

ÖZET

İyonitürasyon işlemleri gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer yüzey sertleştirme işlemlerine göre kısa işlem süresi, düşük sıcaklık, minimum distorsiyon, temiz numuneler ve düşük enerji kullanımı gibi avantajlara sahiptir. Bu çalışmada modern yüzey işlemlerinden biri olan plazma ile nitrülendirme ünitesi tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır.

Düşük alaşımlı AISI 8620 çeliği 450-600 °C sıcaklık aralığında, 10 mbar basınçta, 1/2 - 8 saat, %70 H₂ - %30 N₂ gaz karışımı içeren ortamda iyon nitrülendirilmiştir. Nitrülendirilen numunelerin yüzeyden itibaren sertlikleri mikrosertlik cihazı ile ölçülmüştür. Meydana gelen yüzey sertliği, difüzyon tabakasının derinliği ve beyaz tabaka belirlenmiştir. AISI 8620 çeliğinin yukarıda belirtilen sıcaklık, gaz karışımı, zaman aralığı ve basınçta optimum değerleri elde edilmiştir.

SUMMARY

Ion nitriding process, with the developing technology, is being widely used nowadays. It has several advantages such as short heat treatment time, low temperature, minimal distortions, clean specimens and low energy use according to other surface hardening processes. In this work nitriding unit with plasma which is one of the modern surface treatment has been planned and manufactured. Many experiments were made in order to show the realability of the system .

Low alloy AISI 8620 steel was ion nitrided at 450-600 °C temperature, under constant pressure of 10 mbar, for 1/2 – 8 h and consisting of %70 H₂ - %30 N₂ gas mixture. The hardness of nitrided specimens from the surface were measured with microhardness equipment. The surface hardness, depth of the diffusion layer and compound layer thickness were observed. The optimum values of the AISI 8620 steel under above process parameters (temperature, pressure, time, gas mixture) have been determined.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, her zaman yardım ve desteğini gördüğüm Doç. Dr. Ayhan ÇELİK'e teşekkür ederim.

Deney düzeneğinin kurulması ve deneylerin yapılması sırasında bilgi ve yardımına başvurduğum bölümümüz öğretim elemanlarından Doç. Dr. İhsan EFEOĞLU'na teşekkür ederim.

Gerek deneylerin yapılmasında gerek tezin hazırlanmasında yardımcı olan Arş. Gör. Akgün ALSARAN'a teşekkür ederim. Deney düzeneğinin kurulması esnasında emeği geçen bütün bölüm arkadaşlarıma , fakültemiz teknisyenlerine ve Meslek Yüksek Okulu Makine Atölyesi çalışanlarına teşekkür ederim.

Erzurum-1998

Gürkan ŞAKAR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
SUMMARY.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
1. GİRİŞ.....	1
2. TERMOKİMYASAL İŞLEMLER.....	8
2.1. Sementasyon.....	8
2.2 . Borlama.....	8
2.3. Nitrokarbürleme.....	8
2.4. Nitrürasyon.....	9
3. İYON NİTRÜRASYON METODU.....	10
3.1. Plazma.....	10
3.2 .Plazmanın Özellikleri.....	15
3.3. İyon nitrürasyon İşlemi.....	15
3.4. İyon nitrürasyon İşleminde Oluşan Metalurjik Yapılar.....	22
3.4.1. Beyaz Tabaka.....	23
3.4.2. Difüzyon Bölgesi.....	23

4. MATERYAL VE METOD.....	25
4.1. İyon nitrürasyon Deney Düzenegi.....	25
4.1.1. Vakum Pompası.....	25
4.1.2. Vakum Kabı.....	25
4.1.3. Güç Kaynağı.....	27
4.1.4. Gaz Vericileri.....	28
5. DENEYSEL VERİLER VE DEĞERLENDİRME.....	30
5.1. Deney Sonuçları.....	32
5.1.1. Mikrosertlik Ölçümleri.....	32
5.1.2. İç Yapı İncelemeleri.....	32
5.1.3. Tablo ve Grafikler	36
6. SONUÇLAR.....	40
7. KAYNAKLAR.....	41

1. GİRİŞ

Makina elemanlarının yorulma ve aşınma mukavemetlerini artırmak için değişik yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Bunlar kaplama, borlama, semantasyon ve nitrürasyon gibi işlemlerdir. Hangi yöntemin seçileceği malzemenin kimyasal kompozisyonuna, ve yüzey şartlarına bağlıdır. Özellikle çelik malzemelerin yüzeylerinin sertleştirilmesi uzun yıllardır bilinen (Tuz ve gaz nitrürasyonu gibi) işlemlerle yapılmaktadır. Ancak son zamanlarda iyon nitrürasyon (Glow discharge) metodu çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Gerçekten de bu teknik termokimyasal ısıl işlemler ve kaplama işlemlerin de başarıyla uygulanmaktadır. İyon nitrürasyon alışlagelmiş nitrürasyonun yerini almaktan ziyade ona bir destek amacını taşımaktadır.

Makina elemanlarının yüzey özelliklerini iyileştirmek için uygulanan termokimyasal işlemler arasında nitrürasyon önemli bir yere sahiptir. Konvansiyonel tuz ve gaz banyosunda nitrürasyonun yanında günümüzde, endüstride özellikle sanayileşmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaya başlanan diğer bir nitrürleme işlemi de ' iyon nitrürasyon ' denilen ve gazların iyonize edilerek yüzeyde tabaka oluşturması prensibine dayanan yöntemdir. Bu yöntem günümüzde başta demir, alaşımlı ve alaşımsız çelikler, paslanmaz çelikler, bakır, dökme demir, sinterlenmiş dökme demir ve alüminyum başta olmak üzere çok çeşitli metallerde uygulama alanı bulmaktadır.

İyon nitrürasyon işlemi bilinen yüzey sertleştirme işlemlerine göre bir çok avantajlara sahiptir. Normal nitrürleme işlemine göre daha ekonomik olması, azot difüzyonunun hızlı meydana gelmesi, minimum distorsiyon, yüksek yüzey sertliği, işlemin düşük sıcaklıklarda ve kısa zamanda meydana gelmesi, iç yapıda meydana gelen yapıların kontrolünün sağlanabilmesi ve en önemlisi sert ve gevrek olan beyaz tabakanın kontrolünün yapılabilmesidir.

Çok üstün aşınma, yorulma dayanımının ve sertlik derinliğinin hassas kontrolünün istendiği yerlerde özellikle tercih edilen bu yöntem maalesef ülkemizde yeni bir konu olup, sadece birkaç üniversitede konu üzerinde çalışma yapılmakta, ancak bugüne kadar

sanayimizle tanışma imkanı bulamamıştır. Kendine has bir çok üstünlükleri olan böyle bir yöntemin sanayimize kazandırılması kaçınılmazdır. Bu konuda bir çok ülkede araştırmalar yapılmaktadır. Aşağıda bunlardan bir kısmı verilmiştir;

Kazuo Ichii, Kimio Fujimara ve Takao Takase 1991 yılında 400, 450 ve 500 °C de iyon nitrülenmiş 18-8 ticari bir ostenitik paslanmaz çeliğin yüzeyini SEM, EDX, EPMA ile incelemişlerdir. Çelikte bulunan metalik olmayan kalıntılar özellikle oksitler saçınma sonucu fazla etkilenmemiştir ve bu yüzden numunenin yüzeyinde kalmıştır. Sonuçta çökelti ile kaplanmıştır. 5-10 µm kalınlığında bir yüzey tabakası 6.67×10^2 Pa basınçta N₂-H₂ ortamında 550 °C için 4h, 400 °C için 40 saat iyon nitrüleme yapılmıştır. 0.2 µm kalınlığında bir tabaka 4h için 400 °C de ve yaklaşık 2 µm kalınlığında tabaka 40 h için 400 °C de 4h için 550 °C çökeltmiştir. 450 ve 400 °C derecedeki metal olmayan kalıntılarda çökeltilen tabakalardaki çatlaklar gözlenmiştir. Çatlağın nitrit tabakasının korozyon direncini düşürdüğü tespit edilmiştir [1].

Salik, J., Ferrante, J., Honey, F., ve Hoffman, R, Jr., 1987 yılında Plazma ile nitrülenmiş çeliklerin analizlerini iki ana 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 makalede her iki kategoriye birkaç teknik ile elde edilen belli başlı sonuçlar sunulmuş ve plazma ile nitrülenmiş çeliklerin analizine bu tekniklerin uygulanabilirliği tartışılmıştır [2].

Michel, H., Czerwiec, T., Gantois, M., Ablitzer, D., ve Ricard, A.1995 yılında çalışmalarında iyonitrürasyonun mekanizmalarını tartışmış, özellikle d.c. diot nitrürasyonu üzerinde durmuşlardır, d.c. diot nitrürasyonunun mekanizmalarının analizindeki daha önceki gelişmeler, katot düşümü bölgesinin önemini vurgulayarak tekrar gözden geçirmesini sağlamıştır. Aktif parçacıkların ayrımları ve onların plazmadaki yoğunluklarının hesaplanması gösterilmiş, modellenmesi yapılmış ve d.c. diot nitrürasyonuna triot nitrürasyon gibi alternatifler geliştirilmiştir [3].

Smith, A. P., ve Gane, N, 1977 yılında iyon nitrürasyon işlemiyle HSS takımlarının kaplanması için temel bir 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 oksijen-azot kaplama kullanıldığı zaman kesme kenarında bir aşınma olmadığını ve iş parçasının birleştirilmemesiyle vida açma momentinde %40 bir azalma sağladığını göstermiştir [4].

Musil, J., Vlcek, J., Jezek, V., Kubasek, M., Kolega, M., ve Musil, Jr. J. 1993 yılında ince Ti filmlerin iyon nitrürasyonu ile ilgilenmişlerdir. Farklı koşullar altında d.c. magnetron sputtering ile hazırlanan Ti filmleri işlem basıncı 8 torr , N₂-H₂ (1:1) karışımında bir d.c. glow discharge'da nitrürlenmişlerdir. Daha sonra SEM kullanılarak yüzey topoğrafyası , EDAX kullanılarak kimyasal kompozisyonu, XRD kullanılarak faz kompozisyonunun incelenmesi yapılmıştır [5].

Edenhofer, B., 1974 yılında iyon nitrürasyon uygulaması ve prensipleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Prosesi destekleyen fiziksel olay incelenmiş ve işlem dataları ile ekipmanı üzerinde durulmuştur. Azotun plazmadan metal yüzeyine transferinin mekanizması ve konvansiyonel nitrürasyona göre hızlandırılmış azot girişinin sebepleri ortaya konulmuştur [6].

Edenhofer, B., 1974 yılında iyon nitrürasyonla elde edilen ve hassas olarak kontrol edilebilen yapısal değişimleri incelemiş ayrıca bu yapıların mekanik özelliklere etkisini de araştırmıştır. Burulma ve yorulma deney sonuçları tüm pratik uygulamalara uygun bir yapının olamayacağını göstermiştir. Tükenmez kalem bilyasından 8.5 m'lik ekstrüzyon vidasına kadar çeşitli parçaların iyon nitrürlenebildiği endüstriyel tesisler gösterilmiştir [7].

Chu, C. L., ve Wu, S. K., 1996 yılında %25-53 Al içeren iyon nitrürlenmiş titanyum-alüminyumun korozyon direncini asit daldırma testleri ve elektro kimyasal potansiyodinamik testlerle incelemişlerdir. Sonuçlar bütün iyon-nitrürlenmiş parçaların asit solüsyonundan kolayca etkilendiğini göstermiştir. H_2SO_4 (%10 vol) solüsyonundaki korozyon direnci HCl (%10 vol) solüsyonundakinden daha büyüktür. Daha yüksek Al içeriği daha fazla kütle kaybına neden olmuştur. Bu solüsyonlardaki korozyon oranı iyonitürasyon işlemiyle belirgin bir şekilde azaltılabilir. Bu azalma HCl (%10 vol) solüsyonda H_2SO_4 (%10 vol) den daha fazladır. İyon nitrürlenmiş titanyum-alüminyum tabakası TiN ve Ti_2AlN içerir. H_2SO_4 (%10 vol) ve HCl (% 10 vol) solüsyonlarındaki iyileştirilen korozyon direnci iyon nitrürlenmiş tabakalarda oluşan TiN ve Ti_2AlN 'e bağlanmıştır. 'TiN' nin bu asit solüsyonlarında ' Ti_2AlN ' den daha fazla korozyon direncine sahip olduğu bulunmuştur [8].

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 nitrürlenmişlerdir. Yukarıda 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 [9].

