirilme istenen yerlerde tercih edilebilir. Her iki proseste benzer özellikte avantajlara sahiptir, iyileştirilmiş aşınma dayanımı artırılmış yorulma ömrü, daha az çarpılma (Anonim 2004).

2.1.6. Borlama

Borlamada borür ve bor karbürlerin teşekkülü ile sert tabakalar oluşur. İşlem sırasında meydana gelen boyut değişmelerine hakim olunamadığından bu usul yaygınlaşmamıştır. Sertlik değerleri yüksek olduğu için sertleştirilmeden sonra herhangi bir işlemin yapılması güçtür. Borlama için, bugüne kadar pratikte sıvı ve katı borlama maddeleri kullanılmıştır. Sıvı borlama maddesi olarak ergimiş boraks yada ilaveler içeren diğer tuzlar kullanılmaktadır. Borlama sıcaklığı 900 – 1000 °C ve borlama süresi 1 ila 6 saattir. 1 saat borlama süresinde, yaklaşık olarak 0,1 mm tabaka derinliğine ulaşılır. Borlama işlemi, alaşımsız ve alaşımlı çeliklere yapılabildiği gibi, dökme demir, sinter demir, sert metal ve demir olmayan metaller de yapılabilir. (Serfiçeli 2000) Borlamanın tercihe değer önemli yanı, en genel halde tüm demir alaşımlarına uygulanabilir olması ve pahalı malzemeler yerine, aynı teknik dayanımlara sahip borlanmış parçaların teknolojinin çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilmesidir. Borlama ile temel malzeme kompozisyonuna ve uygulama başarısına göre 1500 - 2200 HV mertebesinde yüzey sertliği elde edilebilir (Demirci 2004).

2.1.7. Sert kromlama

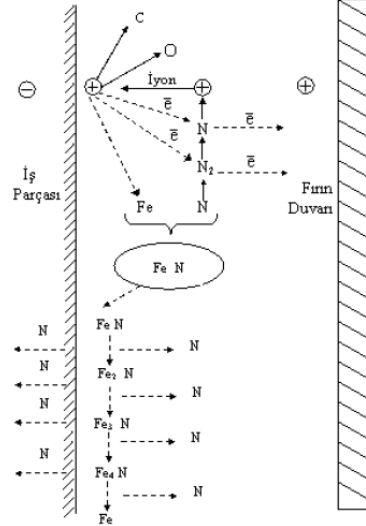
Bu usul aşınan yatakların tamirinde, kumpasların, pres ve püskürtme kalıplarının segmanların aşınmaya karşı korunmasında kullanılır. Metallerin çoğunluğu bu usulle işlenebilir (Eker 2008).

2.1.8. Plazma nitrüleme

Sahip olduğu enerji konumuna göre madde katı, sıvı, gaz, plazma ve daha yüksek enerji konumlu hallere sahip olabilir. Maddenin herhangi bir konumdaki enerjisini değiştirmek suretiyle maddeyi diğer bir konuma geçirmek mümkündür. Örneğin, katı haldeki bir maddeyi o maddeye has özel bir sıvılaştırma (ergitme) enerjisi vermek suretiyle sıvı, sıvı hale de belirli bir buharlaştırma enerjisi vererek gaz ve gaz hale de belirli bir iyonizasyon enerjisi vererek plazma haline geçirmek mümkündür. Bu işlemin tersi yapılarak, yani verilen bu enerjileri maddeden geri alarak maddeyi tekrar eski hallerine geri döndürmek mümkündür (Sever 2003). Teknik vakum üretilmiş bir

ortama N_2 veya NH_3 doldurulduktan sonra iş parçası ve anot arasına yüksek gerilim uygulanarak gaz atmosferinin iyonlaştırılması ve oluşan azot iyonlarının iş parçası üzerine hızlandırılarak çarptırılması ile nitrürleme gerçekleşir.

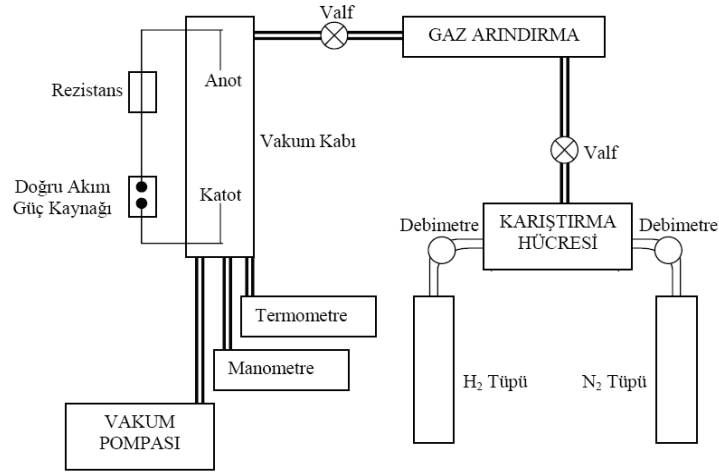
1960'lı yıllardan itibaren uygulama alanı bulan plazma nitrürleme, diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine göre nispeten yeni bir yöntem olmakla birlikte, günümüzde pek çok alanda uygulanmaktadır. Bunun temel nedeni diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine göre sağlamış olduğu üstünlüklerdir. Bu üstünlükler içinde en önemlileri kuşkusuz, sadece iş parçasının ısıtılması ve aynı yüzey sertliği için işlem süresinin daha kısa olması nedeniyle sağlanan enerji tasarrufudur. Bunun yanı sıra; işlem sırasında ölçü değişimi ve deformasyon riskinin minimum düzeyde olması, düşük basınçlarda çalışıldığından gaz tasarrufunun maksimum düzeyde olması, nitrürasyon yapılması istenilmeyen yani sertleşmesi istenilmeyen yüzeylerin mekanik olarak izolasyonunun mümkün olması, gaz veya diğer atıklarla çevreyi kirletmemesi, insan sağlığı açısından zararlı olmaması, nitrürleme parametrelerinin dolayısıyla işlemin otomasyona uyumlu olması, iş parçası üzerindeki tüm girinti, çıkıntı ve delikler üzerinde homojen bir azot difüzyonunun sağlanabilmesi, nitrürlenecek parçanın büyüklüğü ve ağırlığının önemli olmaması da bu yöntemin sağlamış olduğu diğer üstünlüklerdir.



Şekil 2.1 Plazma ile nitrürleme işleminin demir esaslı malzemeler için mekanizması (Bayrak 2007)

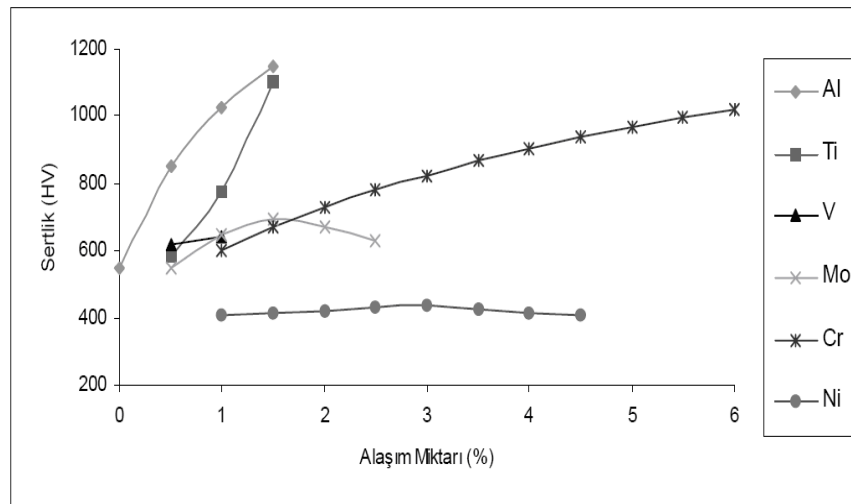
Yorulma dayanımının yüksekliği, aşınma direncinin artması ve ihmal edilebilir boyut değişikliği sayesinde işlem sonrasında tashih edilmeden kullanım amacıyla

plazma nitrüleme işlemi tercih edilmiştir ve takımların yüzey sertliklerini arttırarak aşınma dirençlerini ve ömürlerini arttırmakta etkilidir.



Şekil 2.2 Plazma nitrürasyon ünitesinin şematik gösterimi (Özdemir ve Erten 2003)

Plazma nitrüleme sonrasında elde edilen yüzeyin mikro yapısı ve tribolojik özellikleri, nitrüleme parametreleri adı verilen bazı değişkenlere bağlıdır. Bu parametreler arasında mikroyapı ve tribolojik özellikler üzerinde en etkili olanları, nitrüleme sıcaklığı, nitrüleme süresi, gaz karışım oranı ve nitrülenen malzemenin cinsidir (Özdemir ve Erten 2003).



Şekil 2.3 Alaşım elementlerinin çeliğin nitrürasyonu sonrası sertliğe etkisi (Özdemir ve Erten 2003)

Plazma nitrürasyon yönteminin, diğer nitrürasyon yöntemlerine göre sağladığı üstünlükler şöyle sıralanabilir:

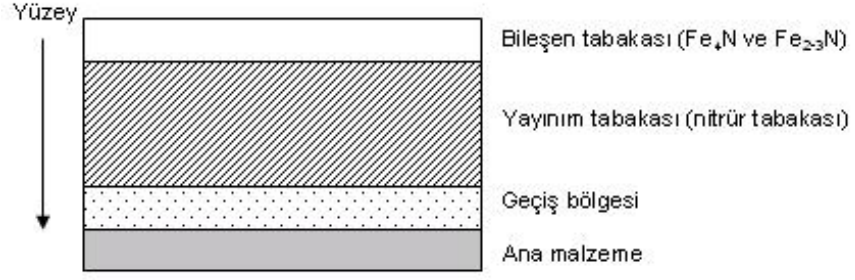
- a) Sadece iş parçasının ısıtılması nedeniyle enerji tasarrufu sağlanır ve ısı verim yüksektir.
- b) İşlem süresi açısından değerlendirme yapıldığında; diğer nitrürasyon yöntemlerine göre aynı sıcaklık ve derinlik için işlem süresi yaklaşık %50-70 daha kısadır.
- c) İşlem sırasında ölçü değişimi ve deformasyon riski minimum düzeydedir.
- d) Düşük basınçlarda çalışıldığında gaz tasarrufu sağlanabilir.
- e) Sert ve daha az kırılğan bir yüzey elde edildiği için, yüzey bitirme işlemlerine daha az gereksinim duyulur.
- f) Nitrürasyon yapılmak istenilmeyen yüzeylerin mekanik olarak izolasyonu mümkündür.
- g) Gaz veya diğer atıklarla çevreyi kirletmez, insan sağlığı açısından zararlı değildir.
- h) Otomasyona uyumludur. Sistem değişkenlerin kontrol altında tutulması kolaydır.
- i) İş parçası üzerindeki tüm girinti, çıkıntı ve delikler üzerinde homojen bir azot difüzyonu sağlanabilir.
- j) Reaksiyonun gerçekleştiği fırında hareketli parçalar söz konusu olmadığından fırın bakım masrafları daha düşüktür.
- k) Nitrürlenecek parçanın büyüklüğü ve ağırlığı önemli değildir.

Plazma nitrürasyon yönteminin avantajları olmasına rağmen birtakım dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlar şöyle sıralanabilir:

- a) İlk yatırım maliyetleri yüksektir. Bu nedenle sadece seri üretimde ekonomiktir.
- b) Nitrürlenecek parçanın hacmine, dolayısıyla reaksiyon fırının hacmine bağlı olarak 40 kW ila 1000 kW arasında enerji gereksinimine ihtiyaç vardır.
- c) Aynı şarjda; sadece aynı boyut ve kesitteki parçalara nitrürasyon uygulanabilir.

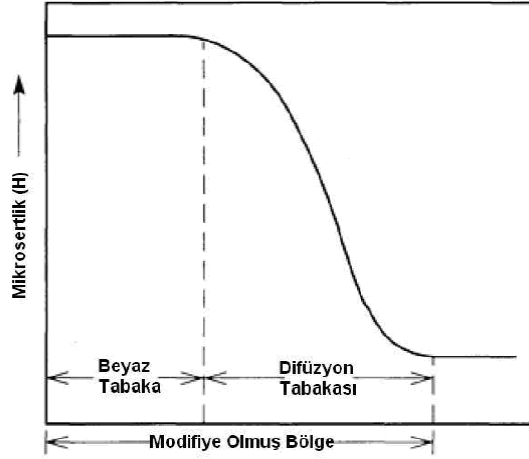
2.1.9. Plazma nitrüleme sonucu yapı

Nitrürlenmiş yüzey bölgesi dış tarafta Fe_4N ve/veya Fe_2-3N fazlarından oluşan sıkı ve çok ince bir bileşen tabakası, bu bölgenin altında ise azot atomlarının kısmen eridiği daha kalın yayılım tabakası şeklinde iki katmandan oluşur.



Şekil 2.4 Plazma nitrüleme sonrası oluşan iç yapılar (<http://www.ermir.com.tr/tr/technical.asp> 2009)

Sıcaklık, zaman ve gaz karışım oranı gibi parametrelerin değişimine bağlı olarak plazma nitrüleme sonrasında bir difüzyon tabakası oluşur. Beyaz tabaka adı verilen diğer bir tabaka ise her zaman olmamakla birlikte oluşabilir.



Şekil 2.5 Modifiye olmuş bölge ile mikro sertlik arasındaki ilişki (Bayrak 2007)

2.1.9.1. Beyaz tabaka

Karışık bölge düzenli ve pürüzsüz olan kesintisiz bir tabaka nitrürlenmiş malzemenin en dış kısmında kimyasal dağlama işleminden etkilenmeyen, çok ince nitrürler (demir esaslı malzemeler için demir nitrür) içeren bir tabakadır. Dağlama işleminden etkilenmediğinden beyaz tabaka olarak adlandırılmıştır. En üstteki bu tabaka genellikle farklı fazların karışımından ibarettir. Nitrür biçiminde en çok görülen alaşım elementleri (Al, Cr, Mo, V, W, Ti, Cb) yukarıda sözü geçen fazlardan biri veya birkaçı olabilir. Bu da sertlik ve mukavemeti artırır.

