

## AISI 4140 Çeliğine Uygulanan İyon Nitrasyon Yüzey Sertleştirme İşleminin Yorulma Dayanımına Etkisi

Şevki Yılmaz GÜVEN<sup>1</sup>, Kamil DELİKANLI<sup>2</sup>, Eser ÖNCEL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü- Isparta

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü- Isparta

<sup>3</sup>TCDD 3. Bölge Müdürlüğü Alsancak / İzmir

**Özet:** Makine elemanları kendilerinden beklenen fonksiyonları yerine getirirken parçaların yüzeyleri, iç kısımlarına nazaran daha yüksek gerilme ve daha yüksek aşındırıcı kuvvetlere maruz kalır. Bu gerilme ve kuvvetler malzemenin yüzey dayanım sınırını aşınca malzeme yüzeyinde çatlamlar başlar. Kuvvetlerin değişken olmaları durumunda makine parçalarında yorulma meydana gelir ve belli bir yük tekrarından sonra parça kırılarak hasara uğrar.

Araçların yorulmaya maruz kalan aks millerinde birçok otomobil firması AISI 4140 çeliğini kullanmaktadır. Bu çelik yüksek basınca ve darbeye dayanıklıdır. Üstün mekanik özelliklerden dolayı, geniş bir alanda kullanılmaktadır. Değişken kuvvetler altında kalan bu tür parçalarda uzun bir ömür için yüzey dayanımları artırılmalıdır. Bu amaçla, makina parçalarının yüzeylerine çeşitli yöntemlerle yüzey sertleştirme yapılır. Yüzey sertleştirme ile parçaların mekanik aşınmaya karşı dayanımları yükselmekte, iç bölgeler etkilenmediği için de parçanın darbelere karşı dayanımı da artmakta ve yüzeyde çatlak oluşumunun geciktirilmesi ile de yorulma ömrü uzamaktadır. Bu çalışmada, AISI 4140 çeliğine iyon nitrasyon yüzey sertleştirme işlemi uygulanıp, farklı yüklerde yorulma dayanımları incelenmiştir.

Yorulma deneyleri için numunelere 450 °C de 18 saat ve 19,5 saat iyon nitrüleme ( plazma ile nitrasyon) işlemi uygulanmıştır. Aynı zamanda yorulma dayanımlarının karşılaştırılabilmesi için işlem görmemiş AISI 4140 çeliğinden numuneler hazırlanmıştır. Yüzey sertleştirme işlemleri neticesinde hazırlanan yorulma numuneleri dönen eğmeli yorulma deneyine tabi tutulmuşlardır. Numunelere uygulanan deneylerden alınan sonuçlar yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** AISI 4140, İyon nitrüleme, Yorulma deneyi

### The Effect to the Strength of Fatigue of Surface Hardening Process by Ion Nitriding to the Steel of AISI 4140

**Abstract:** Mechanical components fulfilling the functions expected of them, the inside surfaces of the parts greater than the high stress and are exposed to abrasive forces. This stress limit is exceeded the material strength and surface forces on the surface of the material starts cracking. Variable forces if they are a load of machine parts and a certain repetition of fatigue occurs after the piece suffer damage.

Tired of the vehicles axle shafts are exposed to many car company uses AISI 4140 steel was. This steel high-pressure and shock-resistant. Due to superior mechanical properties, are used in a wide range. Variable forces remaining under the surface resistance of such components should be increased for a long life. For this purpose, the surfaces of machine parts made by various methods of surface hardening. Surface hardening of parts with the rise of mechanical abrasion resistance, impact resistance on the part of the inner regions are not affected by increasing the fatigue life is prolonged by delaying the formation of cracks on the surface. In this study, the AISI 4140 steel was ion-nitriding hardening process applied to the surface, fatigue strength was investigated.

Fatigue tests 450 °C for 18 hours and 19.5 hours in the samples applied to ion-nitriding process. At the same time to compare the fatigue strength of AISI 4140 steel samples were prepared untreated. Surface hardening process was prepared as a result of fatigue specimens were subjected to experiments in rotating Bending Fatigue. Applied to samples taken from the experiments results are interpreted.

**Keywords:** Ion nitration, AISI 4140, Fatigue testing,

## 1.Giriş

Yüzeyin sert ve aşınmaya dayanıklı olduğu, buna karşın darbelere dayanım için sünek bir çekirdek istendiği durumda makine parçalarına yüzey sertleştirme işlemleri uygulanır.

İşlemin amacı, aşınmaya maruz kalan yüzeylerin aşınma dayanımının artırılmasının yanı sıra, parçanın yorulma ömrünü arttırma ve de korozyon direncini iyileştirmektir. Sertleştirilmesi istenmeyen yüzeyler, özel bir macun, pasta ya da kille kapatılır. Dişli çark yüzeyi, cıvata, muylu, mil, perno yatakları gibi birçok makine elemanında, kalınlığı çoğunlukla 0,1-2 mm olmak üzere, sadece yüzey tabakasının sertleştirilmesiyle istenen aşınma ve ezilme dayanımına ulaşılırken, iç kısımlar tok kalır (Eker, 2008).