Metin, E., ve İnal, O. T., 1987 yılında 2-6 mm boyutlarında iri taneli numuneleri, iyon nitrüleme esnasında demirin yüzeyindeki Fe_2N , $Fe_{2-3}N$ ve Fe_4N demir nitrürlerinin büyüme kinetiğini ve oluşumunu ayrıca nitrüleme mekanizmasına katkılarını açıklamak için 500-600 °C sıcaklıklar arasında saf azot veya azot-hidrojen (%20 - % 80) plazmayla iyon nitrürlenmişlerdir. RED (reflection electron diffraction) nitrürlerin hızlı oluşumunu göstermiştir. İyon nitrürlenmenin 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 $Fe_{16}N_2$ çökmesi gözlenmiştir. Dış derinliğin zaman ve azot oranıyla parabolik olduğu gözlenmiş ve azot-hidrojen plazma kullanıldığı zaman hafifçe arttığı görülmüştür [10].

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 nitrit tabakalarının yüzey morfolojisi ve büyüme kinetiklerindeki farklılıkları ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmanın amacı plazma ile nitrürasyon işleminde düşük sıcaklıktaki plazmanın rolünü incelemektir. Bu işlemler sıcak anot ile plazma işleminin yapıldığı bir cihaz ile gerçekleştirilmiştir [11].

Çelik, A., ve Karadeniz, S., 1996 yılında düşük alaşımlı 4140 çeliğini %50 N₂-%50 H₂ gaz karışımında farklı zamanlar için 500 , 550 ve 600 °C sıcaklıklarda iyon nitrülemişlerdir. Oluşan beyaz tabakanın türü XRD ve optik mikroskopla incelenmiştir. X-Ray analizleri her üç sıcaklıkta yüzeyde γ - Fe₄N beyaz tabakanın varlığını göstermiştir. Beyaz tabakanın kalınlığı 500 ve 550 °C'de artan zaman ile artar. Bununla birlikte 600 °C'de artan zaman ile beyaz tabaka kalınlığı azalmayla başlamıştır [12].

Çelik, A., ve Karadeniz, S., 1995 yılında AISI 4140 düşük alaşımlı çeliğin yorulma davranışı üzerinde plazma nitrürasyonun etkisini, iyonitrürasyon işleminden önce ısıl işlem görmüş, gaz karışımı %50 H₂-%50 N₂ işlem zamanı 1-12 saat sıcaklık 500-600 °C gibi çeşitli proses şartları altında incelemişlerdir. Yorulma dayanımını belirlemek için döner eğilmeli yorulma makinası kullanılmıştır. Plazma nitrürasyonunun yorulma dayanımını artırdığı ve yorulma sınırının yüzey sertliğine bağlı olarak arttığı bulunmuştur. Difüzyon tabakaları ve yüzeyin mikroyapısı optik mikroskopla incelenmiştir. Numunelerin kırılma yüzeyi ve yorulma çatlaklarının başlangıcı SEM ile gözlenmiştir [13].

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 nitrülemişlerdir. Yüzeylerin sertliklerinin artırılması çelik içerisinde bulunan alaşım elemanlarının koherent ve yarı koherent olarak çok ince

dağılımları 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 H₂ - %33 N₂ gaz karışımında 10 mbar basınçta 1/2 ve 12 saat iyon nitrürleşmişlerdir. Daha sonra optik mikroskop ve mikrosertlik cihazı kullanılarak 4140 çeliğinin iyon nitrürasyon davranışını incelemişlerdir [14].

Albarran, J. L., Juarez –Islas, J. A., ve Martinez, L., 1992 yılında AISI H-12 takım çeliğinde nitrürasyon zamanı, yüzey topoğrafyası, mikrosertlik profili ve nitrit genişliğinin ölçümlerini karşılaştırmak amacıyla iyon nitrürasyon tekniği kullanılmışlardır. İyon nitrürasyon işlemi 500 °C, 500 V ve % 80 H₂ - %20 N₂ gaz karışımında yapılmıştır. Plazmaya maruz kalan yüzeyin yakınında oluşan nitritlerin ortalama kalınlığı nitrürleme zamanıyla doğrudan ilgilidir. Yüzey mikrosertliği (yaklaşık yüzeyden 15 µm içeriye) maksimuma ulaşmaya kadar zamanla artmıştır. Bununla birlikte uygulanan zaman 7.5 saatin üzerinde olduğu zaman yüzey mikrosertliği azalmıştır. Nitrürlenen yüzeyden alınan mikrosertlik değerlerinin doğrudan nitrürasyon zamanıyla değiştiğini tespit etmişlerdir [15].

Meletis, E. I., ve Yan, S., 1990 yılında güçlendirilmiş bir glow discharge ile saf Al'un iyon nitrürasyonunu gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Sonuçlar iyileştirilen plazma şartlarında Alüminyum nitrit oluşumunun düşük basınçta uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Oluşan nitrit tok bir yapıya ve çok ince tane boyutuna (100 Å'dan daha az) sahiptir. X-Ray ve elektron difraksiyon sonuçları nitrit fazının 4.38 Å kafes parametresine sahip Y.M.K kafes yapısında olduğunu göstermiştir. Auger analiz sonuçları beyaz tabaka kompozisyonunun Al₃N'ye yakın olduğunu işaret etmiştir. Alüminyum nitrit oluşum mekanizmasının alüminyum altlık ile azotun reaksiyona müsaade eden glow discharge tarafından saçınma yapılmış yüzeydeki Al₂O₃'ün varlığı ile yakından ilgili olduğu tahmin edilmiştir [16].

Arai, T., Fujita, H., ve Tachikawa, H., 1992 yılında düşük sıcaklıkta alüminyum ve alaşımlarını d.c. glow discharge ile iyon nitrürlemişlerdir. Alüminyum nitrit tabakaları alüminyum yüzeyinde oluşmuştur ve alüminyum alaşımlarının nitrürasyondan önce argon saçınması ile sağlanan yüzey aktivasyonu sayesinde 500 °C'den daha düşük sıcaklıklarda bu tabakaların oluştuğu gözlenmiştir. Bu tabakaların sertliği 1000 HV'den daha fazladır. Oluşan tabakalar anodik oksidasyon ve iyonkaplama gibi yüzey işlemleri ile karşılaştırıldığında daha mükemmel bir aşınma direncine sahip olduğu gözlenmiştir. Bu iyon nitrürasyon işleminin dökülmüş ve dövülmüş çoğu alüminyum alaşımlarına uygulanabilir olduğu gözlenmiştir. Bu alaşımlar Al-Cu, Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg'dur [17].

Lamant, R. Jr., ve Craven, A. B., 1996 yılında dişli çark yapımı için iyonitrürasyon kullanımının ısı işlem sonrası pahalı işlemlere olan ihtiyacı azaltacağını göstermişlerdir. Nitrürasyon 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 [18].

Chu, C. L., ve Wu, S. K., 1996 yılında alüminyum içerikleri % 25, % 40, % 50, % 53 olan titanyum alüminitlerin yüzey şartlarını değiştirmek için iyon nitrürlemişlerdir. Dört işlem parametresinin (nitrürasyon sıcaklığı, nitrürasyon zamanı, çalışma basıncı ve N₂-H₂ oranı) etkileri ortogonal test ile araştırılmıştır. Nitrürlenmiş yüzeyin mikroyapısı ve fazları XRD, EPMA, SEM ve optik mikroskopla incelenmiştir. Deneysel sonuçlar nitrürasyon sıcaklığı ve zamanın yüzey setliğini artıran asıl parametreler olduğunu göstermiştir. Nitrürlenen beyaz tabaka TiN ve Ti₂AlN fazlarında oluşur. TiAl'deki alüminyum miktarı arttığı için Ti₂AlN fazının XRD şiddeti daha güçlü olur. Bütün durumlardaki difüzyon tabakası çok az azota sahiptir. TiAl'de iyon nitrürlenmiş tabakanın oluşumunu açıklamak için bir mekanizma önerilmiştir [19].

2. TERMOKİMYASAL İŞLEMLER

Bu işlemlerden amaç malzeme dış yüzeylerinin kimyasal bileşimini değiştirmektir. Difüzyon ile istenilen element malzemeye nüfuz ettirilerek gerekli değişim sağlanır. Termokimyasal ısıl işlemler dört grupta toplanabilir [21];

2.1. Sementasyon

Su alamayan bir çeliğin yüzeyine karbon verilerek ona su alabilme özelliği kazandırılabilir. %0.8 - % 0.9 C'lu yüzey en ideal bir çözümdür. Bu işlem için C miktarı % 0.25 'den az çelikler kullanılır. Sementasyon normal olarak 825 °C ve 925 °C sıcaklıkları arasında katı karbürizasyon ortamında, tuz banyolarında ve gazlar içinde uygulanır. Karbürize edici ortamdan karbonun iletimi daima bir gaz faz yardımıyla (genellikle CO) gerçekleşir. Bu çeliklere sementasyon çelikleri denir. Sementasyon işleminden sonra çeliğe su verilerek yüzeyin sertleşmesi sağlanır.

2.2. Borlama

Çeliğe bor yayındırma işlemidir. FeB ve Fe₂B fazları oluşur ve bu fazlar çok sert bir faz olduğundan yüksek aşınma mukavemeti sağlar. İşlem sırasında meydana gelen boyut değişmelerine hakim olunamadığından bu usül yaygınlaşmamıştır. Erişilen sertlik değerleri yüksek olduğundan sertleştirmeden sonra herhangi bir işlemin yapılması güçtür. Korozyona karşı olan direnç ise azdır. Her türlü çelik borlanabilir.

2.3. Nitrokarbürleme

Bu işlem sementasyon ve nitrürasyon işlemlerinin birleştirilmesi (karışımı) şeklinde olup karbürleme banyosuna benzeyen tuz eriyiklerinde yapılır. Düşük sıcaklık nedeni ile yüzeye karbürizasyona göre daha fazla azot ve daha az karbon emdirilir. İşlem süresi kısadır ve genellikle 90 dakikayı geçmez. Bu işlemin amacı çeliğin yüzeyinde karbonitrit tabakası oluşturmak ve parçanın aşınmaya ve korozyona karşı direncini artırmaktır.

2.4. Nitrürasyon

Çeliğe azot yayındırma işlemidir. Nitrürasyon ile sertleştirmede yüzeyde kuvvetli nitrürler meydana getirilir. Bunlar yüksek sıcaklıkta azotun çeliğe difüzyonu ile oluşur. Nitrürasyon genellikle 500-590 °C sıcaklıklar arasında gerçekleştirilir. Sertlik parça daha yüksek sıcaklıktayken mevcut olduğundan su vermeye gerek yoktur. Azot verici madde olarak gazlar ve tuz eriyikleri kullanılır.

Nitrürasyon işlemi için her türlü çelik elverişli değildir. Bu işlem için kullanılan çeliklere nitrürasyon çelikleri denir. Bu çeliklerde nitrür yapıcı alaşım elemanları mevcuttur. Bunlar sırasıyla Al, Cr, Mn, Mo, W, V'dir. Azotun bu elementlere olan ilgisi demirden daha büyük olduğundan ferrit ile bileşik yapmaz. Aksi takdirde Fe₄N gibi çok gevrek fazlar oluşur.

Nitrürasyon işlemi çalışıldığında Fe-N denge diyagramından yararlanılabilir. Alışılmış olarak kullanılan nitrürleme sıcaklıklarında azot demir içinde çözünür, ancak bu değer % 0.1 gibi çok küçük bir yüzdendir. Bu orandan daha fazla azot içeriği, kimyasal formülü Fe₄N olan γ nitrür oluşturur. Eğer azot oranı % 6'yı aşarsa γ nitrür ϵ nitrüre dönüşmeye başlar. 500 °C'nin altında ϵ nitrür oluşabilir. Bu fazın azot oranı yaklaşık %11 ve kimyasal formülü de Fe₂N dir.

Metalurjik mikroskopta γ ve ϵ nitrürler beyaz tabaka adı verilen bir beyaz tabaka olarak görülür. Nitrürasyon sırasında beyaz tabakanın kalınlığındaki artışla azotun çeliğe daha fazla yayınması aynı anda yürür. Çözülebilirlik sınırı azaldığında nitrürler tane sınırlarında ve belli kristalografik düzlemler boyunca çöklerler.

İyon nitrürasyon metodu nitrürasyon da olduğu gibi çeliğe azot yayındırma işlemi olarak açıklanabilir. İyon nitrürasyonun nitrürasyondan farkı işlemin yapılış olarak farklı yani prensibinin farklı olmasıdır.

