T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN İYON NİTRÜRASYONU

Mak. Müh. Ceyhun SEVİL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makina Mühendisliği ANA BİLİM DALI

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Mümin ŞAHİN

2008
EDİRNE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN İYON NİTRÜRASYONU

Mak. Müh. Ceyhun SEVİL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

2008
EDİRNE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN
İYON NİTRÜRASYONU

Mak. Müh. Ceyhun SEVİL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 25 / 06 / 2008 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

Doç. Dr. Mümin ŞAHİN	Yrd. Doç. Dr. Cem ÇETİNARSLAN	Yrd. Doç. Dr. Tolga SAKALLI
Jüri Üyesi-Tez Danışmanı	Jüri Üyesi	Jüri Üyesi

ÖZET

Bu tezde, ostenitik paslanmaz çeliklere iyon nitrürasyon işlemi uygulanıp, yüzey özelliklerini iyileştirilme işlemi uygulanmıştır. İyon nitrürasyon işlemi gelişen yöntemler arasında en yaygın kullanılan yöntemdir. İyon nitrürasyon işlemi termokimyasal işlemlerin bir çeşididir. Termokimyasal işlemler, malzeme yüzeyinde farklı fazlar oluşturarak bir veya daha fazla elementin malzeme içerisine difüze edilmesidir. İyon nitrürasyon işlemi diğer yöntemlere göre, düşük enerji, kısa işlem süresi ve temiz numuneler gibi avantajları vardır. İyon nitrürleme işlemiyle yüzey sertleştirme işlemi yapılır. İyon nitrürasyon işlemi ile malzemelerin aşınmaya ve yorulmaya karşı dayanımlarını arttırma işlemi uygulanmıştır.

Ostenitik paslanmaz çelik, (AISI 304 çeliği) talaşlı şekil verme işlemiyle istenen boyutlara getirildikten sonra bir bölüm parçalar 400-600 °C sıcaklık aralığında 24 ve 60 saat nitrürleme işlemi uygulanmış, ve bu parçalara yorulma, çekme ve çentik-darbe deneyleri uygulanmıştır. Talaş şekil verme işlemine uğramış diğer parçalar sürtünme kaynağı ile birleştirilip, 400-600 °C sıcaklık aralığında 24 ve 60 saatlerde nitrürleme işlemi uygulanıp, yorulma, çekme ve çentik-darbe deneyleri uygulanmıştır. Nitrürlenen bu parçalara yüzeyden esas metal bölgesine olan aralıkta mikrosertlik ölçümü uygulanmıştır. Numenelere uygulanan deneylerden alınan sonuçlar yorumlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: İyon Nitrürasyon, Ostenitik Paslanmaz Çelik, Yorulma Deneyi, Çekme Deneyi, Mikrosertlik Ölçümü

ABSTRACT

In this thesis, process of improving surface properties of austenitic stainless steels is carried out applying ion nitruration process. Ion nitruration process is the most widely used one in the developed methods. Ion nitruration process is a kind of thermochemical processes. Thermochemical processes are diffusing of one or more elements into the material, forming different phases on the surface of the material. Ion nitruration process has advantages like low energy, short operation period and clean samples compared to other methods. Surface hardening operation is done by ion nitruration process. Resistance of the materials towards abrasion and fatigue processes is carried out by ion nitruration process.

Turning up austenitic stainless steel AISI 304 steel to required sizes by machining operation, fatigue, tensile, natch-impact tests are applied to these parts which are applied nitruration process 400-600 °C temperature ranges for 24 and 60 hours. Other parts imposed to machining operation are combined with friction welding and applied nitruration process between 400-600 °C temperature ranges for 24 and 60 hours, carried out fatigue, tensile, and natch-impact tests. Micro hardness measurement is applied to those parts from surface to basic metallic area. Results of the tests applied to samples are commented.

KEY WORDS: Ion Nitruration, Austenitic Stainless Steel, Fatigue Test, Tensile Test, Natch-Impact Test, Micro hardness Measurement

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında araştırılmış olan iyon nitrürasyon konusu, makina mühendisliğinin malzeme-ısıl işlem teknolojisi uygulamalarından biridir. İyon nitrürasyon işleminde malzeme üzerinde tabaka oluşturulup, yüzey sertliği sağlanır. Bu özelliğinden dolayı malzemenin mukavemeti ve yüzey sertliği artmakta diğer anlamda malzemenin mekanik özellikleri iyileşmektedir. İyon nitrürasyon işlemi endüstriyel sistemde yaygın kullanılan teknolojidir.

Bu çalışmada, yöntemin Ostenitik paslanmaz çeliklerden AISI 304'e uygulanabilirliği araştırılmış; İyon nitrürasyon uygulanmış numunelere daha sonra çekme, yorulma, mikrosertlik, çentik-darbe deneyleri uygulanmıştır.

Çalışma, dört bölümden ibaret olup, ilk bölümde iyon nitrürasyon işlemi tanıtılarak geçmişte araştırmacılar tarafından yapılan benzer çalışmalar genel anlamda incelenmiştir. İkinci bölümde iyon nitrürasyon metodu hakkında bilgi verilip, daha sonraki 3. bölümde deney tezgahı malzemeleri hakkında bilgi verilmiştir. Son bölümde, yapılan deney sonuçları irdelenmiş ve tartışılmıştır.

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1. **GİRİŞ** 1

BÖLÜM 2. **İYON NİTRÜRASYON METODU** 7

2.1. İyon Nitrürasyon ve İşlemi 7

2.2. Plazma 9

2.2.1. Plazma Özellikleri 9

2.3. İyon Nitrürasyon özellikleri ve diğer yöntemlerle farkları 10

2.4. Beyaz Tabaka 11

2.5. Difüzyon Bölgesi 12

2.6. Endüstriyel Uygulamalar 13

BÖLÜM 3. **İYON NİTRÜRASYON MATERYELLERİ** 14

3.1. Deney Düzeneği 14

3.2. Fiberglas Boru 14

3.3. Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Cam 14

3.4. Vakum Pompası 15

3.5. Güç Kaynağı 15

3.6. Azot ve Hidrojen Gazları 16

3.7. Alüminyum Döküm Kapak 16

3.8. Vakum Kabı 16

3.9. Paslanmaz Çelik 22

3.10. Paslanmaz Çelik Üstünlükleri…….. …….....23

3.10.1 Korozyon Dayanımı…… …….....23

3.10.2 Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar…… …….....23

3.10.3 İmalat Kolaylığı…… ……..23

3.10.4 Mekanik Dayanım…… …….....24

3.10.5 Görünüm…… ……....24

3.10.6 Hijyenik Özellik……..……....24

3.11. Paslanmaz Çelik Türleri……..……..25

3.12. Ostenitik Paslanmaz Çelik……..……..25

BÖLÜM 4. **DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR** 26

4.1. Numunelerin Hazırlanması……..…….…….....26

4.2. Sürtünme Kaynağı……..…….....27

4.2.1 Klasik Sürtünme kaynağı……..……..28

4.2.2 Sürtünme Kaynağı Parametreleri……. …….....29

4.2.3 Sürtünme Kaynağı Uygulama Alanları…… ..29

4.2.4 Sürtünme Kaynağı Sakıncaları ve Üstünlükleri…….....30

4.3 Yorulma Deneyi ve Sonuçları…….……....32

4.4. Çentik Darbe Deneyi ve Sonuçları……..…….....39

4.5. Çekme Deneyi ve Sonuçları……..……..…….....43

4.6. SEM-EDS Analizleri ve Sonuçları……..…….....45

4.7. Sertlik Deneyi ve Sonuçları……..…….....57

BÖLÜM 5. **TARTIŞMA** 61

KAYNAKLAR 63

TEŞEKKÜR 66

ÖZGEÇMİŞ 67

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 İyon nitrürasyon işleminin şematik görünümü 18
Şekil 3.2. İyon nitrürasyon deney düzeneği 19
Şekil 3.3. Hidrojen ve azot gazı tüpleri görünümü 19
Şekil 3.4. Vakum kabı, güç kaynağı ve vakum pompası görünümü 20
Şekil 3.5. Vakum kabı, güç kaynağı ve vakum pompası yandan görünümü 20
Şekil 3.6. Gaz karışım odası ve U manometresi görünümü 21
Şekil 3.7. Vakum pompası görünümü 21
Şekil 4.1. Numune şekli 26
Şekil 4.2. Klasik sürtünme kaynak deney tesisatı 28
Şekil 4.3 İnstron cihazı görünümü 32
Şekil 4.4 24 saat iyon nitrürasyonlu kaynaksız numune 33
Şekil 4.5 24 saat iyon nitrürasyonlu numunenin yorulma görünümü 33
Şekil 4.6 60 saat iyon nitrürasyonlu numunenin yorulması görünümü 34
Şekil 4.7 24 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı numune yorulması görünümü 35
Şekil 4.8 60 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı yorulma görünümü 36
Şekil 4.9 Kaynaklı ve kaynaksız numunelerin yorulma diyagramı 37
Şekil 4.10 60 saat iyon nitrürasyonlu çentik-darbe görünümü 39
Şekil 4.11 60 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı çentik-darbe görünümü 40
Şekil4.12 24 saat iyon nitrürasyonlu kaynaksız çentik-darbe görünümü 41
Şekil 4.13 24 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı çentik-darbe görünümü 42
Şekil 4.14 İnstron cihaz görünümü 44
Şekil 4.15 24 saat nitrürasyonlu kaynaklı kaynaksız bölge görünümü 45
Şekil 4.16 24 saat nitrürasyonlu kaynaklı spektrum diyagramı 45
Şekil 4.17 24 saat nitrürasyonlu kaynaklı bölge görünümü 46
Şekil 4.18 24 saat nitrürasyonlu kaynaklı bölge spektrum diyagramı 46
Şekil 4.19 24 saat nitrürasyonlu kaynaklı bölgenin kenarının görünümü 47
Şekil 4.20 24 saat nitrürasyonlu kaynaklı böl. kenarının spektrum diyagramı 47
Şekil 4.21 60 saat nitrürasyonlu kaynaklı numunenin kaynaksız bölge görünümü 48

Şekil 4.22 60 saat nitrürasyonlu kaynaklı spektrum diyagramı 48
Şekil 4.23 60 saat nitrürasyonlu kaynaklı bölgenin görünümü 49
Şekil 4.24 60 saat nitrürasyonlu kaynaklı numunenin spektrum diyagramı 49
Şekil 4.25 60 saat nitrürasyonlu kaynaklı bölgenin kenarının görünümü 50
Şekil 4.26 60 saat nitrürasyonlu kaynaklı bölgenin kenarının spektrum diyagramı 50
Şekil 4.27 24 saat nitrürasyonlu bölgenin görünümü 51
Şekil 4.28 24 saat nitrürasyonlu bölgenin spektrum diyagramı 51
Şekil 4.29 24 saat nitrürasyonlu 2.bölgenin görünümü 52
Şekil 4.30 24 saat nitrürasyonlu 2.bölgenin spektrum diyagramı 52
Şekil 4.31 24 saat nitrürasyonlu numunenin anametal görünümü 53
Şekil 4.32 24 saat nitrürasyonlu numunenin spektrum diyagramı 53
Şekil 4.33 60 saat nitrürasyonlu numunenin dış yüzeyinin görünümü 54
Şekil 4.34 60 saat nitrürasyonlu numunenin dış yüzeyinin spektrum diyagramı 54
Şekil 4.35 60 saat nitrürasyonlu numunenin anametal görünümü 55
Şekil 4.36 60 Nitrürasyonlu numunenin anametal spektrum diyagramı 55
Şekil 4.37 60 Saat iyon nitrürasyonlu kaynaksız numunenin dış yüzeyden içeriye doğru sertlik diyagramı 57
Şekil 4.38 24 Saat iyon nitrürasyonlu kaynaksız numunenin dış yüzeyden içeriye doğru sertlik diyagramı 58
Şekil 4.39 60 Saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı numunenin dış yüzeyden içeriye doğru sertlik diyagramı 59
Şekil 4.40 24 Saat İyon nitrürasyonlu kaynaklı numunenin dış yüzeyden içeriye doğru sertlik diyagramı 60

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 AISI 304 malzeme kimyasal bileşimi 22
Çizelge 4.1 Kaynaklı numunenin kaynaksız bölge element oranları 45
Çizelge 4.2 Nitrürasyonlu kaynaklı bölge element oranları 46
Çizelge 4.3 Nitrürasyonlu kaynaklı bölge kenarının element oranları 47
Çizelge 4.4 Kaynaklı numunenin kaynaksız bölge element oranları tablosu 48
Çizelge 4.5 Kaynaklı numunenin kaynaklı bölge element oranları tablosu 49
Çizelge 4.6 Kaynaklı numunenin kaynaklı bölge kenarının element oranları tablosu 50
Çizelge 4.7 Nitrürasyonlu bölgenin element oranları tablosu 51
Çizelge 4.8 Nitrürasyonlu 2.bölgenin element oranları tablosu 52
Çizelge 4.9 Nitrürasyonlu numunenin anametal element oranları tablosu 53
Çizelge 4.10 Nitrürasyonlu numunenin dış yüzeyinin element oranları tablosu 54
Çizelge 4.11 Nitrürasyonlu numunenin element oranları tablosu 55

1.GİRİŞ

Makine elemanları kendilerinden beklenilen 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 etkilere maruz kalan malzemelerin yüzey dayanımları arttırılmalıdır. İyon (plazma) nitrürleme yöntemi bu amaçla kullanılan bir yöntemdir. İyon nitrürleme özellikle otomotiv sanayinde, metalurji sektöründe ve takım imalat sanayinde uygulama alanı bulan, malzemelerin yüzey sertliklerini arttırarak, aşınma dirençlerini ve ömürlerini arttırmada etkili olan bir yüzey sertleştirme yöntemidir.

Özellikle eğilme ve burulma zorlanmaları altında çalışan makine parçalarında gerilmenin en büyük değerini yüzeyde alması nedeniyle yüzeye uygulanan karbürleme, nitrürleme ve indüksiyonla yüzey sertleştirme gibi termo-kimyasal yöntemlerinin dışında, haddeleme, bilya püskürtme gibi mekanik olarak yüzey sertliğini arttırmaya ve yüzeyde basma artık gerilmesi oluşturmaya yönelik tüm işlemler malzemenin yorulma dayanımını arttırmaktadır.

1960’ lı yıllardan itibaren uygulama alanı bulan iyon nitrürleme, diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine göre nispeten yeni bir yöntem olmakla birlikte, günümüzde pek çok alanda uygulanmaktadır. Bunun temel nedeni diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine göre sağlamış olduğu üstünlüklerdir. Bu üstünlükler 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 ile değişen malzeme özelliklerini etkileyen bir çok faktör vardır. Plazma nitrürleme parametreleri adı verilen bu faktörlerin, malzeme özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi konusunda ve bir çok üstünlüğü olan bu yöntemin sanayiye kazandırılması konusunda bir çok araştırmalar yapılmaktadır. Aşağıda bunlardan bir kısmı verilmiştir;

Cohen, A., Boas, M., ve Rosen, A., 1986 yılında 15-5 paslanmaz çelikten hazırladıkları numuneleri değişik sıcaklık, zaman, basınç ve gaz akış oranı şartları altında iyon nitrürlemişlerdir. Yukarda ki parametrelerle nitrürlenmiş tabakaların kalınlığındaki değişim incelenmiştir. Beyaz tabaka ve difüzyon tabakasının kalınlığının kontrol edilebileceği bulunmuştur. Ayrıca belirli şartlar altında beyaz tabakanın yok edilebileceği gözlenmiştir.

Çelik, A., ve Karadeniz, S., 1993 yılında Düşük enerjili glow deşarja maruz kalan metalik yüzeylerin yorulma mukavemeti özelliklerini ve aşınma direncini artırmak için alaşımlı çelikleri iyon nitrürlemişlerdir. Yüzeylerin sertliklerinin arttırılması çelik içerisinde bulunan alaşım elemanlarının koherent ve yarı koherent olarak çok ince dağılmaları nedeniyle oluşmaktadır. Oluşan reaksiyon oranının özellikle alaşım elemanları ile azotun etkileşimine bağlı olduğuna inanılmıştır. Bu çalışmada düşük alaşımlı çelik olan 4140 çeliği 400-600 °C sıcaklık aralığında % 67 H_2- %33 N_2 gaz karışımında 10 mbar basınçta ½ ve 12 saat iyon nitrürlemişlerdir. Daha sonra optik mikroskop ve mikrosertlik cihazı kullanılarak 4140 çeliğinin iyon nitrürasyon davranışını incelemişlerdir.

Salik, J., Ferrante, J., Honecy, F., ve Hoffman, R Jr., 1987 yılında plazma ile nitrürlenmiş çeliklerin analizlerini iki kategoriye ayırmışlardır. Yapısal analiz sadece sertleştirme mekanizması hakkında bilgi vermekle kalmaz asıl prosesleri de içine alır. Kimyasal analiz nitrürasyon prosesinin kinetiğini ve mekanizmasını incelemek için kullanılabilir. Bu çalışmada her iki kategoriyle birkaç teknik ile elde edilen belli başlı sonuçlar sunulmuş ve plazma ile nitrürlenmiş çeliklerin analizine bu tekniklerin uygulanabilirliği tartışılmıştır.