İş parçasının içerdiği alaşım durumuna göre ve işlem değişkenleri değiştirilerek beyaz tabakanın kalınlığı değiştirilebilir. Bu bölge sürtünmeye ve yorulmaya karşı çok yüksek dayanıklılığa sahiptir. Diğer nitrürleme yöntemleri düşük süreklilikli ve yüksek kalıcı gerilmeli daha kalın ve karışık fazlı beyaz tabaka oluştururlar. Bu tabakanın özellikleri nitrür yapısının homojenliğine ve kalınlığına bağlı olarak değişir. Yapılan çalışmalarda demir esaslı malzemelerde bu tabakanın düşük sıcaklıklarda (400°C'den az) oluşmadığı ve sıcaklıkla doğru orantılı olarak kalınlığının arttığı gözlenmiştir. Ayrıca zaman da bu tabakanın kalınlığı üzerinde etkili olup, zamanla doğru orantılı olarak kalınlığın arttığı gözlenmiştir. Tabaka oluşum ve kalınlığına sadece sıcaklık ve zaman değil, kullanılan gaz kompozisyonlarının etkisi de oldukça fazladır. Plazma nitrürasyon ile bu tabaka gayet hassas olarak kontrol edilebilir. Örneğin N₂+H₂ gazı kullanılarak beyaz tabaka kalınlığı azaltılabilir. H₂ gazı saçılmayı artırarak yüzeyi temizler, yani beyaz tabaka kalınlığının azalmasını, hatta yok olmasını sağlar.

2.1.9.2. Difüzyon tabakası

Beyaz tabaka altındaki bu bölge çok ufak ve sık dağılmış sert nitrür fazları ihtiva eder. Geleneksel nitrürleme yöntemlerinde azot atomları daha yüksek enerjili bölgeler olan tane sınırlarında difüze olurlar ve buralarda karbür fazları bulunması halinde bu fazlar ile birleşerek çok gevrek olan karbonitrürleri oluştururlar. Bunun neticesinde difüzyon tabakasının gerilmelere olan hassasiyeti büyük ölçüde artmış olur. Diğer taraftan plazma nitrürlemede karbonsuz nitrürleme gazı kullanılarak ve karbon saçılması uygulayarak yüzey ve yüzeye yakın yerlerde karbon azalması sağlamak mümkündür. Bunun sonunda gevrek karbonitrür fazları iç kısımlara doğru itilerek yüzeyin aşınmaya ve yorulmaya dayanımı artar. Difüzyon tabakası oluşumu da zamanın ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. Sıcaklık ve zamanın artışına bağlı olarak tabaka kalınlığı artmaktadır. Bu bölge yüzeyden çekirdek malzemeye bir geçiş sağlar. Difüzyon bölgesi malzeme cinsine ve işlem parametrelerine bağlı olarak 5-600m veya daha derinlere inebilir. Nitrürleme ile ulaşılabilecek sertlik değeri alaşım elementlerinin cinsi ve miktarına bağlı olarak martenzitik yapıdaki sertlikten daha yüksek olabilmektedir (Singh ve Alphonsa 2005).



Şekil 2.6 SAE 1050 çeliğinden imal edilmiş dişlilerin plazma nitrürleme fırınında işlem sırasındaki görüntüsü (<http://www.istanbulisil.com> 2009)



Şekil 2.7 Dizel araçlarda kullanılan krank millerinin plazma nitrürleme işlemi sırasındaki görüntüsü (<http://www.istanbulisil.com> 2009)

2.2. Aşınma

Aşınma mekanizmalarını abrazif aşınma, difüzyon aşınması oksidasyon aşınması yorulma aşınması (statik veya dinamik) ve adeziv olarak beş temel tipte inceleyebiliriz. Aşınma olayına etki eden bir ya da aynı anda birkaç faktör değişik aşınma mekanizmalarını ortaya çıkarır. Bu aşınma mekanizmalarına endüstride %50 abrazif aşınma %15 adeziv aşınma %8 erozif aşınma %8 yenme aşınması, %5 kimyasal aşınma ve %14 diğerleri şeklinde değişen oranlarda karşılaşılır (Saraçoğlu 2007).

2.2.1. Aşınma türleri

Tribolojik olarak mekanik sistemlerde meydana gelen aşınma türleri aşağıda belirtilmiştir.

2.2.1.1. Abrazif aşınma

Sistemin çalışması esnasında sürtünme çiftlerinden sert olanının diğer elemanın içine yüzey pürüzlülüğü mertebesinde girerek derin izler bırakması veya daha önceki çalışma koşulları esnasında kopan parçacıkların neden olduğu bir aşınma mekanizmasıdır. Malzeme (veya kalıp) yüzey bölgesinin sertleştirilmesi ile aşınmanın etkisi azaltılabilir.

2.2.1.2. Difüzyon aşınması

Sürtünme çiftleri arasındaki afiniteye bağlı olarak gelişen bir aşınma mekanizmasıdır. Tribo sistemin sıcaklığı aşınmayı artırıcı bir faktördür. Sistemde soğutucu yağ veya soğutma tertibatı kullanılarak aşınma etkisi azaltılabilir.

2.2.1.3. Oksidasyon aşınması

Yüksek sıcaklıklara ulaşan malzeme (veya kalıp) yüzey bölgesinin oksijenle olan reaksiyonu olarak özetlenebilir. Bu reaksiyonun hızı tribolojik zorlamaların etkisi ile artar.

2.2.1.4. Yorulma aşınması

Tribo sistemin yüzey bölgesinde tekrarlı ve değişen yüklemelerin ve değişken sistem sıcaklığının etkisi ile meydana gelen mikro çatlakların oluşması, büyümesi ve mikro veya makro boyutta parçaların kopması şeklinde bir aşınma mekanizmasıdır.

2.2.1.5. Adeziv aşınma

Sürtünme çiftlerinin yüzey bölgelerinde yükleme ve izafi hareketin bir fonksiyonu olarak yüksek mekanik gerilmeler meydana gelir. Yüzey bölgesindeki

yüksek basıncın ve gerilmelerin etkisi ile atomsal bağlantılar ve mikro kaynaklar oluşur. Tribo sistemin çalışması esnasında koparılan bu mikro kaynaklar sürtünme çiftleri arasında malzeme transferine ve mikro kaynağın her iki elemandan da koparak partikül şeklinde sistem içerisinde kalması abrasif aşınmayı oluşturarak aşınmanın boyutunu artırır (Saraçoğlu 2007).

2.3. Korozyon

Katıların yüzeyleri malzemelerin teknolojik özellikleri ve prosesleri üzerinde önemli derecede etki göstermektedir. Bu özellikler korozyon, pasivasyon ve paslanma, yapışma, triboloji, sürtünme, metallerin ve seramiklerin gevrek türde kırılma, mikro elektronikler, kompozitler, polimer ve plastiklerin yüzey işlemleri, koruyucu kaplamalar, süper iletkenler, polimer ve plastiklerin yüzey işlemleri , koruyucu kaplamalar, süper iletkenler. Yüzeyler ile ilgili sorular daima dışarıda değil malzeme iç yüzeylerinde, tane sınırlarında genel olarak malzemenin davranışı ile ilgilidir (Bubert ve Jenett 2003).

Korozyon, aşınma veya bileşen etmenlerin hasarlı sonuçları endüstriyel ekonomide milyarlarca dolar kaybolmasına neden olmaktadır. Bu sebeptendir ki büyük iş kayıpları gerçekleşmekte ve duruşlar yaşanmaktadır. Ekonomik sonuçlardan başka insan hayatını tehlikeye atan sonuçlarda doğurabilir. İnsan ve ekonomi faktörünü ön plana çıkaran durumlarda, korozyonun önlenmesi için alınabilecek çare ve önlemlere bağlı olarak yapılan harcamalar karşılığını her zaman fazlasıyla geri ödeyecektir (Çakır 2003).

Sanayide çok kullanılan çelik ucuz olması, güçlü olması ve kolay üretilebilmesi nedeniyle çok fazla kullanılmaktadır. Maalesef çelik korozyona karşı fazla dirençli değildir. Malzemenin ömrünü tamamlayabilmesi için kaplanması gerekmektedir. Bu sebeple malzemelere boyama sıcak daldırma galvaniz gibi diğer yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Boyama olası en geniş alanda kullanılan korozyondan çelikleri koruma yöntemidir. Bunun yanında etkin olarak kullanılan bir diğer yöntemde elektrolitik kaplama (Davis 2001). Metal kaplama, metal yüzeyini istenen şekilde işleme ve uygulama/kullanım şekline göre son halini verme, tamamlama (finish)

işlemdir. Metallerin bir çoğu üretildikleri halde kullanılmaya, işlenmeye elverişli değildir.

Çelik, alüminyum, bakır gibi metallerin yüzeyi madenlerinden çıkarıldıkları haliyle korozyona uğramaya müsait olup, istenen amaçlarda kullanılmaları için yüzeylerinin hazırlanması, modifiye edilmesi gerekir. Metal kaplama endüstrisi bu hazırlama işlemlerinin gerçekleştirilmesini sağlar.



Şekil 2.8 Korozyona uğramış civataların görüntüsü (<http://www.famakkaplama.com/image/pdf/korozyon.pdf> 2009)

DIN 50900 bölüm 1 'de korozyon, metal bir malzemenin ölçülebilen değişikliklere neden olan çevre şartlarından etkilenmesi olarak tanımlanmıştır. Burada çevre şartlarından etkilenme, metalin çevreyle kimyasal veya elektrokimyasal bir reaksiyona girmesi anlamındadır. Bu tip etkiler metallerde sık görülen ve kaplama yoluyla önlenemeyen korozyon hasarlarına yol açar. Bilindiği gibi paslanmaz çelikler alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklere kıyasla korozyona karşı çok daha iyi dayanıklılık gösterirler. Bir çok agresif ortamlara dayanıklı olup yüzeyde başka bir koruyucu tabakaya gerek duyulmaz. Bu pasivite özelliği çeliğe en az %10.5 Cr ilavesiyle kazandırılır. Yüzeydeki pasif tabakanın mekanik olarak hasar görmesi halinde derhal kendisini yeniler (Famak 2009).

2.3.1. Korozyon türleri

Malzemelerde gerçekleşen korozyon türleri ve oluşumu ile ilgili olarak aşağıda gösterilmektedir.

2.3.2. Yüzeylerde aşınma korozyonu

Yüzeyde aşınma hemen hemen eşit bir dağılım görünümünde oluşur. Dengeli ve eşit kalınlıkta bir tabakanın aşınması asit ve güçlü alkalilerle temas halinde oluşur. Aşınan tabaka kalınlığı kullanılan kaliteye bağlıdır. Örneğin %17 krom alaşımlı bir paslanmaz çelik %13 krom alaşımlı olana kıyasla daha fazla dayanıklıdır. Çok daha fazla dayanıklılık istenen durumlarda ostenitik krom nikel alaşımlı paslanmaz çelik kalitelerinin seçilmesi uygun olur. Dayanıklılığın daha da artması istendiğinde bütün bunlara ek olarak molibden alaşımlı olan kalitelerin seçilmesi gerekir.

2.3.3. Oyuklu korozyon (pitting)

Paslanmaz çeliklerin yüzeyde bölgesel / yerel olarak delinmeleri, oyuklu korozyona uğradıklarını gösterir. Şayet klorid iyonları ile özellikle yüksek ısı ortamında temas söz konusu ise, bu bölgelerde sıklıkla iğne deliği şeklinde korozyon görülür. Depolama, uzun süre bekletme, yabancı pas, cüruf artıkları ve özellikle kaynak sonrası oluşan renk değişikliklerinin bulunduğu bölgelerde delik korozyon tehlikesi artar. Krom alaşım oranını yükseltmek, ayrıca molibden ve azot ilave etmekle delici korozyona karşı olan dayanıklılığı önemli derecede arttırmak mümkündür.

2.3.4. Çatlak korozyonu

Çatlak korozyonu, adından da anlaşılacağı gibi, oluşan çatlak şeklinde tezahür eder. Konstrüksiyon, işletim ve kullanım hataları, delici korozyon nedenlerin benzer konulara dikkat edilmeli, alaşım elementlerinin ve yukarıda belirtilen formüle yansımanın önemi vurgulanmaktadır.

2.3.5. Gerilim yırtılması korozyonu

Bu korozyon tipinde, genellikle kristallerde ayrılma söz konusu olmaktadır. Aşağıda belirtilen her üç neden birlikte var olduğunda gerilim yırtılması mümkündür.

- a) Kullanıldığı konstrüksiyonda yüzey, çekme gerilimi altında bulunuyorsa,
- b) Genellikle klor iyonlarının hakim olduğu bir ortam ile temas varsa,
- c) Seçilen paslanmaz çelik kalitesinin bu korozyon tipine dayanıklılığı şüpheli ise

Malzemenin çekme gerilimi içermesi, güçlü bir germe veya kıvrılma, bükülme formasyonu söz konusu ise veya (kaynak, soğuk hadde, derin sıvama) gibi etkenler nedeniyle oluşabilmektedir. Çekme nedeniyle meydana gelen gerilimler, ısınma yoluyla en aza indirilir. Ostenitik standart Cr-Ni veya Cr-Ni-Mo alaşımlı paslanmaz çelikler, klorid çözeltilerine karşı, ferritik ve ostenitik – ferritik çeliklere kıyasla, gerilim yırtılmasına karşı daha hassastırlar. Ostenitik çeliklerin bu korozyona karşı dayanıklılıklarının arttırılmaları, bilhassa nikel oranının yükseltilmesiyle sağlanır.