3. İYON NİTRÜRASYON METODU

3.1. Plazma

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

Katı + E1 \leftrightarrow Sıvı (Ergime)

Sıvı + E2 \leftrightarrow Gaz (Buharlaştırma)

Gaz + E3 \leftrightarrow Plazma (İyonize etme)

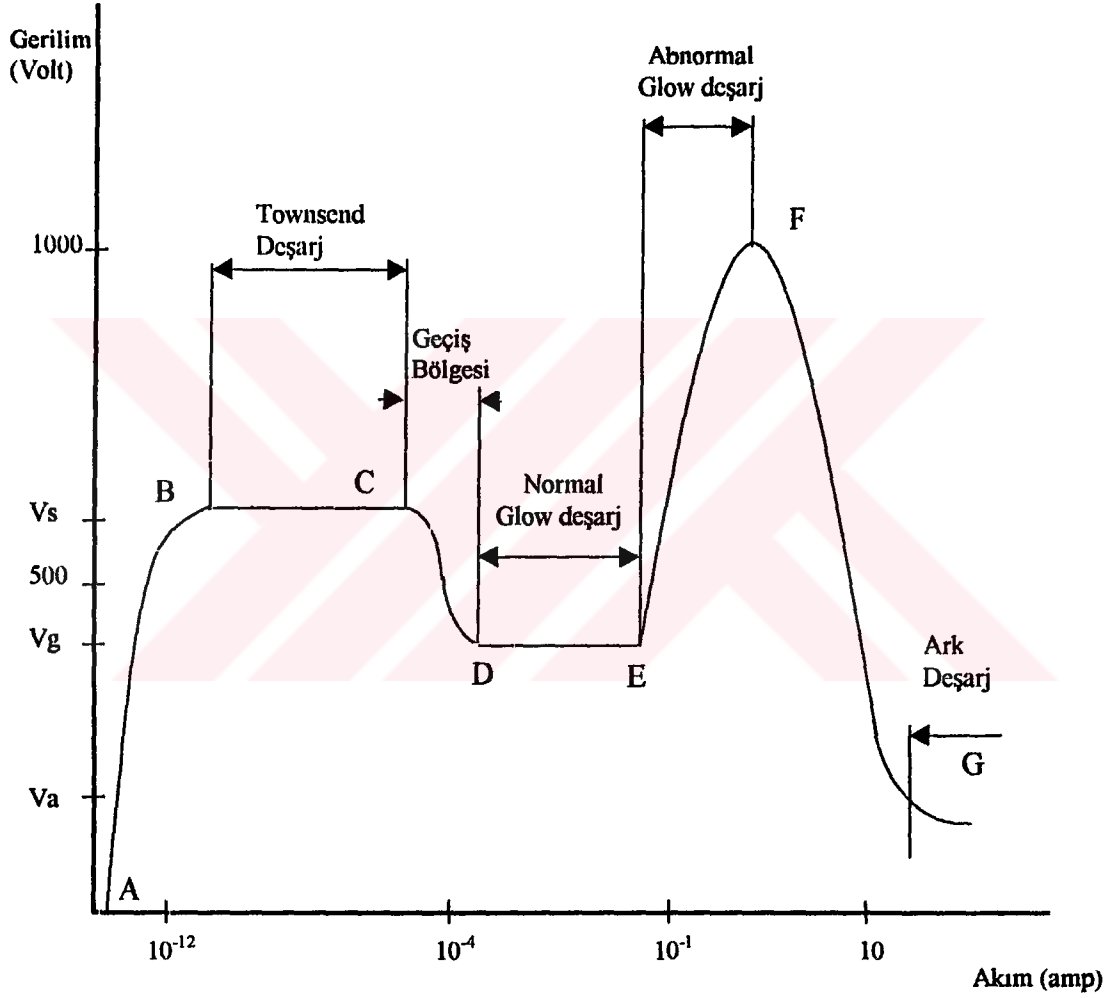
Plazmayı aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz;

Plazma; içerisinde iyon ,elektron , uyarılmış atom , foton ve nötral atom veya molekül içeren bir karışımdır [20].

Bir atoma kendi iyonizasyon enerjisinden daha büyük bir enerji verilirse atom iyonize olur. Bu işlem bir gaz kütlesi için gerçekleştirilirse plazma elde edilmiş olur. Plazma için gerekli olan enerjiyi gaz kütlesine mekanik, ısı, ışın, magnetik ve elektrik enerjisi şeklinde vermek mümkündür. Buna göre pratikte plazma elde edilmiş şekillerine göre; Isı enerjisi vererek plazma elde etme , kompresyon (sıkıştırma) ile plazma elde etme , ışınla plazma elde etme ve elektrik boşalmasıyla plazma elde etme.

Plazma elde etme yöntemlerinin en önemlisi ve yaygın olanı elektrik boşalmasıyla elde edilendir. Elektrik boşalma mekanizması kısaca şöyle açıklanabilir: Bir elektrik gerilim kaynağı gaz içinde bulunan iki iletken plaka arasına bağlanırsa belirli şartlar gerçekleştiği

taktirde tatbik edilen gerilim plakalar arasındaki gazın delinme geriliminin üzerinde ise bu iki plaka arasında bir elektrik akımı akar. Burada akan akımın büyüklüğüne göre ortaya çıkan elektrik boşalması sistemleri sınıflandırılmıştır. Eğer bu akımın şiddeti 10 A 'den büyük ise elde edilen sistem elektrik arku adını alır. Şekil 3.1'de tüm gaz boşalma bölgeleri gösterilmiştir [20].



Şekil 3.1. Doğru akım için Akım-Gerilim İlişkisi

Bir elektrik arkında üreticinin artı kutbunun bağlandığı iletken anod, eksi kutba bağlandığı iletken katot adı verilir.

Bu iki kutup arasına tatbik edilen elektriki gerilim sonucu anod ile katod arasında;

$E=U/L$ (volt/cm) ile verilen bir elektrik alanı oluşur.

Burada:

U =Anod-Katod arasına uygulanan gerilim

L =Anod-Katod arası uzaklık

Bu elektrik alanı ark içerisindeki yüklü parçacıklara değeri $F=Q.e$ ile verilen bir kuvvet etki ettirir. Bu kuvvet elektron ve tek katlı iyonize olmuş (bir elektron kaybetmiş) atomlar (iyonlar) için;

$$F_e = -q.E$$

$$F_{iyon} = q.E$$

Bu kuvvetin sonucu elektronlar (-) kutupdan (+) kutuba doğru, iyonlar anottan katoda doğru hareket eder. (Şekil 3.2)Ancak elektronların kütlesi bir iyona nazaran çok küçüktür [20]. Bu nedenle hızları da çok farklıdır. Zira bu parçacıkların elektrik yükleri aynı olduğundan elektrik ve manyetik alan dolayısıyla etkiyen kuvvet aynıdır. Bir elektron ile bir iyonun gaz veya plazma içerisindeki hızları oranı

$$V_{el} / V_{iyon} = 100.....1000'dir.$$

Ayrıca elektronlar ile iyonların ortalama serbest yol uzunlukları (λ)' da farklı olup

$$\lambda_{el} > \lambda_{iyon} \text{ dir.}$$

Elektrik arkında ark mekanizmasını başlatan ilk nüveyi oluşturan akım taşıyıcı elektronlar anot ile katod arasına tatbik edilen elektriki gerilim dolayısıyla katot önünde oluşan elektrik alanı sayesinde katotdan çıkar. Bu elektronlar daha sonra anot istikametindeki hareketi nedeniyle sahip oldukları kinetik enerjilerini diğer atomlara çarptıklarında o

atomlara verip onlardan elektron çıkarmaları yani onları iyonize etmeleri (bombardıman) ile ark içerisindeki elektron ve iyon miktarı artmaktadır. Daha sonra katodun ısınmasıyla da ısı enerjisi ile emisyon işe girmektedir. Burada sözünü ettiğimiz katı bir malzemeden elektron çıkarma işlemi olan elektron emisyonu dört yolla olmaktadır. Bunlar katı malzemeye elektrik alanı tatbik edilerek, ısı enerjisi verilerek, küçük kütlelerin bombardımanı ile ve ışın enerjisi iledir [20].

Elektrik arkı kendi kendini idame ettirebilen bir elektrik boşalmasıdır. Bu tür bir elektrik boşalmasının oluşabilmesi için iki şart vardır:

- 1- Gaz atomlarının çarpışma yoluyla iyonizasyonu
- 2- Pozitif iyonların katoda gelip çarptıklarında (bombardıman) katoddan elektronların çıkması(sekonder elektron emisyonu) gerekir.

Yukarda bahsettiğimiz gibi bir elektron kütlesi bir iyonla nazaran çok küçüktür. Aynı elektrik alanının etki ettirdiği kuvvetlerin mutlak değerlerinin eşit olduğu düşünülürse elektronların elektrik alanı içerisindeki hızlarının çok daha fazla olacağı kolayca görülecektir. Çünkü aynı kuvvet küçük kütleyi daha büyük hızlara çıkaracaktır. Yüklü parçacıkların (elektron , iyon) hareketi de elektrik akımından başka bir şey olmadığından ve de elektron hareketliliği iyonla göre daha yüksek olduğundan elektrik arkında akan akımın hemen hemen hepsi elektronlar yoluyla iletilir.

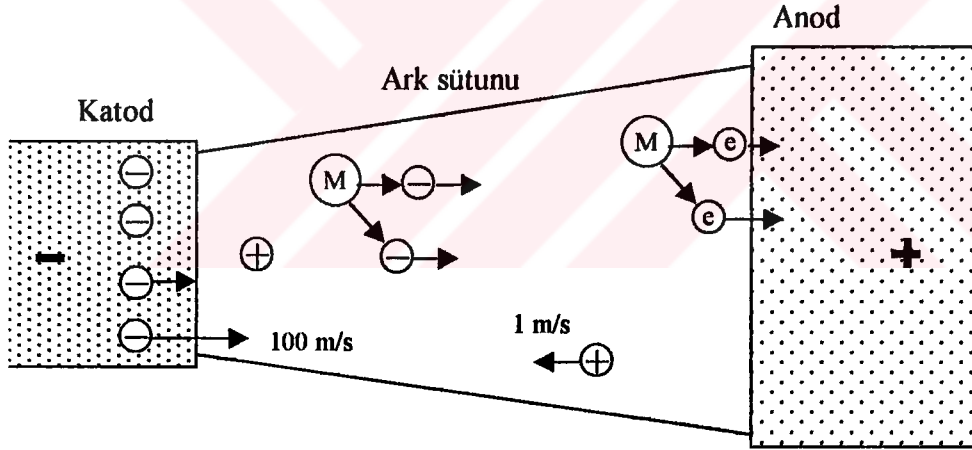
Bir elektrik arkında anod ve katod önünde yüklü parçacıkların birikmesi olur. Anod önünde elektronlar , katod önünde iyonlar bir bulut şeklinde birikir. Anod önünde biriken elektronlar anoda giden elektronlara bir direnç gösterirler ve bu direnç nedeniyle o bölgede plazma bölgesine nazaran daha yüksek elektrik alanı oluşur. Zira aynı cins yükler birbirini iteceğinden, anoda ulaşmak isteyen elektronlar bulut içinden geçerken daha dolambaçlı yol takip ederler ve aynı zamanda katod-anod yönündeki hızları da düşer.

Bunun sonucu direnç o bölgede artar. Katod önünde iyonlar için durum aynıdır. İşte bu farklılıklar elektrik arkını ark boyunca elektrik alanı yönünden üç bölgeye ayırır;

- 1- Anod bölgesi
- 2- Katod bölgesi
- 3- Plazma bölgesi

Katod ve anod bölgesi çok kısa ve plazma bölgesi ortada uzunca bir bölgedir. Bu bölgelere ait gerilim düşümlerini U_A , U_K ve U_P ile gösterirsek bu gerilimlerin toplamı ark gerilimine eşittir. Bu arada $U_K > U_A$ dır.

Elektronların anoda geldikleri zamanki kinetik enerjileri hızlarının yüksek oluşu nedeniyle yüksek olup, bu enerjiyi anoda verdiklerinden anoddaki sıcaklık katoda göre daha yüksektir. Bunun neticesi olarak yanma, katoda bir leke halinde olmasına karşın anodda bir krater şeklindedir [20].



Şekil 3.2. Elektrik arkı mekanizmasının şematik gösterilişi

Plazma bölgesinde maddenin dördüncü hali olan anoda geldikleri plazma hali bulunur. Maddenin diğer hallerinde olduğu gibi, plazma halinin de kendine has özellikleri vardır.

