

İYON NİTRÜRLEME VE ÇELİĞİN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Handan BAYCIK

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 67100/Zonguldak

Geliş Tarihi : 26.01.2001

ÖZET

Yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirerek yapılan nitürleme, termokimyasal bir yüzey sertleştirme yöntemidir. Yüzeyde ince, sert bir nitür tabakası oluşur. Bu tabaka, iki kısımdan oluşur. Dıştaki tabakaya beyaz tabaka (bileşik tabaka), içtekinin ise difüzyon tabakası denir. Nitürleme yöntemleri, gaz, sıvı ve iyon nitürleme olmak üzere üç grupta incelenir. Gaz nitürleme işlemi amonyak kullanılarak yapılır. Amonyak gazından ayrılan azotun çeliğin demir ve alaşım elementleri ile reaksiyona girerek oluşturduğu nitürler ince tanelidir. Sıvı nitürleme, NaCN içeren tuz banyolarında yapılır. Siyanürdeki (CN) azot ve karbonun bir kısmı çeliğe yayılır. Yapıda nitürlerden başka ϵ -karbonitürü vardır. İyon nitürlemede azot ve genellikle hidrojen gibi bir gaz karışımı kullanılır. Azot, çeliğin demir ve alaşım elemanları ile reaksiyona girer ve sertleşmeyi sağlayan nitürler oluşur. Bu çalışmada, X40CrMoV51 sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Çeliğe önce su verme ve temperleme, sonra iyon nitürleme yapılmıştır. Daha sonra, bu çeliklerin sertlik değerleri ile X-ışını difraksiyon analizleri incelenmiştir. İyon nitürlenmiş çeliğin yüzey sertliğinin, yalnızca su verilmiş ve temperlenmiş çeliğinkinden yaklaşık olarak iki kat daha fazla olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Nitürleme, İyon nitürleme, Sıcak iş takım çeliği, Sertlik

ION NITRIDING AND THE INFLUENCE OF THE PROPERTIES OF THE STEEL

ABSTRACT

The nitriding performed to change the chemical composition of the surface is the method of a thermochemical surface hardening. Fine, hard nitrided case consist of two zones at the surface; The outer one white layer (compound layer), the inner one diffusion layer. The nitriding methods are determined at three groups as gas, salt and ion nitriding. Gas nitriding process is performed using ammonia. The nitrogen decomposing from the ammonia gas reacts with the iron and the alloy elements of the steel and nitrides that ensure have fine grain. Salt nitriding is performed at the salt bath that consists of NaCN. Part of the nitrogen and carbon of the cyanide is diffused to the steel. The structure consists not only of nitride but also ϵ -carbonitride. A gas mixture of nitrogen and hydrogen is usually used in the ion nitriding process. The nitrogen reacts with the iron and alloy elements of the steel and nitrides that ensure hardening exist. In this study, X40CrMoV51 hot work tool steel is used. First, the quenching and tempering, later the ion nitriding is performed to the steel. Then, hardness values and X-ray diffraction analyses of these steels are determined. It is found that the surface hardness of ion nitrided steel is approximately twice higher than that of quenched and tempered steel.

Key Words : Nitriding, Ion nitriding, Hot work tool steel, Hardness

1. GİRİŞ

Çalışmanın amacı, iyon nitürleme işleminin çeliğin özelliklerine etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaç ile önce işlem tanıtılmıştır (Kowacs and Russel, 1986).

Daha sonra, işlem ile çelikte oluşan tabakalar ve bu tabakalardaki nitür fazları incelenmiştir (Cho and Lee, 1980; Kowacs and Russel, 1986; Spalvins, 1989; Li, 1989; Spalvins, 1993; Karamış ve

Gerçekçiöğlü, 1993). Ayrıca nitrür fazlarını oluşturan alaşım elementleri açıklanmış ve bu alaşım elementlerinin çeliğin sertliğine, iyon nitrürleme tabaka derinliğine etkileri verilmiştir (Robino and İnal, 1983; Karamış ve Gerçekçiöğlü, 1993; Sun and Bell, 1997).