2.3.6. Titreşim nedeniyle yırtılma korozyonu

Sadece titreşim nedeniyle (korozyona etkeni olmadan) meydana gelen minimize bir dalgalı akım herhangi bir yırtılma oluşturmaz. Devamlı titreşime karşı mukavemet değeri yeterli değilse, titreşim yırtılma korozyonu nedeniyle ve sınırların zorlanması ile yırtılma mümkün olabilmektedir. Gerilim yırtılma korozyonunun farklılığı, yalnızca spesifik bir ortamın varlığı nedeniyle dir. Titreşime bağlı yırtılma korozyonunun oluşması için ise, korozif ortamların yanı sıra değişken etkilerin birlikte var olması gerekir. Titreşim korozyonuna dayanıklılığın arttırılması için;

- a) Bulunduğu ortamlardaki korozyona karşı dayanıklılığın gittikçe güçlendirilmesi
- b) Çeliğin mekanik değerlerinin gittikçe yükseltilmesi

2.3.7. Kristaller arası korozyon

Kullanılacağı ortama uygun bir kalite seçimi, kristaller arası korozyon tehlikesini ortadan kaldırır. Ostenitik çeliklerde 450 °C ile 850 °C de ferritik çeliklerde 900 °C nin üzerinde ısının mevcut olduğu asidik ortamlarda krom karbid kristallerinin içyapıyı oluşturan tanelerin sınır bölgelerinden ayrılması ile oluşur. Bahis konusu edilen ısı, örneğin kaynak işlemi sırasında ve kaynak dikişine yakın olan sahada oluşmaktadır (ısının yayılma alanı).

Bölgesel olarak krom elementinin, söz konusu alanda krom karbid şeklinde ayrılması ve o bölgede azalması demektir. Ferritik çelikler stabilizasyon tavlama yapılarak tüketiciye ulaştırıldığından kristaller arası korozyona karşı dayanıklıdırlar. Ferritik çeliklerde kristaller arası korozyonun engellenmesi, yalnızca karbon oranının en aza indirilmesi ile sağlanamaz.

2.3.8. Bimetal korozyonu

Bimetal korozyonu (Temas – kontak korozyonu veya başka bir deyişle – metaller arası) korozyon – değişken metallerin paslanmaz çelik ile teması ve aralarında elektrolitik ağ oluştuğunda söz konusudur. Daha az alaşımli veya alaşımsız veya değişken bir metal temas ettiği bölümde etkendir (<http://www.euro-inox.org> 2009).

3- MATERYAL ve YÖNTEM

Deneyisel çalışmada kullanılan malzemelerin neler olduğu, kimyasal özellikleri ve analiz sonuçları aşağıda yapılan analizlerle gösterilmiştir.

3.1. Deney Malzemeleri

Çalışmalarda AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik, AISI 420 martenzitik paslanmaz çelik, AISI 430 ferritik paslanmaz çelikleri kullanılmıştır. Deneyde kullanılan paslanmaz malzemeler spektrometre cihazı ile ölçülmüş olup her bir malzeme için bulunan değerler aşağıda belirtilmiştir. Analizler Quantron marka Columbus model spektrometre ile yapılmıştır.

Çizelge 3.1 Nitürleme çalışmasında kullanılan malzemelerin analiz değerleri

Malzeme Adı	AISI 304	AISI 420	AISI 430
Alaşım Elementi	Alaşım Oranı %	Alaşım Oranı %	Alaşım Oranı %
C	0.038	0.219	0.055
Si	0.345	0.398	0.352
Mn	1.710	0.485	0.302
P	0.030	0.015	0.023
S	0.017	0.011	0.011
Cr	17.83	11.96	15.76
Mo	0.154	0.032	0.085
Ni	8.398	0.095	0.419
Al	0.0046	0.016	0.0052
Co	0.149	0.024	0.036
Cu	0.370	0.068	0.143
Nb	0.032	0.036	0.044
V	0.060	0.047	0.078
W	0.055	0.037	0.049
Fe	70.81	86.56	82.63

3.1.1. Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler yaklaşık %11 ile %13 arası krom içerenler ve yaklaşık %17 krom içerenler olarak kabaca iki gruba ayrılabilir. Göreceli olarak Cr elementinin alt sınırdaki olması nedeniyle atmosferik şartlarda veya ıslak ve nemli ortamlarda korozyona karşı mukavemetleri sınırlıdır. Bu nedenle ‘ korozyon taşıyıcı ’ olarak sınırlandırılırlar. %17 Cr içeren çelikler ise yüksek krom oranı nedeniyle korozyona daha iyi mukavemet gösterirler. %1 Mo ilavesiyle korozyona karşı mukavemetleri daha da artırılabilir. Bazı kaliteler Titanyum ve Niyobyum içermekle karbonun ayrılarak karbid oluşmasını engeller.

Ostenitik Cr-Ni çeliklere kıyasla ferritik paslanmaz çeliklerin tercih edilmelerinin önemli bir avantajı da özellikle klorid etkisiyle indüktif transkristalin gerilim çatlak korozyonuna karşı yüksek mukavemet göstermesidir.

3.1.2. Martenzitik paslanmaz çelikler

Martenzitik %12 – 18 arası krom ve %0.1den daha fazla karbon içeren çelikler yüksek derecelerde ostenitik yapıdadırlar. Ostenitik yapıya eriştiği ve aniden soğutulduğunda bunun anlamı sertleştirildiğinde ostenitik kristal yapı martenzitik yapıya dönüşür. Ostenitik yapı oluşturmak için çeşitli kalitelere göre 950 ila 1050 °C gerekir. Ani soğutma alaşımsız çeliklere nazaran daha yavaş oluşabilir. Karbon oranı ne kadar yüksek olursa sertlik de o derece yüksek olur. Nikel alaşımlı martenzitik çeliklerde karbon elementinin rolünü nikel elementi üstlenmiştir. Yüksek karbon içeren türlerinde karbid eliminasyonu sonucu yüksek sertlik alma tehlikesi nikel alaşımı nedeniyle engellenir. Islah edilme niteliklerinin uygunluğu nedeniyle istenilen sertlik elde edilir. Molibden ilavesi ile korozyona karşı mukavemet daha da artırılmaktadır.

Ürün şekline göre martenzitik çelikler yumuşak tavllanmış (sertleştirilmeye hazır) veya sertleştirilmiş olarak temin edilirler. Yumuşak tavllanmış olanlara (soğuk ve sıcak haddelenmiş bandlar veya levhalar) kullanıcısı tarafından sıcak veya soğuk olarak son şekil verildikten sonra şekil verildikten sonra sertleştirilme işlemi uygulanır. Islah işlemleri sertleştirme ve sonuçta 650 ila 750 °C menevişten ibarettir. Meneviş işlemi yapıldığında çekme mukavemeti, sertliği bir miktar azalır. Korozyona mukavemetin en iyi şekilde sağlanması öngörülen ısı işlem değerlerinin tam olarak uygulanmasına bağlıdır. Yeterli korozyona mukavemet ve yüzeyin istenilen özellikte olmasını sağlamak amacıyla asit işlemi ile temizlemek veya ince bir taşlama yapmak sonuçta polisaj ile parlatmak böylece düzgünlüğü gerçekleştirmek gerekir. Bu gruptaki çelikler aşınmaya karşı yüksek dayanıklılık göstermeleri ve kesici özellikleriyle çok geniş bir alanda kullanılırlar.

3.1.3. Ostenitik paslanmazlar çelikler

Ostenitik CrNi çelikler en az %8 Ni içerikleriyle çok iyi ve mükemmel şekillendirilebilir ve mekanik özellikleri ile birlikte korozyona mukavemetleri göze çarpar. Çok geniş bir alanda kullanılabilirlik tavsiye edilmekle, paslanmaz çeliklerin en önemli ve anlamlı grubunu oluşturmaktadır. Bu çelik grubunun en önemli niteliği korozyona yüksek mukavemeti ile bilhassa krom ve molibden gibi alaşım elementleri oranlarının artırılması sonucu mükemmel ulaşmasıdır. Ferritik çeliklerde olduğu gibi

ostenitik çeliklerde de mükemmel teknolojik değerlerin elde edilmesi için hassas ve ince taneli bir yapı şarttır. Isıl işlem sırasında ayrışıklığı önleyici tedbir olarak 1000 ila 1150 °C de çözelti tavlama ve akabinde suda veya havada soğutma yapılmalıdır. Ostenitik çelikler martenzitik çeliklerin aksine sertleştirilemezler. Belirli alanlarda yüksek çekme mukavemeti belirli alanlarda yüksek çekme mukavemeti değerleri içeren ostenitik çelikler gerekmektedir.

Soğuk şekillendirme sırasında genleşme sınırının artırılması mümkündür. Form değişikliği dereceleri iç yapının kademeli olarak sertleşmesine neden olur. Ferritik çeliklere kıyasla soğuk şekillendirme sırasında daha fazla sertleşmeye meyillidirler. Bütün bunlara ek olarak soğuk şekillendirme nedeniyle martenzitik bir iç yapı da meydana gelebilir. Diğer bir ihtimal de alaşım elementlerinin teknik önlemleri nedeniyle kristallerin karışması sonucu sertliğin artması mümkün olabilmektedir. Karbon yerine azot elementinin katılmasının yararı çekme mukavemetinin ve korozyona karşı dayanıklılığının artırılmasıdır (<http://www.euro-inox.org> 2009).

3.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Nitrürleme İşlemleri

Nitrürleme çalışmasında kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve nitrürleme operasyonları aşağıda gösterilmeye çalışılmıştır

3.2.1. Numunelerin hazırlanması

Paslanmaz çelik numuneleri (AISI 304, AISI 420, AISI 430) ilk olarak tornada 15 mm boyunda kesilmiştir. Kesilen numuneler taşlama tezgahında kesilen yüzeyleri taşlama işlemine tutulmuştur. Kesilen deney numuneleri bakalite alınması için hassas kesim cihazında ikiye bölünerek daha sonra kesilen yüzey dışarıda kalacak şekilde bakalite alınmıştır. Bakalite alınan deney numuneleri önce kaba parlatma işlemine tabi tutulup sonrasında çuha ile hassas parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Yüzey yapısına bakılacak numunelerin incelenmesini sağlamak için %5' lik nital ile dağlama yapılmıştır.

3.2.2. Nitrürleme işlemleri

Deneysel çalışmada numunelere plazma nitrasyon, gaz nitrasyon ve tuz nitrasyon işlemleri uygulanmış olup yapılan işlemler aşağıda gösterilmiştir.

3.2.2.1. Deney numunelerinin gaz nitrasyonu

Deney numuneleri öncelikli olarak vakum temizleme makinesinde özel solüsyonlarla ön giriş yıkama işlemi yapılarak parça yüzeyleri bu operasyonla temizlenmiştir. Temizleme işleminin ardından parçalar fırına yüklenerek işleme alınmıştır. Fırın normal atmosfer basıncında ısıtılıp aktiflenmiş ve ortamdaki hava emilmiş ve içeriye NH_3 ve CO_2 verilmiştir. Vakumlu fırın rezistansla $570\text{ }^\circ\text{C}$ ye kadar ısıtılıp deney numuneleri 13 saat deney numuneleri işleme tabi tutulmuştur. Operasyon tamamlanırken içeri sadece N verilmiştir ve N gazı ile içerideki gazı soğutma ve seyreltme yapılmıştır. $130\text{ }^\circ\text{C}$ ye kadar N ile soğutma yapılmıştır. Vakum ile içerideki gaz herhangi bir patlama tehlikesine karşı boşaltılmıştır. Operasyon adımları tamamlanan deney numuneleri fırından alınmıştır. Nitrürleme işlemi IPSAN CRV 400 marka fırınla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Gaz nitrürleme ünitesi (Önerler 2009)

3.2.2.2. Deney numunelerinin tuz nitrasyonu

Tuz nitrleme işleminde parçalar işleme alınmadan öncelikle 80 °C da yağ alma işlemine tutulup ardından durulama işlemine tabi tutulup işleme alınacak parçaların yüzeylerinin temizlenmesi sağlanmıştır. Parçalar daha sonra 300 – 350 °C arasında 1 saat boyunca ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Ön ısıtma operasyonundan sonra 570 °C da 90 dakika nitrleme işlemine tabi tutulmuştur. Tuz nitrleme için Cr8 tuz tipi kullanılmıştır. Buradan parçalar soğuması için bekleme holüne alınmıştır. Bekleme holünden sonra parçalar sıcak yıkama (50°C – 80 °C) de sıcak yıkama işlemi ve nihai olarak soğuk yıkama yapılarak tuz nitrleme prosesi tamamlanmıştır.



Şekil 3.2 Tuz Nitrleme Ünitesi (Istaş 2009)

3.2.2.3. Deney numunelerinin plazma nitrasyonu

Plazma nitrleme işlemi için deney numuneleri öncelikli olarak etil alkol ile temizleme yapılmıştır. Deney numunelerinin fırın içerisine yerleştirilmesi sonrasında nitrleme fırınında vakumlama işlemi yapılmıştır. Fırın içerisine N/H oranı 4/1 olacak şekilde gaz verilmiştir. Gazın verilmesi iyonizasyon sürecinin başlaması için fırın ısıtmaya başlamıştır. Parçalar işlem sıcaklığına kadar ısıtılması sürecinde parçalar

iyonizasyon etkisi ile yüzeyler atomik düzeyde temizlenmektedir. Plazma nitrürleme işlemi iki ayrı sıcaklık için (450°C ve 520°C) yapılmıştır. İşlem süresi her iki sıcaklık çevirimi için 8 saat olarak belirlenmiştir. Plazma nitrürleme işlemi 2~5 mbar arasında gerçekleşmiştir. Proses adımlarının tamamlanması neticesinde vakum alınmasıyla plazma nitrürleme prosesi tamamlanmıştır. Plazma nitrürleme işlemi Plateg marka PP 60 model cihazla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3 Plazma nitrürleme ünitesi



Şekil 3.4 Plazma nitrürleme fırını içerisindeki parçaların görüntüsü

3.3. Korozyon Testleri

1890’lardan itibaren uygulanmaya başlayan korozyon testleri teknoloji, malzemeler, performans beklentileri ve çevre şartları göz önünde bulundurularak geliştirilmiş ve günümüze gelene kadar farklı test metotları oluşturulmuştur. Bu metotların en yaygın olarak uygulananları arasında statik korozyon testleri ve çevirim (cyclic) testleri yer alır. Sabit sıcaklık ve nem ortamında, tuzlu su püskürtme testi yapılmaktadır. En yaygın olanları ASTM B117, DIN 50021 testleridir.