3.2. Plazmanın Özellikleri

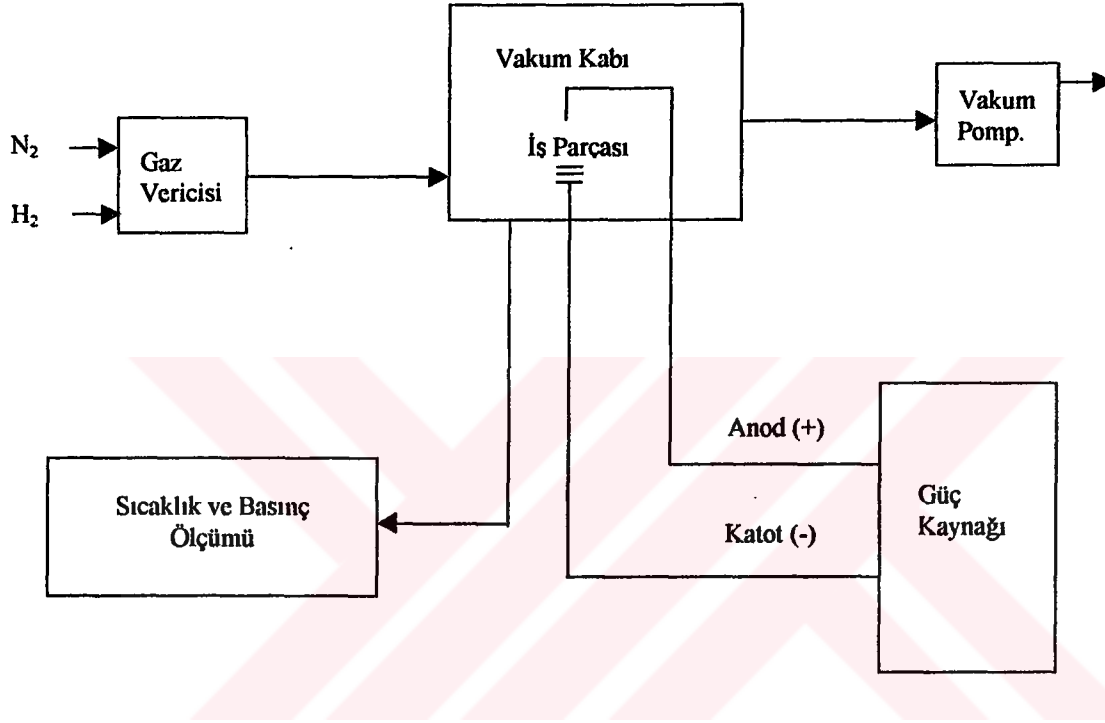
- 1- Plazma dış ortama karşı elektriki olarak nötrdür.
- 2- Plazma içerisinde disosyasyon , iyonizasyon ve bu olayların tersi olan rekombinasyon olayları sürekli meydana gelir.
- 3- Plazma iyi bir elektriki ve ısı iletkenidir.
- 4- Plazma rotasyonsimetrik bir yapıya sahiptir. Silindir simetrisini sağlayan katoddan çıkıp anoda kadar devam eden plazma akışıdır.
- 5- Plazma yüksek sıcaklık ve enerji dağılımına sahiptir.
- 6- Plazmaya elektrik ve manyetik alanla tesir edilebilir.
- 7- Plazmayı magnetik ve termik olarak sıkıştırmak, dolayısıyla enerji yoğunluğunu ve sıcaklığını sınırsız bir şekilde yükseltmek mümkündür.

3.3. İyon nitürasyon işlemi

Metal parçalarının yüzeylerinin sertleştirilmesi ve aşınmaya, yorulmaya karşı olan mukavemetlerinin artırılması, yabancı atomları bu yüzey üzerine etki ettirerek ince bir tabaka oluşturulmasıyla sağlanabilir. Malzemenin fiziki şekli ne olursa olsun her yerde sabit kalınlıkta sert bir yüzey tabakası elde etmek için yüzeyin iyonlarla düzenli olarak bombardımana tutulması gerekir. Bunun için yüzey mühendisliği uygulamalarında iyon nitürasyon bir doğru akım kaynağından veya radyo frekans kaynağı yardımıyla oluşturulmaktadır. Yüzey sertleştirme işleminde doğru akım iyon nitürasyonu yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir iyon nitürasyon plazması, iki elektrod arasına birkaç yüz voltluk potansiyel fark (500 V civarında) uygulanmasıyla 1-10 mbar basınç aralığında gaz atmosferinde (azot, hidrojen veya argon, yada karışımları) meydana gelmektedir. İlave edilen gaz elektrik alanı içerisinde iyonlaşır ve iyon nitürasyon ile beraber bir parlama görülür.

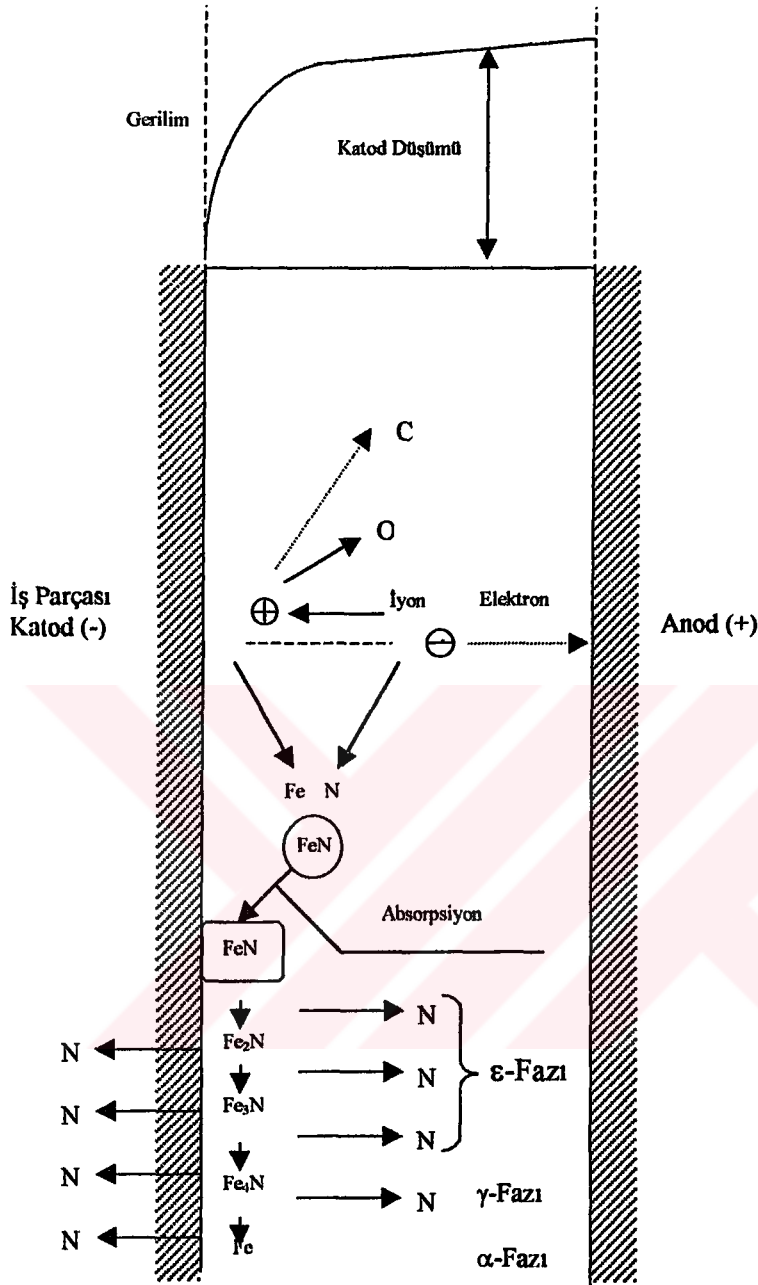
İş parçası, güç kaynağının negatif (-) kutbuna, vakum kabı da pozitif (+) kutbuna bağlanmıştır. Yüksek voltajlı elektrik enerjisi, azot gazından iyonları elde etmek için kullanılır. Pozitif yüklü iyonlar, elektrik alan ile hızlandırılırlar. Katod olan iş parçası

üzerine çarptırılırlar. İyon bombardımanı, iş parçası yüzeyinde 'saçılma' olarak bilinen, atomik seviyede bir temizleme yapar. Bu, iş parçasının yüzeyinin ısınmasına ve yüzeye azot yayınmasına neden olur. Bu işlem, azot içeren çok düşük bir atmosfer basıncı altında, vakum kabı içerisinde yapılır.



Şekil.3.3. İyon nitürasyon işlemi temel prensip şeması

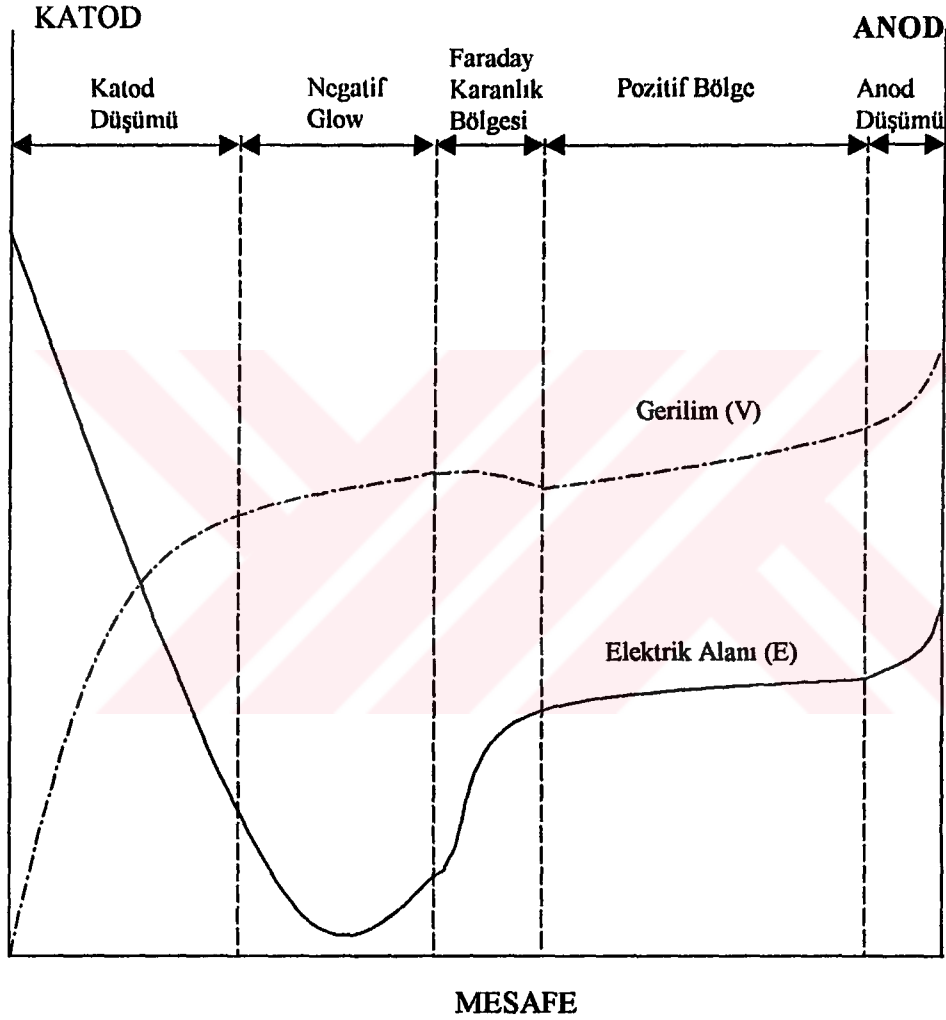
Olay şöyle açıklanabilir; Anod-Katod arasındaki yüksek gerilim düşümü dolayısı ile hızlanan yüklü parçacıklar çarpışma ile katod önündeki gaz atomlarını iyonize ederler. Ortaya çıkan iyonlar, pozitif yük taşıyıcı halinde metal yüzeyine çarparlar. Voltaj düşümü doğrusal olmayıp düşüm hemen hemen katodun bir kaç mm önünde gerçekleştiği için çarpışmanın tamamı ve iyonizasyonun tamamına yakını bu bölgede gerçekleşir. Katod (iş parçası) üzerinde oluşan çizgi halindeki parlaklık, iş parçasının kenarlarını izlediği için bütün yüzey (delikli, düz, karmaşık vs) homojen iyon bombardımana uğrar. Sonuçta homojen bir sertleşme derinliği elde edilir.



Şekil 3.4. İyon nitrürasyon mekanizması

Düşük bir basınçta yüksek bir impedans dc güç kaynağı kullanılarak oluşturulan bir glow discharge işleminde şu olaylar meydana gelmektedir;

Çok küçük bir akım en başta sistemde bulunan ilk yüklü parçacıkların küçük bir kısmı nedeniyle akar. Voltaj artırıldığı zaman yeterli enerji daha fazla taşıyıcı oluşturmak için yüklü parçacıklara verilir. Bu olay nötral gaz atomlarının çarpışma iyonizasyonu ve sekonder elektronların açığa çıkması ile katot da iyon çarpışmaları sayesinde olur (sekonder elektron emisyonu).