Musil, J., Vlcek, J., Jezek, V., Kubasek, M., Kolega, M., ve Musil, Jr.J. 1993 yılında ince Ti filmlerin iyon nitrürayonuyla ilgilenmişlerdir. Farklı koşullar altında D.C. magnetron sputtering ile hazırlanan Ti filmleri işlem basınçları 8 torr , N_2-H_2 karışımında bir D.C. glow discharge'de nitrürlenmişlerdir. Daha sonra SEM kullanılarak yüzey topoğrafyası, EDAX kullanılarak kimyasal kompozisyonu, XRD kullanılarak faz kompozisyonunun incelemesi yapılmıştır.

Michalski Jerzy'nin 1993 yılında yaptığı çalışma anot ve katottan izole edilen bir plazma potansiyelinde anot ve katot gibi D.C. glow discharge'in farklı bölgelerinde plazma nitrürasyonun ilk sonuçlarını sunmuştur. Elde edilen sonuçlar nitrürasyon işleminin meydana geldiği bölgeye bağlı olarak nitrik tabakalarının yüzey morfolojisi ve büyüme kinetiklerindeki farklılıkları ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmanın amacı plazma ile nitrürasyon işleminde düşük sıcaklıktaki plazmanın rolünü incelemektedir. Bu işlemler sıcak anot ile plazma işleminin yapıldığı cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

Lamant, R Jr., ve Craven, A. B., 1996 yılında dişli çark yapımı için iyon nitrürasyon kullanımının ısıl işlem sonrası pahalı işlemlere olan ihtiyacı azaltacağını göstermişlerdir. Nitrürayon sıcaklığı (950 °F) indüksiyonla sertleştirme veya sementasyon ile sertleştirme sıcaklığından oldukça düşüktür. İyon nitrürasyon işlemide su verme gerektirmez, bu yüzden gerilmeleri ve distorsiyonu en aza indirir. İndüksiyonla sertleştirme veya sementasyonun sebep olduğu distorsiyonun yüksek işlem sıcaklığı ve sonraki sertleştirme sebebiyle kaliteyi ve hassasiyeti azalttığı bulunmuştur.

Meletis, E. I., Yan, S., 1990 yılında güçlendirilmiş bir glow dishcarge ile saf Al'un iyon nitrürasyonu gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Sonuçlar iyileştirilen plazma şartlarında Alüminyum nitrit oluşumunun düşük basınçta uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Oluşan nitrik bir tok yapıya ve çok ince tane boyutuna (100 A° dan daha az) sahiptir. X-Ray ve elektron difraksiyon sonuçları nitrit fazının 4.38 A° kafes parametresine sahip Y.M.K kafes yapısında olduğunu göstermiştir. Auger analiz sonuçları beyaz tabaka kompozisyonunun Al_3N 'ye yakın olduğunu işaret etmiştir. Alüminyum nitrit oluşum mekanizmasının alüminyum altlık ile azotun reaksiyona müsaede eden glow discharge tarafından saçınma yapılmış yüzeydeki Al_2O_3ün varlığı ile yakından ilgili olduğu tahmin edilmiştir.

Alsaran ve Çelik , AISI 5140 çeliğini değişik nitrürleme şartları altında plazma nitrürlemişler ve nitrürleme sonrasında elde edilen faz kompozisyonu, sertlik profili ve tabaka kalınlığını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda; bileşim tabakası kalınlığının nitrürleme zamanı, sıcaklığı ve gaz karışım oranın artmasıyla arttığını, difüzyon tabakası derinliğinin nitrürleme zamanı ve sıcaklığındaki artış, gaz karışım oranındaki azalmayla arttığını, nitrürleme sonrasına elde edilen yüzey sertliğinin büyük ölçüde nitrürleme sıcaklığına bağlı olduğunu, uzun nitrürleme sürelerinde temperleme ve çökelti büyümesi nedeniyle sertliğin azaldığını, nitrürleme zamanı, sıcaklığı ve gaz karışım oranındaki artışın Fe4N fazının yoğunluğunu arttırıp Fe_2- N_3 nitrat fazının yoğunluğunu azalttığını belirtmişlerdir.

Rocha ve diğ., plazma nitrürleme parametrelerinin bileşim tabakası ve difüzyon bölgesi üzerindeki etkisini araştırmak için, M2 takım çeliği değişik nitrürleme şartları altında plazma nitrürlemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda; bileşim tabakası oluşumunun gaz karışım oranındaki nitrojen miktarına bağlı olduğu, 300-500 °C sıcaklık aralığında % 5 nitrojen + % 95 hidrojen gaz karışım oranında bileşim tabakasının oluşmadığı, nitrojen oranının % 76 'ya çıkması durumunda bileşim tabakasının meydana geldiğini, sıcaklığın artmasıyla birlikte difüzyon bölgesindeki basma gerilmelerinin arttığını, bileşim tabakası kalınlığının artmasıyla birlikte artık gerilmelerin basmadan çekmeye doğru değişim gösterdiğini açıklamışlardır.

Stappen ve diğ., AISI 304 paslanmaz çelik ve ASP 23 takım çeliklerinin özellikleri üzerinde plazma nitrürleme şartlarının etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada plazma nitrürleme sonrasında değişen yüzey özellikleri incelenmiş, ancak bu özellik değişimler nitrürleme parametreleri ile ilişkilendirilmemiştir.

Metin, E., İnal, O. T., 1987 yılında 2-6 mm boyutlarında iri taneli numuneleri, iyon nitrürleme esnasında demirin yüzeyindeki Fe_2N , Fe_2-N_3 ve Fe_2N demir nitrürlerinin büyüme kinetiğini ve oluşumunu ayrıca nitrürleme mekanizmasına katkılarını açıklamak için 500-600 °C sıcaklıklar arasında saf azot veya azot-hidrojen (% 20 - % 80) plazmayla iyon nitrürlenmişlerdir. RED (reflection electron diffaction) nitrürlerin hızlı oluşumun göstermiştir. İyon nitrürlemenin sonraki aşamalarında bu fazların büyümesi optik mikroskop ve XRD kullanılarak incelenmiştir. Nitrit tabakasının oluşum mekanizması incelenmiş ve gaz nitrürasyon verileri ile karşılaştırılmıştır. Dış kısımda yapılan bütün deneysel çalışma şartları altında Fe_4N ve $Fe_{16}N_2$ çökelmesi gözlenmiştir. Dış derinliğin zaman ve azot oranıyla parabolik olduğu gözlenmiş ve azot-hidrojen plazma kullanıldığı zaman hafifçe arttığı görülmüştür.

Smith, A. P., ve Gane, N, 1977 yılında iyon nitrürasyon işlemiyle HSS takımlarının kaplanması için bir temel cihaz tanımlamışlardır. Bu işlemde nitrit tabakası oluşturmak için azot içeren bir ortamda düşük basınçta bir elektrik boşalması kullanılır. Bu tekniğin konvansiyonel tuz nitrürasyonuna göre iki temel avantajı vardır; Birincisi verilen bir sıcaklıkta daha kısa bir zamanda veya verilen bir zamanda daha düşük sıcaklıklarda belirli bir kalınlık daha hızlı bir oranda oluşur. İkinci olarak kaplama türüne bağlı olarak daha fazla kontrol uygulanabilir. Bazı deneyler kaplanmış ve kaplanmamış somun numunelerinin performansını incelemek için yapılmıştır. Sonuçlar kaplamanın kompozit oksi-azot kaplama kullanıldığı zaman kesme kenarında bir aşınma olmadığını ve iş parçasının birleştirilmesiyle vida açma momentinde % 40 bir azalma sağladığını göstermiştir.

Fancey ve diğ.,1979 argon, neon ve hidrojen gaz karakteristiklerinin plazma nitrürlenmiş AISI M2 çeliğinin özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda; tüm gaz karışım oranları için dikkate değer bir beyaz tabaka oluşmadığını, en yüksek yüzey sertliğinin %100 N_2 gaz karakteristiğinde sağlandığını, diğer gaz karışım oranlarında elde edilen yüzey sertlikleri arasına önemli bir fark olmadığını, en büyük difüzyon tabakası derinliğinin % 100 N_2ve % 50 H_2+ % 50 N_2 gaz karakteristiklerinde sağlandığını, nitrürlemeden sonra % 100 N_2 gaz karakteristiğindeki nitrürlemede siyah bir yüzey oluştuğunu, bunun dışındaki diğer tüm numunelerin yüzeylerinin temiz olduğunu açıklamışlardır.

2.İYON NİTRÜRASYON METODU

2.1. İyon Nitrürasyon ve işlemi

Bu yöntem, azot içeren karışım gazın yaklaşık 1-10 mbar (vakum) altında ve 400-800 V arasında uygulanan gerilim altında iki kutup arasında iyonize oluşmasıyla gerçekleştirilmektedir.

$$N \rightarrow N + N$$

Yukarıdaki eşitlikte görüldüğü gibi azot gazının iyonizasyonu serbest kalan elektron anot kutbuna gitmekte, elektron kaybederek pozitif yüklü hale gelen azot atomu ise katot durumundaki iş parçası yüzeyine hızlı çarpmaktadır. Bu sırada anot ve katot olarak konumlanan iş parçası arasında parıltılı bir boşalım meydana gelmektedir. İyonların bombardımanı sırasında kinetik enerjilerini yüzeye aktarmaları parça yüzeyinin ısınmasına ve buradaki sıcaklığın artmasına neden olur. Kullanılan gaz çiftinden birinin asal olması yüzeylerin işlem öncesi temizlenmesini sağlamaktadır.

Metal parçaların yüzeylerinin sertleştirilmesi yorulma ve aşınmaya karşı mukavemetleri arttırılarak yabancı atomların bu yüzeye etki etmesi sağlanarak yüzeyde ince bir tabaka oluşması sağlanır. Malzemelerin şekilleri ne olursa olsun her yerde sabit kalınlıkta yüzey tabakasının sert olması için yüzeylere iyonlara düzenli bombardımana tutulması gerekir.

İyon nitrürasyon işlemi söyle açıklanabilir; Anod-Katod arasındaki yüksek gerilim düşümü nedeniyle hızını almış parçacıklar çarpışarak katod önünde bulunan gaz atomlarını iyonize ederler. Bu şekilde ortaya çıkan iyonlar, pozitif yük taşıyıcılar metal yüzeyine çarparlar. Katod (iş parçası) üstünde oluşan çizgi halindeki parlaklık, iş parçasının kenarlarını izlediği için bütün yüzey iyon bombardımanın oluşmasını sağlar. Sonuçta homojen bir sertleşme derinliği elde edilir.

Plazma nitrürleme deneyi sonrasında oluşan yüzeylerin mikroyapısı ve tribolojik özellikleri, nitrürleme özellikleri adı verilen bazı değişkenlere bağlı olduğu görülmüştür. Bu özellikler arasında mikroyapı ve tribolojik özellikler üzerinde en önemli olanları, nitrürleme sıcaklığı, nitrürleme süresi, gaz karışım oranı ve nitrürlenen malzemenin cinsidir. Nitrürleme sıcaklığı bu işlemde deney sonuçlarına malzeme üzerinde tamamen etkisi vardır. Nitrürleme süresi sadece difüzyon tabakası kalınlığı ile ilgiliyken, gaz karışım oranı bileşim tabakası kalınlığına etki eder.

Plazma nitrürasyon işleminde azot bombardımanı, metalin yüzeyinde ve yüzeye çok yakın bölgede termokimyasal reaksiyonlarla gerçekleştirilir. Termokimyasal reaksiyonların oluşması için gerekli olan azot, azot gazının ya da azot içeren bir gaz veya gaz karışımının yüksek gerilimli doğru akım ile iyonlara ayrıştırması ile sonucu elde edilebilmiştir.

Plazma nitrürasyon uygulandığı yüzeylerde elde edilen sertlik profili, diğer nitrürasyon yöntemlerine yapı olarak benzemekle birlikte gerek yüzeyde gerekse yüzeye yakın bölgelerde, bu işlem daha düşük sıcaklıklarda oluştuğu için daha yüksek yüzey sertlikleri elde edilebilir. Bu gibi nedenlerden dolayı, deformasyon ve ölçü değişimi en az iyon nitrürasyon yönteminde meydana gelir.

İyon nitrürasyon işlemini çeliğe azot yayındırma işlemidir. Bu işlem ile yüzeyde kuvvetli nitrürler meydana getirilir. Bu işlem yüksek sıcaklıkta 550-600 °C sıcaklıklar arasında gerçekleştirilir.

2.2. Plazma

Madde yapısal olarak ve özellikleri bakımından katı, sıvı, gaz ve plazma halindedir. Bir maddeye sıvı halden gaz hale geçirmek ona enerji vermek suretiyle istenen özellikte elde edilebilir. Aynı şekilde plazma halindeki bir maddeye tersine işlem uygulayarak gaz, sıvı, katı hale geçirebiliriz.

Atom parçacığına kendi enerjisinden daha fazla bir enerji verdiğimiz durumda atom parçacıgı iyonize olur. Bu enerji alışveriş işini bir gaz kütlesine uyguladığımız zaman plazma elde edilmiş olur. Burada enerji çeşitleri olarak elektrik, magnetik, mekanik enerji kullanılabilir. Bu işlem sonunda elde edilen plazma içeriğinde foton, elektron, iyon ve molekül içeren bir karışımdır.

Buna göre pratikte plazma şu yöntemlerle elde edilir; ısı enerjisi vererek, elektrik boşalmasıyla ve ışınla plazma elde etme olarak sıralayabiliriz. Bu yöntemler arasında en önemlisi ve en yaygın olanı elektrik boşalmasıyla elde edilendir. Maddenin diğer hallerinde olduğu gibi, plazma halininde özellikleri vardır.

2.2.1 Plazma özellikleri

1. Plazmaya manyetik ve elektrik alanla etki edilebilir.
2. Plazma ısı iletkenidir.
3. Plazma yüksek sıcaklık ve enerji dağılımına sahiptir.
4. Plazma dış ortama karşı elektrikli olarak nötrdür.
5. Plazmayı magnetik ve termik olarak sıkıştırmak, sıcaklığını ve enerji yoğunluğunu sınırsız bir şekilde yükseltmek mümkündür.

2.3. İyon nitrürasyon yönteminin özellikleri ve diğer yöntemlerle farkları

İyon nitrürasyon işleminde gaz karışımı, iyonlara ayrışarak parça yüzeyine hızla çarpmakta olup, bunun sonucunda yayınma ve ısınma beraber sağlanmaktadır. Gaz nitrürleme işleminde gazın parça yüzeyine emilmesi sonucu nitrürasyon oluşur. Bu farklılık iyon nitrürasyonla, gaz nitrürasyonu ayıran en temel farklılıktır.

İyon nitrürlemenin diğer nitrürleme yöntemlerine göre özellikleri:

1. Enerji tasarrufu sağlar.
2. Sertlik miktarı ayarlanabilir.
3. Parça yüzeyinin temiz olması sağlanır.
4. Gaz tasarrufu sağlanır.
5. İşlem süresince kirlilik, gürültü, ısıl kirlilik yoktur.

İyon nitrürlemenin klasik nitrürleme yöntemlerine göre üstünlükleri:

1. Diğer nitrürleme yöntemlerine göre aynı şekildeki kabuk kalınlığına daha kısa süre elde edilebilir.
2. İyon nitrürasyon işlemi çevre kirliliği açısından uygun bir işlemdir.
3. İyon nitrürleme işlemi yüksek sıcaklıklarda yapılabildiğinden yüksek yüzey sertliği elde etmede diğer yöntemlere daha üstündür.
4. İşlem sonunda oluşan tabakanın oluşumu, yapısı ve özellikleri doğru bir şekilde kontrol edilebilmektedir.
5. Düşük basınçlarda işlem yapıldığından gaz tasarrufu sağlanır.
6. Parça yüzeyi üzerindeki tüm girinti, çıkıntı ve delikler üzerinde azot difüzyonu homojen şekilde sağlanır.

7. İşlem sırasında nitrürasyon yapılmak istenmeyen bölgelerin izolasyonu mümkündür.
8. Sadece iş parçasının ısıtılmasıyla enerji tasarrufu sağlanır ve ısıl verim yüksek olması sağlanır.
9. Nitrürlenecek parçanın ağırlığı ve büyüklüğü önemli değildir.
10. Otomasyona uyumludur.

İyon nitrürasyon işleminin diğer yöntemlere göre farklılıkları ve dezavantajları:

1. Nitrürlenecek parçanın hacmine, bundan dolayı reaksiyon fırının hacmine bağlı olarak 40 Kw ile 1000 Kw arasında enerji gereksinimine ihtiyaç vardır.
2. Nitrürasyon işlemi sonrası su verme imkanı olmaması gibi durumu vardır.
3. İyon nitrürasyon işleminin yatırım maliyeti yüksektir. Bu sebepten dolayı seri üretimde ekonomiktir.
4. Aynı şarjda; aynı boyut ve kesitteki parçalara nitrürasyon işlemi uygulanır.