Genel olarak termokimyasal işlemler katı, sıvı veya gaz ortamlarda gerçekleştirilir. Son yıllardaki gelişmeler sonucunda, elektriksel boşalım (glow-discharge) ortamı da kullanılmaya başlamıştır. Katı, sıvı ve gaz nitrürleme dışında, elektriksel boşalım ile plazma ortamında yapılan iyon nitrürleme işlemi sağladığı bir dizi üstünlüklerden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Plazma, içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötral atom veya molekül içeren bir karışımdır. Uygulamada plazma, ısı enerjisi verilerek, ışınla veya elektriksel boşalma ile elde edilir. Plazma elde etme yöntemlerinin en önemlisi ve en yaygın olarak kullanılan elektriksel boşalım tekniğidir. Katot boşalımındaki yüksek enerjiye sahip olan pozitif azot iyonları iş parçası yüzeyine doğru hızlandırılır ve belirli bir kinetik enerji ile iş parçası yüzeyine çarparlar Uygulanan gerilim ve partikül değişkenlerine bağlı olarak elde edilen kinetik enerji değeri birkaç elektron volt ile birkaç yüz volt arasında değişmektedir. Bu değerler on bin ile birkaç yüz bin derece arasında değişen atomik plazma sıcaklıkları ile ilişkilidir (Şirin, 2004). Burada söz konusu olan sıcaklık, elektron sıcaklığıdır. Plazma parçacıklarının enerjisini tanımlayan bir sıcaklıktır. (Plazma parametreleri-

<https://docs.com/O2T2>). Nitrürlenecek parçanın ergimesi söz konusu değildir.

Nitrürleme işlemi, yüzey sertliği veya diğer özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla azot iyonlarının malzeme içerisine yayılımı sonucu azot yoğunluğuna paralel olarak oluşturulan nitrür fazlarıyla yüzeyin geliştirilmesine dayanan termokimyasal bir yüzey işlemidir.

Plazma yüzey işlemleri değişik endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Plazma yüzey işlemleriyle malzemenin yüzey ve yüzeye yakın bölgelerinin yapısal özellikleri değiştirilerek aşınma, korozyon direnci ve yorulma dayanımı artırılabilir. (Çelik vd. 2002).

Makina sanayinde bir çok alanda kullanılan AISI 4140 çeliği, kullanım yerine bağlı olarak değişken kuvvetlerin etkisinde kalmakta ve yorulmaya zorlanmaktadır. Yorulma dayanımının artırılması amacıyla uygulanan birçok yüzey sertleştirme yöntemleri vardır. Bu yöntemler şunlardır; yüzeyin kimyasal yapısını değiştiren, sementasyon, nitrürleme, karbonitrürleme, borlama, plazma ile karbürleme, plazma ile nitrürleme, plazma ile nitrokarbürleme, plazma ile borlama, yüzeyin kimyasal yapısını değiştirmeyen yöntemler ise; alev ile, indüksiyon akımı ile ve lazer ışını ile yüzey sertleştirmedir. Bu çalışmada, AISI 4140 çeliğinden hazırlanan numunelere iyon nitrürleme ile yüzey sertleştirme uygulanmıştır. İyon nitrürleme yöntemi, elektriki boşalma (glow discharge) şartlarında oluşur. Bu yöntemde, malzeme yüzeyine iyonize edilmiş azotu yaymak için aktif ve reaktif plazma hali kullanılır. İşlem teorik olarak elektriksel olarak iletken malzeme yüzeyine N arayer atomunun yayılması işlemidir. Yayınan azot atomları ile çelikte bulunan alaşım elemanları (Cr, Al, V, Mo, Ti) yüzeye sertlik kazandıran nitrürlü bileşiklerini oluşturur.

Makine parçaları, işlevleri gereği değişken yüklere maruz kaldıkları zaman belli bir yük

tekrarından (ömürden) sonra yorulma sonucu kırılarak hasara uğrarlar. Yüzeyi sertleştirilmiş makine parçalarında, değişken yük altında genellikle yüzeyde oluşacak çatlak, geciktirilmekte ve çatlak oluşumu zorlaşmaktadır. Dolayısı ile parçanın yorulma dayanımı yükseltilmiş ve kullanım ömrü uzatılmış olmaktadır.

Yorulma deneyleri için AISI 4140 çeliğinden numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere 450 °C sıcaklıkta 18 saat ve 19,5 saat iyon nitrüleme işlemi uygulanmıştır. Aynı zamanda yorulma dayanımlarının karşılaştırılabilmesi için, yüzey sertleştirme işlemi uygulanmayan numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler, dönen eğmeli yorulma deneyine tabi tutulmuşlardır. Hazırlanan numuneler, eğmeli yorulma deneyi cihazında dört farklı eğilme gerilmesine maruz bırakılmış ve numuneler kırılıncaya kadar yükleme devam etmiştir. İyon nitrüleme ile yüzey sertleştirme işleminin, yorulma dayanımına etkisi incelenmiş ve bu etkinin yüzey sertleştirme işlemi uygulanmayan numunelerin yorulma dayanımları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Numunelere uygulanan yorulma deneylerinden alınan sonuçlardan Gerilme – Çevrim Sayısı eğrileri çizilmiş ve eğriler yorumlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Nitrür Oluşturan Alaşım Elementleri ve Etkileri

Nitrür oluşturan elementler periyodik tablonun IV a, V a, and VI a ailesine mensupturlar ve bu gruptaki elementler kolayca nitrüleme yöntemi ile sertleştirilebilirler. Bu nedenle nitrüleme işlemi ile yüzey sertleştirme ancak nitrür oluşturan bazı elementler ile alaşımlandırılmış çelik ve nikel alaşımları için mümkündür. Bu alaşımların nitrülenmesinde azot atomları yüzeyden malzeme içine difüze olurlar ve alaşım elementleri ile reaksiyona girerek sert nitrür tabakası oluştururlar (Kahraman vd., 2009).