Şekil 3.5. Glow-Discharge Bölgeleri

Yüklü parçacıkların çoğalmasıyla akım aniden artar. (Şekil 3.1) Fakat güç kaynağının çıkış empedansı ile sınırlı olan voltaj sabit kalır. Bu olay Townsend boşalması olarak bilinir. İyonların ve elektronların çok büyük bir kısmı çarpışma sayesinde meydana getirilir. Meydana getirilen elektronlar yeterli olduğu zaman ilk durumda bulunan aynı

sayıdaki elektronları yeniden meydana getirmek için gerekli iyon üretilir ve boşalma kendi kendini devam ettirir. Böylelikle gaz parlamaya başlar ve voltaj akımı da keskin bir artış eşliğinde düşer. Bu durumda Normal Glow oluşur. Başlangıçta katodun iyon bombardımanı üniform değildir. Fakat iyon bombardımanı katodun kenarına yakın veya diğer yüzey düzensizliklerinde yoğunlaştırılır. Daha fazla güç uygulandığı için bombardıman hemen hemen üniform akım yoğunluğu elde edilinceye kadar giriş yüzeyi üzerine artan bir şekilde yayılır. Güçte daha fazla bir artış daha yüksek voltaj ve akım yoğunluğu seviyesiyle sonuçlanır.

Şekil 3.1'de çeşitli boşalmalarda akım gerilim karakteristiklerinde görüleceği gibi AB, BC, DE bölgeleri çok düşük akım bölgeleridir. Yani normal stabil ve zayıf akımlarda çalışan bölgeler iyon nitrürasyon işlemlerinin yüksek güç ve akım yoğunluğu gerektirmelerinden ayrıca anormal, instabil ve yoğun akım bölgelerinde olduğundan dolayı bizim ilginizin dışındadır. Kısaca iyon nitrürasyon işleminin vuku bulunduğu bölge anormal, instabil bölge olan EF bölgesidir. Bu instabil, anormal glow discharge'nin kontrol ve kumandası doğru şekilde iyon nitrürlenmiş yüzey tabakalarının üretiminde en önemli özelliktir. Bu tip boşalmaların karakteristiklerinin kontrolünün oldukça kolay olduğunu gösterir.

Glow discharge'nin anormal bölgelerinde G'nin hemen önünde çalışırken akımdaki çok küçük bir artış o noktada boşalmanın hızla yoğunlaşmasına yol açar. Anormal, instabil Glow discharge'nin normal, stabil bir ark boşalmasına dönüşmesi ihtimali iyon nitrürasyonun endüstriyel uygulamalarına önemli bir engel teşkil etmektedir.

Günümüzde kullanılan elektronik yüksek hızlı kesiciler akım ve gerilim değişimini (dI/dt ve dU/dt) saniyede yaklaşık 1000 kez kontrol edip küçük değişimlerde bile kısa süreyle boşalmayı kesebilirler. Bu sayede ark oluşumu önlenmiş ve böylece Glow discharge'nin yüksek akımlarda emniyetle devam ettirilmesi sağlanmıştır.

EF bölgesinde katodun birim yüzeyinin ısıtılma miktarı akım yoğunluğuna bağlıdır. Yeterince ısıtıldığı zaman, katot elektrik yaymaya başlar ve bu andan itibaren daha düşük

bir gerilim boşalmanın devam edebilmesi için yeterlidir. Bu maksimum nokta F ile gösterilmektedir. Katoda yakın olan yerlerde katot glow olarak bilinen oldukça parlak bir bölge vardır (Şekil 3.5.) Yayılan ışık yüzeye çarpan iyonlara ve katot metaline bağlıdır. Katot glow bölgesinde, giren boşalma iyonlarının nötralizasyonu ve pozitif katot iyonları oluşumu gözlenir. Sekonder elektronlar, bu alanda katoddan uzağa hızlandırılmaya başlarlar ve katoddan belirli bir mesafe uzakta yer alan nötral gaz atomlarıyla çarpışırlar. İkisinin arası 'Crookes' karanlık alanıdır, bu bölge hemen hemen uygulanan voltajın düşürüldüğü yerdir. Karanlık bölge içerisinde pozitif gaz iyonları katoda doğru hızlandırılır.

Sonraki ayırt edici bölge nötral gaz atomlarını çarpışma yoluyla iyonize etmek için gerekli enerjiyi elde eden hızlandırılmış elektronların olduğu Negative glow'dur. Bunun ötesinde Faraday karanlık bölgesi ve sonunda pozitif bölgedir. Bu boşalma bölgesinin sıralanışı Şekil 3.5.'de gösterilmiştir.

Yüzey mühendisliği uygulamalarında, glow discharge bir doğru akım kaynağından veya radyo frekans kaynağı yardımıyla oluşturulmaktadır. Her ne kadar iki tipte glow discharge kullanılıyorsa da yüzey sertleştirme işlemlerinde yalnızca doğru akım glow discharge'yi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir glow discharge plazmanın, iki elektrot arasına bir kaç yüz voltluk potansiyel fark uygulamasıyla (1-40) mbar kadar düşük bir basınçta oluşturabileceği daha önceden açıklanmıştı. Eklenen gaz, oluşan elektrik alanı içerisinde iyonlaşır ve glow discharge ile beraber bir parlama olayı görülür. Yüzey sertleştirmede kullanılan glow discharge' in kendi kendini yönetecek bir yapıda ve iş parçasını işlem sıcaklığına ısıtabilecek bir kapasitede olması gerekir.

Anormal glow discharge bölgesi, istenen bu özellikleri sağlar ve bu bölge (E-F) yüzey sertleştirme işlemlerinde kullanılır. Fakat bu bölge stabil değildir ve olay kesilip ark meydana gelebilir. Eğer ark sürerse iş parçası ve elemanlarda bir çok zararlar oluşur. Sonuç olarak bir çok plazma ısıl işlem üniteleri çok ileri devre kontrolleri (Devre kesici sistemler) içerir. Bunlar oluşabilecek herhangi bir arkı söndürürler.

Glow discharge kendine has özelliği olan bir çok bölgeden meydana gelmektedir. Bunlardan en önemlisi katod düşümü veya katod karanlık bölgesi olarak bilinen bölgedir. İyonizasyonun tamamına yakın bölümü bu yüksek gerilim alanı bölgesindeki elektron/gaz etkileşimi sonucunda oluşabilir. Bu iyonların çoğu katoda çarpıp nötralize olmaktadır. Partikül bombardımanı katodu ısıtır ve parça yüzeyinden elektron çıkarmayı (Sekonder elektron emisyonu) meydana getirir ki bu sayede glow discharge'in sönmesine engel olan yeterli elektron sağlanır. Daha az önemli bir etkide saçılma ile metal yüzeyinden kaldırılan materyallerle ilgilidir. Bu olay, işlem sırasında devam eder ve katod yüzeyinin temiz, aynı zamanda aktif olmasını sağlar.

Katoda olan kütle iletimi, aşağıdaki mekanizmalardan biri veya bir kaçını içerir.

1. Saçınma (Sputtering)
2. Kimyasal absorpsiyon (Chemisorption)
3. Birikme (Condensation)
4. İmplantasyon (Implantation)

Sputtering (Saçınma olayı) : Yüze çarpan iyonlar yüzeyde sıcaklıklar oluşturarak buharlaşmaya yol açarlar. Bunun sonucunda iş parçası yüzeyindeki Fe ve diğer alaşım elemanları atomları, metal olmayan element atomları (Örneğin C,O, N) ile elektronlar yüzeyden uzaklaşır:

$$E = A + E_{kin}$$

A : Atomların yüzeyden saçılması için gerekli enerji

E_{kin} : Saçılan atomların kinetik enerjisi

Isınma : Yüze çarpan iyonlar iş parçasının içine doğru nüfuz ederken kalan iyon enerjisi ısıya (Q) dönüşür. Bu halde toplam enerji

$$E = A + E_{kin} + A + Q$$

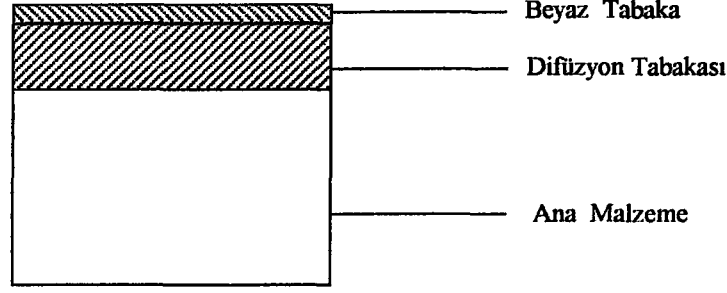
Bu ısı enerjisi parçanın istenilen sıcaklığa kadar ısınmasını sağlar.

Kondensasyon (Birikme) : Yüzeğe çarpan iyonların çok az bir kısmı iş parçasına yayılır. Büyük bir yüzdesi saçılma olayını sağlar. Saçılan Fe atomlarıyla yüksek enerjili N atomları yüzey civarında FeN şeklinde birleşip metal yüzeyinde birleşirler. FeN sıcak metal yüzeyinde kararsızdır, bundan dolayı kararlı diğer nitrürlere (Fe_2N , Fe_3N ve Fe_4N) dönüşür. Dönüşme esnasında serbest kalan N atomları ya metale yayılır veya plazmaya döner.

Yüzeğe çarpan iyonlar, yüzeyde yüksek sıcaklıklar oluşturarak buharlaşmaya yol açarlar. Bunun sonucunda iş parçası yüzeyindeki demir ve diğer alaşım elemanları atomları, metalik olmayan element atomları (Karbon, oksijen, azot) ile elektronlar yüzeyden uzaklaşır (Saçınma). Yüzeğe çarpan iyonların ancak çok az bir kısmı iş parçasına yayılır (doğrudan implantasyon). Bu iyonların büyük bir yüzdesi saçılma olayını sağlar. Saçılan demir atomlarıyla yüksek enerjili azot atomları yüzey dolayında FeN şeklinde birleşip metal yüzeyinde birikirler (Birikme). FeN sıcak metal yüzeyinde kararsızdır ve kararlı diğer nitrürlere (Fe_2N , Fe_3N ve Fe_4N) dönüşür. Dönüşme sırasında serbest kalan azot atomları ya metale yayılır ya da plazmaya döner. (Kimyasal absorpsiyon) Saçınma (Sputtering) ve birikme (condensation) önemli ölçüde kullanılan gaza bağlıdır. Ayrıca, basıncı ve voltajı değiştirmek ile bu iki olayın oluşumunu değiştirmek mümkündür. Örneğin gaz basıncının azaltılması, (Partikül yoğunluğunun azalması) yüzeyden saçılan atomların serbest hareket mesafesini artırmakta, demir ile azotun birleşme olasılığını azaltmaktadır. Dolayısıyla yüzeyde oluşan FeN tabakası incelmektedir. Eğer basınç artırılırsa tam tersine FeN tabakası kalınlaşacaktır.

3.4. İyon nitürasyon İşleminde Oluşan Metalurjik Yapılar

İyon nitürasyonda oluşan metalurjik yapılar şekil 3.6'da gösterildiği gibi temel olarak alışılmış yöntemlerde oluşanlarla her bakımdan benzerdir. En üstte demir nitürlerden oluşan beyaz tabaka, onun altında alaşım nitürlerinin olduğu difüzyon tabakası ve onun altında ana malzeme yer almaktadır.



Şekil 3.6. Nitrürlenmiş malzemenin şematik resmi

3.4.1. Beyaz Tabaka:

İyon nitrüleme sonucu oluşan en üstteki bu tabaka Fe_4N (γ) veya $Fe_{2-3}N$ (ϵ) fazlarından birisi veya ikisinin karışımından ibarettir. Bu tabakaların özellikleri nitrür yapısının homojenliğine ve kalınlığına bağlı olarak değişir. Eğer γ ve ϵ fazları birlikte oluşuyorsa farklı kafes yapıları dolayısıyla iç gerilmeler artarak gevrek kırılmaya olan eğilim artacaktır. Konvansiyonel gaz nitrürasyonunda bu tür bir beyaz tabaka oluşur. Sıvı nitrürasyonunda ise daha ziyade tek fazın oluşumu (ϵ fazı) tabakayı daha duktıl hale getirmesine rağmen kalınlıktaki artış gevrekleşmeye yol açar. İyon nitrürasyon ile bu tabaka gayet hassas olarak kontrol edilebilir. Örneğin N_2+H_2 gazı kullanarak beyaz tabaka kalınlığı azaltılabilir. H_2 gazı saçınmayı artırarak yüzeyi temizler, yani beyaz tabakanın azalmasını hatta yok olmasını sağlar. İş parçasının içerdiği alaşım durumuna göre ve işlem değişkenleri değiştirilerek beyaz tabakanın kalınlığı 1-50 μm arasında değiştirilebilir. Beyaz tabaka sürtünmeye ve yorulmaya karşı çok yüksek dayanıklılığa sahiptir.

3.4.2. Difüzyon Bölgesi:

Beyaz tabakanın altında, sertliği ve azot yoğunluğu az bir bölgedir. Bu bölge yüzeyden çekirdek malzemeye bir geçiş sağlar. Difüzyon bölgesi malzeme cinsine ve işlem değişkenlerine bağlı olarak 0.75 mm veya daha fazla derinlere iner. Bu tabaka,

mikrosertlik değeri çekirdek malzeme sertliğinden iki kat fazla olan ve bu yüzeyin altında uzanan bir tabaka olarak tarif edilir.