2.4. Beyaz Tabaka

İyon nitrürasyonu görmüş parçaların metalurjik yapı incelendiğinde beyaz tabaka, difüzyon bölgesi ve ana malzemeden oluşmaktadır. Beyaz tabakada bu bölgelerden birisi olup, bu tabaka Fe ve N fazlarından veya bileşimlerinden oluşmaktadır. İşlem sonucunda farklı kafes yapılarından dolayısıyla iç gerilmeler artması sonucunda gevrek kırılma oluşum olasılığı artar. Bu tabakaların özellikleri yapının homojenliğine ve kalınlığına bağlı olarak değişir. Beyaz tabakanın kalınlığını iyon nitrürasyon ile kontrol edilebilir. Bunu şöyle bir örnekle açıklayabiliriz; N_2+H_2 gazı kullanarak beyaz tabakanın kalınlığının artıp azalmasında bir etkendir.

Beyaz tabakanın yok olmasında hidrojen gazının saçınması bir etkendir. Beyaz tabaka özellik olarak yorulmaya ve sürtünmeye karşı yüksek dayanıklığa sahiptir.

Beyaz tabakanın oluşmasında fazların kalınlığı, cinsi, sayısı özellikleri belirlemesinde önemli yer tutar. İyon nitrürasyon sırasında kullanılan gaz bileşimi, faz türleri ana değişken olmaktadır. İyon nitrürlemede atom bombardıman nitrür oluşumunda rolü büyüktür. Bu işlemden dolayı başlangıçta yüzeyde beyaz tabaka oluşmaktadır. Beyaz tabaka kalınlığı işlemin sadece azot gazı veya azot-hidrojen gazı bileşimi ile olması sonucu farklı tabaka oluşturmaktadır. Yüzey üzerinde beyaz tabakanın oluşmasını önlemek için parlak nitrürleme işlemi uygulayabiliriz.

2.5. Difüzyon Bölgesi

Difüzyon bölgesi iyon nitrürasyon işlemi sonucu oluşan azot oranının ve sertliğin az olduğu bölgedir. Difüzyon bölgesi malzeme içindeki derinliği işlem değişkenlerine malzemenin cinsine göre değişir. Bu değişme 1 mm ve daha derinliklerde olabilir. Oluşan difüzyon tabakası yüzeyde gerilmeler içerir ve bu da malzemenin dayanımını artırır. Difüzyon tabakası kalınlığı işlem sıcaklığı ve zamanla artarken azot miktarının artışıyla azalmaktadır.

2.6. Endüstriyel Uygulamalar

İyon nitrürasyon yöntemi dökme demir, düşük ve yüksek alaşımlı çelik, titanyum, alüminyum malzemelerine uygulanabilir. Bunlara örnek olarak alüminyum ekstrüzyon kalıp takımları, krank mili, miller, şekillendirme ve dövme kalıpları, dişli ve diğer malzemeler diyebiliriz. İyon nitrürleme işlemi ile malzemenin mekanik ve tribolojik özelliklerini geliştirdiğinden dolayı birçok makine parçasına uygulanabilmektedir.

3. İYON NİTRÜRASYON MATERYALLERİ

3.1. Deney Düzeneği

Bu bölümde iyon nitrürasyon düzeneği hakkında bilgi verilcektir; vakum pompası, güç kaynağı, fiberglas boru, yüksek sıcaklığa dayanıklı cam boru ve bunun gibi borular hakkında bilgi verilmiştir.

3.2. Fiberglas Boru

Deney tezgahında kullanılan fiberglas boru cam elyaf ve kimyasal maddelerin karışımından oluşan polyster bir malzemedir. Deney tezgahında kullanılan içi boş borunun uzunluğu 500 mm olup, iç çap 250 mm, dış çap 244 mm olup et kalınlığı 3 mm olmak üzere boru kullanılmıştır. Borunun et kalınlığı +,- 1 hassasiyetli olabilir. Fiberglas boru deney tezgahında kabın dış kısmında kullanılmıştır.

3.3. Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Cam

Deney tezgahında kullanılan bir diğer malzemede yüksek sıcaklığa dayanıklı (800-1000 °C) temperli camdır. Düzenekte cam borunun boyu 500 mm olarak şeçilmiş olup, borunun çapı 180 mm dir. Cam boru kabın iç kısmında kullanılmıştır. Cam borunun en önemli özelliği yüksek sıcaklığa dayanıklı olmasıdır.

3.4. Vakum Pompası

İyon nitrürasyon deney tezgahında kullanılan önemli malzemelerden biriside vakum pompasıdır. Bu malzeme seçilirken deneyde vakumun kısa sürede oluşmasını sağlayacak bir şekilde pompayı seçilmiştir. Vakum pompamızın özellikleri olarak devir 400-450 d/dak, debi 4 m3/h seçilmiştir.

3.5. Güç Kaynağı

Güç kaynağı deney tezgahında işlemin iyi sonuçlar vermesinde önemli rol oynayan bir araçtır. Güç kaynağı 1 Amp'lik bir akım 1 kv bir gerilim sağlamaktadır. İyon nitrürasyon işleminde güç kaynağı (400-600 °C) arasında sıcaklık sağlamaktadır. Güç kaynağı üzerinde termokpul dijital ısı ölçer koyarak, kabın içindeki sıcaklığıda güç kaynağı göstergeleri üzerinde okunabilir.

Güç kaynağının çalışması sırasında ark meydana gelir. Ark oluşumu malzeme üzerindeki negatif etki eder. Bu yüzden ark oluşmasını önlemek amacıyla güç kaynağı üzerinde çeşitli kontrol üniteleri yapılmıştır. Akım ayarlayıcı, sıcaklık ayarlayıcı, gerilim ayarlayacı olarak bu ünitelere örnek verilebilir. Bu üniteler sayesinde malzeme üzerindeki metalurjik yapıların oluşması sağlanır. Güç kaynağından çıkan anot ve katot uçlar kaba alt ve üst tarafından bağlanıp kabın iç kısmında sıcaklık sağlanıp, kap içerisine verilen azot ve hidrojen gazlarının malzeme difüzyon etmesiyle parça üzerindeki yüzey sertleşmesi oluşur.

3.6. Azot ve Hidrojen Gazları

İyon nitrürasyon deney tezgahında kullanılan hidrojen ve azot gazlar 40 lt ve 50 lt tüpler şeklinde olabilir. Bu tüplerde 150 barlık bir basınç vardır. Azot ve hidrojen gazlar yüksek saflıkta olmalıdır. Azot ve hidrojen gazlarının basınç ayarlaması regülatörle sağlanır. Regülatör paslanmaz çelikten üretilmiş olmalıdır. İşlem sonucunda oluşan beyaz tabakanın kalınlığı hidrojen oranına göre değişir.

3.7. Alüminyum Döküm Kapak

Alüminyum döküm çapı 300 mm ve kalınlığı 100 mm olan iki parçadır. Bunlar kabın alt ve üst kısımlarını oluşturur. Alt ve üst kısımlar delinerek azot ve hidrojen gaz girişi, su girişi, ve vakum pompasının girişi sağlanır.

3.8. Vakum Kabı

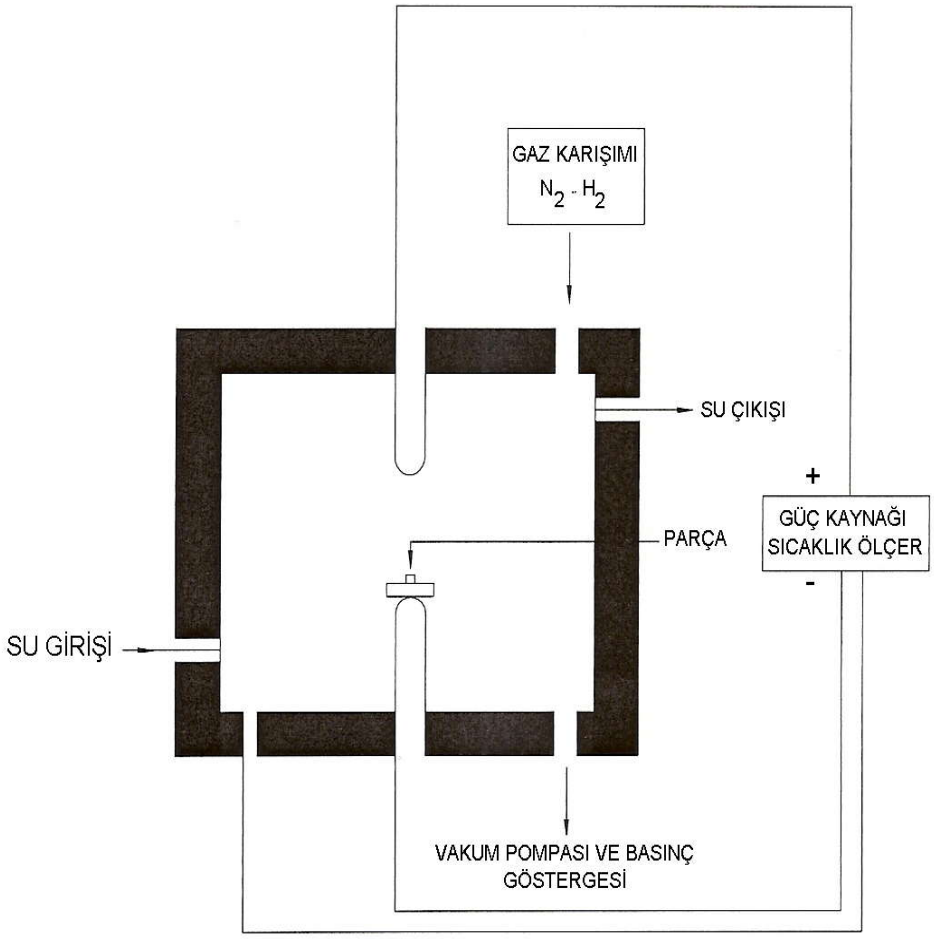
Vakum kabı bu sistem üzerinde durulması gereken en önemli bir parçadır. Vakum kabı fiberglas boru ve yüksek sıcaklığa dayanıklı camdan oluşur. Fiberglas boru dış kısımda cam boru iç kısımda olup, vakum kabının hacmi malzemeleri alabilecek minimum büyüklükte olmalıdır. Vakum kabının alt ve üst kapaklarını alüminyum döküm kapaklar oluşturup, burada en önemli özellik vakum kabının sızdırmazlık açısından maksimum seviyede olmasıdır.

Vakum kabında fiberglas boru ile cam boru arasına su girişi sağlanıp kap içerisinde güç kaynağı ile sağlanan sıcaklık arasında ısı alışverişi yapılarak sıcaklığın düşmesi sağlanır. Vakum kabının ölçüleri çapı 250 mm, yükseklik 500 mm dir. Ayrıca kabın alt ve üst kapaklarını oluşturacak olan alüminyum döküm kapakların kalınlığı 100 mm dir. Alüminyum döküm kapak üzerinde hidrojen ve azot gazı girişleri, vakum pompası çıkışı kapakların birinde katot diğerinde anot olmak üzere bağlantılar bulunur.

Vakum kabı bağlantılarının sızdırmazlık açısından en uygun şekilde olması gerekir. Bu bağlantıların sızdırmaz olması çok önemlidir. Burada sızdırmazlığa önem verilmesinin amacı vakumun istene değere ulaşmasıdır. Vakum girişi vakum pompasıyla kap arasında bir hortum yardımıyla yapılabilir.

Vakum kap kapaklarında elektrik bağlantılarının ark oluşmasını önlemek amacıyla yalıtımın sağlanması önemlidir. Kabın anot ve katot girişlerinde sızdırmazlığı sağlamak önemlidir. İş parçası anot ile katot arasında daha yoğun bir işleme tutulması için uçlarından bir kısmına levha konulur.

Deney düzeneğinde kullandığımız malzemelerin montajı sonucu oluşan tezhagın şematik şekli ve düzenek resimleri aşağıdaki şekiller'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. İyon nitrürasyon işleminin şematik görünümü



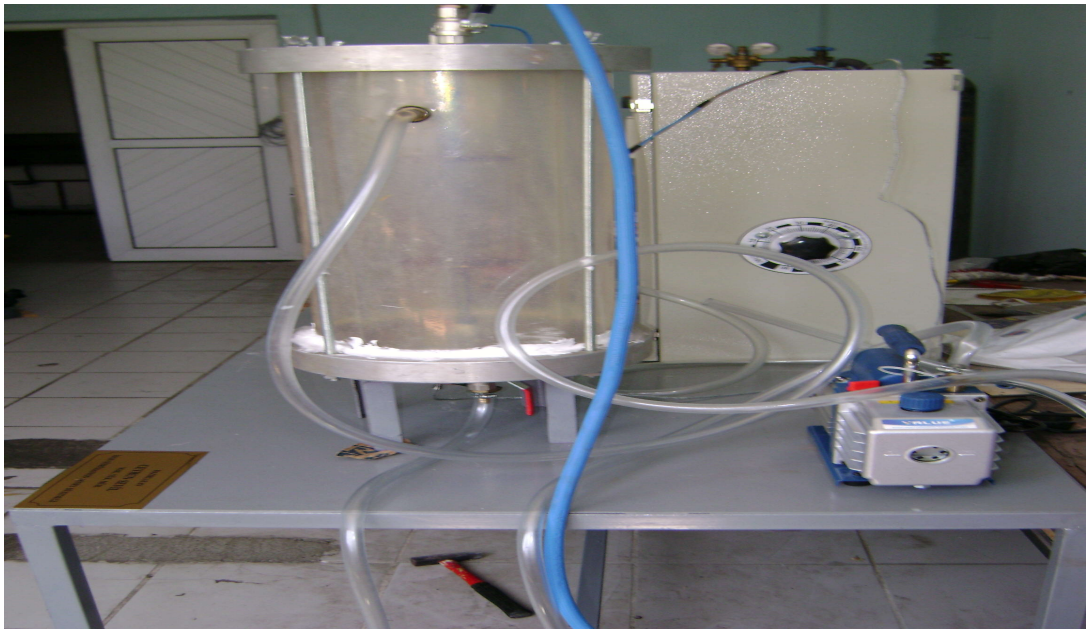
Şekil 3.2. İyon nitrürasyon deney düzeneği



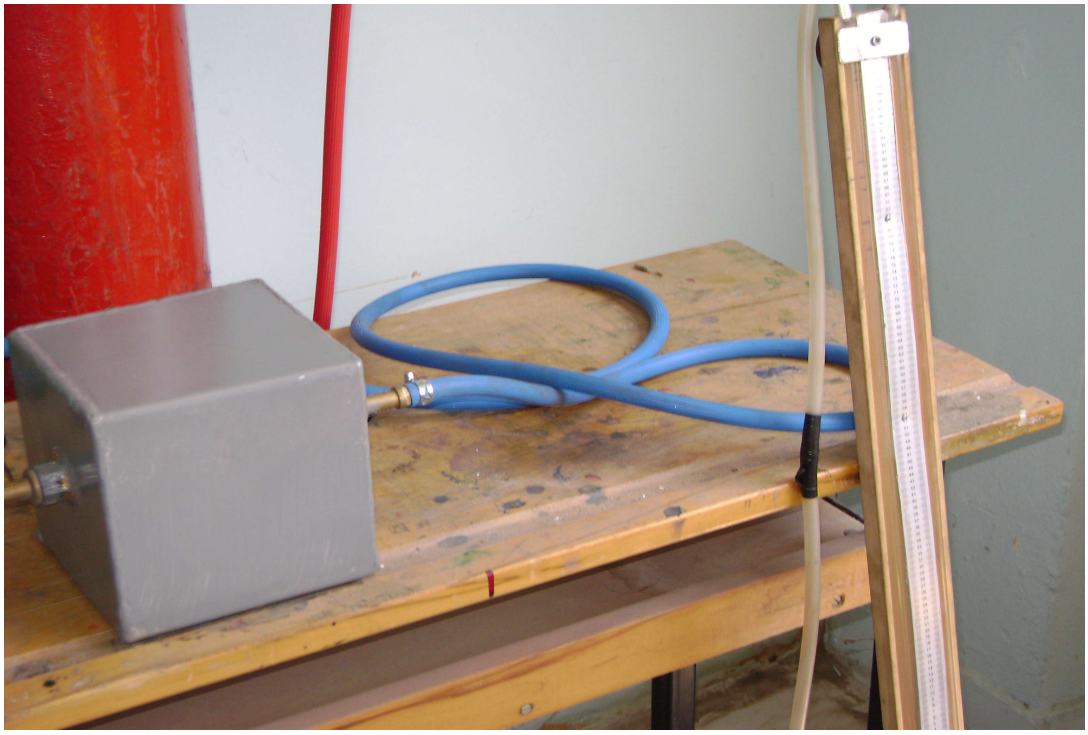
Şekil 3.3. Hidrojen ve azot gazı tüpleri görünümü



Şekil 3.4. Vakum kabı, güç kaynağı ve vakum pompası görünümü



Şekil 3.5. Vakum kabı, güç kaynağı ve vakum pompası yandan görünümü



Şekil 3.6. Gaz karışım odası ve U manometresi görünümü



Şekil 3.7. Vakum pompası görünümü

3.9. Paslanmaz Çelik

İyon nitrürasyon işleminde kullanılan paslanmaz çelik hakkında bilgi verilmiştir. Paslanmaz çeliğin oksit ve korozyon gibi kimyasal olayın önlenmesi için çeliğin yapısını değiştirmek olabilir. Bu işlem sonucunda paslanmaz çeliği üretilmesi gerektirir. Okside karşı dayanıklı olan bu tür malzemelere paslanmaz çelik denir.