Çeliklerde kullanılan Al, Cr, Mo, V gibi alaşım elementleri nitrür oluşturmada etkili elementlerdir. Mo ilave edildiğinde nitrüleme sıcaklığında kırılma riski azalır. Ni, Cu, Si ve Mn gibi diğer alaşım elementleri nitrüleme özellikleri üzerinde daha az etkiye sahiptirler. Al çok kuvvetli nitrür oluşturan bir elementtir. Bu etki özellikle Al içerikli çeliklerde (% 0.85-1.5 Al) daha iyi görülür ve çok iyi nitrüleme sonuçları sağlar. Ayrıca V, gerçekten güçlü bir nitrür yapıcıdır (Baycık, 2002).

### 2.2 Plazma ( İyon ) Nitrüleme

Modern bir yüzey sertleştirme yöntemi olan İyon(plazma) nitrürasyonu, çelik, dökmedemir, titanyum ve sinterlenmiş ürünlerin metalurjik, mekanik ve yüzey özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Vakum altında yapılan bu işlem, diğer nitrürasyonla ısıl işlem yöntemlerine göre en çevreci yöntem olup gerek metalurjik gerekse yüzey kalitesi açısından en yüksek performansı sağlamaktadır. Proses sıcaklığı düşük olduğu için, iş parçalarında ölçüsel çarpılmaların azaltılması ve çekirdek özelliklerinin olumsuz yönde değişmemesi sağlanır. Yüksek aşınma, sarma, karıncalanma ve yapışma direnci yüksek bir yüzey sertliği sağlar. Korozyon (paslanma) mukavemetini de yükseltir ([http://www.insisilistem.com/index.php?pg=hizmet&hizmet\\_id=1](http://www.insisilistem.com/index.php?pg=hizmet&hizmet_id=1)).

İyon nitrüleme teknolojisi İsviçreli mühendis Bernard Berghaus tarafından 1932 yılında Almanya’da keşfedildi, ancak endüstriyel uygulaması Almanya ve İsviçre’de bu konudaki çalışmaların gelişmesiyle 1967 yılında gerçekleşti. Yöntemin farkına varılarak, değişik uygulamaları için, geliştirme çalışmalarına başlandı ve Japonya’da 1973 yılında başarıya ulaşıldı. Azot içeren gaza elektrik enerjisi verilerek, azotun iyonlaştırılması ile bir plazma atmosfer oluşturularak ve daha sonra azot iyonlarının malzeme üzerine manyetik olarak çarptırılması şeklinde

gerçekleşen plazma (iyon) nitrüleme geleneksel gaz nitrüleme işleminden geliştirilmiş bir termokimyasal yüzey işlemidir (Yılmaz, 2008).

Plazma, içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötral atom veya molekül içeren bir karışımdır. Pratikte plazma, ısı enerjisi verilerek, ışınla veya elektriksel boşalma ile elde edilir. Plazma elde etme yöntemlerinin en önemlisi ve en yaygın olarak kullanılanı elektriki boşalmadır. Elektriki boşalma mekanizması, bir elektrik gerilim kaynağı gaz içinde bulunan iki iletken plaka arasına bağlanırsa belirli şartlar gerçekleştiği takdirde, tatbik edilen gerilim plakalar arasındaki gazın delinme geriliminin üzerinde ise, bu iki plaka arasında bir elektrik boşalması olur ve bu iki iletken plaka arasında bir elektrik akımı akışı olarak gerçekleşir (Çelik vd. 2002).