3.3.1. Çevrim testleri

Farklı sıcaklık, nem, elektrolit ortamlarında farklı çevirim sürelerinde uygulanan testler. En yaygın olanları ASTM G 85, ASTM B 605, DIN 50018 testleridir.(Çakır 1990)

Tuzlu sis testi uygulaması için deney numuneleri uygulandıkları işlemin türüne göre numaralandırılmıştır. Testler ASTM B117 normuna göre yapılmıştır. Tuzlu sis test makinesi bir data kablosu vasıtası ile bilgisayara bağlantı yaparak parçanın içeride aktif olarak geçirdiği süreyi takip etmekte olup, cihazın inceleme için açılan zamanlarda bu bekleme sürelerini sistemde otomatik olarak toplam tuzlu sis testi zamanına dahil etmemektedir. Deney numunelerinin kırmızı pas oluşumunun gerçekleşip gerçekleşmediğinin değerlendirilmesi için günlük olarak test kabini açılmış olup parçaların yüzeyleri silinerek kalıcı olan kırmızı pasın durumu değerlendirilmiştir. Testlerde kırmızı pas durumu normlarda belirtildiği gibi yüzey alanının %5’ in de gerçekleşip gerçekleşmediği değerlendirilmiştir.



Şekil 3.5 Tuzlu sis test kabini

Tuzlu sis test kabinin teknik özellikleri ve test ortamının şartları;

PH: 7,0

NaCl konsantrasyonu %5

Agresiflik derecesi:2

Kabin içi sıcaklığı: 35 °C

Nemlendirici kule sıcaklığı: 47 °C

Kabin hava basıncı: 1 bar

Sis yoğunluğu: 1,450 ml/saat

4 - ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Deneyisel çalışmada nitrüleme işlemleri neticesinde malzemelerdeki korozyon ve aşınma dayanımında elde edilen bulgular gösterilmeye çalışılmıştır.

4.1. Korozyon Dayanımı

Tuzlu sis testine tabi tutulan deney numunelerinde plazma nitrüleme prosesi uygulanan numuneler için en yüksek korozyon direnci 450 °C de plazma nitrülenen AISI 304 numunesi olmuştur. 450 °C de plazma nitrülenen AISI 304 ün diğer numunelere göre korozyon direncinin yüksek olmasındaki en büyük etken malzemedeki Cr oranının diğer numunelere göre yüksek olması ve sıcaklığın çok yüksek olmaması ile birlikte malzemenin paslanmazlık özelliğini kaybetmemesidir. Paslanmaz malzemelerde 400 °C sıcaklığın üzerinde yapıdaki Cr ortama verilen N gazı ile birleşerek CrN oluşturması sebebiyle yapıdaki Cr' yi eksiltmektedir. Dolayısıyla malzemenin korozyon direnci buna bağlı olarak düşmektedir. AISI 420 ve AISI 430 numunelerinde 450 °C ve 520 °C sıcaklıklarındaki korozyon dirençlerinde çok büyük bir değişkenlik görülmemektedir.

Tuz nitrasyon numunelerinin prosesinden kaynaklanan kalın nitrür tabakası sebebiyle plazma nitrülenen AISI 420 ve AISI 430 numunelerinden daha iyi bir korozyon dayanımına sahip olduğu gözlenmiştir. Gaz nitrasyon numunelerinde AISI 304 hariç AISI 420 ve AISI 430 numunelerinde korozyon direncinin oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. Buna sebep olabilecek etkenlerin başında yapılarıdaki krom oranının düşük olması ve gaz nitrüleme sonucundaki yüzeyde oluşan düşük nitrür tabakasıdır. Dolayısıyla gaz nitrüleme yapılan paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri düşük olduğu görülmüştür. Numunelerin korozyon testine girmeden önceki ve sonraki durumlarını gösteren fotoğraflar aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 4.1 AISI 304 450 °C de plazma nitrülenmiş numune



Şekil 4.2 AISI 304 450 °C de plazma nitrürleme 690 saat sonundaki görüntüsü



Şekil 4.3 AISI 420 450 °C de plazma nitrülenmiş numune



Şekil 4.4 AISI 420 plazma nitrürleme 450 °C de 165 saat sonundaki görüntüsü



Şekil 4.5 AISI 430 450 °C de plazma nitrülenmiş numune



Şekil 4.6 AISI 430 plazma nitrürleme 450 °C de 165 saat sonundaki görüntüsü



Şekil 4.7 AISI 304 520 °C de plazma nitrülenmiş numune



Şekil 4.8 AISI 304 plazma nitrileme 520 °C de 68 saat sonundaki görüntüsü



Şekil 4.9 AISI 420 520 °C de plazma nitrülenmiş numune



Şekil 4.10 AISI 420 plazma nitrileme 520 °C de 165 saat sonundaki görüntüsü



Şekil 4.11 AISI 430 520 °C de plazma nitrülenmiş numune



Şekil 4.12 AISI 430 plazma nitrileme 520 °C de 237 saat sonundaki görüntüsü



Şekil 4.13 AISI 304 570 °C de tuz nitrülenmiş numune



Şekil 4.14 AISI 304 tuz nitrileme 570 °C de 327 saat sonundaki görüntüsü



Şekil 4.15 AISI 420 570 °C de tuz nitrülenmiş numune



Şekil 4.16 AISI 420 tuz 570 °C de nitrileme 327 saat sonundaki görüntüsü



Şekil 4.17 AISI 430 570 °C de tuz nitrülenmiş numune



Şekil 4.18 AISI 430 570 °C de tuz nitrileme 327 saat sonundaki görüntüsü



Şekil 4.19 AISI 304 570 °C de gaz nitrülenmiş numune



Şekil 4.20 AISI 304 570 °C de gaz nitrüleme 237 saat sonundaki görüntüsü



Şekil 4.21 AISI 420 570 °C de gaz nitrülenmiş numune



Şekil 4.22 AISI 420 570 °C de gaz nitrüleme 68 saat sonundaki görüntüsü



Şekil 4.23 AISI 430 570 °C de gaz nitrülenmiş numune



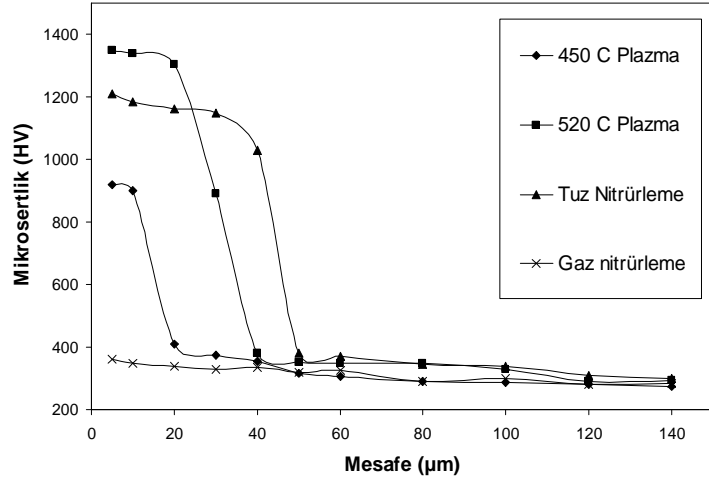
Şekil 4.24 AISI 430 570 °C de gaz nitrüleme 68 saat sonundaki görüntüsü

4.2. Mikrosertlik

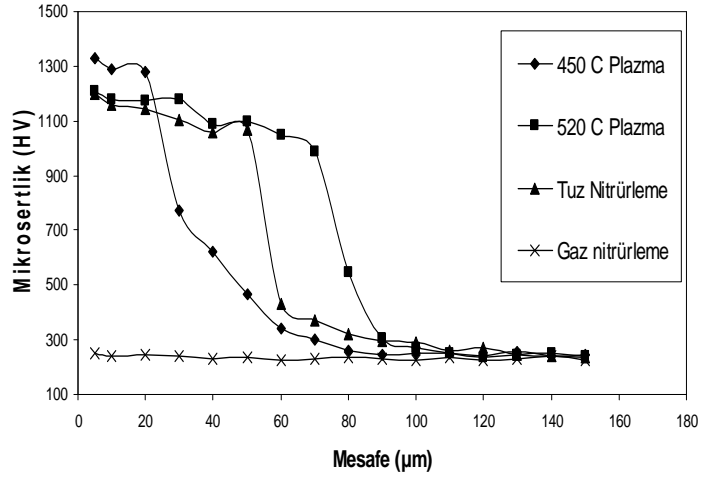
Metalografik kesme cihazında kesilmiş ve kesilen yüzeyleri bakalite alın deney numuneleri Metkon marka sertlik ölçüm cihazında nitrülenmiş yüzeyden içeri doğru sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik deneyinde 10 gr ağırlık ile deney gerçekleştirilmiştir. Plazma nitrüleme işleminde 450 °C de yapılan ölçümlerde AISI 420 ve AISI 430 numunelerinin AISI 304 numunesine göre daha yüksek sertliğe sahip olduğu ve en yüksek sertliğin bu sıcaklık değerinde AISI 430 için olduğu görülmüştür. 450 °C için AISI 304 numunesi için çok ince bir nitrür tabakasının olduğu (~10 µm) olduğu gözlemlenmiştir. 520 °C de plazma nitrülen numunelerde ise en yüksek sertliğe AISI 430 un sahip olduğu görülmektedir. 520 °C işlem sıcaklığında AISI 420 ve AISI 304 numunelerinin AISI 430 e göre daha düşük sertliğe sahip olduğu beyaz tabakanın ise olduğu gözlemlenmiştir.

AISI 430 da bu sıcaklık değeri için beyaz tabaka oluşumu gözlemlenmemiştir. Nitrür tabakasının kalınlığı artan sıcaklıkla birlikte nüfuziyeti beraberinde getirmiş olup 450 °C de nitrülen numunelere göre 520 °C de nitrülen numunelerde derinlik artmıştır. Deney numunelerinde en yüksek nitrür tabakasının 520 °C de AISI 420 numunesinde (70 mikron) olduğu görülmüştür. Tuz nitrüleme numunelerindeki sertlik değerleri plazma nitrüleme numunelerindeki sertlik değerlerine en yakın sertlik değerlerinin olduğu gözlemlenmiştir ve tuz nitrasyon işlemi neticesinde sertlik değerlerinin bu üç grup paslanmaz çelik numuneleri için kararlı olduğu gözlemlenmiştir.

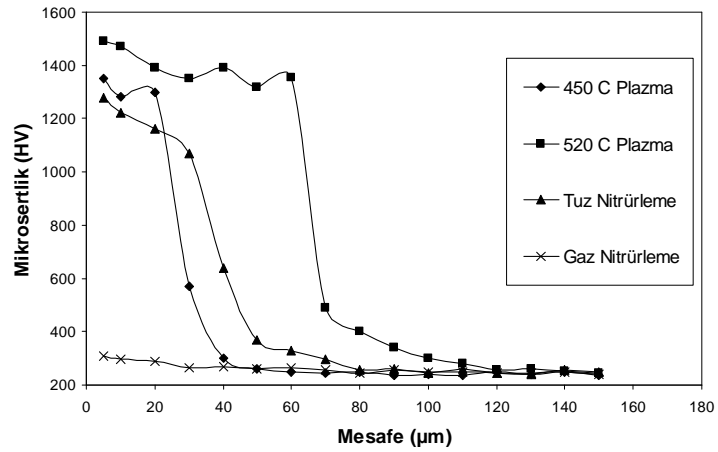
Gaz nitrüleme işlemi AISI 304, AISI 420, AISI 430 numuneleri üzerinde kayda değer bir etki gözlemlenmediği ve yüzey sertliğinin sertlik değerleri çekirdek sertlik değerine çok yakın olduğu görülmüştür. Dolayısıyla uygulanan gaz nitrüleme işleminin bu üç deney grubuna ait paslanmaz çeliğin sertliğinin artırılması için etkin bir yöntem olmadığı görülmüştür. AISI 430 ve AISI 304 numunelerin optik mikroskopla yapılan incelemelerinde lokal nitrülenmiş bölgelerin olduğu gözlemlenmiştir. AISI 420 numunesi için herhangi bir oluşum gözlemlenmemiştir. Nitrüleme proseslerine ait mikrosertlik değerleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.25 AISI 304 mikrosertlik değerleri



Şekil 4.26 AISI 420 mikrosertlik değerleri



Şekil 4.27 AISI 430 mikrosertlik değerleri

4.3. Mikroyapı

Sertlik ölçümü yapılan parçalar metalografik parlatma cihazında parlatılarak optik mikroskopta tabaka kalınlık ölçümü için %5' lik nital ile dağlanmıştır. Dağlanan numunelere ilişkin optik mikroskop görüntüleri aşağıda gösterilmiştir. Büyütme değerleri (X) kat büyütme şeklinde gösterilmiştir.



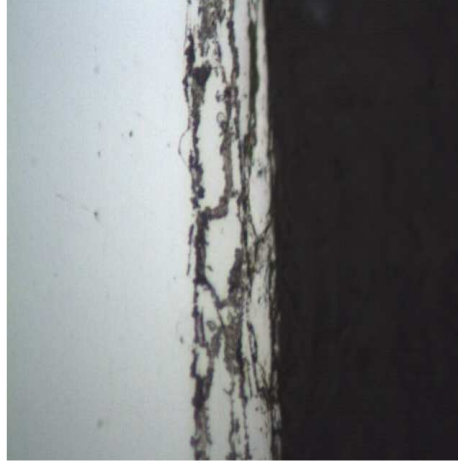
Şekil 4.28 AISI 304 Plazma Nitürleme 450 °C (400X)

450 °C plazma nitürleme sonucunda 10 mikron tabaka kalınlığı ölçülmüş olup beyaz tabaka (Fe₄N ve/veya Fe₂₋₃N fazlarından oluşan aşınmaya dayanıklı tabaka) oluşumu gözlenmemiştir.