Rutubet ve havada bulunan oksijenin oluşturduğu oksitin meydana getirdiği tahribatı önlemek için en sık başvurulan yöntem, çeliğin krom ile yaptığı alaşımdır. Çelik üzerinde krom oksit oluşur. Oksit olayının oluşması havada bulunan oksijen ve rutubetin etkileşmesi sonucu oluşur.

Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımları yanında, değişik mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanabilmeleri, şekil verme kolaylığı, estetik görünümleri gibi özelliklere sahiptir. Paslanmaz çelikler diğer çeliklere oranla fiyat bakımından daha pahalıdır, ancak bakımlarının ucuz ve kolay olması, uzun ömürlü olmaları, tümüyle geri kazanabilmeleri ve çevre dostu bir malzeme olmaları çok büyük avantajlar sağlar. Paslanmaz çelikler bileşimlerinde en az %11 krom içeren bir çelik ailesidir. Bu çeliklerin yüksek korozyon dayanımını sağlayan unsur; yüzeyi kuvvetle tutunmuş, yoğun, sünek, çok ince ve saydam bir oksit tabakasının bulunmasıdır. Deneylerimizde numune olarak 304 kalite paslanmaz çelik kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal bileşimi ile ilgili katalog değerleri aşağıda çizelgede verilmiştir.

Malzeme	**% C**	**% P**	**% S**	**% Mn**	**% Si**	**% Cr**	**% Ni**
AISI 304 (X5CrNi181)	< 0,07	< 0,045	< 0,030	< 2,0	< 1,0	17 - 19	8,5 – 10,5

Çizelge 3.1. AISI 304 malzeme kimyasal bileşimi

3.10. Paslanmaz Çelik Üstünlükleri

3.10.1. Korozyon Dayanımı

Bütün paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı yüksektir. Düşük alaşımlı türleri atmosferik korozyona, yüksek alaşımlı türleri ise asit, alkali çözeltileri ile klorür içeren ortamlara dahi dayanıklıdır.

3.10.2. Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar

Bazı paslanmaz çelik türlerinde, yüksek sıcaklıklarda dahi ve malzemenin dayanımında önemli bir düşme görülmez. Bazı türleri ise çok düşük sıcaklıklarda gevrekleşmezler ve tokluklarını korurlar.

3.10.3. İmalat Kolaylığı

Paslanmaz çeliklerin hemen hepsi kesme, kaynak, sıcak ve soğuk şekillendirme ve talaşlı imalat işlemleri ile kolaylıkla biçimlendirilebilirler.

3.10.4 Mekanik Dayanım

Paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu soğuk şekillendirme ile pekleşir ve dayanımın artması sayesinde tasarımlarda malzeme kalınlıkları azaltılarak parça ağırlığı ve fiyatta önemli düşüşler sağlanabilir.

3.10.5 Görünüm

Paslanmaz çelikler çok farklı yüzey kalitelerinde temin edilebilirler. Bu yüzeylerin görünümü ve kalitesi, bakımı kolay olduğundan kolaylıkla uzun süreler korunabilir.

3.10.6 Hijyenik Özellik

Paslanmaz çeliklerin kolay temizlenebilir olması, bu malzemelerin gıda, ilaç sanayinde yaygın olarak kullanılmasını sağlar.

3.11. Paslanmaz Çelik Türleri

Paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşim değiştirilerek farklı özelliklerde alaşımlar elde edilir. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre krom, nikel, molibdendir. Bunlarda öncelikle krom ve nikel iç yapının ostenitik olmasını belirler. Paslanmaz çelik türleri olarak ferritik, ostenitik, martenzitik, ferritik-ostenitik, çökelme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlardır.

3.12. Ostenitik Paslanmaz Çelik

Ostenitik paslanmaz çelik deneylerde kullanılan numunedir. Paslanmaz çeliğin bileşiminde yeterince nikel bulunursa, iç yapısı oda sıcaklığında daha ostenitik olur. Ostenitik paslanmaz çelikler biçimlendirme, mekanik özellikler ve korozyon dayanımı bakımından çok uygundurlar. Ostenitik paslanmaz çelikler arasında en çok kullanılan 304 kalitedir.

Başlıca özellikleri:

- Mükemmel korozyon dayanımına sahiptirler.
- Kaynak edinebilme kabiliyetleri mükemmeldir.
- Yüksek sıcaklıklarda iyi mekanik özelliklere sahiptirler.
- Sünek olduğundan kolay işlenebilirler.
- Manyetik değildirler.

Ostenitik paslanmaz çelikler kullanım alanları olarak makine ve imalat sanayinde çeşitli uygulamalar, bina ve dış cephe kaplamaları, mimari uygulamaları, kimya tesisleri ve ekipmanları gibi endüstriyel alanlarda kullanılır.

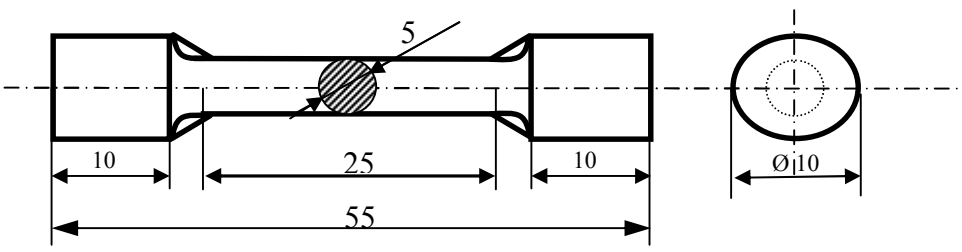
4.DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR

4.1. Numunelerin Hazırlanması

Deneylerde AISI 304 ostenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Bu çeliğin kimyasal bileşimi tablo da verilmiştir. Numuneler talaşlı imalat tezgahlarında yorulma ve çekme deneylerinde kullanılmak üzere istenen boyutlarda işlendikten sonra, 4 grup halinde iyon nitrürasyon deneyine tabii tutulmuştur. Bu grupları şu şekilde söyleyebiliriz;

- Kaynaksız numunelere 24 saat iyon nitrürasyon işlemi
- Kaynaksız numunelere 60 saat iyon nitrürasyon işlemi
- Kaynaklı parçalara 24 saat iyon nitrürasyon işlemi
- Kaynaklı parçalara 60 saat iyon nitrürasyon işlemi

Bu gruplar içinde kaynaklı olan gruplarda parçalar talaşlı imalat tezgahlarında işlendikten sonra sürtünme kaynağında birleştirilip, tekrar tezgahlarda işlenerek yorulma ve çekme deneylerinde kullanılacak duruma getirilip, ama deneylerden önce 24 ve 60 saat şartlarında iyon nitrürasyon deneyine tabii tutulmuştur. İlk önce paslanmaz parçalar Şekil 1'de görüldüğü gibi yorulma ve çekme numunesi şeklinde talaşlı şekil verme ile işlenmiştir.



Şekil 4.1. Numune şekli

4.2. Sürtünme Kaynağı

Sürtünme kaynağı, çağımızda geniş bir uygulama alanına sahiptir. Malzemelerin sürtünmesinden faydalanılarak, mekanik enerjiyi termal enerjiye dönüştürerek oluşan ısıyla malzemelerin kaynak edilmesi fikri yeni değildir. Sürtünme kaynağının başlangıcı 15 yy' a kadar gitmesine rağmen, fakat konu ile ilgili ilk patent 19'yy da 1891 de Amerikalı makinist J.H. Bevington tarafından alınmıştır. H. Klopstock ve A.R. Neelands silindirik parçaların sürtünme kaynağı için 1941 yılında bir patent almışlardır.

Sürtünme kaynağı elektriksel enerji veya diğer enerji kaynaklarından yararlanmaksızın, çalışma parçalarının ara yüzeylerinde mekanik olarak oluşturulan sürtünme yoluyla üretilen mekanik enerjinin termal enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen ısıdan yararlanılarak yapılan bir katı hal kaynak tekniğidir. Sürtünme kaynağı uygulamalarının büyük çoğunluğunu dairesel kesitli çubukların ya da boruların kaynağı oluşturmaktadır.

Bu çalışmamızda bir bölüm parçalarımıza sürtünme kaynağı uygulayarak birleştirme işlemi yapılmıştır. Bu numunelerin birleşme süresi 9 saniye, yığılma zamanı olarak 20 sn olarak söyleyebiliriz. Sürtünme kaynağında devir 1410 d/dak olduğu görülmüştür. Kaynaklı bu parçalara iyon nitrürasyon işlemi uygulanıp, yorulma, çekme,çentik darbe ve sertlik işlemleri uygulanmıştır.

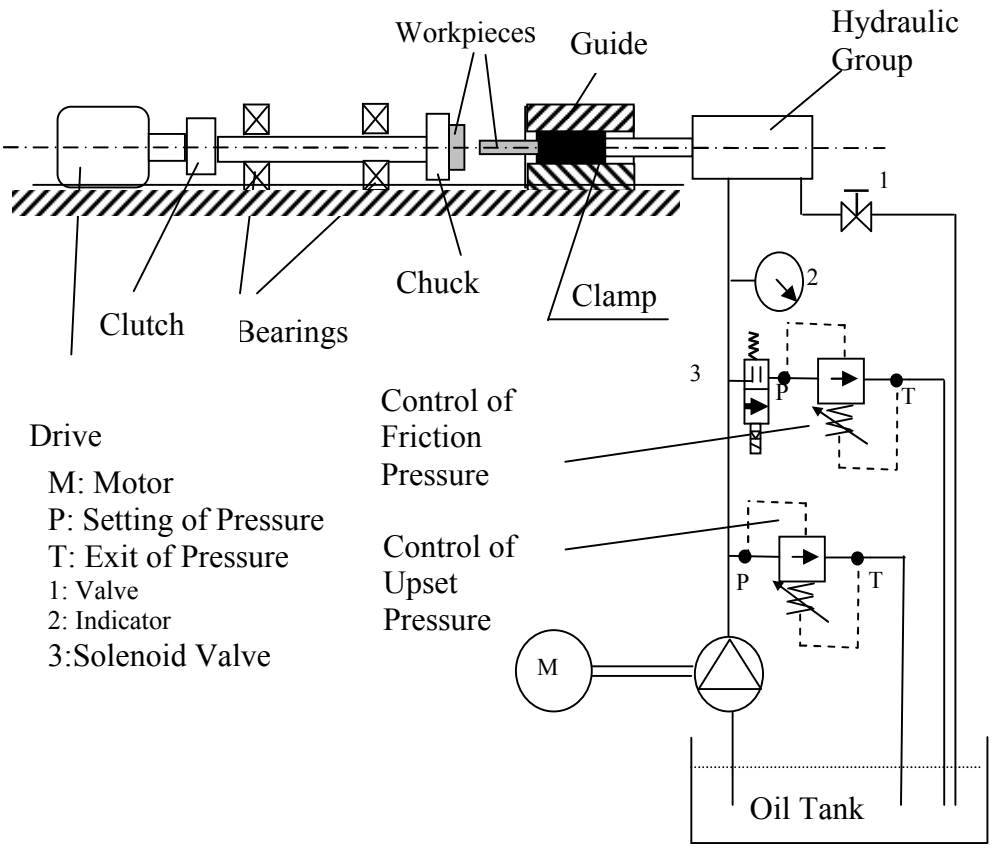
Sürtünme kaynağı genel olarak ikiye ayrılmaktadır.

- Klasik (sürekli tahrikli) sürtünme kaynağı
- Volanlı (atalet) sürtünme kaynağı

4.2.1 Klasik Sürtünme Kaynağı

Bu yöntemde, motordan aldığı hareketle biri dönen, diğeri ileri – geri hareket eden bir aparata bağlı sabit iki parça belirli bir süre (sürtünme süresi-t_s) ve belirli basınçta (sürtünme basıncı-P_s) birbirlerine bastırılırlar. Bu süre sonunda motor durdurulur ve daha büyük basınçta (yığma basıncı-P_y) ve belirli süre (yığma süresi-t_y) altında parçalar soğumaya bırakılır.

Çalışmada kullanılan klasik sürtünme kaynak deney tesisatının şematik şekli Şekil 4.2. ‘ de verilmiştir.



Şekil 4.2. Klasik sürtünme kaynak deney tesisatı

4.2.2 Sürtünme Kaynak Parametreleri

Sürtünme kaynağı kontrolü gereken dönme hızı, sürtünme basıncı, yığma basıncı, sürtünme süresi, frenleme süresi, yığma geciktirmesi süresi ve yığma süresi gibi parametreleri içermektedir. Bu değişkenler dışında numune geometrisi ve numunenin yapıldığı malzemeden kaynaklanan diğer parametreler de söz konusudur. Ancak yapılan çalışmalar yöntem üzerinde en etkili olan ve optimizasyonu gereken parametrelerin dönme hızı, sürtünme basıncı, sürtünme süresi, yığma basıncı ve yığma süresi olduğunu göstermiştir. Sürtünme ve yığma süreleri ise malzemeye bağlıdır. Sürtünme süresi, sürtünen yüzeylerdeki olası kalıntı ve pislikleri temizleyecek ve gerekli plastisite için üniform bir kaynak bölgesi sıcaklığına ulaşmayı sağlayabilecek düzeyde olmalıdır. Tatminkar bir kaynak bağlantısı için belirli bir minimum bir ısıtma süresi değeri aşılmalıdır. Elverişsiz bir ısıtma bağlantıda yetersiz plastisiteye, yetersiz kaynaklanmaya sebep olacaktır.

4.2.3 Sürtünme Kaynağının Uygulama Alanları

Aşağıda, sürtünme kaynağının uygulama alanlarına dair örnekler verilmiştir:

- Makine imalatı: Dişli çarklar, piston kolları, hidrolik silindirler, radyal pompa pistonları ve piston kolları, iğler, sonsuz vidalı miller, krank milleri, matkap uçları.
- Otomotiv Endüstrisi: Aks köprüleri, ekzos sübapları, kardan milleri, vites kolları, yürekli fren milleri, türbe doldurucular, şanzıman parçaları, ön yanma odaları, boru miller, taşıyıcı aks boruları.
- Havacılık ve uzay tekniği: Rotorlar, türbinler, miller, yanma odaları, itme jetleri (memeleri), borular, flanşlar, fittingsler.

- İş takım Endüstrisi: Spiral matkaplar, freze bıçakları, delik zımbaları, çelik kalemler (munçlar), raybalar.
- Elektronik ve elektroteknik Endüstrisi: Gaz analizleri için alıcı kamaraları, kromatograflar için ayırma sütunları, röntgen cihazı tüpleri için döner anod milleri, sürekli lehim uçları, devre kontakları, geçiş parçaları, cihazlar ve borular, flanşlar, fittingsler, sübap yuvaları, boru tesisatı bağlantıları.

4.2.4 Sürtünme Kaynağının Sakıncaları ve Üstünlükleri

- Sürtünme kaynağı işlemi süresince ısıtılan metal miktarı çok küçüktür.
- Sürtünme kaynağında ısıtma ve dövme periyodları arasında metal kaybı azdır.
- Sürtünme kaynağında operasyon temizdir.
- Sürtünme kaynağı oldukça kısa zamanda tamamlanır
- Sürtünme kaynağı otomatik işlemlere adapte edilebilir (parçaların otomatik yüklenmesi, boşaltılması, diğer operasyonlara transfer gibi).
- Ayrıca sürtünme kaynağı bir katı hal kaynak yöntemi olduğu için kaynak bölgesinde curuf vb. içermez.
- Sürtünme hareketi ile bütün oksit ve diğer tabakalar parçalanarak yüzeyden uzaklaştırılır ve sürtünen yüzeyler arasındaki sürekli temas kaynak sırasında oksit filmlerinin oluşmasını önler.
- Sürtünme kaynağı sırasında kaynak kalıntılarının büyük bir kısmı yok edilir.

Bütün bu üstünlüklerinin yanında sürtünme kaynağının bazı sakıncalı yönleri de vardır. Sürtünme kaynağının sınırlandıran en büyük etken parçanın sahip olduğu geometrik şekildir. Sürtünme kaynağını sınırlandıran diğer önemli bir etken ise “kesit alanıdır”. Kesit alanının çok büyük olması, motor gücünün ve yığma basıncının değerlerinin çok yüksek olmasına neden olur.

4.3. Yorulma Deneyi



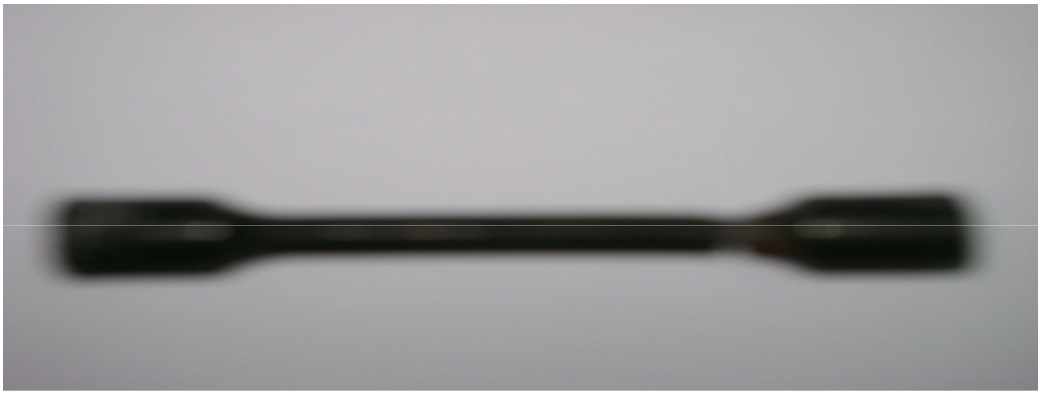
Şekil 4.3. İnstron cihazı görünümü

Yorulma deneyleri şekil 4.1 deki instron cihazında yapılmıştır.