Çeliğin özelliklerini iyon nitrürleme faktörleri değiştirmektedir. Bundan dolayı, çalışmada işleme zaman ve sıcaklık etkisi araştırılmıştır (Cho and Lee, 1980; Robino and İnal, 1983; Özbaysal et al., 1986; Peng, 1989; Sun and Bell, 1991; Duh and Lin, 1993; Karamış ve Gerçekçiöğlü, 1993; Sun and Bell, 1997). Ayrıca, iyon nitrürlemede gaz akış debisi, basınç ve gaz bileşiminin etkileri araştırılmıştır (Cohen et al., 1986; Sun and Bell, 1991; Spalvins, 1993).

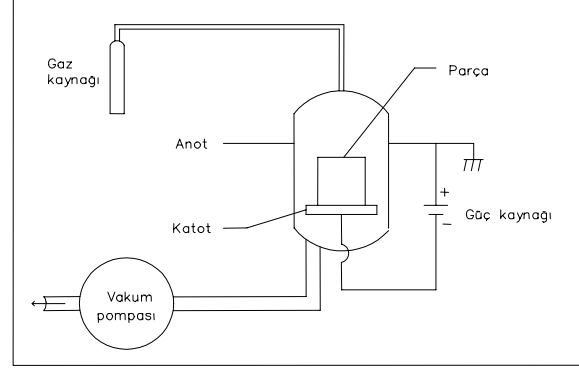
Sonra, AISI H13 (DIN X40CrMoV51) (DIN 1.2344) sıcak iş takım çeliğine önce su verme ve temperleme işlemi yapılarak kimyasal analiz, X-ışını difraksiyonu ve mikrosertlik ölçümü; daha sonra aynı çeliğe iyon nitrürleme işlemi yapılarak X-ışını difraksiyonu ve mikrosertlik ölçümü yapılmıştır (Baycık, 1999). Çalışmada son olarak iyon nitrürleme işleminin uygulama örnekleri incelenmiştir (Kowacs and Russell, 1986; Lidster and Pigott, 1989; Karamış, 1990; Tamer, 1996; Baycık, 1999). Sonuçlarda ise azot difüzyonu ve nitrür oluşumu irdelenerek sertlik etkisi araştırılmıştır (Özbaysal ve İnal, 1986; Stappen et al., 1991; Sun and Bell, 1991; Baycık, 1999).

2. İYON NİTRÜRLEME

İyon nitrürleme, metallerin yüzey sertleştirilmesinde kullanılan bir işlemdir. Şekil 1'de iyon nitrürleme donanımının şematik görünüşü verilmektedir (Kowacs and Russell, 1986). Nitrürlemeye başlamadan önce parça yüzeyinin temizlenmesi gereklidir. Bu amaçla, argon veya hidrojen gibi bir gaz kullanılır. İşlem, kap vakuma alındıktan sonra, işlem sıcaklığına ulaşıncaya kadar, düşük basınç ve yüksek gerilimde parça yüzeyinde iyon bombardımanı oluşturularak yapılır. Bu işleme saçılma (sputtering) adı verilir.

İşlemden gaz olarak azot ve genellikle hidrojen kullanılır. Bu karışım, yaklaşık 1.3 ile 13.3 Pa (1-10 Torr) basınç altındaki bir vakum kabında iyonlaşır. Yöntem, iyonlaşan gazların malzeme yüzeyine bombardıman edilmesidir. Azot ve hidrojen gazları vakum kabına verildiğinde malzeme yüzeyinde akım boşalımı (glow discharge) oluşur. İyonlaşmış

gazların malzemeye çarpmaları sonucunda da mor bir ışığa görülür. Buna mor akım - purple glow adı verilir. Vakum kabına malzeme katot (negatif kutup) olacak şekilde yerleştirilir. Malzeme ile kap arasında 1000 Voltluk bir gerilim uygulanarak plazma oluşur.