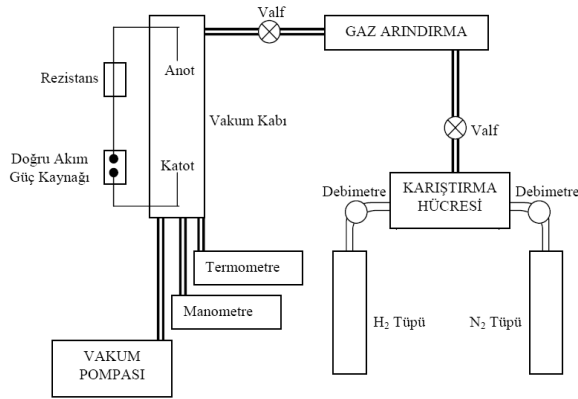
Son yıllarda plazma ile nitrüleme yöntemi, bilinen nitrüleme yöntemlerine göre birçok avantaja sahip olması nedeniyle endüstrinin ilgisini çekmektedir. Plazma ile nitrürasyon yöntemi elektriki boşalma (glow discharge) şartlarında oluşur. Berghaus tarafından patenti alınan bu yöntemde, malzeme yüzeyine iyonize edilmiş azotu yaymak için aktif ve reaktif plazma hali kullanılır. İşlem teorik olarak elektriksi olarak iletken malzeme yüzeyine N arayer atomunun yayınma işlemidir. Plazma ile nitrürasyon işlemi  $N_2$ ,  $H_2$ , Ar ve  $NH_3$  gaz ortamında, 350 °-590°C arasında gerçekleştirilebilir. Yüzeyi sertleştirilecek malzemenin Cr, Al, V, Mo ve Ti gibi alaşım elemanlarını içermesi yüzey sertliğini daha da artıracaktır. Plazma ile nitrürasyon işlemi sonrası en dışta beyaz tabaka ve onun altında da difüzyon tabakası olarak adlandırılan yapılar oluşur. Günümüzde askeri amaçlı olarak kullanılan plazma ile nitrüleme işlemi, özellikle motor pistonlarında, krank millerinde, valflerde, kam milinde, dişlilerde, matkap, zımba gibi kesici takımlarda, derin çekilebilen malzemelerde, dönme ve eğilmeye maruz kalan tüm makina parçalarında kullanılmaktadır. Bu işlemin ekonomik ve

kolay uygulanabilmesi endüstride kullanım alanını artırmıştır (Çelik vd. 2002).

Plazma nitrüleme yöntemi uzun bir geçmişe sahiptir. Adını işlem sırasında kullanılan azot veya gaz karışımının oluşturduğu plazmadan alan yöntemde temel prensip, vakumlu bir ortamda azot atomlarının elektrik verilerek iyonlaştırılması ve katot (negatif kutup) olarak yerleştirilen parça yüzeyine çarptırılmasıdır. Bu işlem, 1-10 mbar basınçlı vakum ortamında, 400-1000 V gerilim altında uygulanan doğru akımın (DC) azotu  $N \rightarrow N^+ + e^-$  iyonlarına ayırması ve iyon haline gelen azot atomlarının malzeme yüzeyine çarparak difüze olmalarıyla gerçekleşir. Doğru akımın kullanılması plazma ortamının sürekliliğinin sağlanması içindir. Şekil 1'de, şematik olarak verilen nitrüleme mekanizmasını temel alarak, nitrülenmek istenilen parçalar, vakumlu ortamı yaratabilmek için, kapalı bir kap içine yerleştirildikten sonra kap içindeki hava vakum pompası ile dışarıya atılır. Kap içindeki vakumun sağlanmasından sonra ortama verilen azot, elektrik enerjisi yardımıyla iyonlaştırılır ve plazma oluşması sağlanır. Plazma içindeki pozitif yüklü azot iyonları negatif kutup (katot) halindeki parça yüzeyine çarpar. Bu çarpma sırasında azot, iyonlaşırken aldığı fazla enerjisini parçaya geçirirken, hem bu enerji hem de çarpmanın etkisiyle malzeme yüzeyine difüze olur. Kullanılan gaz  $N_2$ ,  $N_2 + H_2$  gaz karışımı veya amonyak ( $NH_3$ ) olabilir. Nitrürlemede amonyak ( $NH_3$ ) kullanılabilmesi gibi, işlem sırasında sadece azot gazı ( $N_2$ ) veya azotun ( $N_2$ ) yanında hidrojen ( $H_2$ ), argon (Ar) gibi malzemeyle etkileşime girmeyecek gazlar da kullanılabilir (İğdil vd., 2012).

Metal parçacıklarının yüzeylerini sert ve aşınmaya dayanıklı duruma getirerek yorulma, korozyon ve sürtünme davranışlarını iyileştirmek için malzeme yüzeyinden iç kısmına doğru yabancı atomların yayınlamalarını sağlamak gerekir. Malzeme yüzeyinde böyle bir tabaka oluşturmak için çok değişik yöntemler olup, bunlardan birisi de plazma destekli ferritik

termo-kimyasal yüzey işlem olan iyon (plazma) nitrülemidir. İyon nitrüleme, çelik malzeme ferritik koşullarda iken yapılan bir yüzey sertleştirme ısıl işlemi olduğundan, ostenit fazı yapısına ulaşmak için herhangi bir ısıtmaya ve ardından martenzitik bir yapı oluşturmak için hemen soğutmaya gerek duyulmaz. Bu nedenle, minimum çarpılma ve mükemmel boyut tamlığı sağlanır (Krauss, 1980).