Şekil 4.29 AISI 420 Plazma Nitürleme 450 °C (400X)

450 °C plazma nitrürleme sonucunda 23 mikron tabaka kalınlığı ölçülmüş olup beyaz tabaka oluşumu gözlenmemiştir.



Şekil 4.30 AISI 430 Plazma Nitrürleme 450 °C (400X)

450 °C plazma nitrürleme sonucunda 28 mikron tabaka kalınlığı ölçülmüş olup beyaz tabaka oluşumu gözlenmemiştir.



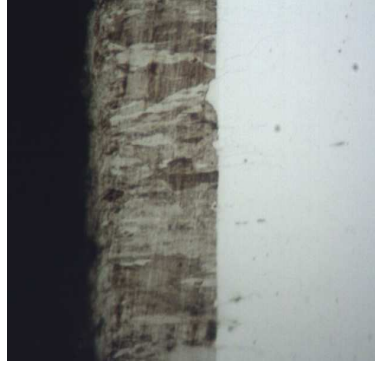
Şekil 4.31 AISI 304 Plazma Nitrürleme 520 °C (400X)

520 °C plazma nitrürleme sonucunda 28 mikron tabaka kalınlığı ölçülmüş olup 1 mikron kalınlığında beyaz tabaka oluşumu gözlenmiştir.



Şekil 4.32 AISI 420 Plazma Nitürleme 520 °C (100X)

520 °C plazma nitürleme sonucunda 70 mikron tabaka kalınlığı ölçülmüş olup 2 mikron kalınlığında beyaz tabaka oluşumu gözlenmiştir.



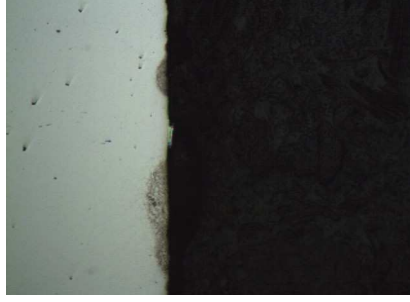
Şekil 4.33 AISI 430 Plazma Nitürleme 520 °C (400X)

520 °C plazma nitürleme sonucunda 64 mikron tabaka kalınlığı ölçülmüş olup beyaz tabaka oluşumu gözlenmemiştir.



Şekil 4.34 AISI 304 Gaz Nitürleme 570 °C (400X)

Gaz nitasyon sonucunda belirgin bir tabaka oluşumu gözlenmemiştir. Lokal oluşumlar gözlemlenmiştir.



Şekil 4.35 AISI 420 Gaz Nitrüleme 570 °C (100X)

Gaz nitrasyon sonucunda belirgin bir tabaka oluşumu gözlenmemiştir.



Şekil 4.36 AISI 430 Gaz Nitrüleme
570 °C (200X)



Şekil 4.37 AISI 430 Gaz Nitrüleme
570 °C (200X)

Gaz nitrasyon sonucunda belirgin bir tabaka oluşumu gözlenmemiştir. Lokal oluşumlar gözlemlenmiştir.

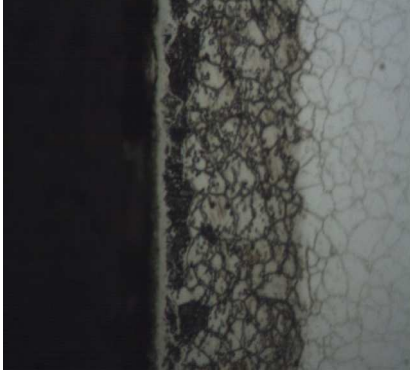


Şekil 4.38 AISI 304 Tuz Nitrüleme
570 °C (100X)



Şekil 4.39 AISI 304 Tuz Nitrüleme
570 °C (400X)

Tuz nitrasyon sonucunda 40 mikron tabaka kalınlığı ölçülmüş olup 5 mikron kalınlığında beyaz tabaka oluşumu gözlenmiştir.



Şekil 4.40 AISI 420 Tuz Nitrüleme 570 °C (400X)

Tuz nitrasyon sonucunda 53 mikron tabaka kalınlığı ölçülmüş olup 5 mikron kalınlığında beyaz tabaka oluşumu gözlenmiştir.



Şekil 4.41 AISI 430 Tuz Nitrüleme
Nitrüleme
570 °C (100X)



Şekil 4.42 AISI 430 Tuz
570 °C (400X)

Tuz nitrasyon sonucunda 38 mikron tabaka kalınlığı ölçülmüş olup 3 mikron kalınlığında beyaz tabaka oluşumu gözlenmiştir.

4.4. Aşınma

Aşınma deneyi ile ilgili olarak parçaların işlem öncesi ve sonrası hassas terzi üzerinde ölçülmüş olup bulunan değerler aşağıdaki tablo üzerinde belirtilmiştir. Yapılan

ölçümlere göre en fazla kütle kayıp farkı AISI 430 malzemenin gaz nitrürleme operasyonunda gerçekleşmiştir.

Aşınma dayanımı ile ilgili olarak yapılan deney neticesinde en yüksek aşınma dayanımına 570 °C de tuz nitrürleme yapılan AISI 430 numunesi ile ulaşıldığı tespit edilmiştir. Beyaz tabaka sürtünme katsayısını düşürmede etkin olmuştur. Plazma nitrürleme dışındaki nitrürleme yöntemleri ile mukayese ettiğimiz taktirde tuz nitrürleme yönteminin aşınma dayanımı açısından kalın demir nitrür tabakası nedeni ile aşınma testinde en iyi sonucu veren uygulama olduğu gözlenmiştir.

Gaz nitrürleme numunelerinde şiddetli adeziv aşınma gözlemlenmiş olup sürtünme katsayısı yüksek çıkmıştır. Sürtünme katsayısı düşük çıkan numunelerde adeziv aşınma yerine hafif abrazif aşınma gözlemlenmiştir.

Gaz nitrürleme yönteminin proses süresinin düşük olarak tutulması sebebiyle etkin bir nitrürleme sağlanamaması sebebiyle aşınma değerlerinin yüksek olduğu yüksek sürtünme katsayısındaki değer artışından da gözükmektedir.

Nitrürleme prosesleri incelendiğinde plazma nitrürleme ve tuz nitrürleme uygulamalarının benzer sonuçlar verdiği ve gerek aşınma gerek sertlik değerlerinde bulunan verilerin birbirlerine yakın olarak oluştuğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1 Farklı şartlarda nitrürleme işlemi uygulanan deney numunelerinde kütle kaybı değerleri

Deney Numunesi	Ağırlık (gram)		
	İşlem Öncesi	İşlem Sonrası	Kütle Kaybı
AISI 304 450 °C Plazma Nitrürleme	42,723	42,722	0,001
AISI 420 450 °C Plazma Nitrürleme	61,913	61,912	0,001
AISI 430 450 °C Plazma Nitrürleme	42,261	42,259	0,002
AISI 304 520 °C Plazma Nitrürleme	42,513	42,513	0,000
AISI 420 520 °C Plazma Nitrürleme	68,632	68,630	0,002
AISI 430 520 °C Plazma Nitrürleme	41,465	41,464	0,001
AISI 304 570 °C Gaz Nitrürleme	44,259	44,257	0,002
AISI 420 570 °C Gaz Nitrürleme	69,086	69,084	0,002
AISI 430 570 °C Gaz Nitrürleme	42,635	42,613	0,022
AISI 304 570 °C Tuz Nitrürleme	42,747	42,745	0,002
AISI 420 570 °C Tuz Nitrürleme	68,482	68,480	0,002
AISI 430 570 °C Tuz Nitrürleme	41,802	41,801	0,001

Çizelge 4.2 Nitrürleme deneyinde kullanılan deney numunelerinin poisson, elastiklik modülü ve hertz temas basıncı değerleri

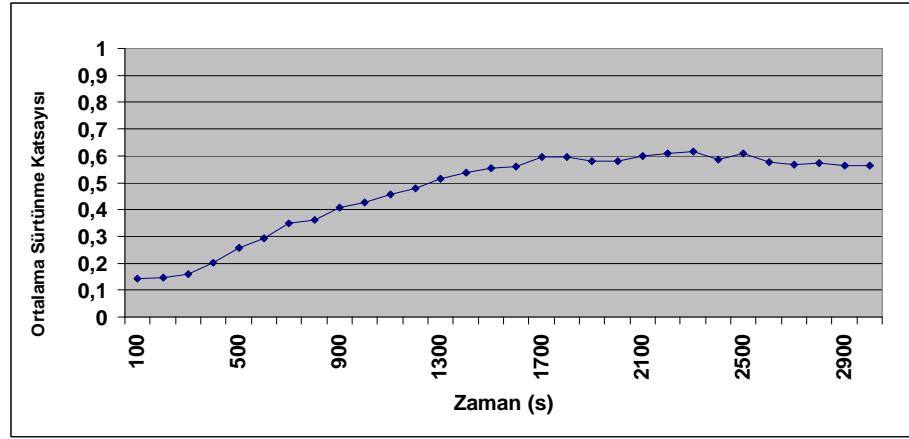
Malzeme			Poisson Oranı	Elastiklik Modülü (mPa)	Hertz Temas Basıncı
AISI	DIN				Pmax (Gpa)
304	1.4301	X5 CrNi 18 10	0,29	195	0,59
420	1.4021	X20 Cr 13	0,24	200	0,59
430	1.4016	X6 Cr 17	0,29	200	0,60

Çizelge 4.3 Aşınma deneyinde kullanılan bilyenin özellikleri

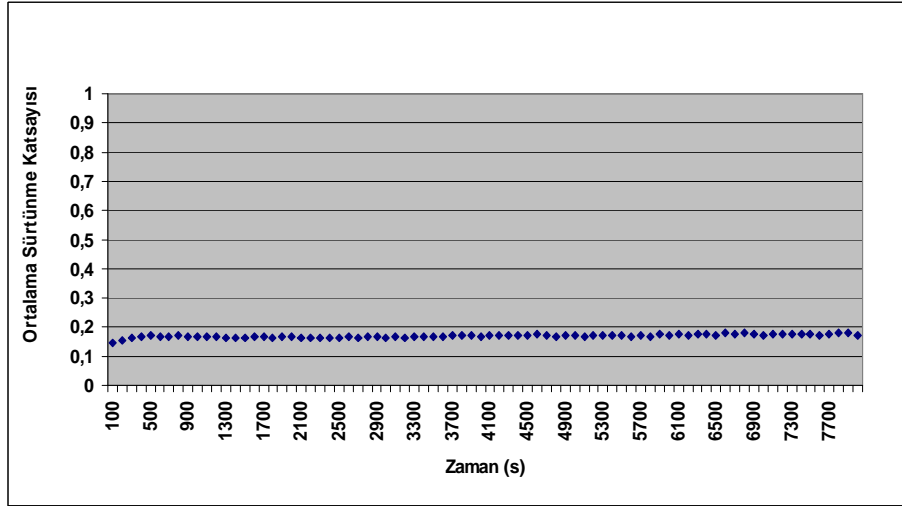
WC-Co Bilye	Çap 5mm	0,26	640
Normal Kuvvet	4,1 N		

Sürtünme Hızı 8,6 mm/s ve sürtünme elemanı WC-Co bilye olarak seçim yapılmıştır.

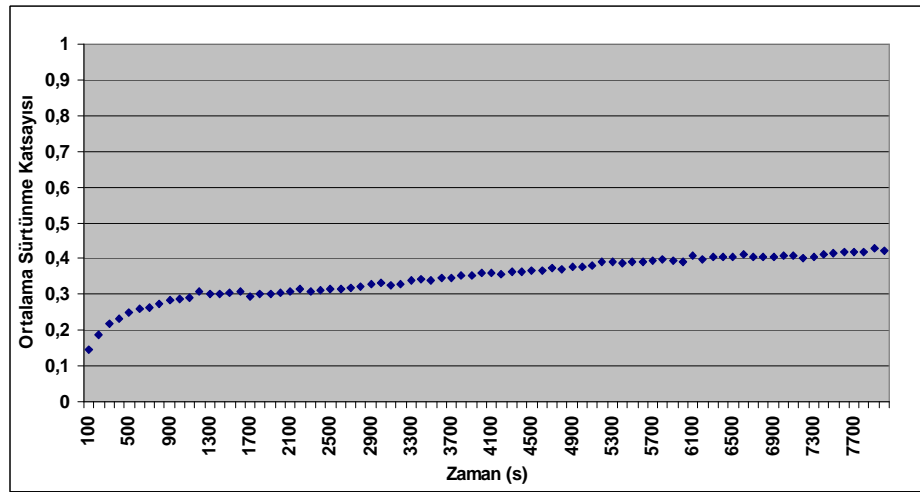
Farklı şartlarda nitrürleme işlemlerine tabi tutulan deney numunelerinin birbirleri ile karşılaştırmasını yaparken plazma nitrürleme işlemine tabi tutulan numunelerle gaz ve tuz nitrürleme numunelerinin farklı proses parametrelerinde (sıcaklık, süre, basınç vs.) gerçekleşmeleri nedeniyle plazma nitrürlenmiş deney numuneleri ile tuz ve gaz nitrürleme numuneleri ayrı olarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. Ancak tuz ve gaz nitrürleme numunelerinin fikir vermesi açısından bu çalışmada yer verilmiştir. Aşınma ölçümleri ball-on disc yöntemiyle yapılmış olup cihaz üzerinde bulunan WC-Co bilye ile her 5 sn de 1 ölçüm alınarak sürtünme katsayısı değerleri kayıt edilmektedir. Ölçülen değerler düzeltme katsayısı ile çarpılarak düzeltilmiş sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Testin sonlandırılmasındaki ana kriter olarak sürtünme katsayısındaki değerlerin 1'e yaklaşması veya verilen yük altında sürtünme katsayısında artışın gerçekleşmediği belli bir süre sonunda test sonlandırılmıştır. Yapılan test sonucunda tuz nitrürleme uygulamasında sürtünme katsayısında artışın en düşük olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan testler ile ilgili olarak zamana bağlı olarak düzeltilmiş ortalama sürtünme katsayısı değerleri aşağıda belirtilmiştir.