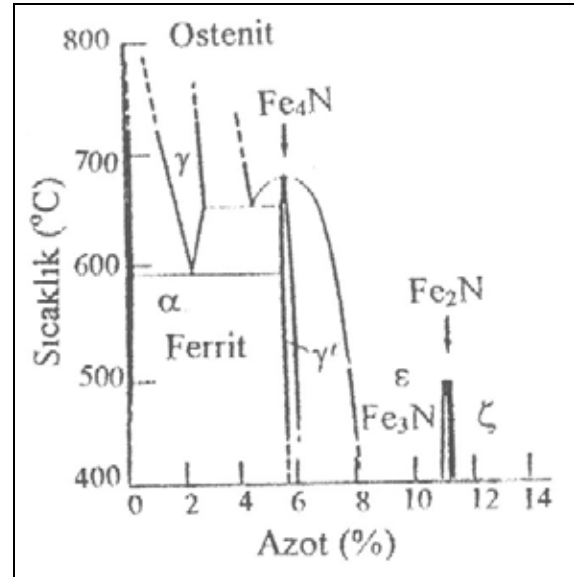


Şekil 1. İyon nitrürleme donanımının şematik görünüşü (Kowacs and Russell, 1986).

2. 1. İyon Nitrürleme ile Oluşan Faz Yapıları

İyon nitrürleme yönteminde, yüzeyde iki tabaka oluşmaktadır. Dıştaki tabaka beyaz tabaka (compound layer), içteki tabaka ise difüzyon tabakasıdır (diffusion zone).

Fe-N denge diyagramına göre, % 5.7 - 6.1N arasında YMK kafes yapısında Fe_4N fazı; % 11-11.35N arasında hegzagonal kafes yapısında $Fe_{2-3}N$ fazı oluşur (Spalvins, 1993). Fe-N denge diyagramı Şekil 2'de görülmektedir (Stahlschlüssel, 1983).



Şekil 2. Fe-N denge diyagramı (Stahlschlüssel, 1983)

İyon nitritlemenin temel reaksiyon mekanizması, saçılan demirin azot atomları ile reaksiyona girmesi ve kararlı olmayan FeN oluşturmasıdır (Spalvins, 1989). Bu mekanizma dört aşamada gerçekleşir (Kwon et al., 1986):

1. aşama : $e \Rightarrow N = N^+ + 2e$
2. aşama : $N^+ \Rightarrow \text{Katot} \Rightarrow \text{Saçılan Fe}$
3. aşama : $\text{Saçılan Fe} + N \Rightarrow \text{FeN}$
4. aşama : $\text{Katot yüzeyinde FeN oluşumu}$

Oluşan FeN kararlı değildir ve Fe_2N , Fe_3N ve Fe_4N olarak ortaya çıkar. Ayrıca, oluşan Fe_4N metalde var olan Fe_3C ile $\text{Fe}_3\text{CFe}_4\text{N}$ haline, daha sonra seri reaksiyonlar ile beyaz tabaka, $\text{Fe}_3\text{CFe}_4\text{N} \Rightarrow \text{Fe}_3\text{CFe}_3\text{N} \Rightarrow \text{Fe}_{2-3}\text{N}$ haline gelebilir (% 0.35C'li düşük alaşımlı çeliğe 500 °C sıcaklık altında 5 Torr basınçta 3 saat iyon nitritleme yapılmıştır) (Cho and Lee, 1980). Yüzey yakınındaki azot iyonlarının bazıları metale yayılır, kalanı ise dolaşan gaza geri döner.

Genellikle % 5'den daha az azot ve hidrojen karışımında beyaz tabaka oluşmaz. % 15-30 azot ve hidrojen karışımında γ' fazı (Fe_4N), yaklaşık olarak % 60-70 azot, % 1-3 metan ve hidrojen karışımında ise genellikle ϵ fazı (Fe_{2-3}N) oluşur (Kovacs and Russell, 1986).