Şekil 1. İyon nitrüleme ekipmanının şematik görünümü (Özdemir ve Erten, 2003)

### 2.3 İyon Nitrülenmiş Yüzey Tabakasının Yapı ve Özellikleri

İyon nitrülenmiş malzemenin yapısı, en üst kısımda “beyaz tabaka”, onun hemen altında “yayınım tabakası” ve en altta da “çekirdek bölgesi” olarak adlandırılan ana malzeme olmak üzere üç bölümde incelenebilir. Nitrüleme işleminde, azotun çeliğe nüfuz ettiği en üst yüzey tabakası, azotun en yüksek oranda bulunduğu bölgedir. Bu tabaka son derece sert ve kırılmalı bir yapıya sahiptir. Yüzeiden içeriye doğru ilerledikçe azotun, demir kafesinde arayer atomu olarak bulunduğu ya da çeliğin içeriğindeki nitrür yapıcı elementlerle oluşturduğu ince dağılmış alaşım nitrürlerinin bulunduğu yayınım tabakasına gelir. Çeliğin daha iç bölgelerine doğru ilerledikçe azot miktarı ve dolayısı ile sertlik değeri azalır ve sonunda azotun yayınmadığı çekirdek bölgesine ulaşılır. Beyaz tabaka ve yayınım tabakasının yapısal özellikleri, iyon nitrülenmiş çeliklerin

özelliklerini belirleyen en önemli etkidir. Beyaz tabaka, iyon nitrülenmiş çeliklerin tribolojik ve korozif özelliklerinin artmasına katkı sağlarken, yayınım tabakası da çeliklerin tribolojik özellikleri ve yorulma dayanımını artırıcı yönde etki gösterir. Bu olumlu etkileri nedeni ile, iyon nitrüleme yöntemi çok geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Katı, sıvı ve gaz nitrüleme yöntemlerinin aksine, iyon nitrüleme yönteminde beyaz tabaka ve yayınım tabakasının yapısal özelliklerini ve tabaka gelişimini gerilim, gaz basıncı, gaz bileşimi, sıcaklık ve süre gibi değişkenler yardımı ile kontrol altında tutma olanağı vardır (Şirin 2004).

### 2.4 Beyaz Tabaka

En dıştaki nitrür tabakası olan beyaz tabaka, adını, nital (%3- 5 HNO<sub>3</sub> + alkol) ile dağlandıktan sonra beyaz renkte görünmesinden dolayı alan kısımdır. Nitrüleme koşulları ve süresi ayarlanarak 20 µm kalınlığa kadar oluşumuna izin verilebilen bu tabaka sert, gevrek ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Kalınlığın daha fazla artırılması durumunda; tabakada çatlaklar oluşabileceği ve bunun da yorulma dayanımını olumsuz etkileyeceği bilinmektedir. Beyaz tabakada, γ (Fe<sub>4</sub>N) ve ε (Fe<sub>2</sub>N ve Fe<sub>3</sub>N) fazları veya bunların karışımı görülebilmektedir. γ (Fe<sub>4</sub>N) yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahipken, ε (Fe<sub>2</sub>-3N) hegzagonal yapıdadır. Beyaz tabakanın sadece bu metaller arası bileşiklerden oluşuyor olması sertliğinin, malzemenin kimyasal bileşiminden bağımsız olmasını sağlamaktadır. Ayrıca beyaz tabakanın mekanik özellikleri, bu fazların bulunma miktarlarına ve tabakanın kalınlığına büyük ölçüde bağlıdır. Beyaz tabakada γ (Fe<sub>4</sub>N) fazının oluşumu, yumuşak ve sünek olması nedeniyle, aşınma dayanımının düşük, darbelere dayanıklı uygulamalarda tercih edilirken, ε (Fe<sub>2</sub>-3N) fazının oluşumu, aşınma dayanımının yüksek olması istenen parçalarda tercih edilir (İğdil vd., 2012).

Beyaz tabakanın oluşmasında fazların kalınlığı, cinsi ve sayısı, özelliklerin belirlenmesinde önemli yer tutar. İyon nitrüleme sırasında kullanılan gaz bileşimi, faz türleri ana değişken olmaktadır. İyon nitrülemeye atom bombardımanının nitrür

oluşumunda rolü büyüktür. Bu işlemde dolayı başlangıçta yüzeyde beyaz tabaka oluşmaktadır. Beyaz tabaka kalınlığı, işlemin azot gazı veya azot-hidrojen gazı bileşimi ile olması sonucu yüzeyde farklı tabaka oluşturmaktadır (Sevil, 2008).

İyonların yüzeye çarpmaları sırasında, kinetik enerjilerini parçaya aktarması nedeniyle yüzeyin ısınması ve buradaki sıcaklığın artması sağlanır. Bu nedenle özel bir ısıtma elemanına gereksinim duyulmaz. Kullanılan gaz karışımından birinin asal olması, iş parçası yüzeyinin işlem öncesi temizlenmesine olanak sağlar. Yüzeyi nitrülenecek parçanın, nitrüleme sıcaklığına kadar sadece H<sub>2</sub> gazında elektriksel boşalımın gerçekleştirilmesi ile nitrülenecek yüzeyden içeriye azotun yayılımını engelleyecek kir, pislik, oksit kalıntılarının temizlenmesi ve yüzeyin aktif hale getirilmesi ile azotun daha iyi yayılımı sağlanır.