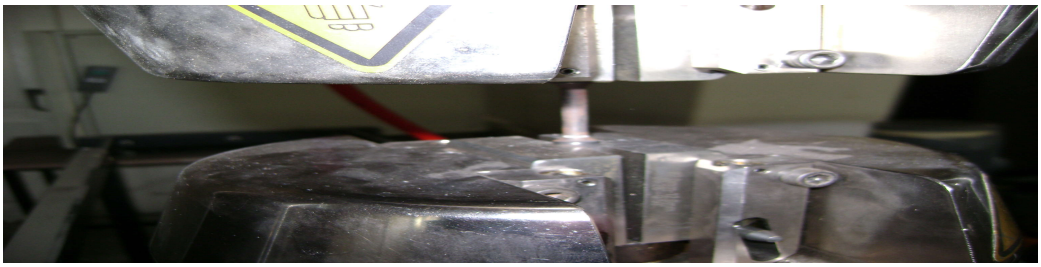
Bu gruplar içerisinde kaynaksız 24 saat iyon nitrürasyon işlemi görmüş olan parçalar 9 parçadan oluşup, bu parçaların kesit alanları hesaplanıp ortalama genliğe ± 250, ± 200, ± 150 MPa genlikleri ekleyerek yorulma deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda elde edilen çevrim sayısı aşağıdaki gibi görülmüştür;

- $\sigma = 300 \pm 250$ MPa N = 19.111 çevrim sayısı
- $\sigma = 300 \pm 250$ MPa N = 20.104 çevrim sayısı
- $\sigma = 300 \pm 250$ MPa N = 22.820 çevrim sayısı
- $\sigma = 300 \pm 200$ MPa N = 42.119 çevrim sayısı

- **σ** = 300 ± 200 MPa N = 55.312 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 200 MPa N = 50.108 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 150 MPa N = 224.528 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 150 MPa N = 124.700 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 150 MPa N = 170.000 çevrim sayısı



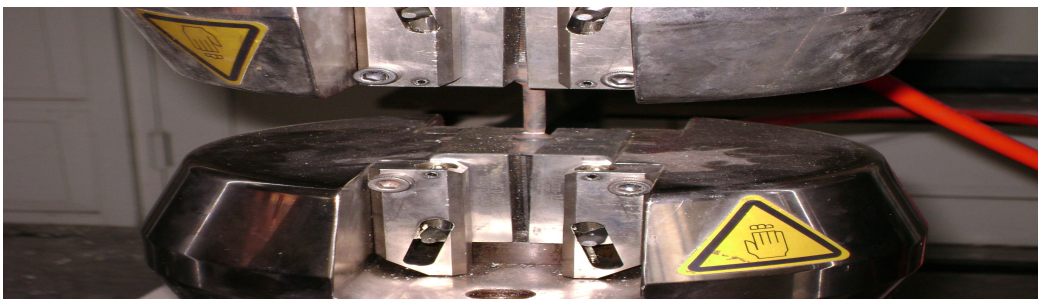
Şekil 4.4. 24 saat iyon nitrürasyonlu kaynaksız numune



Şekil 4.5. 24 saat iyon nitrürasyonlu numunenin yorulma görünümü

Bu gruplar içerisinde kaynaksız 60 saat iyon nitrürasyon işlemi görmüş olan parçalar 9 parçadan oluşup, bu parçaların kesit alanları hesaplanıp ortalama genliğe ± 250, ± 200, ± 150 MPa genlikleri ekleyerek yorulma deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda elde edilen çevrim sayısı aşağıdaki gibi görülmüştür ;

- **σ** = 300 ± 250 MPa N = 9.000 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 250 MPa N = 9.858 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 250 MPa N = 8.401 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 200 MPa N = 26.606 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 200 MPa N = 32.582 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 200 MPa N = 31.365 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 150 MPa N = 81.101 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 150 MPa N = 105.000 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 150 MPa N = 121211 çevrim sayısı



Şekil 4.6. 60 saat iyon nitrürasyonlu numunenin yorulması görünümü

Bu gruplar içerisinde kaynaklı 24 saat iyon nitrürasyon işlemi görmüş olan parçalar 9 parçadan oluşup, bu parçaların kesit alanları hesaplanıp ortalama genliğe ± 250, ± 200, ± 150 MPa genlikleri ekleyerek yorulma deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda elde edilen çevrim sayısı aşağıdaki gibi görülmüştür ;

- **σ** = 300 ± 250 MPa N = 15.700 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 250 MPa N = 10.980 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 250 MPa N = 12.300 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 200 MPa N = 54.225 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 200 MPa N = 62.590 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 200 MPa N = 60.000 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 150 MPa N = 161.895 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 150 MPa N = 149.420 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 150 MPa N = 201.305 çevrim sayısı



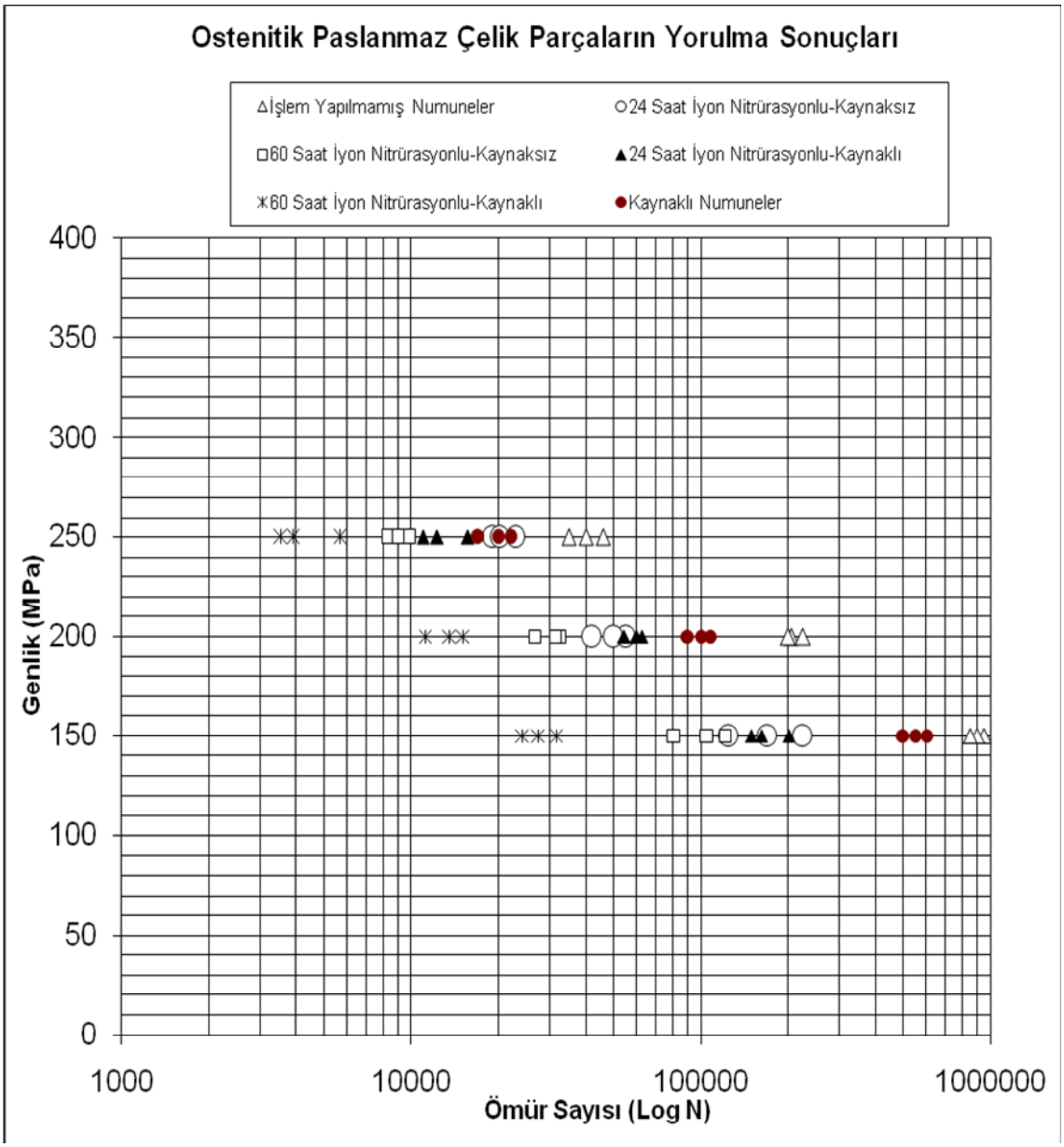
Şekil 4.7. 24 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı numune yorulması görünümü

Bu gruplar içerisinde kaynaklı 60 saat iyon nitrürasyon işlemi görmüş olan parçalar 9 parçadan oluşup, bu parçaların kesit alanları hesaplanıp ortalama genliğe ± 250, ± 200, ± 150 MPa genlikleri ekleyerek yorulma deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda elde edilen çevrim sayısı aşağıdaki gibi görülmüştür ;

- **σ** = 300 ± 250 MPa N = 5.656 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 250 MPa N = 3.916 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 250 M Pa N = 3.552 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 200 MPa N = 15.128 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 200 MPa N = 13.563 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 200 MPa N = 11.199 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 150 MPa N = 31.169 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 150 MPa N = 24.262 çevrim sayısı
- **σ** = 300 ± 150 MPa N = 27.495 çevrim sayısı



Şekil 4.8. 60 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı yorulma görünümü



Şekil 4.9. Kaynaklı ve kaynaksız numunelerin yorulma diyagramı

Şekil 4.9’ de kaynaklı ve kaynaksız numunelerin yorulma eğrileri görülmüştür. Diyagrama bakıldığında 10^4 mertebesinde numunelerin yorulma dayanımlarının birbirine eşit olduğu görülmüştür. İyon nitrürlenmiş numunelerin yorulma eğrileri incelendiğinde 10^5 çevrim sayısına ilerledikçe yorulma dayanımının ve ömrünün önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. 24 saat kaynaklı ve kaynaksız parçalara uygulanan 200 MPa gerilmede çevrim sayılarının birbirine eşit olduğu görülmüştür. bu aralıkta iyon nitrürleme işlemi yapılmış numunelere incelendiğinde nitrürleme süresinin yorulma dayanımlarına arttırdığı görülmüştür. 10^5 çevrim sayısından sonra kaynaklı ve kaynaksız numunelerin çevrim sayısı olarak birbirine eşit olduğu görülmüştür. diyagramdan görüldüğü gibi gerilme azaldıkça çevrim sayısı artmakta olduğu görülmüştür.

24 saat ve 60 saat iyon nitrürasyon uygulanmış kaynaksız numuneler incelendiğinde, iyon nitrürasyon işlem süresi arttıkça az oranda çevrim sayısını azaldığı görülmüştür. İyon nitrürasyon işleminin malzeme yüzey sertliğini arttırdığını, malzemeye tokluk verdiğini görülmüştür. 24 ve 60 saat iyon nitrürasyon uygulanmış kaynaklı numuneler incelendiğinde çevrim sayısı farkını fazla olduğu görülmüştür. Kırılan parçalar incelendiğinde, 24 saat iyon nitrürasyon uygulanmış parçalarda bir çok gözenek olduğu gözlenmekte, 60 saat iyon nitrürasyon uygulanmış parçalarda ise artan nitrürleme süresiyle gözenek yoğunluğunun azaldığı gözlenmiştir.

4.4. Çentik Darbe Dayanımı

Paslanmaz çelik numunelere yorulma deneyinin yanı sıra 4 adet numuneye çentik darbe dayanımı yapılmıştır. Bu 4 numune şu şekilde gruplandırabilir ;

- **60 Saat Kaynaksız Çentik Darbe Deneyi ;**

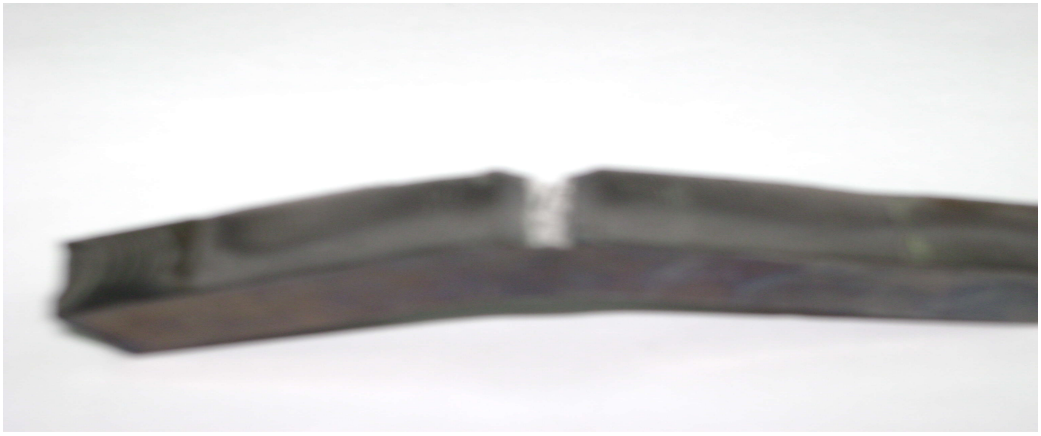
Bu numuneye istenen boyutlarda işlendikten sonra 60 saatlik iyon nitrürasyon deneyi uygulanmıştır. Bu işlem sonucu tokluk ve yüzey sertliliğin artması yönünde işlem görmesi sonucu malzemenin çentik darbe dayanımı sonucu kırılmamıştır.

Ek= 300 Nm (J) , A= 8,4*10,4 mm^2 ölçülerinde olup uygulanan yük neticesinde kırılma gözlenmemiştir.

Çentik darbe tokluğu:

$$qnet = Ek / A = 300\ J \div 87.36\ mm^2$$

$$= 3.43\ J/\ mm^2$$



Şekil 4.10. 60 saat iyon nitrürasyonlu çentik-darbe görünümü

- **60 Saat Kaynaklı Çentik Darbe Deneyi ;**

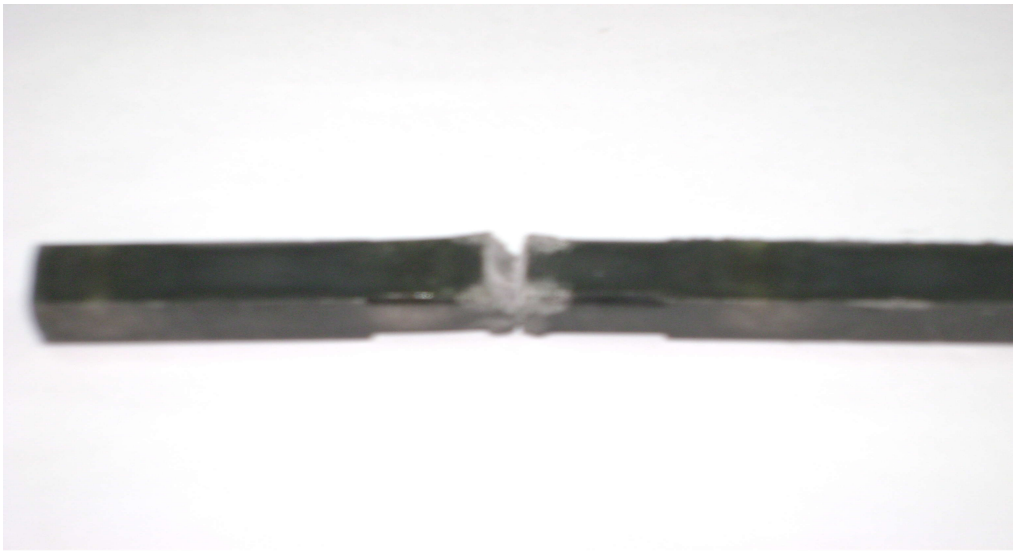
Bu numunede iki parça işlenip sürtünme kaynağıyla birleştirilip, 60 saatlik iyon nitrürasyon deneyini uygulanmıştır.

Ek = 74 Nm (J) , A=7,4*8 mm^2 ölçülerinde olup uygulanan yük neticesinde kırılma gözlenmiştir.

Çentik darbe tokluğu:

$$qnet = Ek / A = 74\ J \div 59.2\ mm^2$$

$$= 1.25\ J/mm^2$$



Şekil 4.11. 60 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı çentik-darbe görünümü

- **24 Saat Kaynaksız Çentik Darbe Deneyi ;**

Bu numunemize istenen boyutlarda işlendikten sonra 24 saatlik iyon nitrürasyon deneyi uygulanmıştır. Bu işlem sonucu sertliliğin artması yönünde işlem görmesi sonucu malzemenin çentik darbe dayanımı sonucu kırılmamıştır.

Ek= 300 Nm (J) , A= 8,7 * 10 mm ^{2} ölçülerinde olup uygulanan yük neticesinde kırılma gözlenmemiştir.