γ' - Fe_4N tek fazı, ince kristal tanesine sahiptir. γ' - Fe_4N 'de yüksek yoğunlukta dislokasyon, yığılma hataları ve ikiz alt yapısı vardır. Sürekli iyon bombardımanından dolayı, sürekli olarak büyük miktarda nokta hataları görülür ve grup nokta hataları daha büyük olduğundan bir dislokasyon

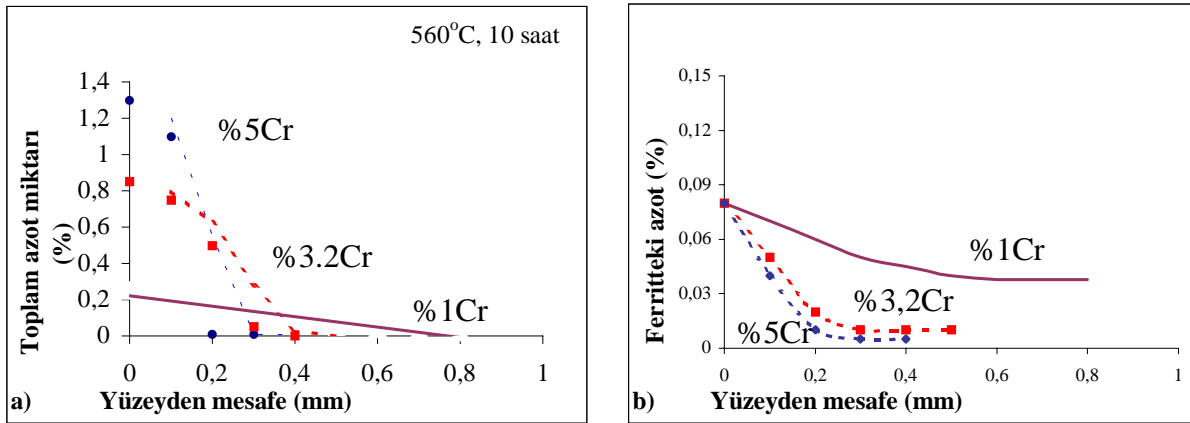
boşluğuna toplanabilir. Bundan dolayı, kafes boşlukları, küçük dislokasyon boşlukları ve dislokasyon ağları oluşur (Li, 1989).

$\epsilon + \gamma'$ çift faz tabakası ise, γ' kristalinin arasında dağılan paralel çizgi şeklindeki ϵ - Fe_{2-3}N 'den oluşur. Yüksek yoğunluklu kristal hataları, tek fazın dayanım ve tokluğunu artırır ve çift faza göre daha büyük dayanım-tokluk verir. İnce, γ' - Fe_4N faz yapısındaki tabaka diğerleri arasında en sünek olanıdır (Karamış ve Gerçekçioğlu, 1993).

2. 2. Nitrit Oluşturan Alaşım Elementleri ve Etkileri

Çeliklerde kullanılan Al, Cr, Mo, V gibi alaşım elementleri nitrit oluşturmada en etkili elementlerdir. Mo ilave edildiğinde nitritleme sıcaklığında kırılma riski azalır. Ni, Cu, Si ve Mn gibi diğer alaşım elementleri nitritleme özellikleri üzerinde daha az etkiye sahiptirler. Al çok kuvvetli nitrit oluşturan bir elementtir. Bu etki özellikle Al içerikli çeliklerde (% 0.85-1.5Al) daha iyi görülür ve çok iyi nitritleme sonuçları sağlar (Karamış ve Gerçekçioğlu, 1993). Ayrıca V, gerçekten güçlü bir nitrit yapıcıdır (Robino and İnal, 1983).

Yüksek kromlu çeliklerde, CrN çökeltilerindeki azotun çoğunun nitrit tabakasında olduğu ve tabakadaki toplam azot için ferritte çözünen azot dağılımının ihmal edilecek şekilde küçük olduğu literatürde ifade edilmektedir (Sun and Bell, 1997). Alaşım elementi kromun yüzeyden mesafeye bağlı olarak çözüntüdeki toplam azot miktarına ve ferritteki azot miktarına etkisi Şekil 3'de görülmektedir.