Konvansiyonel nitrürasyonda N atomları daha yüksek enerjili bölgeler olan tane sınırlarından difüze olurlar. Ve buralarda evvelce bulunan karbür fazları ile birleşerek çok gevrek olan karbonitrürleri oluştururlar. Bunun neticesinde difüzyon tabakasının gerilmelere olan hassasiyeti büyük ölçüde artmış olur. Halbuki iyonitrürasyon işleminde karbonsuz nitrüleme gazı kullanılarak ve karbon Sputtering'i (Saçınması) uygulayarak yüzey ve yüzeye yakın yerlerde karbon azalmasını sağlama mümkündür. Bunun sonucunda gevrek karbonitrür fazları iç kısımlara doğru itilerek yüzeyin aşınmaya ve yorulmaya dayanımını artırır.

Konvansiyonel nitrürasyon işlemine göre iyon nitrürasyonun bir çok avantajı vardır. Bunlar;

- a) Hassas olarak sertleşme kalınlığının kontrolü
- b) İstenmeyen beyaz tabaka kalınlığının kontrolü
- c) Distorsiyonların azaltılabilmesi
- d) İşlem neticesi yüzeyde çok az bir pürüzlülük oluşması
- e) Metal maskeler kullanılarak lokal sertleştirme yapabilme özelliği
- f) Karmaşık geometrilerde üniform ince tabaka oluşturulabilme özelliği
- g) İşletim masraflarının azlığı
- h) Çevresel problemlerin ortadan kaldırılması (zehirli tuz ve gazlar işleminde kullanılmamaktadır)
- i) Çok üstün aşınma ve yorulma dayanımı

4. MATERYAL VE METOD

4.1. İyon nitrürasyon Deney Düzenegi

Bir iyon nitrürasyon düzeneginde aşağıda verilen parçalar bulunmaktadır:

4.1.1. Vakum pompası

İyon nitrürasyon düzeneginin temel elemanlarından birisi olan vakum pompası istenen vakumu kısa bir sürede sağlayacak bir şekilde seçilir. Sistemde kullanılan pompa 3 m³/h'lik debi, 1.8 lt yağ hacmi ve 500 d/d'lık bir elektrik motoruna sahiptir.

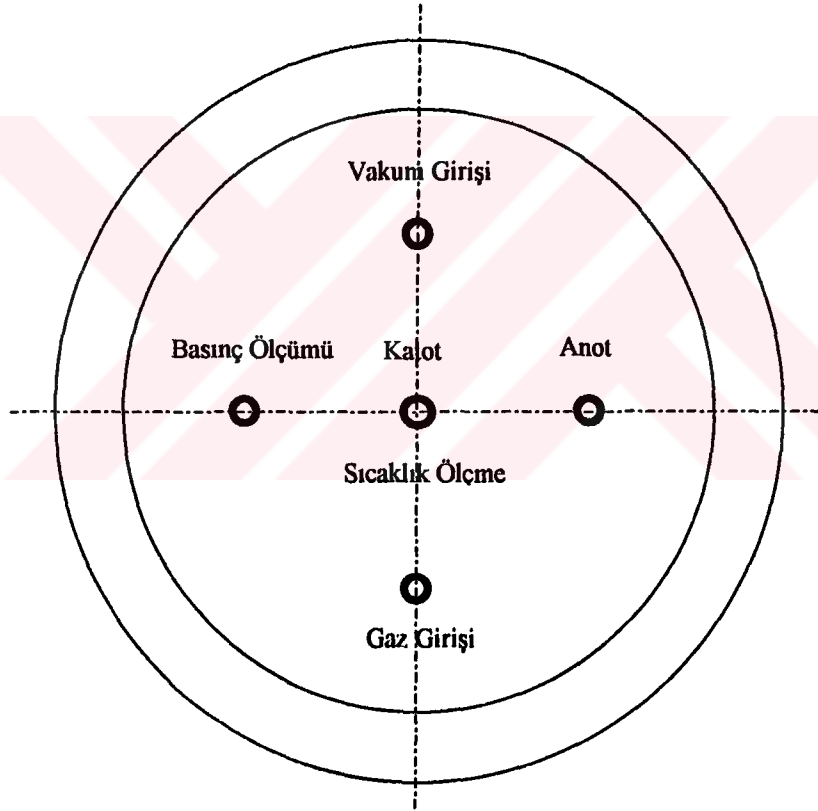
4.1.2. Vakum Kabı

Bir iyon nitrürasyon düzeneginde en çok üzerinde durulması gereken eleman vakum kabıdır. Vakum kabı içerisinde işlevi olan elemanları alabilecek minimum büyüklükte olmalıdır. Bunun nedeni, vakuma alınacak hacmin mümkün olduğunca küçük tutulmasıdır. Vakum kabı, birbiriyle sızdırmazlık elemanlarıyla irtibatlandırılmış biri sabit diğeri hareketli iki temel kısımdan oluşmaktadır. Hareketli kısım (Bundan sonra fanus olarak geçecektir) işlem esnasındaki olayları izleyebilmek için vakuma dayanıklı camdan olabileceği gibi, üzerine cam pencere takılmış metal bir silindirde olabilir. Vakum kabının en önemli elemanı sabit kısım olan ve üzerine bağlantıların yapıldığı kısımdır (Bu kısım bundan sonra metal tabla olarak geçecektir).

Metal tabla, paslanmayı önlemek açısından paslanmaz çelikten imal edileceği gibi karbonlu çelikten de imal edilebilir. Bu deneysel çalışmada kullanılan vakum kabının boyutları Ø 240 mm ve yükseklik 240 mm'dir. Metal tabla olarak 35 mm kalınlığında ve 320 mm çapında adi karbonlu çelikten bir plaka kullanılmıştır ve metal tabla şekil 4.1.'de verilmiştir. Bir iyon nitrürasyon düzeneginde kullanılacak tabağın üzerinde bulunması gerekli olan en az bağlantı bu çalışmada kullanılmıştır. Bir metal tabla üzerinde şu elemanlar bulunmalıdır;

- 1-Vakum girişi
- 2-Elektriki bağlantılar
- 3-Gaz girişleri ve hava girişi
- 4-Basınç ölçme bağlantısı
- 5-Sıcaklık ölçme bağlantısı

Vakumdaki bağlantıların sızdırmaz olması için konstrüksiyonu üzerinde önemle durulmalıdır. Sistemde, istenilen vakum değerine ulaşılabilmesi bu bağlantıların sızdırmaz olması ile mümkündür ve burada gözden kaçabilecek çok küçük bir husus vakumun istenen değere ulaşmasını engelleyecektir.



Şekil 4.1. Bir iyon nitrürasyon düzeneğinde kullanılacak sabit eleman

Sökülebilir bir bağlantıda sızdırmazlık elemanı olarak genellikle O-ring seçilir ve istenirse bağlantının üzeri sıvı silikon conta ile kaplanır. O-ring ile yapılacak bağlantılarda O-ring yataklarının seçilmesinde çok dikkat edilmektedir.

Sökülebilir bağlantılarda birbiri üzerine oturan yüzeylerin kalitesinin $1.6 \mu\text{m}'$ den iyi olması ve aynı zamanda üzerlerinde çizik ve tornadan kalan dairesel izlerin bulunmaması gerekir. Vakuma yapılacak bağlantılardaki sayının mümkün olduğunca az olması kaçak ihtimalini azaltma açısından önemlidir.

Vakum girişi, pompa ile vakum kabını birleştiren bir hortum ile sağlanmaktadır. Eğer istenirse bu hortum üzerine sistemi pompadan izole etmek için vakuma dayanaklı vana kullanılabilir. Bu hortum vakum pompasına sökülebilir bir conta ile bağlanabilir.

Elektriki bağlantılarda, yalıtımın sağlanması ark oluşumunun önlenmesi için çok gerekmektedir. Elektriki bağlantıların tabladan geçtiği yerler metal 404 ile doldurulmuş bu sayede hem sızdırmazlık sağlanmış hem de yalıtım sağlanmıştır. Ayrıca katodun kap içerisindeki kısmı seramik çubukla yalıtılmıştır. Anotla iş parçası katodun arasına bir bağlantı elemanı yardımıyla plazmanın daha yoğun bir şekilde oluşturulması sağlanmıştır. Bu elemanın ark oluşmaması için çok iyi bir şekilde işlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada azot, hidrojen ve hava girişi metal tablaya tek bir bağlantıyla yapılmış ve gaz karışımı daha önceden sağlanarak vakum ortamına verilmiştir. Gaz girişlerinin vakum girişinden mümkün olduğunca uzak tutulması tavsiye edilmektedir.

Basınç ölçme bağlantısı, basınç ölçme aletinin başının boyutlarından daha küçük olmayan çapta kısa bir boru kullanılarak yapılmaktadır ve ölçü aletinin başı, basıncı ölçülmek istenen yere mümkün olan en yakın yere monte edilmektedir. Uzun veya dar bağlantılar önemli hatalara neden olabilir.

4.1.3. Güç Kaynağı

İyon nitrürasyon düzeneğinin başarıyla çalışmasını sağlayan en önemli kısımlardan birisidir. İyon nitrürleme işlemi şekil 3.1'deki eğrinin E-F arasındaki instabil olan bölgesinde yapılır. Nüfuziyetin yüksek olması ve işlemin kısa sürede yapılabilmesi için eğrinin F noktasına yakın çalışılması gereklidir. Fakat plazma bu bölgede instabil olduğu

için ark meydana gelebilir. Ark olması malzeme yüzeyini bozar. Bu nedenle ark oluşumunu önlemek ve stabiliteyi temin etmek amacıyla güç kaynağında çeşitli kontrol sistemleri kullanmak gereklidir. Bu kontrol sistemleri güç kaynağının çıkış gerilimini, akımını, gerilim artış hızını ve sıcaklığını kontrol altında tutarlar. Ayrıca bu ayar olanakları sayesinde metalurjik yapının ayarlanabilmesi mümkün olmaktadır.

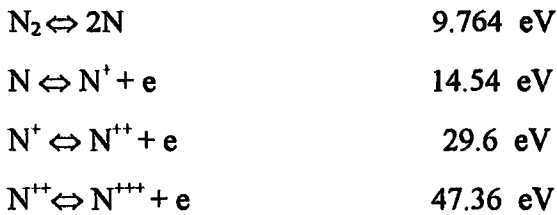
4.1.4. Kullanılan Gazlar

İyon nitrürasyonda kullanılan gazlar N_2+H_2 , N_2+H_2+Ar olabildiği gibi amaca göre bunlara hidrokarbon gazı ilave edilmiş gaz karışımları da kullanılabilir. Bu çalışmada gaz karışımını sağlamak için 150 bar basınçta 40 lt'lik Hidrojen ve Azot tüpleri kullanılmıştır. Burada azot nitrürlemeyi sağlarken hidrojen gazı da azottan daha düşük disasyasyon ve iyonizasyon enerjisine sahip olduğu için discharge olayını başlatabilmek açısından önemlidir. Hidrojen aynı zamanda metal yüzeyinde oluşan saçınmayı artırarak oluşan beyaz tabakanın azaltılmasını hatta yok edilmesini sağlar. Aşağıda bazı gazlara ait disasyasyon ve iyonizasyon enerjileri verilmektedir;