Çentik darbe tokluğu:

$$qnet = Ek / A = 300\ J \div 87\ mm^2$$

$$= 3.44\ J/\ mm^2$$



Şekil 4.12. 24 saat iyon nitrürasyonlu kaynaksız çentik-darbe görünümü

- **24 Saat Kaynaklı Çentik Darbe Deneyi ;**

Bu numunemizde iki parça işlenip sürtünme kaynağıyla birleştirilip, 24 saatlik iyon nitrürasyon deneyini uygulanmıştır.. Bu numunemize uyguladığımız ;

Ek = 68 Nm (J) kırıldı A=7,7 * 7 mm^2 ölçülerinde olup uygulanan yük neticesinde kırılma gözlenmiştir.

Çentik darbe tokluğu:

$$qnet = Ek / A = 68\ J \div 53.9\ mm^2$$

$$= 1.26\ J/mm^2$$



Şekil 4.13. 24 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı çentik-darbe görünümü

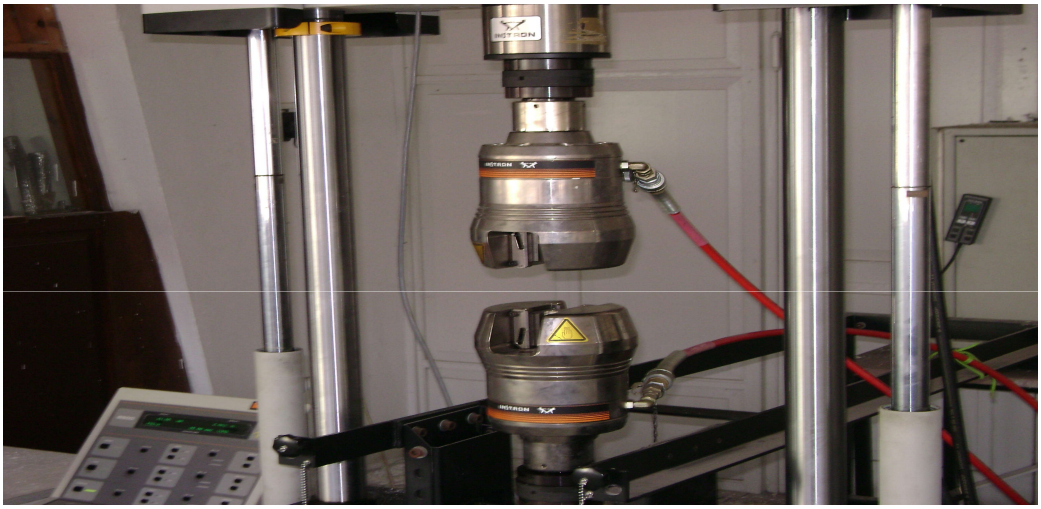
4.5. Çekme Deneyi

Paslanmaz çelik numunelerinden 4 adedine çekme deneyi uygulanmıştır. Bunlar kaynaklı ve kaynaksız 24 ve 60 saat olmak üzere gruplandırılır. Çekme deneylerimiz şekil 4.12'de görünen instron cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu deneyle kesit daralması, çekme dayanımı, akma dayanımı, kopma dayanımı gibi değerler kontrol edilebilir.

Hiçbir işlem yapılmamış numunenin çekme gerilmesi = 751 MPa olup, bu değerden yola çıkılarak yapılan deneylerin sonuçlarına göre karşılaştırmaya gidilmiştir.

- Kaynaksız 24 saat parça çekme gerilmesi = 753 MPa
- Kaynaklı 24 saat parça çekme gerilmesi = 736 MPa
- Kaynaksız 60 saat parça çekme gerilmesi = 714 MPa
- Kaynaklı 60 saat parça çekme gerilmesi = 692 MPa

Yapılan çekme deneyi sonuçlarına göre, kaynaksız numunelerden 24 saatlik iyon nitrürasyonlu numunenin çekme değerinin, hiçbir işlem yapılmamış numunenin çekme değeriyle aynı olduğu, 60 saatlik iyon nitrürasyonlu numunenin çekme değerinin belirli bir oranda düştüğü görülmüştür. Kaynaklı numunelerde 60 saatlik iyon nitrürasyonlu numunenin çekme değeri, 24 saatlik iyon nitrürasyonlu numunenin çekme değerinden daha düşük olduğu görülmüştür.

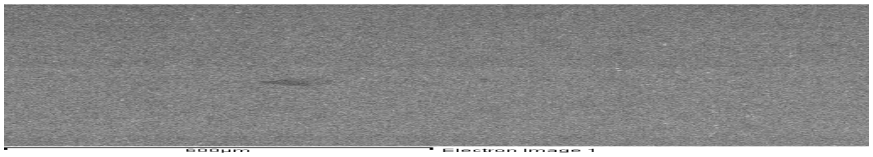


Şekil 4.14. İnstron cihaz görünümü

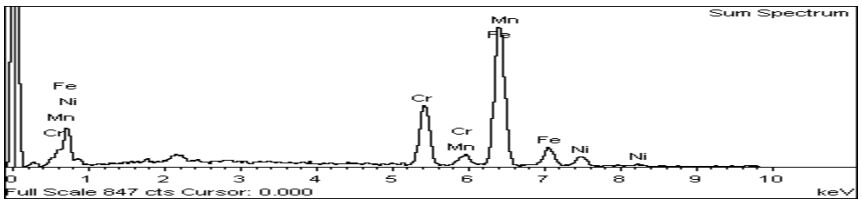
4.6. SEM-EDS Analizleri

Bu bölümdeki deney çalışmalarında 4 adet numuneye SEM-EDS analizleri uygulanmıştır. Bu numuneler 24 saat kaynaklı, 24 saat kaynaksız, 60 saat kaynaklı, 60 saat kaynaksız iyon nitrürasyon görmüş 4 adet numuneye SEM-EDS analizleri uygulanıp, mikroyapıları hakkında irdeleme yapılmıştır.

- Kaynaklı 24 saat iyon nitrürasyon numunenin kaynaksız bölge analiz sonucu ;



Şekil 4.15. 24 saat nitrürasyonlu kaynaklı kaynaksız bölge görünümü



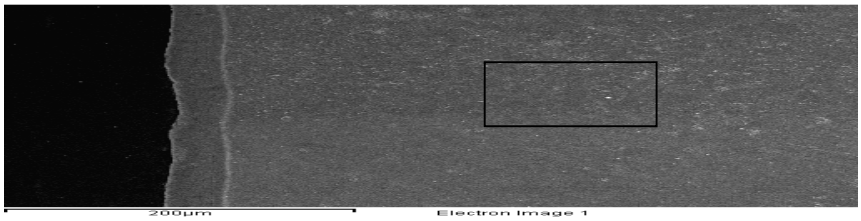
Şekil 4.16. 24 saat nitrürasyonlu kaynaklı spektrum diyagramı

Element	Weight%	Atomic%
Cr	19.54	20.76
Mn	1.21	1.22
Fe	71.58	70.80
Ni	7.67	7.21
Totals	100.00	

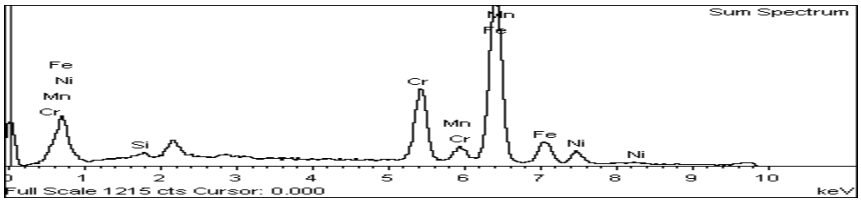
Çizelge 4.1. Kaynaklı numunenin kaynaksız bölge element oranları

Şekil 4.15'de 24 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı numunenin kaynaksız bölge iç yapısı görülmektedir. Şekilde'de görüldüğü gibi iyon nitrürasyon işlemi numunenin iç yapısına etki etmediği iç yapısında değişiklik olmadığı, azotun numuneye difüzyonun az olması beyaz tabakanın görülememesine yol açar. Çizelge 4.1'de kaynaksız bölgedeki elementlerin ağırlık oranları hakkında bilgi verilip, bu tablodan yola çıkarak azotun difüzyonunun az olduğu, Fe-Cr çökelmesinin görüldüğü ortaya çıkmıştır.

- Kaynaklı 24 saat iyon nitrürasyon numunenin kaynak bölgesinden alınan analiz sonucu ;



Şekil 4.17. 24 saat nitrürasyonlu kaynaklı bölge görünümü



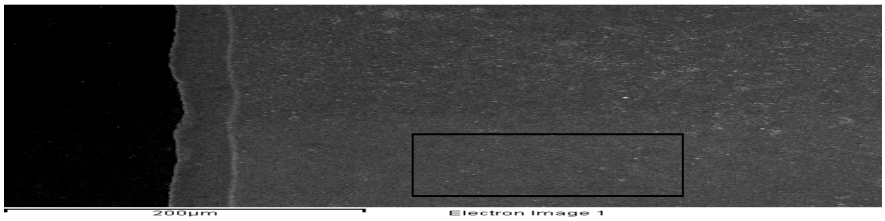
Şekil 4.18. 24 saat nitrürasyonlu kaynaklı bölge spektrum diyagramı

Element	Weight%	Atomic%
Si	0.89	1.73
Cr	19.28	20.31
Mn	1.56	1.56
Fe	70.84	69.47
Ni	7.42	6.93
Totals	100.00	

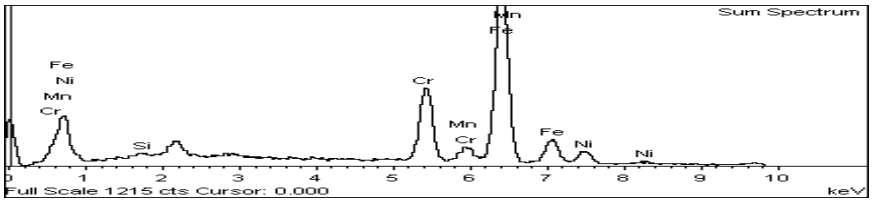
Çizelge 4.2. Nitrürasyonlu kaynaklı bölge element oranları

Şekil 4.17'de 24 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı numunenin kaynak bölgesinin iç yapısı görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi beyaz tabaka kalınlığı numune boyunca aynı olduğu, bu parçanın iyi işlendiğini ve iyon nitrürasyonda azotun numune yüzeyine difüzyonunun iyi olduğunu ortaya çıkarmıştır. Çizelge 4.2'de elementlerin ağırlıklarına bakıp bunu spektrum diyagramı üzerinde iredelersek numune iç yapısında Fe-Cr elementlerinin ağırlık oranlarının yüksek olduğu görülmüştür.

- Kaynaklı 24 saat iyon nitrürasyon numunenin kaynak bölgesinin kenarından alınan analiz sonucu ;



Şekil 4.19. 24 saat nitrürasyonlu kaynaklı bölgenin kenarının görünümü



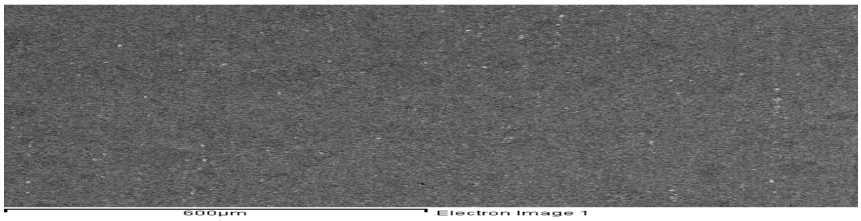
Şekil 4.20. 24 saat nitrürasyonlu kaynaklı böl. kenarının spektrum diyagramı

Element	Weight%	Atomic%
Si	0.54	1.05
Cr	19.18	20.28
Mn	1.44	1.45
Fe	71.04	69.92
Ni	7.80	7.30
Totals	100.00	

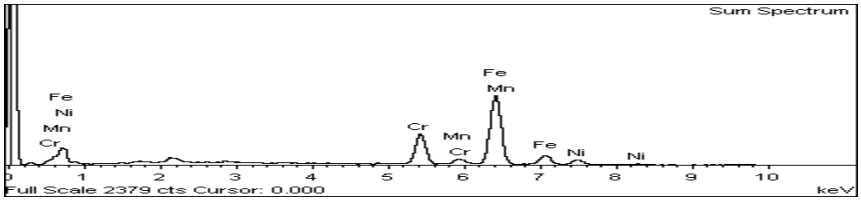
Çizelge 4.3. Nitrürasyonlu kaynaklı bölge kenarının element oranları

Şekil 4.19.'de 24 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı numunenin kaynak bölgesinin iç yapısı görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi beyaz tabaka kalınlığı numune boyunca aynı olduğu, bu parçanın iyi işlendiğini ve iyon nitrürasyonda azotun numune yüzeyine difüzyonunun iyi olduğunu ortaya çıkarmıştır. Şekil 4.17 ile şekil 4.19 karşılaştırdığımızda kaynaklı bölge ile kaynak bölgesinin kenarından alınan analiz sonuçları arasında fark olmadığı ortaya çıkmıştır. İyon nitrürasyon işleminin her iki bölgede aynı işlevi yaptığı ortaya çıkmıştır. Çizelge 4.3'de elementlerin ağırlıklarına bakıp bunu spektrum diyagramı üzerinde irdelersek numune iç yapısında Fe-Cr elementlerinin ağırlık oranlarının yüksek olduğu görülmüştür.

- Kaynaklı 60 saat iyon nitrürasyon numunenin kaynaksız bölge analiz sonucu ;



Şekil 4.21. 60 saat nitrürasyonlu kaynaklı numunenin kaynaksız bölge görünümü



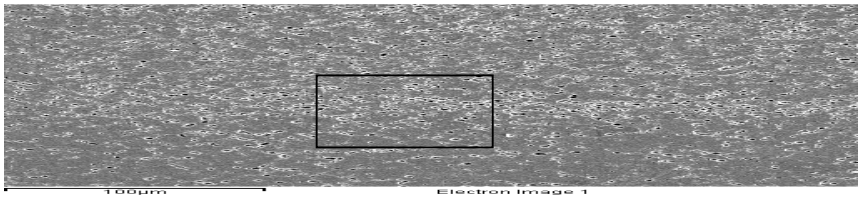
Şekil 4.22. 60 saat nitrürasyonlu kaynaklı spektrum diyagramı

Element	Weight%	Atomic%
Cr	18.88	20.07
Mn	1.65	1.66
Fe	72.03	71.27
Ni	7.44	7.00
Totals	100.00	

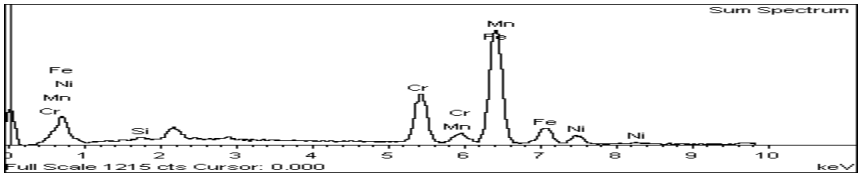
Çizelge 4.4. Kaynaklı numunenin kaynaksız bölge element oranları tablosu

Şekil 4.21'de 60 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı numunenin kaynaksız bölge iç yapısı görülmektedir. Şekilde'de görüldüğü gibi iyon nitrürasyon işlemi numunenin iç yapısına etki etmediği iç yapısında değişiklik olmadığı, azotun numuneye difüzyonun az olması beyaz tabakanın görülememesine yol açar. Çizelge 4.4'de kaynaksız bölgedeki elementlerin ağırlık oranları hakkında bilgi verilip, bu tablodan yola çıkarak azotun difüzyonunun az olduğu, Fe-Cr çökelmesinin görüldüğü ortaya çıkmıştır. (Michalski J, Ayhan ÇELİK)

- Kaynaklı 60 saat iyon nitrürasyon numunenin kaynak bölge analiz sonucu ;



Şekil 4.23. 60 saat nitrürasyonlu kaynaklı bölgenin görünümü



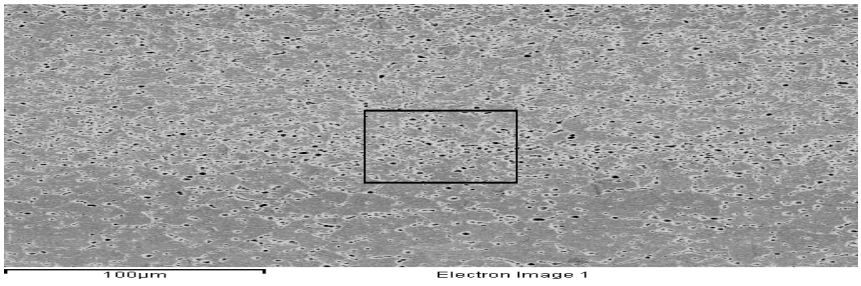
Şekil 4.24. 60 saat nitrürasyonlu kaynaklı numunenin spektrum diyagramı

Element	Weight%	Atomic%
Si	0.78	1.53
Cr	19.06	20.10
Mn	1.69	1.69
Fe	70.65	69.38
Ni	7.82	7.30
Totals	100.00	

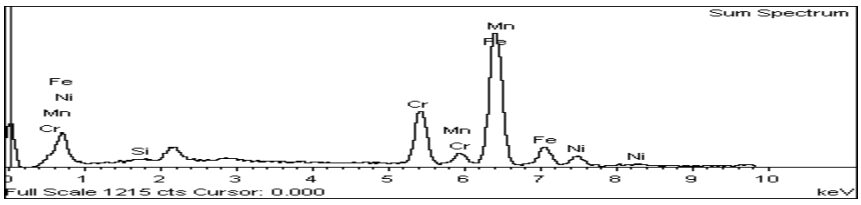
Çizelge 4.5. Kaynaklı numunenin kaynaklı bölge element oranları tablosu

Şekil 4.23'de 60 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı numunenin kaynaklı bölgesinin içyapısı görülmektedir. İyon nitrürasyon işlemi 500-550 C sıcaklıklarda uygulanmıştır. Çizelge 4.5'de görüldüğü gibi elementlerin ağırlık oranları olarak Fe-Cr çökelme gerçekleştirdiği, nitrürlenen malzeme ferrit oluşmuştur.(Michalski J, Ayhan Çelik) Şekil 4.23'de görüldüğü gibi koyu renkli alaşım oluşumlarıda görülmüştür.