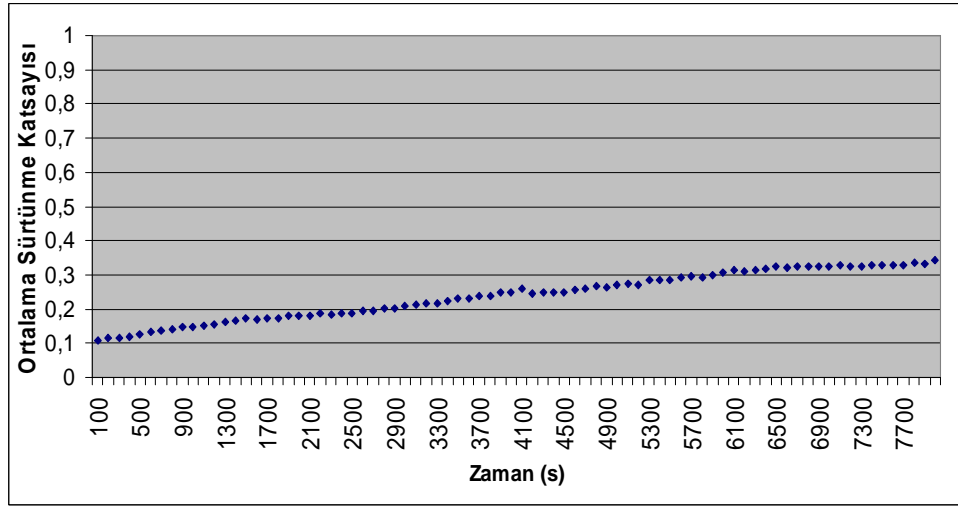
Şekil 4.43 AISI 304 450⁰C Plazma Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı



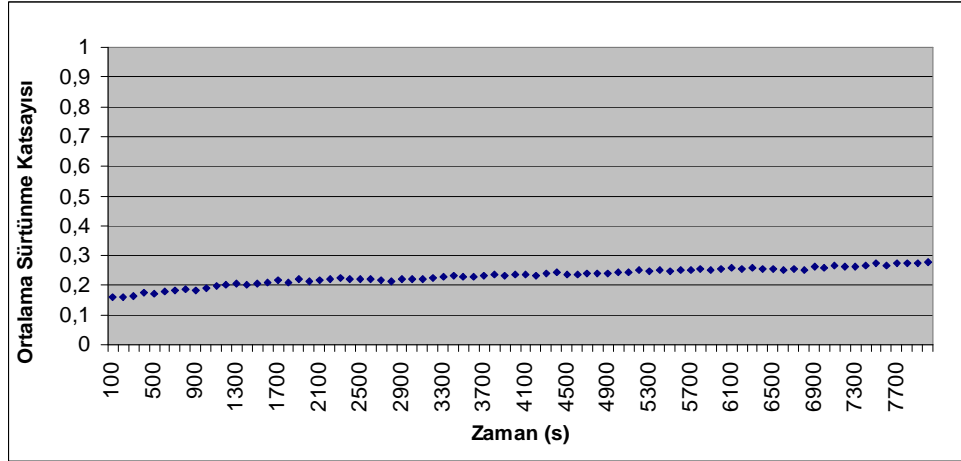
Şekil 4.44 AISI 420 450⁰C Plazma Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı



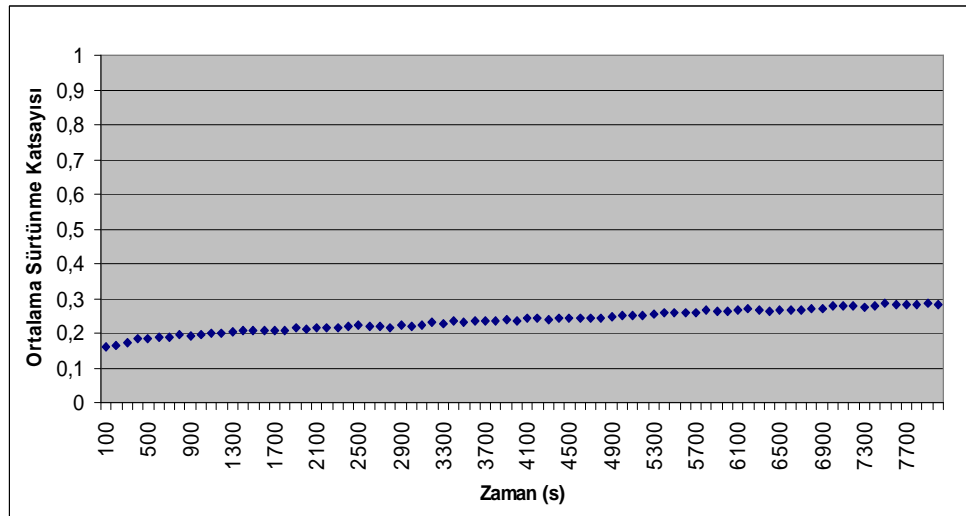
Şekil 4.45 58 AISI 430 450⁰C Plazma Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı



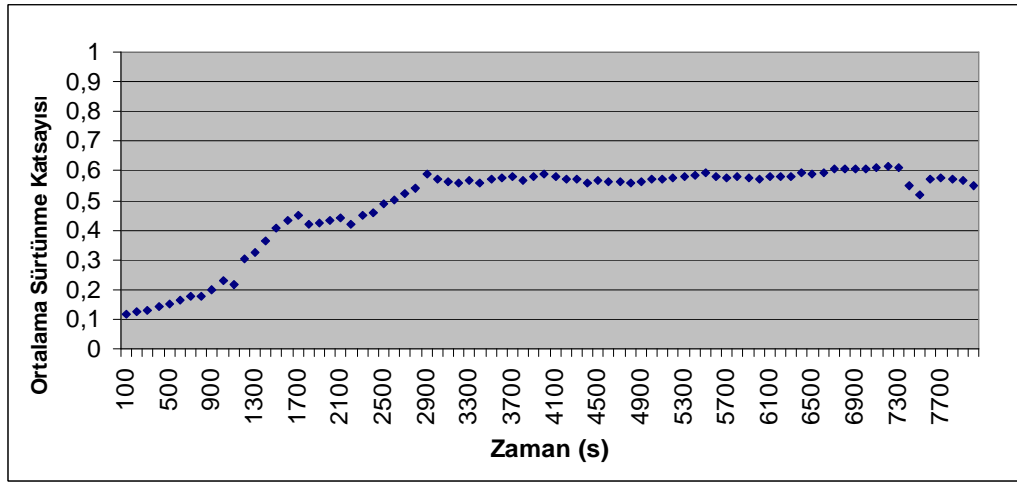
Şekil 4.46 AISI 304 520⁰C Plazma Nitürleme Ortalama Sürtünme Katsayısı



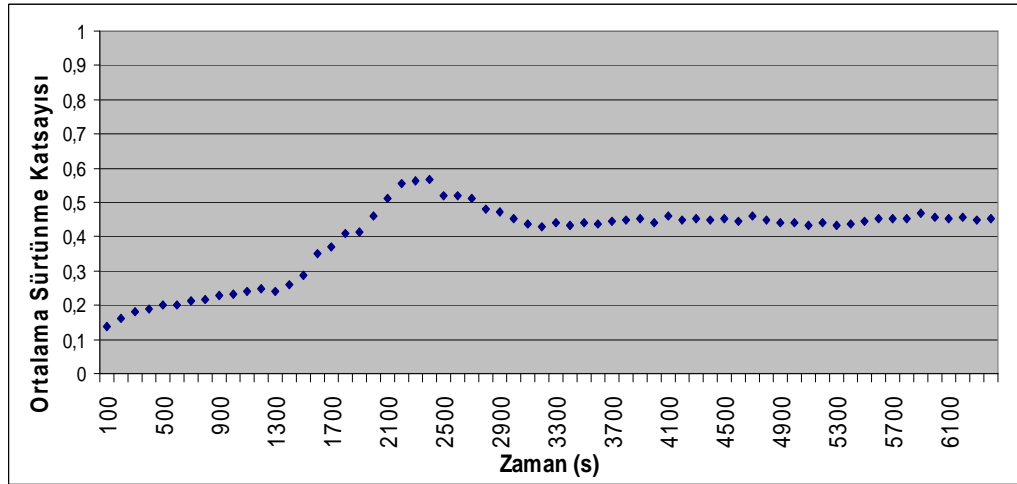
Şekil 4.47 AISI 420 520⁰C Plazma Nitürleme Ortalama Sürtünme Katsayısı



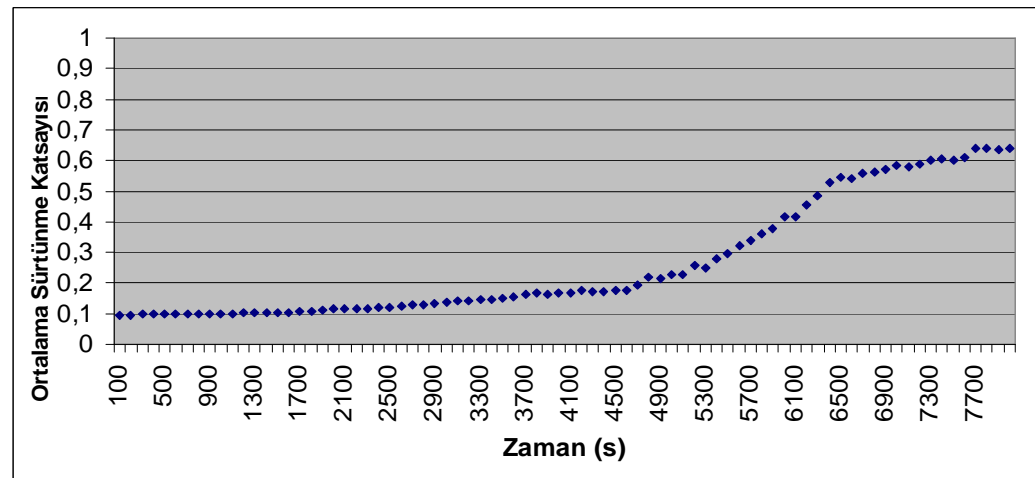
Şekil 4.48 AISI 430 520⁰C Plazma Nitürleme Ortalama Sürtünme Katsayısı



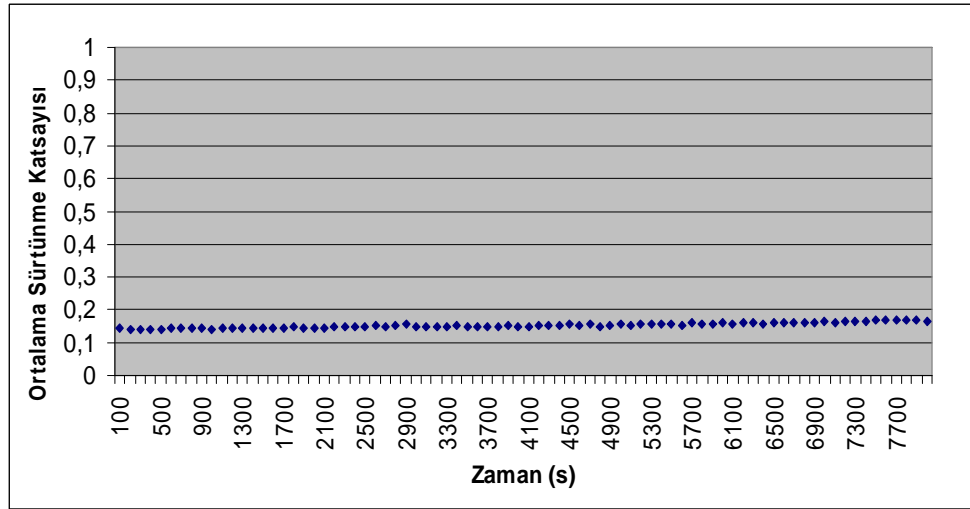
Şekil 4.49 AISI 304 570 °C Gaz Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı



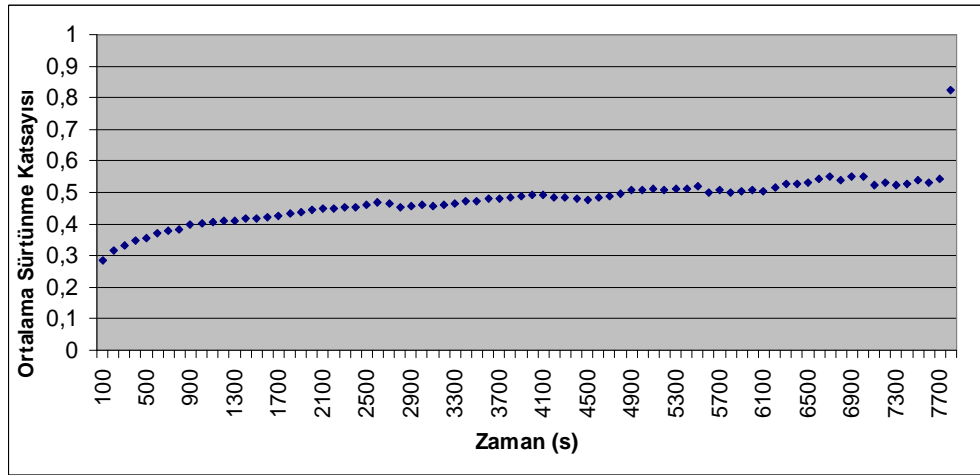
Şekil 4.50 AISI 420 570 °C Gaz Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı



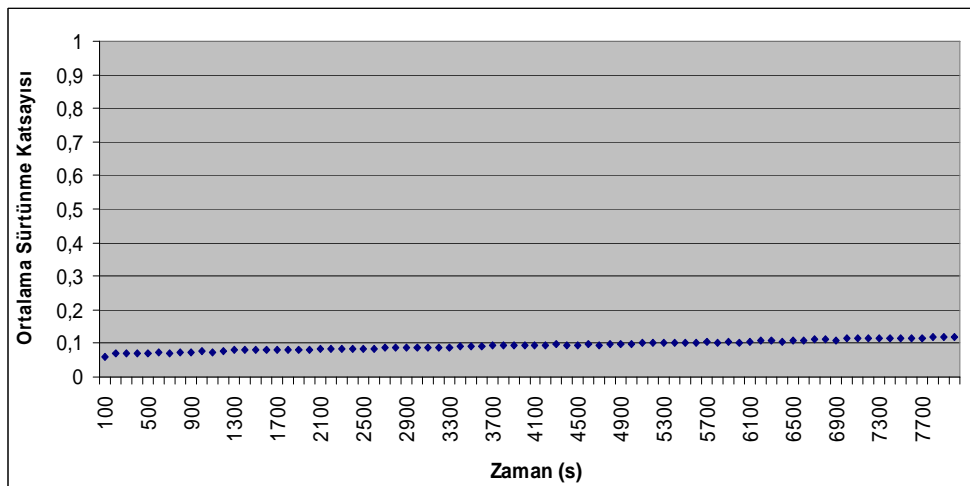
Şekil 4.51 AISI 430 570 °C Gaz Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı



Şekil 4.52 AISI 304 570 °C Tuz Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı

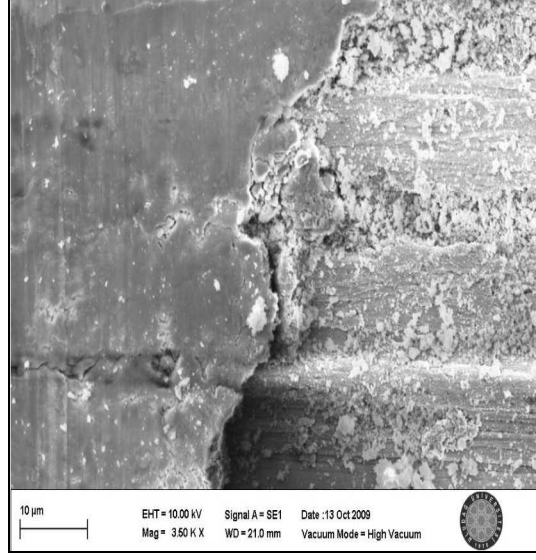


Şekil 4.53 AISI 420 570 °C Tuz Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı



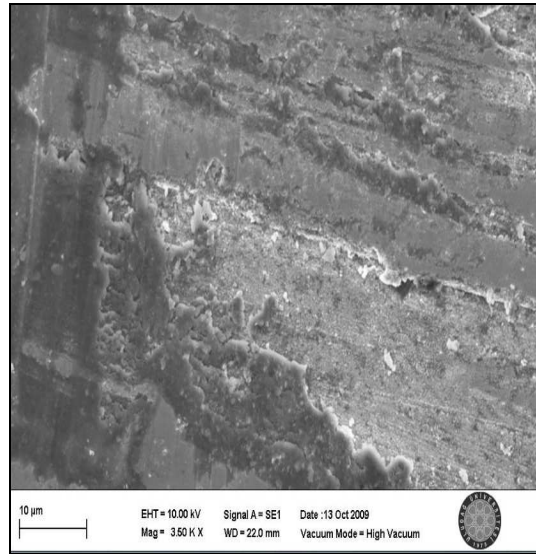
Şekil 4.54 AISI 430 570 °C Tuz Nitrüleme Ortalama Sürtünme Katsayısı

Ball on disc metodu ile yapılan aşınma testi sonucunda yüzey yapısının incelenmesi için numuneler SEM (Scanning Electron Microscope) cihazında görüntüleme yapılmıştır. Carl Zeiss Evo 40 model SEM cihazı ile 3500 kez büyütme yapılarak yüzey görüntülenmiştir. SEM cihazında numunelerin yüzeyindeki kırılma ve aşınmaya ait görüntüler aşağıdaki resimlerle gösterilmiştir.



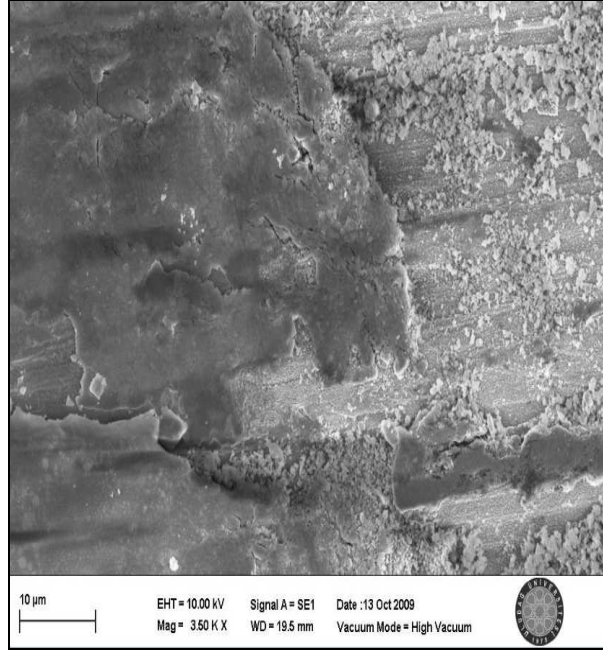
Şekil 4.55 AISI 304 450⁰C Plazma Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü

400 büyütmede optik mikroskopta gözükmeyen beyaz tabaka yapısı burada gözükmemektedir. Beyaz olarak gözükken kısımlar beyaz tabakanın kırılma görüntüleri olarak yorumlanmaktadır.



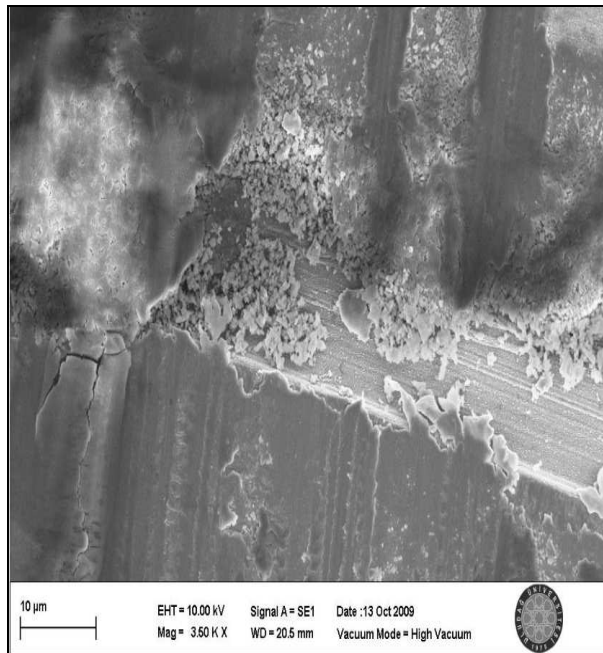
Şekil 4.56 AISI 420 450⁰C Plazma Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü

Yüzeyde net bir beyaz tabaka oluşumu AISI 304 deki gibi net olarak gözükmemesine rağmen yüzeyde çok ince beyaz tabaka oluşumunun kırılmaları gözükmektedir.



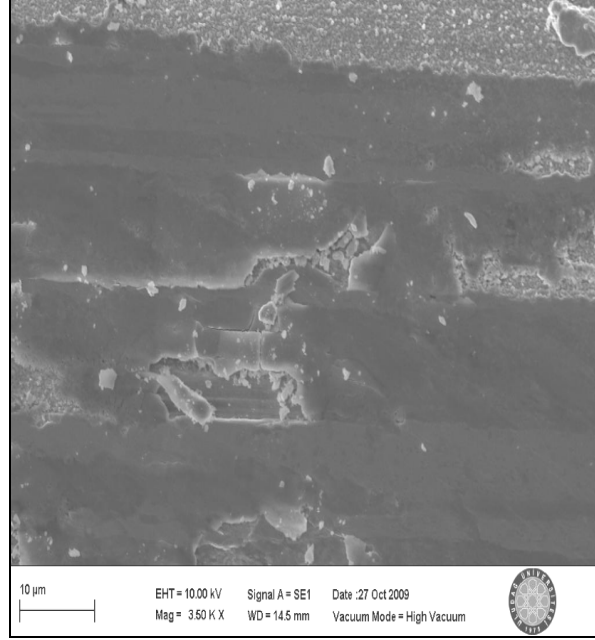
Şekil 4.57 AISI 430 450⁰C Plazma Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü

AISI 430 daki SEM görüntüsünde AISI 420 deki gibi yer yer çatlak ve dökülmeler gözükmektedir.



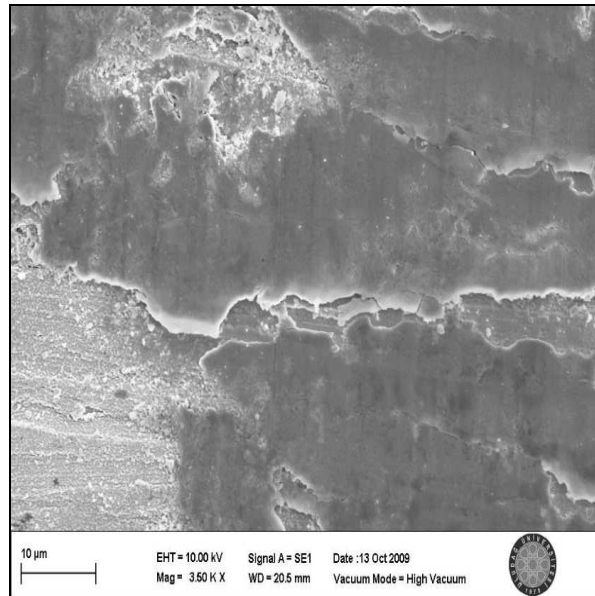
Şekil 4.58 AISI 304 520⁰C Plazma Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü

Burada 450 °C de plazma nitrürlenen numunelere nazaran beyaz tabaka dayanımınınin yüksek olduğu söylenebilir. Paralanmalar 450 °C de plazma nitrürlenen numunelere göre beyaz tabakanın plazma nitrürleme yönteminde malzeme üzerine daha iyi tutunduğunu ve daha iyi dayanıma sahip olduğunu göstermektedir.



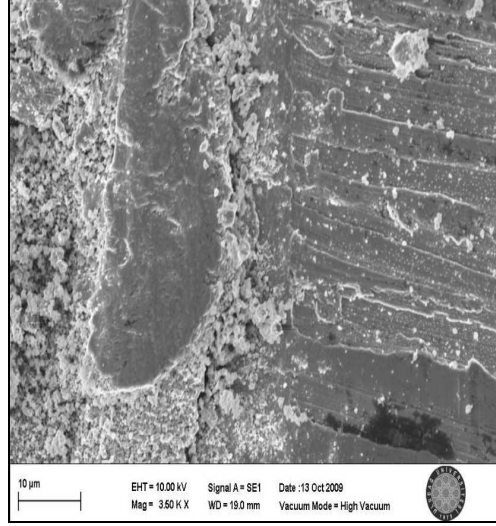
Şekil 4.59 AISI 420 520 °C Plazma Nitrürleme AŞınma Testi Sonrası SEM görüntüsü

Yüzey üzerinde plastik deformasyonların oluşmadığı bölgesel olarak hafif aşınmaların gerçekleştiği görülmektedir. Yüksek yüzey sertliği plastik deformasyonu önleyebilmektedir (Yun-tao ve Dao-xin 2007).



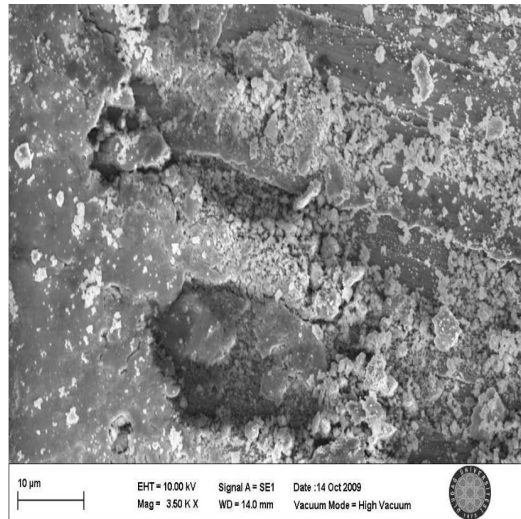
Şekil 4.60 AISI 430 520 °C Plazma Nitrürleme AŞınma Testi Sonrası SEM görüntüsü

AISI 420 ve AISI 430 daki görüntüler AISI 304 deki benzer görüntüler taşımaktadır ve beyaz tabaka dayanımının 450 °C de ki nitrürleme ye göre daha dayanıklı olduğunu göstermektedir.



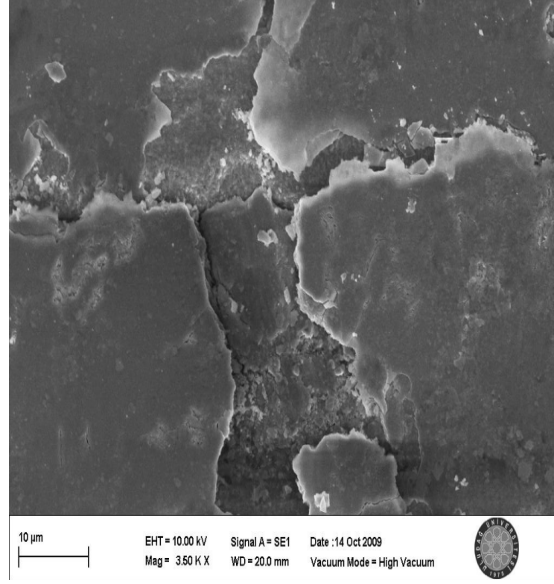
Şekil 4.61 AISI 304 570 °C Gaz Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü

Alınan görüntüde beyaz tabakanın çok hızlı bir şekilde çok fazla kırılarak parçalandığı gözlemlenmektedir. Buradaki kırılmanın fazlalığıyla beraber kırılan partiküllerin ortamdan uzaklaştırılamaması nedeniyle sürünme katsayısındaki artışı da beraberinde getirmiştir. Sertliğin düşük olması sebebiyle yüzeyde sert aşınmalar gözlenmektedir (Li ve Bell 2003). Düşük olan yüzey sertliği neticesinde abrazyif ve adeziv aşınmaların oluştuğu gözlemlenmektedir. Beyaz tabakanın yüzeye tutunabilirliğinin plazma nitrürleme yöntemindeki kadar etkin olmadığı söylenebilir. Aşınmanın büyük olması yukarıda hesaplanan sürtünme katsayısındaki artışla da doğrulanmaktadır.