İyon nitrüleme işlemi, saf azot, amonyak ya da azot ile hidrojenin ya da uygun bir hidrokarbon ile karışımından oluşmuş gaz ortamında yapılır. Düşük basınçlarda çalışıldığından işlem sırasındaki gaz tüketimi oldukça düşüktür. İş parçasının sıcaklığı hassas ısı algılayıcıları yardımı ile ölçülür ve elektriksel güç kaynağındaki çıkış değişkenleri ayarlanır. İşlem sıcaklığı nitrülenen malzemenin yapısına ve bileşimine bağlı olarak 400°- 600 °C aralığında değişmektedir. İyon nitrüleme işleminin üstünlüklerinden birisi de, uygulanan gerilimin ayarlanması ile 350 ° - 450 °C gibi düşük sıcaklıklarda çalışabilme olanağıdır. İşlem süresi, malzemenin türüne ve istenilen yayılım tabaka kalınlığına bağlı olarak 10 dakika ile 50 saat arasında değişebilmektedir (Şirin, 2004).

## 2.5 Yorulma

Yapıların, sabit yüklerden başka, tekrarlanan hareketli yüklerine maruz kaldığı bilinmektedir. Hareketli yüklerin toplam yükün önemli bir oranını teşkil etmesi

halinde yapılar değişken kuvvetlerce etkilemekte ve bunun sonucunda yapı elemanlarında değişken gerilmeler meydana gelmektedir. Bu durumun doğal bir sonucu olarak bir yapı elemanın herhangi bir kesitine ait bir noktasının  $\sigma_{min}$  ile  $\sigma_{max}$  arasında devamlı olarak değişken bir gerilme etkisi altında kalmasına yorulma olayı denir. Gerilme türüne göre başlıca yorulma deneyi türleri şunlardır ; aksel gerilmeli yorulma deneyi, eğme gerilmeli yorulma deneyi, burma gerilmeli yorulma deneyi, bileşik gerilmeli yorulma deneyi.

Yorulma ile ilgili ilk sistematik çalışmalar Almanya'da 1850 ve 1860 yılları arasında August Wöhler tarafından yapılmıştır. Demiryolu vagonlarının aksları üzerinde yapılan bu sistematik çalışmalarda Wöhler, kendi geliştirdiği yorulma deneyi cihazlarını kullandı. Metal malzemelerden hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deneylerde, uygulanan yüklerin büyüklüğü ilgi odağı olmuştur. Deney sonuçlarından istifade ederek yorulma olaylarında uygulanan maksimum gerilmeden ziyade gerilme aralığının önemli olduğu sonucuna varılmıştır. İlk defa Wöhler tarafından çizilen Gerilme-Çevrim Sayısı (S-N) diyagramları kullanılarak, gerilme aralığı limiti altındaki gerilme değerlerinde numunelerin kırılmadığı gösterilmiştir. 1850 ve 1865 yılları arasında Hodgkinson ve Fairbairn tarafından kiriş sistemler üzerinde tekrarlı eğme deneyleri yapılmıştır. Statik yükleme durumunda 120 kN altında kırılma meydana gelirken, tekrarlı yükleme halinde 30 kN'luk yük kırılmaya yeterli olmuştur. 1870 ve 1890' lı yıllarda Wöhler'in klasik çalışmaları genişletilerek, araştırmacılar tarafından sürdürülmüştür (Çökelek, 2001).

Makina parçaları fonksiyonlarını yerine getirirken, dış yüklerin etkisi altında kalırlar. Etkiyen bu yükler her zaman statik yükler olmayıp, genellikle büyüklüğü ve yönü düzenli veya düzensiz olarak sürekli değişen türdedir. Bu değişen zorlamalardan dolayı kırılma, söz konusu malzemenin akma sınırının çok altındaki gerilmelerde







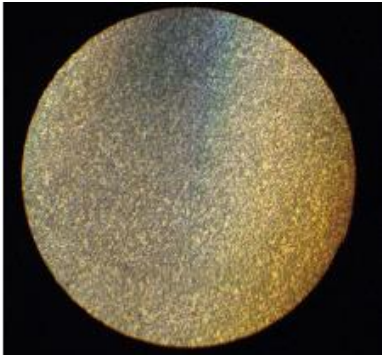
Şekil 3. Yorulma test cihazı (Çelik, 1995)

### 3. Bulgular

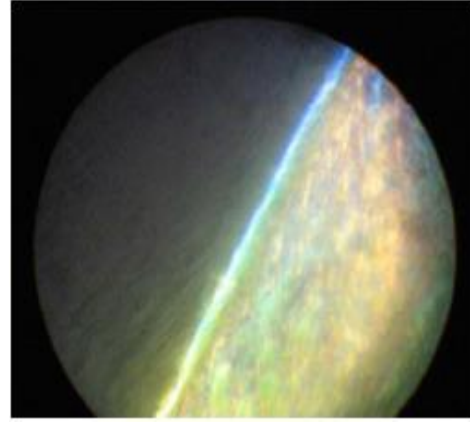
#### 3.1 Sertlik Ölçüm Sonuçları ve Metal Mikroskop Görüntüleri

Isıl işlem görmemiş numunelerin ortalama sertlikleri 221 HV 100.0 gf/10, 18 saat iyon nitürleme uygulanmış numunelerde ortalama sertlik 522 HV 100.0 gf/10, 19.5 saat iyon nitürleme uygulanmış numunelerde 557 HV 100.0 gf/10 olarak saptanmıştır. Sertlik değerlerinin gösterilmesinde belirtildiği gibi, 100.0 gf yük (kontrol kuvveti) uygulanmış ve uygulanan yükü, numune yüzeyinde tutma süresi de 10 saniye olarak alınmıştır. Sertlik değerleri numunelerin yüzeyinden ölçülen değerlerdir.