- Kaynaklı 60 saat iyon nitrürasyon numunenin kaynak bölgesinin kenarından alınan analiz sonucu ;



Şekil 4.25. 60 saat nitrürasyonlu kaynaklı bölgenin kenarının görünümü



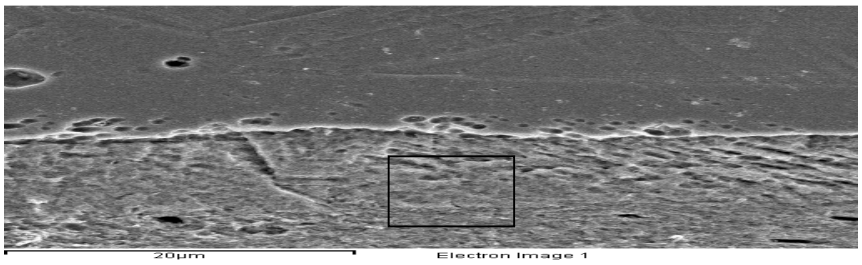
Şekil 4.26. 60 saat nitrürasyonlu kaynaklı bölgenin kenarının spektrum diyagramı

Element	Weight%	Atomic%
Si	0.52	1.03
Cr	18.55	19.62
Mn	1.87	1.87
Fe	71.49	70.40
Ni	7.56	7.08
Totals	100.00	

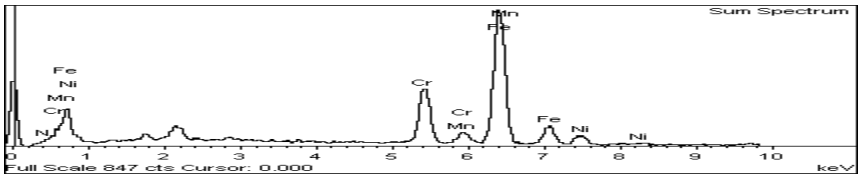
Çizelge 4.6. Kaynaklı numunenin kaynaklı bölge kenarının element oranları tablosu

Şekil 4.25'de 60 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı numunenin kaynaklı bölgenin kenarının içyapısı görülmektedir. Şekil de görülmek üzere kaynaklı bölgenin kenarına yaklaştığımızda beyaz tabakalaşma arttığı bu bölgede azotun numuneye difüzyonu azda olsa görülmüştür. Şekil 4.25'de görüldüğü gibi iyon nitrürasyon işlemi sonucu malzeme içinde alaşım nitrürleri oluşmuştur. Çizelge 4.6'de Fe-Cr element ağırlığı diğer şekillerde olduğu gibi oran olarak aynı olduğu, bu durum iyon nitrürasyon işlemi malzeme iç yapısına etki etmediği yüzey üzerinde sertliği arttırdığını gösterir.

- 24 saat kaynaksız iyon nitrürasyon numunenin nitrasyon işlemi uygulanan dış yüzeyden alınan analiz sonucu ;



Şekil 4.27. 24 saat nitrürasyonlu bölgenin görünümü



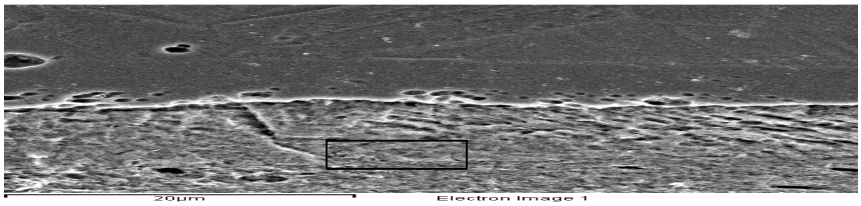
Şekil 4.28. 24 saat nitrürasyonlu bölgenin spektrum diyagramı

Element	Weight%	Atomic%
N	1.08	4.15
Cr	18.48	19.04
Mn	2.00	1.95
Fe	70.91	68.00
Ni	7.52	6.86
Totals	100.00	

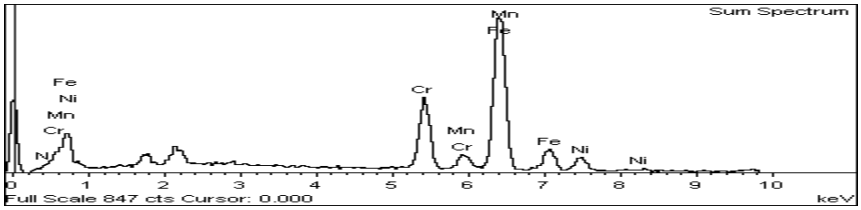
Çizelge 4.7. Nitrürasyonlu bölgenin element oranları tablosu

Şekil 4.27‘de 24 saat iyon nitrürasyon kaynaksız numunenin dış yüzeyinin içyapısı görülmektedir. Şekil 4.27’de görüldüğü gibi beyaz tabaka görülmektedir. Beyaz tabakanın kalınlığı azotun numuneye difüzyon oranıyla artıp azalabilir. Çizelge 4.7’de azot elementinin ağırlık oranının %1 üzerinde olduğu görülmüştür. Azotun oran olarak değişimini spektrum diyagramı üzerinde’de görebiliriz. Beyaz tabaka içinde koyu renkli alaşım nitrürlerinin oluştuğu görülmüştür.

- 24 saat kaynaksız iyon nitrürasyon numunenin nitrasyon işlemi uygulanan dış yüzeyden alınan 2.analiz sonucu ;



Şekil 4.29. 24 saat nitrürasyonlu 2.bölgenin görünümü



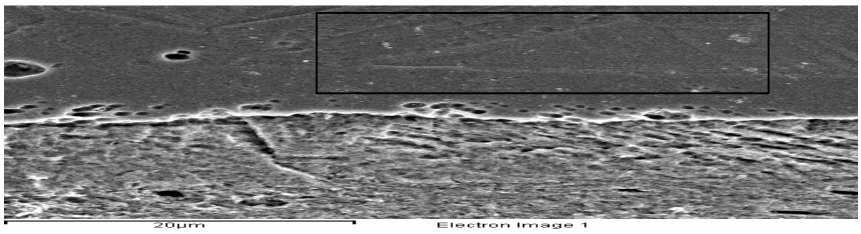
Şekil 4.30. 24 saat nitrürasyonlu 2.bölgenin spektrum diyagramı

Element	Weight%	Atomic%
N	1.80	6.74
Cr	18.24	18.43
Mn	2.24	2.14
Fe	69.36	65.21
Ni	8.36	7.48
Totals	100.00	

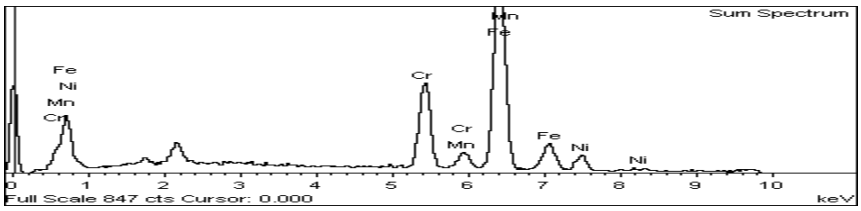
Çizelge 4.8. Nitrürasyonlu 2.bölgenin element oranları tablosu

Şekil 4.29'de 24 saat iyon nitrürasyon kaynaksız numunenin dış yüzeyinin içyapısı görülmektedir. Şekil 4.29'de görüldüğü gibi beyaz tabaka görülmektedir. Bu analiz ile diğer dış yüzey analiz arasındaki farka bakarsak, dış yüzeye yaklaştıkça azot oranının arttığı görülmüştür. Çizelge 4.8'de azot elementinin ağırlık oranının %1,8 olduğu görülmektedir. Azotun oran olarak değişimini spektrum diyagramı üzerinde'de görülmüştür.

- 24 saat kaynaksız iyon nitrürasyon numunenin nitrürasyon işlemi uygulanmayan yüzeyden alınan (anametal) analiz sonucu ;



Şekil 4.31. 24 saat nitrürasyonlu numunenin anametal görünümü



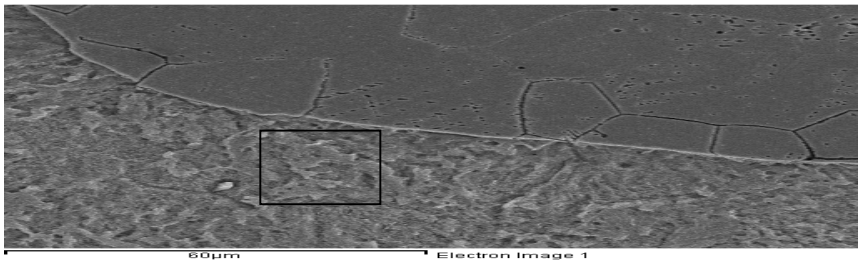
Şekil 4.32. 24 saat nitrürasyonlu numunenin spektrum diyagramı

Element	Weight%	Atomic%
Cr	19.09	20.29
Mn	1.75	1.76
Fe	70.98	70.25
Ni	8.18	7.70
Totals	100.00	

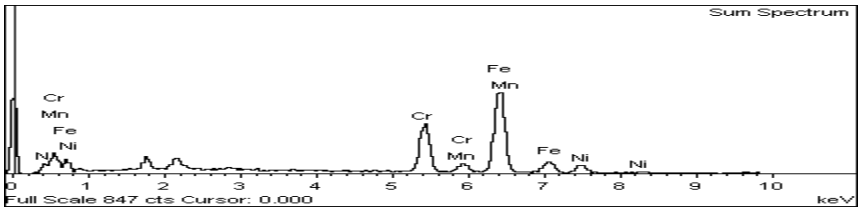
Çizelge 4.9. Nitrürasyonlu numunenin anametal element oranları tablosu

Şekil 4.31'da 24 saat iyon nitrürasyon kaynaksız numunenin nitrürasyon uygulanan bölgenin ana metal içyapısı görülmektedir. Şekil 4.31'da görüldüğü gibi beyaz tabaka görülmektedir. Şekilden'de görüldüğü gibi iyon nitrürasyon işleminin malzemenin dış yüzeyinde beyaz tabaka oluşturduğu, malzeme iç yapısında değişimin olmadığı görülmektedir.

- 60 saat kaynaksız iyon nitrürasyon numunenin nitrasyon işlemi uygulanan dış yüzeyden alınan analiz sonucu ;



Şekil 4.33. 60 saat nitrürasyonlu numunenin dış yüzeyinin görünümü



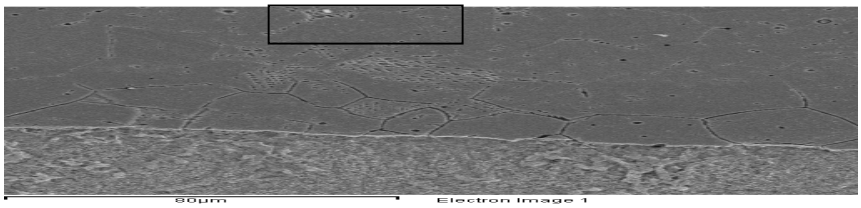
Şekil 4.34. 60 saat nitrürasyonlu numunenin dış yüzeyinin spektrum diyagramı

Element	Weight%	Atomic%
N	6.30	20.91
Cr	21.83	19.53
Mn	2.61	2.21
Fe	61.06	50.86
Ni	8.20	6.50
Totals	100.00	

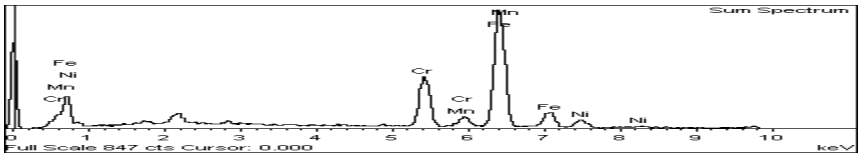
Çizelge 4.10. Nitrürasyonlu numunenin dış yüzeyinin element oranları tablosu

Şekil 4.33'de 60 saat iyon nitrürasyon kaynaksız numunenin dış yüzeyinin içyapısı görülmektedir. Şekil 4.33'de görüldüğü gibi beyaz tabaka görülmektedir. Beyaz tabakanın kalınlığı azotun numuneye difüzyon oranıyla artıp azalabilir. Çizelge 4.10'de azot elementinin ağırlık oranının % 6.3 üzerinde olduğu görülmektedir. İyon nitrürasyon işleminin süresininde azot oranının ve buna bağlı olarak beyaz tabaka kalınlığının artış ve azalışında önemli faktör olduğu görülmüştür. Azotun oran olarak değişimini spektrum diyagramı üzerinde'de görebiliriz. Beyaz tabaka içinde koyu renkli alaşım nitrürlerinin oluştuğu görülmektedir.

- 60 saat kaynaksız iyon nitrürasyon numunenin nitrürasyon işlemi uygulanmayan yüzeyden alınan (anametal) analiz sonucu ;



Şekil 4.35. 60 saat nitrürasyonlu numunenin anametal görünümü



Şekil 4.36. 60 saat nitrürasyonlu numunenin anametal spektrum diyagramı

Element	Weight%	Atomic%
Cr	19.43	20.64
Mn	1.45	1.45
Fe	71.96	71.17
Ni	7.16	6.74
Totals	100.00	

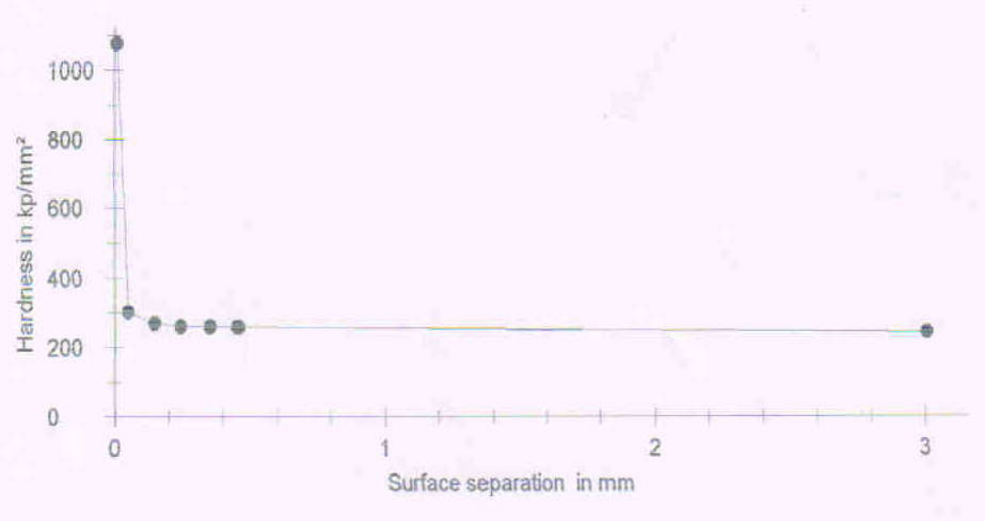
Çizelge 4.11. Nitrürasyonlu numunenin element oranları tablosu

Şekil 4.35’de 60 saat iyon nitrürasyon kaynaksız numunenin nitrürasyon uygulanan bölgenin anametal içyapısı görülmektedir. Şekil 4.35’de görüldüğü gibi beyaz tabaka görülmektedir. Şekilden’de görüldüğü gibi iyon nitrürasyon işleminin malzemenin dış yüzeyinde beyaz tabaka oluşturduğu, malzeme iç yapısında metalurjik değişimin olmadığı görülmüştür.