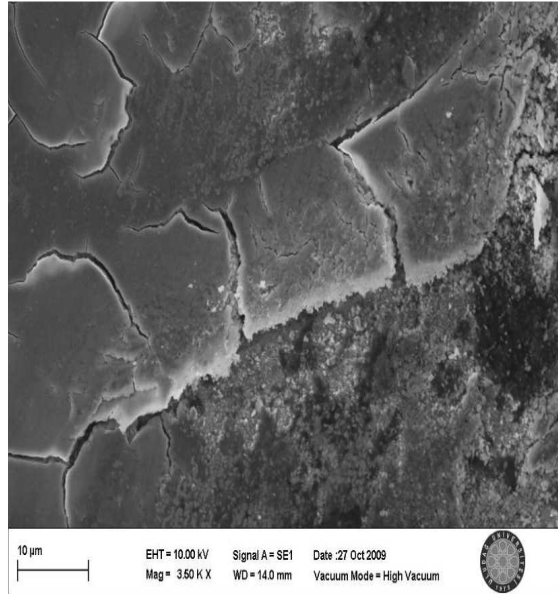
Şekil 4.62 AISI 420 570 °C Gaz Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü

AISI 420 için elde görüntüler ile AISI 304 için elde edilen görüntülerle benzer özellikte olduğu gözlemlenmektedir.

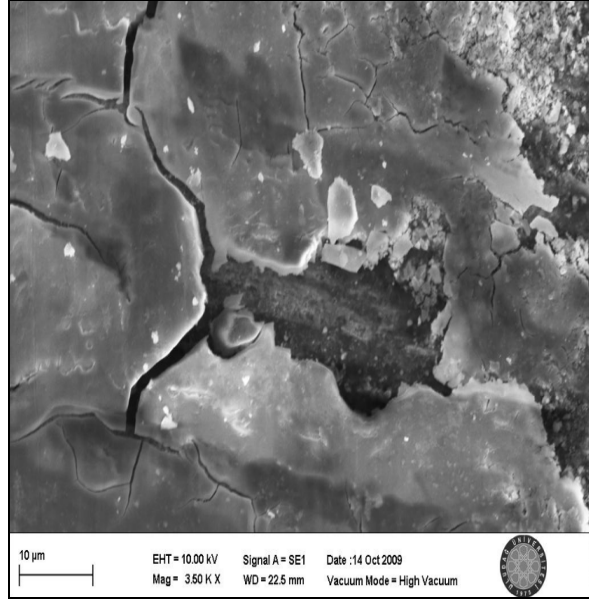


Şekil 4.63 AISI 304 570⁰C Tuz Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü

Tuz nitrürleme uygulamasında beyaz tabakanın kalın olması sebebiyle yüzeyde parçalanma yerine çatlakların büyüyerek büyük parçalar şeklinde kırıldığı gözükmektedir. Tuz banyolarının siyanür siyanad içermesinden dolayı N in C yayılımını artırdığı ve C unda beyaz tabaka oluşumunu desteklediği bilinmektedir.



Şekil 4.64 AISI 420 570⁰C Tuz Nitrürleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü



Şekil 4.65 AISI 430 570⁰ C Tuz Nitrüleme Aşınma Testi Sonrası SEM görüntüsü

Tuz nitrülenen AISI 420 ve AISI 430 numunelerinin de AISI 304 gibi parçalanma eğiliminde olmadığı ve geniş alanlar halinde çatlama gerçekleştiği gözlenmiştir.

Sonuç olarak yapılan farklı gruptaki nitrüleme (plazma, gaz ve tuz nitrüleme) çalışmalarında aşınma sonrasında elde edilen yüzey yapılarının birbirinde tamamen farklı yapıda oldukları tespit edilmiştir.

5 - SONUÇLAR

- Yapılan nitrürleme işlemleri neticesinde 520 °C de plazma nitrürleme yapılan AISI 430 deney numunesinde en yüksek sertlik değerine (1490 HV) ulaşıldığı görülmüştür. Belirtilen proses koşullarında gaz nitrasyon uygulamasında nitrasyon proses süresinin yetersiz olması nedeniyle istenen sertlik değerlerine ulaşılamamıştır.

- Aşınma dayanımı ile ilgili olarak yapılan deney neticesinde en yüksek aşınma dayanımına 570 °C de tuz nitrürleme yapılan AISI 430 numunesi ile ulaşıldığı tespit edilmiştir. Gaz nitrasyon uygulaması yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı en kötü aşınma dayanımı içermektedir.

- Yapılan tuzlu sis testi sonuçlarına göre en yüksek korozyon direnci 450 °C de plazma nitrürlenmiş AISI 304 numunesi olmuştur. Plazma nitrürleme uygulamasına alternatif olarak tuz nitrasyon uygulaması da tercih edilebileceği yapılan testlerle gözlemlenmiştir.

Deney numuneleri ile yapılan çalışmalar neticesinde paslanmaz çelik malzemelerin sertleştirilmesinde plazma nitrürleme yöntemi gerek aşınma dayanımı gerekse de paslanmaz çeliğin başlıca karakteristiği olan paslanmazlık özelliğini de kaybetmeden mühendislik çalışmalarında göz önünde bulundurulabileceği gözlemlenmiştir.

Plazma nitrürleme uygulamasına bazı uygulamalarda alternatif olarak tuz nitrasyon işleminin kullanılabilmesi yapılan çalışmalar ile desteklenmiştir.

6- KAYNAKLAR

SARAÇOĞLU, M.H., 2007 D2 Çeliğinden Üretilmiş ve Değişik Şartlarda Plazma Nitrürlenmiş Zımbaların Aşına Davranışlarının İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.

ÖZDEMİR, U., ERTEN, M. 2003 Plazma (İyon) Nitrürlenme Yöntemi ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 2:41-48.

ÖZDEMİR, U., ERTEN M. 2004 Plazma Nitrürlenmenin Sert Metal Plaketlerde Sürtünme Katsayısına Etkisi. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 3:29-38.

ÇAPA, M., TAMER, M. 2000 Life Enhancement of Hot-Forging Dies by Plasma-Nitriding. Turk J Engin Environ Sci, 111 - 117.

XI, Y.T., LIU, D.X. 2007 Improvement of Mechanical Properties of Martensitic Stainless Steel by Plasma Nitriding at Low Temperature. Science Direct Acta Metall. Sin. Engl. Lett, 1:21-29.

TRABZON, L. ,İĞDİL, M.C. 2005 On The Materials Properties of Thin Film Plasma-Nitrided Austenitic Stainless Steel. Elsevier Surface & Coatings Technology, 4195–4200.

WANG, L. ,Ji,S. 2005 Effect of Nitriding Time on The Nitrided Layer of AISI 304 Austenitic Stainless Steel. Elsevier Surface & Coatings Technology, 5067 – 5070.

TUCKART, W. , Forlerer, E. 2007 Delayed Cracking In plasma Nitriding of AISI 420 Stainless Steel. Elsevier Surface & Coatings Technology, 199–202.

ÖZDEMİR, U. , ERTEN M. 2006 Plazma Nitrürlenmiş Sert Metal Plaketlerde Performans Araştırması. İtü Dergisi 1:127-138.

EPİK, Ö., EPİK, H. 2004 İyon İmplantasyonu ile Metal Yüzey Islahı. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Makine Mühendisliği Bölümü.

ÇETİN, A. , TEK, Z. 2007 A Comparative Study of Single and Duplex Treatment of Martensitic AISI 420 Stainless Steel Using Plasma Nitriding and Plasma Nitriding-Plus-Nitrogen Ion Implantation Techniques. Elsevier Surface & Coatings Technology, 8127–8130.

YUN-TAO, X. ,DAO-XIN, L. 2008 Improvement of Erosion and Erosion–Corrosion Resistance of AISI420 Stainless Steel by Low Temperature Plasma Nitriding. Elsevier Applied Surface Science 5953–5958.

LIANG, W. , 2003 Surface Modification of AISI 304 Austenitic Stainless Steel by Plasma Nitriding Elsevier Applied Surface Science 308–314.

DEMİRCİ, A. H. 2004 Önemli Endüstriyel Malzemeler ve Isıl İşlemleri 76-99.

SERFİÇELİ, S. Y. , 2000 Malzeme Bilgisi 127.

ÇELİK,A., KARAKAN M. Gaz Karışımlarının İyon Nitrüleme Üzerine Etkisinin Araştırılması Dokuz Eylül Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2:87-94.

EVCİN, A.,2006 Kaplama Teknikleri Ders Notları.

<http://www.struers.com/resources/elements/12/105166/Application%20Notes%20Aluminium%20English.pdf> Erişim 27.12.2009. Konu:Korozyon.

DARBELLAY, J., 2006 Gas Nitriding. An Industrial Perspective Department of Materials Science and Engineering.

"KARAKAN, M., ALSARAN,A., 2003 Effects of Various Gas Mixtures on Plasma Nitriding Behavior of AISI 5140 Steel. 241– 246."

ASAN, N. 2007 Tekrarlanan Gaz Nitrasyon İşleminin AISI H13 Ekstrüzyon Kalıbının Kırılma Hasarına Etkisi Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı.

SHEN, Y.Z. , OH, K. H., 2005 Nitriding of Steel in Potassium Nitrate Salt Bath. School of Materials Science and Engineering 1345–1349.

DUMAN, B. , 2002 Laboratuar Tipi Bir Fırının Belirli Doluluk Oranlarına Göre Sıcaklık Zaman İlişkilerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

EKER, A.A. , 2008 Yüzey Sertleştirme İşlemleri Ders Notları.
ASM HANDBOOK 2004 Heat Treating 4:387-425.

SEVER, K., 2003 Demir Dışı Metal ve Alaşımlarda İyonitasyon ile Sertleştirme ve Sertleştirme Sonucu Oluşan Malzeme Özelliklerinin Tesbiti. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü.

BAYRAK, Ö. , 2007 Plazma ile Nitrülenmiş CoCrMo İmplant Malzemenin Yapısal ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü.

ÖZDEMİR, U. , ERTEN, M. 2005 Plazma Nitrüleme Parametrelerinin Değişen Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analizi. Havacılık ve Uzak Teknolojileri Dergisi 1:37-45.

<http://www.ermir.com.tr/tr/technical.asp> Erişim 30.12.2009. Konu: Plazma nitrüleme.

SINGH, G.P. , ALPHONSA, J. 2005 Effect of Surface Roughness on The properties of The Layer Formed on AISI 304 Stainless Steel After Plasma Nitriding. Elsevier Surface & Coatings Technology 5807–5811.

<http://www.istanbulisil.com> Erişim 30.12.2009 Konu:Plazma Nitrüleme işlemi.

BUBERT, B., JENETT, H., 2003 Surface and Thin Film Analysis Principles, Instrumentation Applications.

ÇAKIR, A. 1990 Metalik Korozyon İlkeleri ve Kontrolü.

Davis, J.R., 2001 Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance 1-9.

<http://www.famakaplama.com/image/pdf/korozyon.pdf> Erişim 01.09.2009
Konu:Korozyon.

<http://www.euro-inox.org> Erişim 10.08.2009 Konu: Paslanmaz çelikler.

Önerler 2009 Gaz nitrüleme ürün kataloğu.

İstaş ısıtma işlemi 2009 Arcor işlemi ürün kataloğu.

Yun-tao, X. ,Dao-xin, L. , 2007 Improvement of corrosion and wear resistances of AISI 420 martensitic stainless steel using plasma nitriding at low temperature. Elsevier Surface & Coatings Technology, 2577–2583.

Li. C.X. , Bell, T. , 2003 Sliding wear properties of active screen plasma nitrided 316 austenitic stainless steel. 1144–1152.

7- TEŞEKKÜR

Paslanmaz çelik malzemeler üzerine gerçekleştirmiş olduğumuz bu çalışmanın her aşamasında ve iş hayatımda desteğini esirgemeyen Sn. Prof. Dr. Ali BAYRAM'a , teknik olarak yardımını ve bilgilerini üzerimden esirgemeyen Sn.Dr. Hakan AYDIN'a ve Sn.Arş. Gör. Mümin TUTAR'a , deney çalışmalarının yapılmasında ERMİR A.Ş ye teknik olanaklarını ve bilgisini esirgemeyen Sn. Dr. Ersin KORKMAZ ' a , deney numunelerinin tuz nitrasyonunun yapılmasında yardımlarını esirgemeyen İSTAŞ BODYCOTE firması adına Volkan GÜVEN' e deney numunelerinin gaz nitrasyonunun yapılmasında yardımlarını esirgemeyen ÖNERLER ISIL İŞLEM 'e, tez çalışmalarımı devam ettirebilmem için maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Sn. Aral ALKAN' a ve Sn. Yıldırım DEMİRCİ' ye , korozyon testlerinin yapılmasında desteklerini esirgemeyen Uğur KIRCI ve Özgür SEVİNECEK' e ve beni bugünlere getiren her zaman manevi ve maddi desteğini üzerimden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

8- ÖZGEÇMİŞ

1983 Bursa doğumlu olan Şükrü TOPÇU, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesinden 2005 yılında mezun olarak Makine Mühendisi unvanı almıştır. 2006 yılında MGI COUTIER firmasında kalite mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır ve halen bu görevini devam ettirmektedir.