İşlem görmemiş 4140 çeliğinin metal mikroskop görüntüsü şekil 4 de, 19.5 saat iyon nitürleme ile yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış 4140 çeliğinin kenar kısmından çekilmiş ( beyaz tabaka ) metal mikroskop görüntüsü ise şekil 5 de verilmektedir.



Şekil 4. İşlem görmemiş 4140 çeliğinin metal mikroskop görüntüsü



Şekil 5. 19.5 saat iyon nitürleme ile yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış 4140 çeliğinin kenar kısmından çekilmiş ( beyaz tabaka ) metal mikroskop görüntüsü

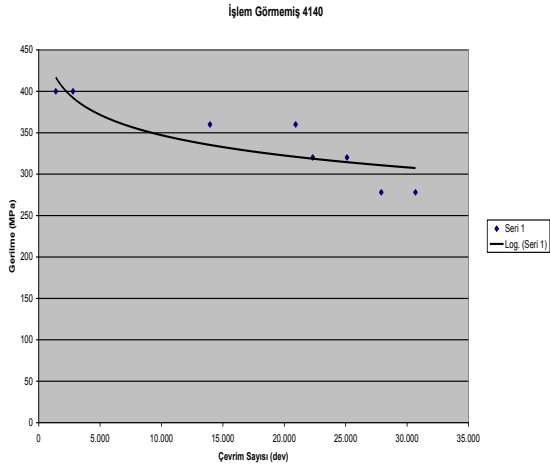
#### 3.2 Yorulma Deney Sonuçları

İşlem görmemiş 4140 çeliğin yorulma deneyi sonuçları çizelge 2 de, Gerilme-Çevrim Sayısı eğrisi şekil 6 da - 18 saat iyon nitürleme ile yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış 4140 çelik için yorulma deneyi sonuçları çizelge 3 de, Gerilme-Çevrim Sayısı eğrisi şekil 7 de - 19,5 saat iyon nitürleme ile yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış 4140 çeliğin yorulma deneyi sonuçları çizelge 4 de, Gerilme Çevrim Sayısı eğrisi şekil 8 de verilmektedir.

Çizelge 2. İşlem görmemiş 4140 çeliğin yorulma deneyi sonuçları

Gerilme (MPa)	Çevrim Sayısı (devir)
400	1.395
400	2.790
360	13.950
360	20.925
320	22.320
320	25.110
278	27.900
278	30.690

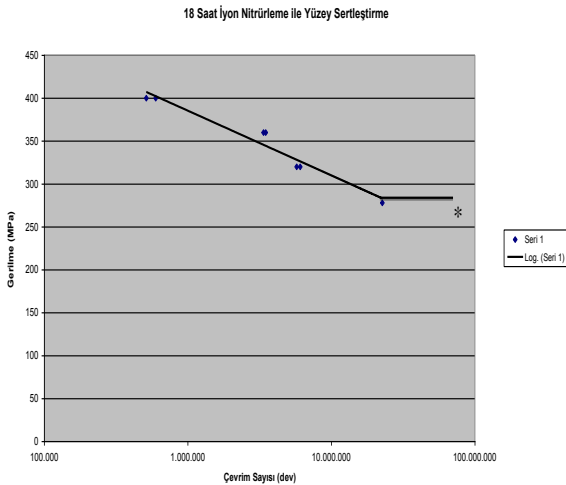




Şekil 6. İşlem Görmemiş 4140 Çelik için gerilme çevrim sayısı eğrisi

Çizelge 3. 18 saat iyon nitrüleme ile yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış 4140 çelik için yorulma deneyi sonuçları

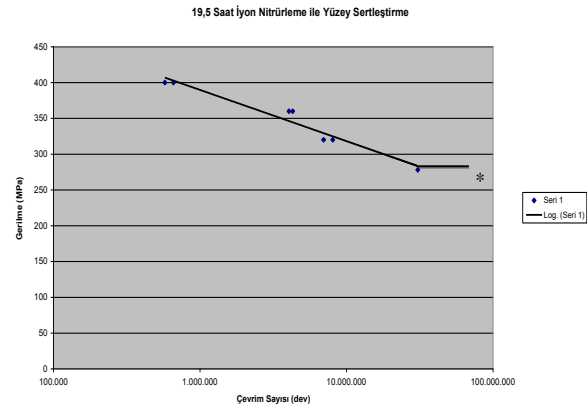
Gerilme (MPa)	Çevrim Sayısı (devir)
400	513.360
400	597.060
360	3.368.925
360	3.484.710
320	5.729.265
320	6.059.880
278	22.610.160



Şekil 7. 18 saat iyon nitrüleme ile yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış 4140 çelik için gerilme-çevrim sayısı eğrisi

Çizelge 4. 19,5 saat iyon nitrüleme ile yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış 4140 çeliğin yorulma deneyi sonuçları

Gerilme (MPa)	Çevrim Sayısı (dev)
400	576.135
400	658.440
360	4.046.895
360	4.293.810
320	6.979.185
320	8.057.520
278	30.646.755



Şekil 8. 19,5 saat iyon nitrüleme ile yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış 4140 çelik için gerilme-çevrim sayısı eğrisi

#### 4. Tartışma ve Sonuç

İyon nitrüleme ile yüzey sertleştirme yönteminin, AISI 4140 çeliğinin yorulma dayanımı üzerine etkileri deneysel çalışmalar ile saptanmaya çalışılmıştır. Hem orijinal numunelere hem de yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış numunelere, dönen eğmeli yorulma deneyleri yapılmıştır.