Hidrojen



Azot



Argon

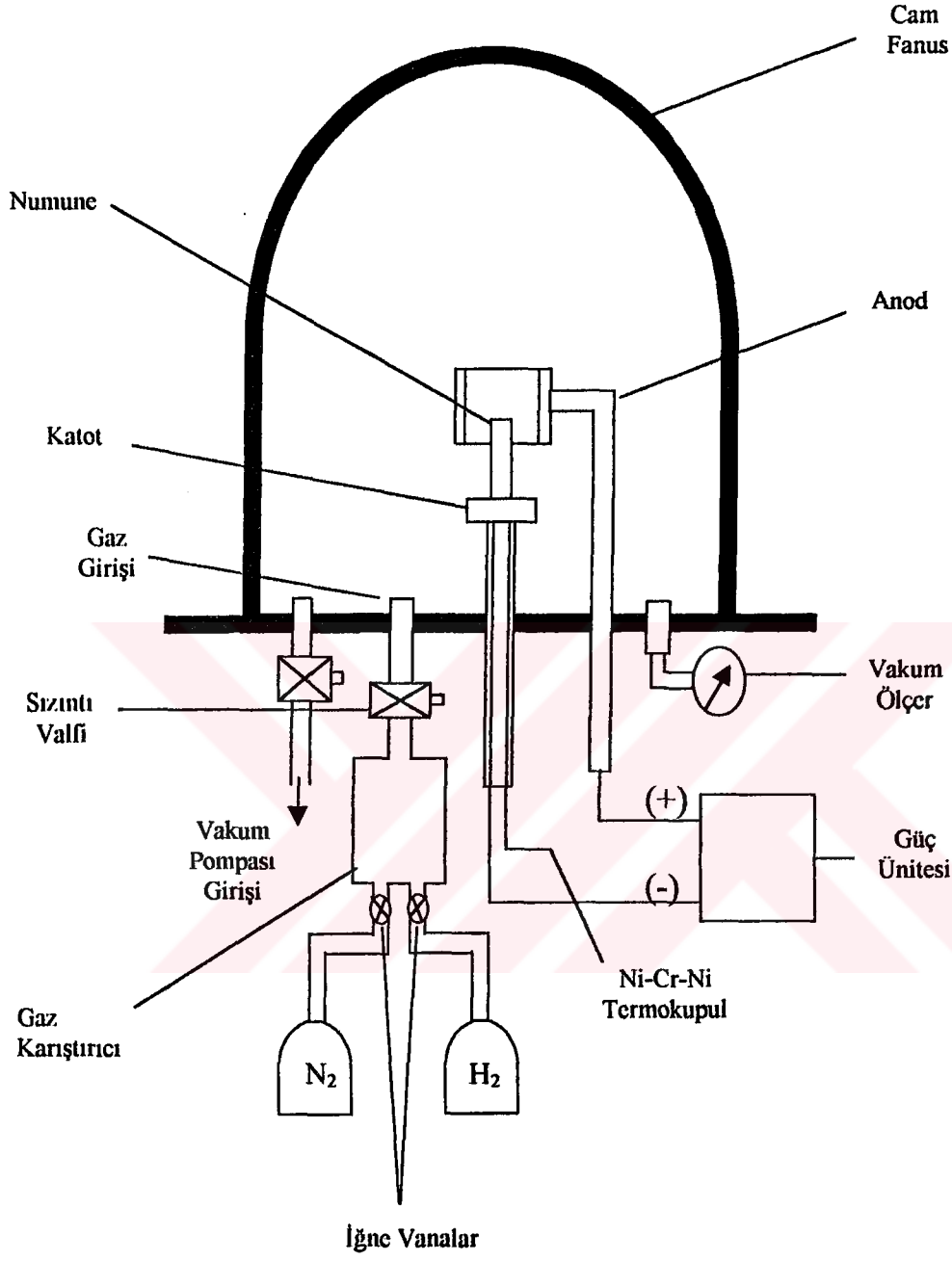


Helyum



Tüpten sonra vakuma verilen gaz miktarını çok iyi ayarlayabilmek için hassas iğne vanalar kullanılmaktadır. Bu iğne vanalar vasıtasıyla vakum ortamına istediğimiz gaz karışımını gönderebiliriz.

Bu çalışmada basınç ölçümü VAP 5 tipindeki bir basınç ölçerle doğrudan yapılmıştır. Bu aletin ölçüm aralığı $1-10^{-3}$ mbar dır. Sıcaklık ölçümü katodun içinden geçirilerek alttan parçaya temas eden Ni- Cr- Ni termokupl kullanılarak yapılmıştır. Sıcaklık değerinin hassas olarak okunabilmesi için termolupl uçlarının çok iyi birleştirilmesi gerekmektedir. Bu birleştirme işlemi tek bir noktada Oksijen kaynağı ile yapılmaktadır. Sıcaklık ölçerin ölçüm aralığı $-200 - 1200$ °C arasındadır.



Şekil 4.2. İyon nitürasyon cihazının şematik gösterimi

5. DENEYSEL VERİLER VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada deney numunesi olarak aşağıda kimyasal kompozisyonu verilen AISI 8620 az alaşımlı çelik iyon nitrüleme işlemine tabi tutulmuştur.

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	Cu	P	Al
0.2	0.77	0.2	0.47	0.54	0.17	0.025	0.22	0.015	0.02

Numuneler nitrülenmeden önce normalize işlemine tabi tutulmuştur. Normalize işlemi için malzeme önce 900 °C sıcaklığa çıkarılmıştır. Bu sıcaklıkta 1 saat bekletildikten sonra malzeme fırın içerisinden çıkarılarak havada soğutulmuştur. Daha sonra numuneler 12.5 mm çapında ve 12 mm uzunluğunda kesilerek yüzeyleri 800 ve 1200 numara SiC zımpara ile parlatılmış ve iyon nitrüleme işleminden önce yüzeyler alkolle temizlenmiştir.

Sistem çalıştırılmadan önce sistemin içerisinin özellikle contanın iyice temizlenmesine özen gösterilir. Temizleme işlemi alkolle yapılır. Daha sonra sistem iyice kurutulur. Bu işlemler yapılmazsa vakum istenen değere ulaşmayabilir. Daha sonra iş parçası katot üzerine yerleştirilir. Gaz ve hava girişlerindeki vanaların kapalı olup olmadığı kontrol edilir. Hidrojen ve azot gazlarının vakuma geliş basınçları ayarlanır. Pompa yağı kontrol edildikten sonra fanus yerine konarak pompa çalıştırılır ve vakumun istenen değere gelmesi beklenir.

Vakum istenen değere ulaşıncaya azot ve hidrojen gaz karışımı istenen oranda ayarlanarak iğne vanalar vasıtasıyla vakum ortamına verilir. Daha sonra güç kaynağı belirlenen güç konumuna getirilerek işlem başlatılır. İşlem esnasında pompa çalıştığı için işlem kabındaki gaz miktarı zamanla azalır. Bu nedenle vanalar gaz miktarlarını istenilen sabit seviyede tutacak şekilde işlem esnasında ayarlanır. İşlem bittikten sonra hava girişi vanası ile vakum yok edilir. İşlem bittikten sonra numune hemen çıkarılmaz. Numune üzerinde iç gerilmelerin meydana gelmemesi için numune vakum ortamında soğutulur.

5.1. Deney Sonuçları

5.1.1. Mikrosertlik Ölçümleri

Yapılan deneylerde değişken olarak, sıcaklık ve işlem süresi seçilmiştir. Deneylerde %70 H₂- %30 N₂ oranına sahip, sabit gaz miktarları kullanıldığı için güç konumunun değiştirilmesi doğrudan sıcaklık değişimine sebep olmaktadır .

Bu deneysel çalışmada nitrürlenmiş parçaların sertleşme derinliği Vickers mikrosertlik ölçümleri ile bulunmuştur. Çeşitli değişkenlerde (zaman, sıcaklık) nitrürlenmiş numuneler bakalit kalıba alınarak 400, 800 ve 1200 numara SiC zımpara ile zımparalanmış ve 0.3 µm lik alumina tozu ile kadife üzerinde parlatılmıştır. Daha sonra numunelerin Vickers mikrosertlik ölçüm cihazında 50 g yük uygulanarak iz derinlikleri ölçülmüştür. Sertlik değeri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır;

$$\text{Sertlik} = \frac{1.854 * P}{d^2}$$

Burada:

P: Yük (gr)

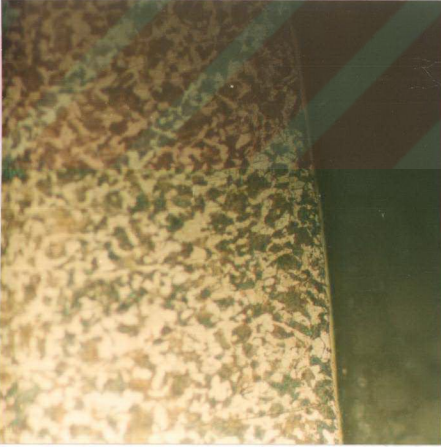
d: Gerçek iz büyüklüğü (µm)

5.1.2. İç Yapı İncelemeleri

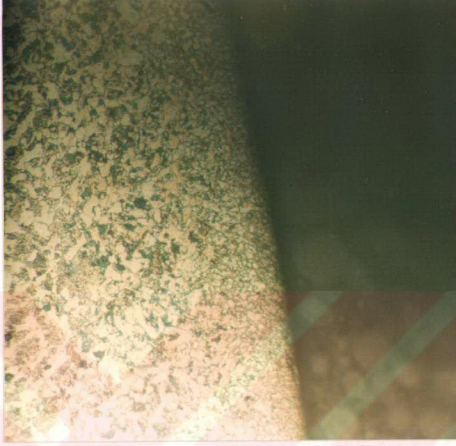
İyon nitrürasyon işleminden sonra sertlik değerleri ölçülen numunelerin yüzeylerinde metalografik muayene yapılmıştır. Bu işlem için önce numune yüzeyinden beyaz tabaka 400, 800, 1200 zımparalar ile uzaklaştırılır. Daha sonra numuneler alumina tozu ile parlatılır. Numuneler, parlatıldıktan sonra %95 Etil Alkol, %5 Nitrik Asit çözeltisi kullanılarak dağlanmıştır. Numuneler kurutulduktan sonra Optik mikroskopta malzemenin iç yapısı incelenmiş ve malzemedeki iç yapı değişiminin fotoğrafları çekilmiştir.



Şekil 5.2. Nitrülenmemiş malzemenin iç yapısı



Şekil 5.3. 550 °C'de 1 saat nitrülenmiş malzemenin iç yapısı



Şekil 5.4. 600 °C'de 1 saat nitrülenmemiş malzemenin iç yapısı

Şekil 5.2'de nitrürlenmiş malzemenin iç yapısı görülmektedir. Nitrürlenmiş malzeme, tamamıyla perlit ve ferriten oluşmuş eşit boyda taneler halinde ince taneli bir yapıdır. Zaten nitrüleme işleminden önce, malzemenin yeniden kazanabileceği özelliklere sahip olabilmesi için normalizasyon tavlama yapılmıştır.

Şekil 5.3'de 550 °C'de 1 saat nitrülenmiş malzemenin iç yapısı görülmektedir. Metalurjik yapı Fe_4N ve $Fe_{2-3}N$ fazlarından oluşan beyaz tabaka ve difüzyon tabakasını içermektedir. Nitrüleme işlemi 550 °C'de yapıldığı için iç yapıda herhangi bir faz dönüşümü gerçekleşmemiştir. Fakat ferrit fazı içerisinde tane sınırlarında koyu renkli alaşım nitrürlerinin oluştuğu görülmektedir.

Genellikle tane sınırlarındaki alaşım nitrürleri iğnemi görünümündedir. Burada oluşan beyaz tabaka kalınlığındaki artış azotun çeliğe difüzyonuyla aynı anda meydana

gelmektedir. Alaşım nitrürlerinin tane sınırlarında oluşma nedeni bu bölgede enerjinin fazla oluşu nedeniyle kararlı bir dengenin oluşmamasıdır [21].

Şekil 5.4 'de 600 °C 'de 1 saat nitrürlenmiş malzemenin iç yapısı görölmektedir. İç yapı sadece difüzyon tabakasını içerir. 600 °C'de yapılan nitrüleme işleminde diğer sıcaklıklarda yapılan nitrülemeye göre beyaz tabaka kalınlığında büyük bir azalmanın ve difüzyon tabakasında ise artışın olduğu görölmektedir. Beyaz tabakanın azalma nedeni bu sıcaklıkta dekarburizasyon, denitriding ve saçınma olaylarının gerçekleşmesidir. [12].

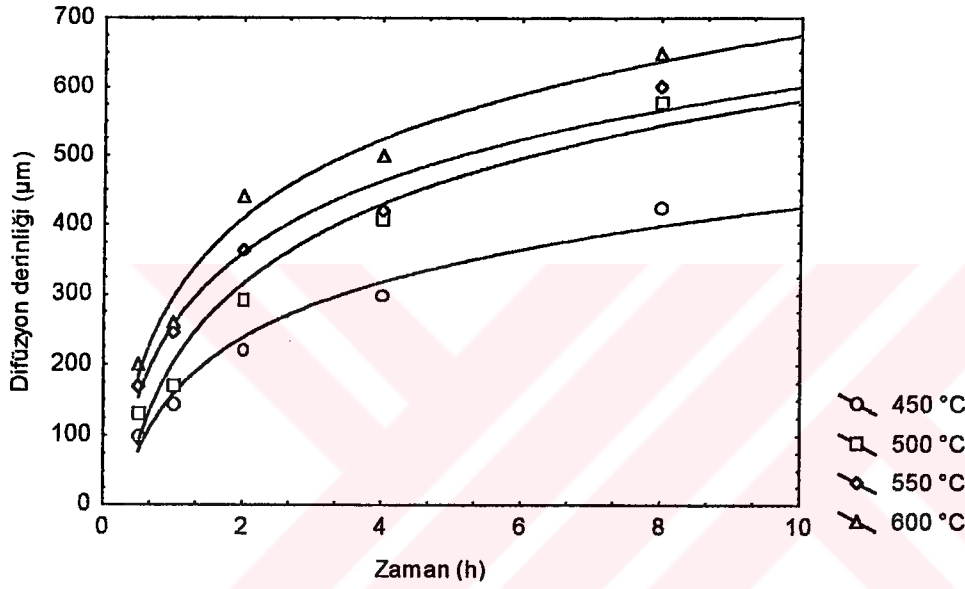
Difüzyon tabakasında ise ferrit tane sınırlarında oluşmuş iğnemsisi ve koyu renkli alaşım nitrürleri görölmektedir. İşlemin yüksek sıcaklıklarda yapılması azotun difüzyon kabiliyetini artırmış ve difüzyon tabakasının daha büyük olmasını sağlamıştır. Ayrıca bu sıcaklıkta malzemenin temperlenmesi de söz konusudur. Bu yüzden yapılan sertlik ölçümlerinde diğer sıcaklıklarda yapılan nitrürasyon işlemlerine nazaran daha düşük değerler elde edilmesi bu yüzdendir.