4.7. Sertlik Ölçüm Deneyi

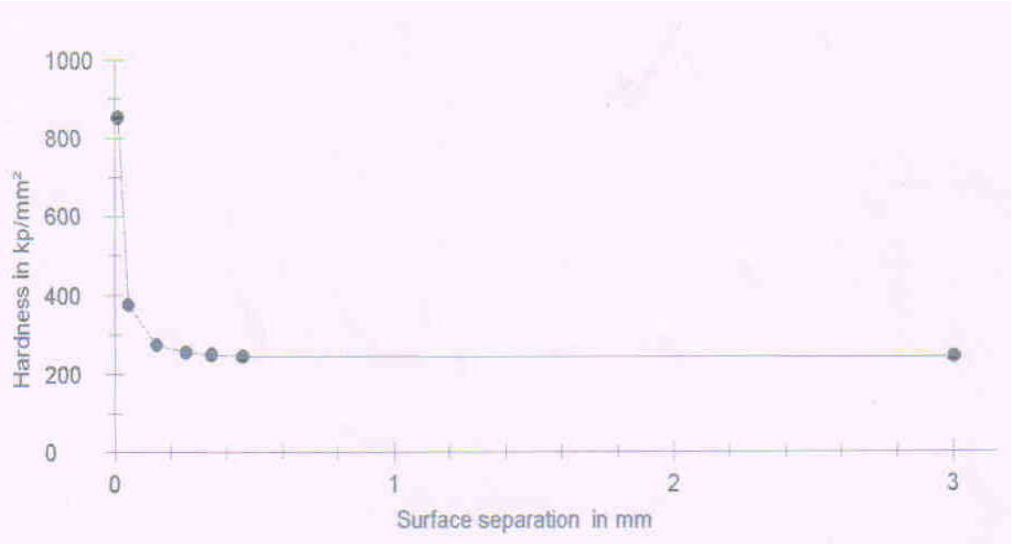
Paslanmaz çelik numunelerimizden 24 saat ve 60 saat iyon nitrürasyon işlemi uygulanan kaynaksız ve kaynaklı numunelerimize dış yüzeyden içeriye doğru vickers sertlik yöntemine göre 200 gr yük altında deneyler uygulanmıştır. Vickers sertlik ölçümü en sert malzemeleri ve sinterlenmiş sert malzemelerde aralarında olmak üzere, her sertlik derecesindeki maddelerin sertlik muayenesi, bu yöntem ile gerçekleştirilebilir. Vickers sertlik ölçüm yöntemi, en doğu değerleri verir. Yapılan deneyin sonuçları aşağıda belirtilmiştir ;

60 saat iyon nitrürasyon işlemi uygulanmış kaynaksız numunenin 200 gr yük altında yapılan deney sonucu şekil 4.37'deki grafik elde edilmiştir ;



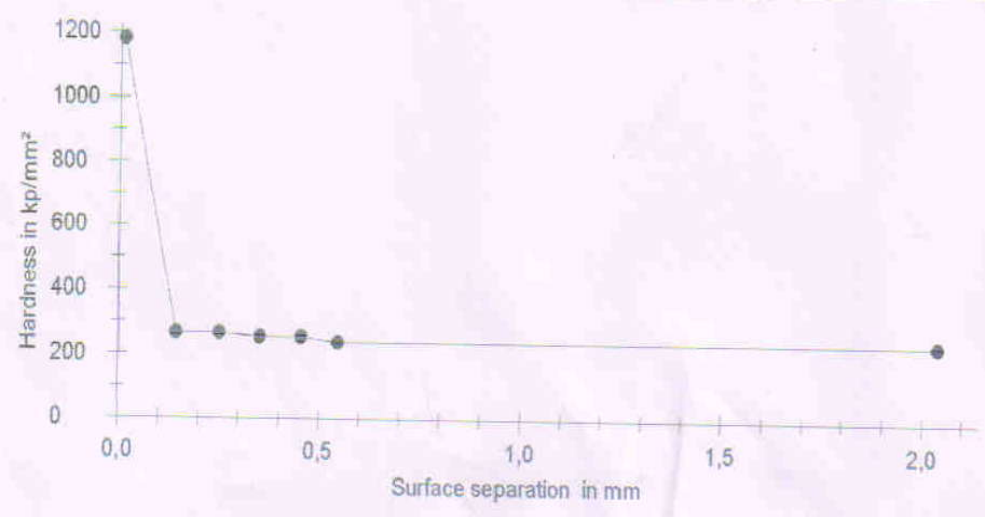
Şekil 4.37. 60 Saat iyon nitrürasyonlu kaynaksız numunenin dış yüzeyden içeriye doğru sertlik diyagramı

24 saat iyon nitrürasyon işlemi uygulanmış kaynaksız numunenin dış yüzeyden içeriye 200 gr yük altında yapılan deney sonucu şekil 4.38'deki grafik elde edilmiştir ;



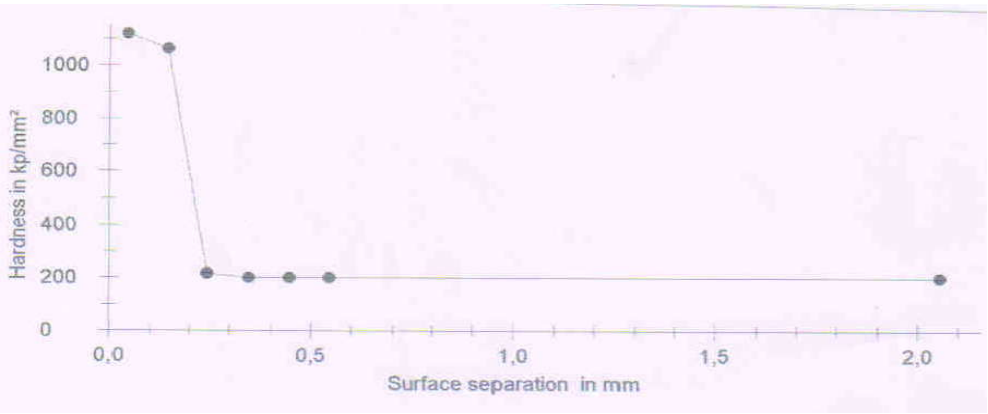
Şekil 4.38. 24 Saat iyon nitrürasyonlu kaynaksız numunenin dış yüzeyden içeriye doğru sertlik diyagramı

60 saat iyon nitrürasyon işlemi uygulanmış kaynaklı numunenin dış yüzeyden içeriye 200 gr yük altında yapılan deney sonucu şekil 4.39'deki grafik elde edilmiştir;



Şekil 4.39. 60 Saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı numunenin dış yüzeyden içeriye doğru sertlik diyagramı

24 saat iyon nitrürasyon işlemi uygulanmış kaynaklı numunenin dış yüzeyden içeriye doğru 200 gr yük altında yapılan deney sonucu şekil 4.40'deki grafik elde edilmiştir;



Şekil 4.40. 24 Saat İyon nitrürasyonlu kaynaklı numunenin dış yüzeyden içeriye doğru sertlik diyagramı

İyon nitrürasyonlu uygulanan sertlik ölçme deneylerinden elde edilen sonuçlar neticesinde oluşan grafiklerde şu görülmektedir ; 60 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı ve kaynaksız numunelerin dış yüzey sertlik değerlerinin, 24 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı ve kaynaksız numunelerin dış yüzey sertlik değerlerinden fazla olduğu görülmektedir. Dış yüzeyden numune içerisine ilerledikçe sertlik değerlerinin azaldığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca kaynaklı ve kaynaksız numunelerin iç kısımlarındaki sertlik ölçüm değerlerine bakıldığında değişme olmadığı görülmektedir. Kaynaklı numunelerde'de numune iç bölgesinde iyon nitrürasyon işleminin etki etmediği görülmektedir. Bu oluşumda iyon nitrürasyon işleminin malzemenin iç yapısına etki etmediğini göstermektedir. İyon nitrürasyon işleminin malzemenin dış yüzeyine etki ettiği, işlem süresi difüzyon gazı oranına bağlı olarak beyaz bölge kalınlığının ve yüzey sertliğinin arttığı görülmektedir.

5.TARTIŞMA

Bu çalışmada ostenitik paslanmaz çeliğe, iyon nitrürasyon işleminin, malzeme üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Paslanmaz çelik talaşlı tezgahta işlendikten sonra bir bölümü sürtünme kaynağı ile birleştirilmiştir. Bu şekilde kaynaklı ve kaynaksız olmak üzere iki grup malzeme oluşturulmuştur. Bu iki gruba 24 ve 60 saatlik iyon nitrürasyon işlemi uygulanmıştır. İyon nitrürasyon işleminden sonra parçalara yorulma deneyi uygulanmıştır. Yorulma deneyleri sonuçlarından 24 saatlik iyon nitrürasyonlu numunemizin 250 MPa yük altında ortalama çevrim sayısı 20.000 civarlarında olup, 60 saatlik iyon nitrürasyon numunemizin ortalama çevrim sayısı 10.000 olduğu görülmektedir. Bu sonuç iyon nitrürasyon süresi artması parçanın ısıya maruz bırakacağından parçaların daha düşük değerlerde kopmasına neden olduğu göstermektedir. 24 ve 60 saatlik iyon nitrürasyonlu kaynaksız numunelerimizin 200 MPa ve 150 MPa yük altında yapılan yorulma deneylerin sonuçlarında iyon nitrürasyon süresinin artması parçanın çevrim sayıları arasındaki farkı ortaya çıkarmaktadır. Kaynaklı numunelerimize bakıldığında 24 saatlik iyon nitrürasyonlu kaynaklı numunenin 200 MPa yük altında ortalama çevrim sayısı 60.000 civarlarında olup, 60 saatlik iyon nitrürasyonlu kaynaklı numunenin 200 MPa yük altında ortalama çevrim sayısı 10.000 civarlarında olduğu görülmektedir. Bu aradaki büyük farkın oluşmasının sebebi, iyon nitrürasyon işlem süresi ve sıcaklık nedeniyle malzemenin dayanımının düşmesiyle açıklanabilir.

Kaynaklı ve kaynaksız iyon nitrürasyonlu numunelerine uygulanan çentik-darbe deney sonuçları incelendiğinde, kaynaksız numunelerin kırılmadığı, kaynaklı parçaların kaynak bölgesinden kırıldığı görülmektedir. Bunun sebebi olarak malzemenin iyon nitrürasyon işlemi sonucunda yüzey sertliğini arttırmasına rağmen kaynaklı parçaların kaynak bölgesinden koptuğu görüldüğü ortaya çıkmaktadır. Yorulma sonuçlarına benzer olarak, iyon nitrürasyon işlemine uğratılan numunelerin çentik-darbe tokluklarının azaldığı gözlemlenmiştir.

Kaynaklı ve kaynaksız iyon nitrürasyonlu numunelerine uygulanan çekme deneyi sonuçları incelendiğinde, hiçbir işlem yapılmamış numunenin çekme gerilmesi 751 MPa olup, 24 saatlik iyon nitrürasyonlu numunemizin çekme gerilmesinin 753 MPa olduğu, 60 saatlik iyon nitrürasyonlu numunemizin çekme gerilmesinin 714 MPa olduğu görülmektedir. Bunun sebebi malzeme iyon nitrürasyon işlemi sonucu, artan sıcaklıkla birlikte dayanımının düşmesiyle açıklanabilir.

Kaynaksız ve kaynaklı iyon nitrürasyonlu numunelerimize uygulanan vickers sertlik deneyi sonuçları incelendiğinde, 60 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı ve kaynaksız numunelerin dış yüzey sertlik değerlerinin, 24 saat iyon nitrürasyonlu kaynaklı ve kaynaksız numunelerin dış yüzey sertlik değerlerinden fazla olduğu görülmektedir. Yüzey sertliğinin fazla olmasının sebebi olarak işlem süresi, azotun numuneye difüzyon edişi oranı, numune yüzey işlemesi gibi etkenler olduğunu görülmektedir. Bu numunelerin malzeme iç yapıları incelendiğinde sertlik değerlerinde değişim olmadığı görülmektedir.

Bu çalışma sonucunda malzemenin iyon nitrürasyon işlemi sonucu malzemenin dış yüzeyinde beyaz bölge oluştuğu, bu bölgenin malzeme yüzey sertliğini oluşturduğu, işlem süresine ve azotun difüzyonuna bağlı olarak yüzey sertliğinin artıp azaldığı ortaya çıkmaktadır. İyon nitrürasyon işleminin malzeme ana metal bölgesine etki etmediği sertlik değerlerinden belli olmaktadır.

KAYNAKLAR

Onaran K. , 1999, “Malzeme Bilimi”, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, (184-205, 242-254, 255-261)

Serfiçeli S. Y. , 2000, “Malzeme Bilgisi”, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, (168-169, 174-178)

Yüksel M. , 2003, “Malzeme Bilimleri Serisi”, MMO, Denizli (6-15, 40-44, 50-54)

Özdemir U. , Erten M. , 2003, “Palazma (İyon) Nitrürleme Yöntemi ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi”, Havacılık ve Uzay Teknolojileri, İstanbul, (41-48)

Ozdemir U. , Erten M. , 2005, “Plazma Nitrürleme Parametlerinin Değişen Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İstatiksel Analizi” , Havacılık ve Uzay Teknolojileri, İstanbul, (37-45)

Gajendra P. S. , Alphonsa J. , 2005, “Effect of Surcafe Roughness on the Properties of the Layer Formed on AISI 304 Stanlies Steel after Plasma Nitriding”, Surcafe&Coatıngs Technology, (5807-5811)

Cohen A. , Boas M. , Rosen A. , 1986 , “The Influence of Ion Nitriding Parameters on The Hardness Layer of 15-5 PH Stainless Steel ” , Thin Solid Filmd , (53-58)

Smith A. P , Gane N. , 1977, “The Coating of High Speed Steel Tools by Ion-Nitriding”, Heat Treatment. (307-310)

Şahin, M., 2001. “Sürtünme Kaynağı İle Birleştirmede Parça Boyutları ve Plastik Şekil Değiştirmenin Etkilerinin Araştırılması”, T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Edirne.

Metin E. , İnal O. T , 1987, “Formation and Growth of İron Nitrides During Ion-Nitriding” , J.Mater, Sic , (2783-2788)

Lamant R. Jr, Craven A. B, 1996 “Advantages of Ion Nitriding Gears”, Gear Technology, (13, 18-19)

Michalski J. , 1993, “Ion Nitriding of Armco Iron in Various Glow Discharge Regions”, Surf. Coat. Technol. , (321-324)

Meletis E. I , Yan S. , 1990, “Formation of Aluminum Nitride by İntensified Plasma Ion Nitriding”, American Vacuum Society,

Çelik A. , Karadeniz S. , 1993, “Ion Nitrürasyonda gaz karışım oranının ve sıcaklığın iç yapıya etkisinin incelenmesi”, 5. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli.

Albarran J. , Juares-Islas J. A. , and Martinez L. , 1992 , Nitride width and microhardness in H-12 ion nitrided steel. Materials Letters

Sahin M. An Investigation into Joining of Austenitic-Stainless Steels (AISI 304) with Friction Welding. Assembly Automation 2005; 25(2): 140-145.

Sahin M. Evaluation of The Joint-Interface Properties of Austenitic-Stainless Steels (AISI 304) Joined by Friction Welding. Materials & Design 2007; 28(7): 2244-2250.

Özbaysal K. , Inal O. , Romig A.D. , 1986, Ion-nitriding Behaviour of Several Tool Steels, Mat Sci and Eng.

Nowill P. H. , 1989, Ion Nitriding Aluminum Extrusion Dies, Ion Nitriding, Proceeding of International Conference on Ion Nitriding, Cincinnati, Ohio, USA.

Taylor A.M., Tookey K. M. , 1981 Ion Nitriding Process with Future, Metallurgia

De La Cuz P. , Oden M. , Ericsson T. , 1998, Influence of Plasma Nitriding on Fatigue Strength and Fracture of a B-Mn Steel, Mater Sci. Eng.

F. Mahboubi, K. Abdolvahabi, The effect of temperature on plasma nitriding behaviour of DIN 1.6959 low alloy steel, Vacuum, Volume 81, Issue 3, 24 October 2006, Pages 239-243.

Jisen Wang, Guosong Zhang, Jinquan Sun, Ying Bao, Lichen Zhuang and Hong Wen, Low temperature nitriding of medium carbon steel**,** Vacuum, Volume 80, Issue 8, 9 June 2006, Pages 855-859

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın çeşitli kademelerinde bilgi ve yardımlarından faydalandığım, her konuda desteğini esirgemeyen ve çalışmalarımı büyük bir titizlikle yönlendiren değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Mümin ŞAHİN ve Araş. Gör.Kaan ÖZEL ve ayrıca tezle ilgili söz konusu deneylerin yapılmasında yardımlarından faydalandığım HEMA Endüstri A.Ş çalışanlarından Makine Yüksek Mühendisi Yücel ŞEN ve çalışma arkadaşlarına, okulumuz çalışanlarından Teknisyen Reyhan SAĞLAM olmak üzere Doç. Dr. Mümin ŞAHİN, Yrd Doç. Dr. Cem ÇETİNARSLAN, Araş. Gör. Kaan ÖZEL hocalarıma ve TÜBİTAK MAM' a, T.Ü Araştırma fonuna, BOYTEK A.Ş.ve ERT Makina San. İç ve Dış Tic. Ltd. ŞTİ'ye teşekkürü borç bilir ve emeği geçen tüm meslektaşlara ve arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

Ceyhun SEVİL, 1981 yılında Tekirdağ'da doğmuştur. İlk ve ortaöğrenimini Tekirdağ'da tamamladıktan sonra 2004 yılında Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden lisans derecesi ile mezun olmuştur. 2005 yılı Eylül ayında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 2006 yılı Nisan ayından itibaren Makine Mühendisleri Odası Edirne Şubesi Tekirdağ İl Temsilciliğinde Teknik görevli olarak çalışmakta olan Ceyhun SEVİL bekar olup İngilizce bilmektedir.