Herhangi bir yüzey işlemi uygulanmamış (orijinal numune) AISI 4140 çeliğinin ortalama sertliği 221 HV'dir.

Yüzey sertleştirilmesi yapılan numunelerin sertlik değerleri de ölçülmüştür. 18 saat iyon nitrüleme işlemi uygulanan numunenin yüzey sertliği ortalama 522 HV, 19,5 saat iyon nitrüleme işlemi uygulanan numunenin yüzey sertliği ortalama 557 HV olarak ölçülmüştür. İyon nitrüleme işlem süresinin artması, yüzey sertliğini yaklaşık % 6 oranında arttırmıştır.

İyon nitrüleme ile yüzeyi sertleştirilen numunelerin kırılincaya kadar daha fazla devir sayısı yaptıkları saptanmıştır.

Orijinal numuneler hariç diğer numunelerde yorulma limiti sınırı 300 MPa değerinin altında çıkmaktadır. Bu sonuç, numunelerin 300 MPa gerilme değerinin altındaki yüklemelerde, yorulma dayanımının yüksek olduğunu göstermektedir. Yorulmaya çalışan parçaların boyutlandırılmasında bu sınır değer göz önüne alınmalıdır.

Deneyler göstermiştir ki, genlik gerilmesi azaldıkça, malzemenin kırılma tekrar sayısı artmaktadır.

19,5 saat iyon nitrüleme işlemi uygulanmış numunelerle 18 saat iyon nitrüleme işlemi uygulanmış numunelerin yorulma dayanımlarında fazla bir fark olmadığı ancak, hiç bir işlem görmeyen numunelere göre, yorulma dayanımlarında belirgin bir artış olduğu saptanmıştır.

## 5. Teşekkür

Deneylerde kullanılan SAE 4140 çeliğinin temininde, Erdem Ticaret firmasından Bülent ERDEM'e, iyon nitrüleme işlemlerini yapan İNS Isıl İşlem Makina Oto. San. ve Tic. Ltd. Şti firma yetkilisi, Necati ALTUN'a, teşekkürlerimizi sunarız.

## 6. Kaynaklar

Ayhan,Ç., Alsaran A, Karakan,M., 2002, Plazma ile Termokimyasal Yüzey İşlemleri, Mühendis ve Makine, Cilt 43, Temmuz 2002 - Sayı 510,1-7.

Baycık, H., 2002, İyon Nitrüleme ve Çeliğin Özelliklerine Etkisi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 8, Sayı: 1, 19-25

Çelik, Ş., A., 1995. Sementasyon İşleminin Yorulma Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta 67s.

Çökelek, M., 2001. Islah Çeliklerinde, Isıl İşlem Parametrelerinin Yorulma Limitine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta., 145s.

Eker, A. A. 2008. Yüzey Sertleştirme İşlemleri. <http://www.scribd.com/doc/38624856/Yuzey-Sertlestirme-Islemleri>. (Erişim Tarihi: 06.05.2011).

İğdil M. C., Tosun, M., Trabzon, L., 2012, Plazma Nitrüleme İşleminin 316L Ostenitik Paslanmaz Çeliğinin Malzeme Özelliklerine Mikro Ve Nano Etkisi. Cilt 53, Sayı: 630 , Mühendis ve Makine, 54-68.

İyon Nitrüasyon (Plazma Nitrüleme) ile Yüzey Sertleştirme [http://www.insisilislem.com/index.php?pg=hizmet&hizmet\\_id=1](http://www.insisilislem.com/index.php?pg=hizmet&hizmet_id=1) (Erişim Tarihi: 26.04.2014)

Kahraman, F., Karadeniz, Ö., Durmuş, H., 2009. Plazma Nitrülenmiş Wiroloy Nikel-Krom Alaşımının Sertlik Değişiminin Yapay Sinir Ağları İle İncelenmesi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, K.Ü.,(IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük,1-4.

Krauss, G., 1980. Principles of Heat Treatment of Steel, American Society for Metals, Ohio, 291pp.

Özdemir, U., Erten, M., 2003. Plazma (İyon) Nitrüleme Yöntemi ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt 1 Sayı 2, 41-48.

Plazma parametreleri- <https://docs.com/O2T2> (Erişim tarihi: 04.05.2014).

Sevil, C., 2008. Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin İyon Nitrüasyonu, Yüksek Lisans Tezi T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 67s.

Şirin, Ş. Y., 2004. İyon Nitrüleme Yüzey Sertleştirme Isıl İşleminin AISI 4340

Çeliğinin Yorulma Dayanımına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 180s.

Yılmazer, H., 2008. Titanyum ve Titanyum Alaşımlarının Yüzey Özelliklerinin Plazma (İyon) Nitrürleme ile Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 68s.