5.1.3 Tablo ve Grafikler

Deneylemlerden elde edilen sonuçlar aşağıda bir tablo şeklinde verilmiştir. Tablodan'da görüleceği gibi sıcaklık ve zaman arttıkça difüzyon tabakasının kalınlığı artmaktadır. Max sertlik ise 500 °C 'de elde edilmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda tane büyümesinden dolayı sertlik düşmektedir.

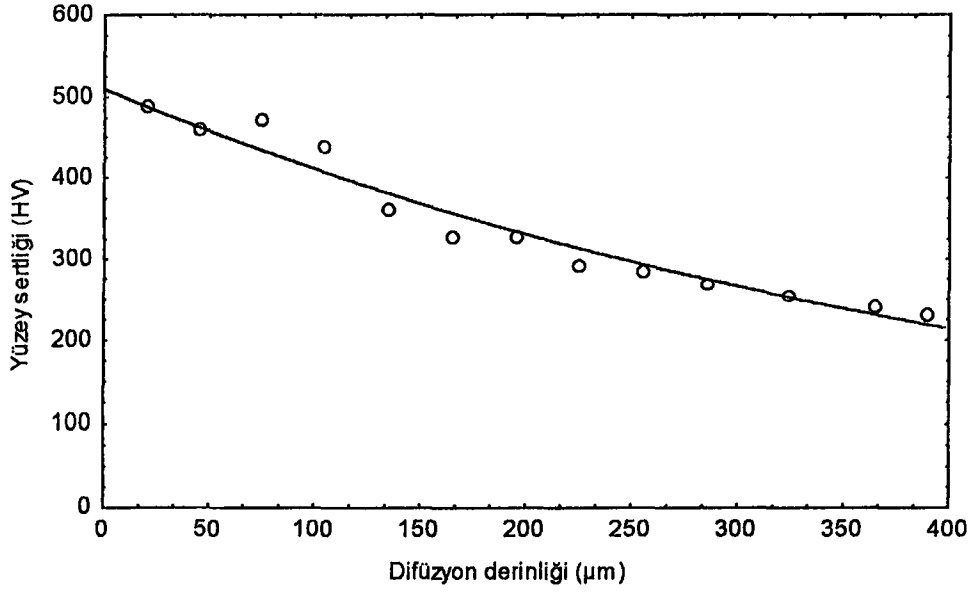
İşlem parametreleri		Yüzey sertliği(HV)	Difüzyon tabakası kalınlığı (µm)
T (°C)	t (h)		
450	1/2	270-290	100-110
450	1	300-320	145-155
450	2	320-350	220-230
450	4	360-390	300-310
450	8	330-360	425-435
500	1/2	385-410	120-130
500	1	440-470	170-180
500	2	470-500	290-300
500	4	490-520	410-420
500	8	410-440	520-530
550	1/2	300-320	170-180
550	1	350-380	245-255
550	2	380-410	365-375
550	4	420-450	420-430
550	8	340-370	600-610
600	1/2	280-300	200-210
600	1	310-340	260-270
600	2	350-380	440-450
600	4	400-430	500-510
600	8	300-330	650-660
Nitrülenmemiş malzeme		210	

Difüzyon tabakası zamanın bir fonksiyonudur, zaman arttıkça bu tabakanın kalınlığı artmaktadır. Difüzyon tabakası kalınlığı sıcaklığa, işlem süresine ve çeliğin alaşım durumuna bağlıdır. Şekil 5.6.'da zamana bağlı olarak farklı sıcaklıklarda difüzyon tabakasının derinlik değişimi görülmektedir. En yüksek tabaka derinliği 600 °C'de ve 8 saatte 640 μm civarında elde edilmiştir.



Şekil 5.6. Difüzyon derinliğinin zamanla değişimi

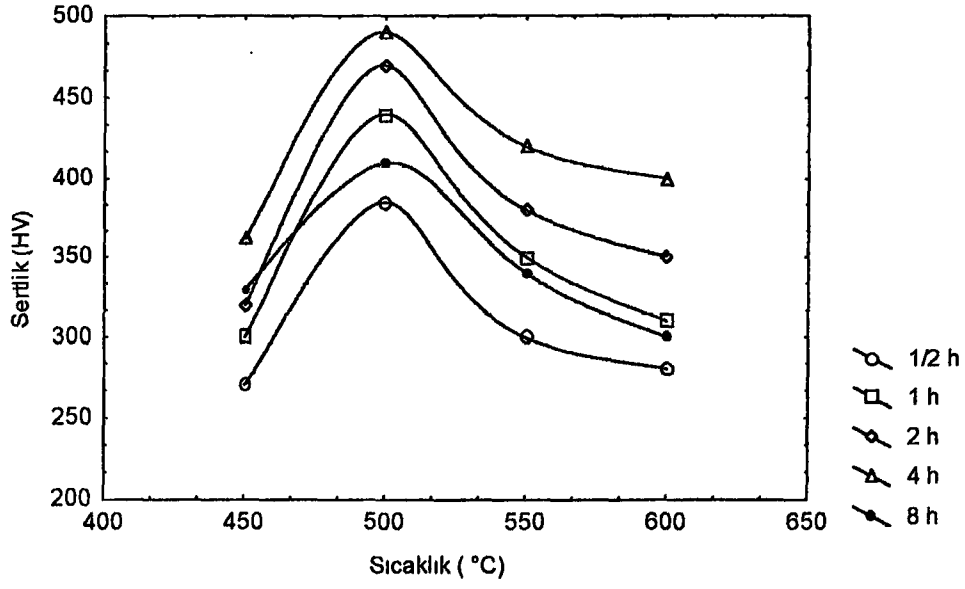
Şekil 5.7.'de 500 °C'de 4 saatlik süre zarfında yüzey sertliğinin difüzyon tabakasına göre değişimi gösterilmiştir. Difüzyon derinliği 420 μm olarak ölçülmüş, yüzeydeki sertlik değeri 490 HV olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.7. 500 °C'de meydana gelen yüzey sertliğinin difüzyon tabakası derinliği ile değişimi (4 h)

450 °C'den daha düşük sıcaklıklarda yüzey sertliği önemli derecede düşmektedir. Bunun sebebi azotun bu sıcaklıklarda malzemeye difüze olması ve meydana gelen nitrür çökeltilerinin yoğunluğunun yetersiz olmasındandır. Ayrıca 500 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda, yüzey sertliğinde azalma gözlenmektedir. Çünkü yüksek sıcaklıklarda malzemenin temperlenmesi ve alaşım nitrürlerinin büyümesi sertlik değerini düşürmektedir. [14] Şekil 5.8.'de yüzey sertliğinin iyon nitrürleme yapılan zaman aralığında sıcaklığa bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Şekil incelenecek olursak başlangıçta 450 °C için 1/2 saatte sertlik değeri düşüktür. Fakat süre arttıkça yüzey sertliği artmaktadır. Takip eden sürelerde 4 saate kadar sertlikte yükselme görülüyor, 8 saatlik ölçümlerde yüzey sertliği düşmektedir. Diğer sıcaklıklar için de durum aynıdır, artan zaman ve sıcaklıkla birlikte sertlik azalmaktadır.



Şekil 5.8. Yüzey sertliğin sıcaklıkla değişimi

Şekilden görüleceği gibi en yüksek yüzey sertliği 500 °C’de 4 saat için elde edilmiştir. Bu değer yaklaşık olarak 490 HV olarak tespit edilmiştir. Sıcaklık yükseldikçe sertlik değeri düşmektedir.

SONUÇLAR

1. İyon nitürasyon ünitesi imal edilmiş ve uygulaması başarıyla tamamlamıştır.
2. İyon ünitesinin çalışabilirliğini göstermek için AISI 8620 çeliği sertleştirilmiştir.
3. AISI 8620 çeliğinin uygulaması için 450-600 °C sıcaklık, 1/2-8 h zaman ve % 70 H₂ - % 30 N₂ gaz karışımında 10 mbar basınçta çalışmalar yapılarak optimum difüzyon derinliği ve yüzey sertliği elde edilmiştir.
4. AISI 8620 çeliğinin sertleştirilmesi sonucu max yüzey sertliği 500 °C sıcaklıkta 4 saatlik deneylerde ve max difüzyon derinliği de 600 °C sıcaklıkta 8 saatlik deneylerde elde edilmiştir.
5. Bu çalışmadan elde edilen deneysel sonuçların literatürde verilen değerlerle iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- 1 Ichii, K., Fujimara, K., and Takase, T., 1991, Sputtering, deposition and diffusion in ion-nitriding of an austenitic stainless steel. *Mater. Sci. Eng, A*.140, 442-447.
- 2 Salik, J., Ferrante, J., Honey, F., and Hoffman, R, Jr., 1987, Analysis of plasma nitrided steels. *Mater. Sci. Eng*, 127-138
- 3 Michel, H., Czerwiec, T., Gantois, M., Ablitzer, D., and Ricard, A.,1995, Progress in the analysis of the mechanisms of ion nitriding. *Surf. Coat. Technol*, 72 , 103-111
- 4 Smith, A. P., and Gane, N., 1977 The coating of High Speed Steel Tools by Ion- Nitriding. *Heat Treatment Met* , 307-310
- 5 Musil, J., Vlcek, J., Jezek, V., Kubasek, M., Kolega, M., and Musil, Jr. J., 1993, Plasma nitriding of sputtered Ti films. *Mater. Sci. Eng, A*, 163, 181-186
- 6 Edenhofer, B., 1974, Physical and Metallurgical Aspects of Ion-nitriding. *Heat Treatment Met*, 59-67
- 7 Edenhofer, B., 1974, Physical and Metallurgical Aspects of Ion-nitriding. *Heat Treatment Met*, 23-28
- 8 Chu, C.L., and Wu, S. K., 1996, Ion nitriding of titanium aluminides with 25-53 at.%Al II; Corrosion properties. *Surf. Coat. Technol*, 78, 219-226
- 9 Cohen, A., Boas, M., and Rosen, A., 1986, The influence of ion nitriding paramaters on the hardness layer of 15-5 PH stainless steel. *Thin Solid Films*, 141, 53-58

- 10 Metin, E., ve İnal, O. T., 1987, Formation and growth of iron nitrides during ion-nitriding. *J. Mater. Sci*, 22, 2783-2788
- 11 Michalski, J., 1993, Ion nitriding of Armco iron in various glow discharge regions. *Surf. Coat. Technol*, 59, 321-324
- 12 Çelik, A., ve Karadeniz, S., 1996, Investigation of compound layer formed during ion nitriding of AISI 4140. *Surf. Coat. Technol*, 80, 283-286
- 13 Çelik, A., ve Karadeniz, S., 1995, Improvement of the fatigue strength of AISI 4140 steel by an ion nitriding process. *Surf. Coat. Technol*, 72, 169-173
- 14 Çelik, A., ve Karadeniz, S., 1993, Ion-Nitrürasyonda gaz karışım oranının ve sıcaklığın iç yapıya etkisinin incelenmesi. 5. Denizli Malzeme Sempozyumu, 518-524, 12-13-14 Nisan 1995 Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- 15 Albarran, J. L., Juarez -Islas, J. A., and Martinez, L., 1992, Nitride width and microhardness in H-12 ion nitrided steel. *Materials Letters*, 15, 68-72
- 16 Meletis, E. I., and Yan, S., 1990, Formation of aluminum nitride by intensified plasma ion nitriding. *American Vacuum Society*, 2279- 2284
- 17 Arai, T., Fujita, H., and Tachikawa, H., 1992, Ion nitriding of aluminum and aluminum alloys. *Surf. Coat Technol*, v 37-41
- 18 Lamant, R. Jr., and Craven, A. B., 1996, Advantages of ion nitriding gears. *Gear Technology*, 13, 18-19

- 19 Chu, C. L., and Wu, S. K., 1996 , Ion nitriding of titanium aluminides with 25-53 at % Al I : nitriding parameters and microstructure characterization. Surf. Coat. Technol, 78, 211-218
- 20 Karadeniz, S., 1990 , Plazma Tekniği, Makine Mühendisleri Odası, Ankara, s 9-24.
- 21 Thelning, K-E., 1984 , Çelik ve Isıl İşlemi, Bofors El Kitabı, Hakan Ofset, İstanbul, s 376-431.