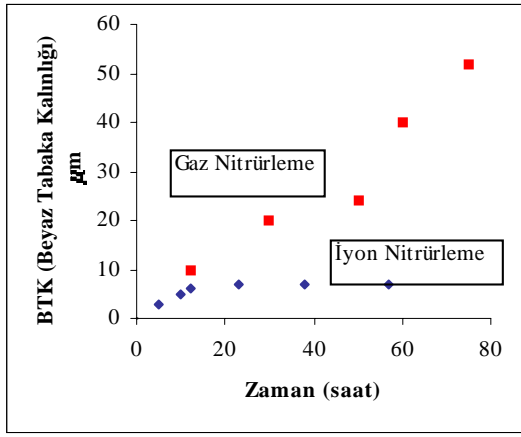


Şekil 3. a) Çözüntüdeki azot, b)çeşitli Cr-yatak çelikleri için hesaplanan toplam azot miktarları (Sun and Bell, 1997)

3. İYON NİTRÜRLEME FAKTÖRLERİNİN ÇELİĞİN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

3. 1. Zaman ve Sıcaklık Etkisi

İşlem zamanı ve işlem sıcaklığı arttıkça nitrür tabaka derinliği artmaktadır (Duh and Lin, 1993). İşlem zamanı arttıkça beyaz tabaka kalınlığı gaz nitrürlemede hızlı olarak artarken iyon nitrürlemede yaklaşık 10 saatten sonra sabit kalmaktadır (Karamış ve Gerçekçioğlu, 1993). Zamanın fonksiyonu olarak beyaz tabaka kalınlığının değişimi Şekil 4’de görülmektedir.

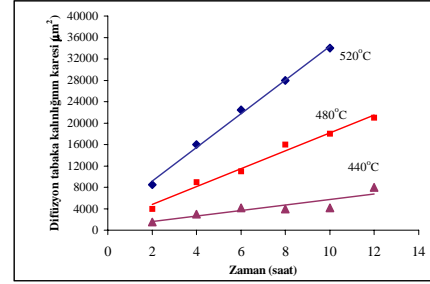


Şekil 4. Zamanın fonksiyonu olarak beyaz tabaka kalınlığının değişimi (Nitalloy 135M çeliği - % 0.42 C, 0.64 Mn, 0.011P, 0.011 S, 0.36 Si, 1.60 Cr, 0.32 Mo, 1.18 Al) (Karamış ve Gerçekçioğlu, 1993)

Sertlik eğrisi, işlem zamanına bağlı olarak farklı davranış gösterir. Nitrürlenmiş malzemenin sertliği nitrür tabaka kalınlığına ve tane boyutuna bağlıdır. İşlem zamanı çok uzun olursa, tane boyutu nispeten küçük ve nitrür tabakası nispeten kalın olduğunda, malzemeye ve işlem şartlarına bağlı olarak belirli bir sıcaklıkta (örneğin, yapılan çalışmada 450 °C’de) maksimum sertlik elde edileceği düşünülmektedir (Cho and Lee, 1980). İşlem sıcaklığı arttıkça yüzey sertliği artmakta, fakat belirli bir sıcaklık değerinden sonra sertlikte düşüşler ortaya çıkmaktadır (Robino and İnal, 1983; Sun and Bell, 1991).

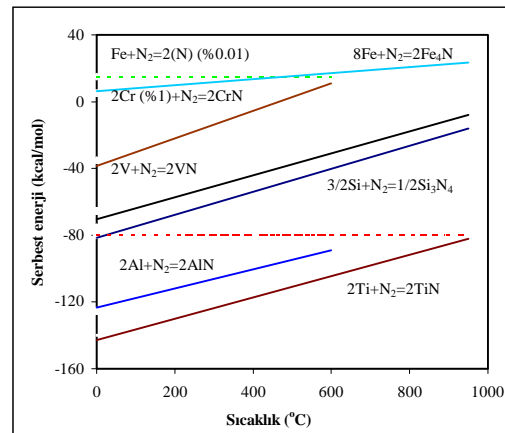
Nitrür boyutu ve dağılımı, kuru aşınma mekanizmasını etkiler. Nitrür yalnızca yüksek sertliğe sahip değil, aynı zamanda düşük sürtünme katsayısına sahiptir. İyon nitrürlenmiş deney parçalarında beyaz tabaka, plastik şekil değiştirmeye direnç gösterir. Sertlik arttıkça aşınma çok azalır. İyon nitrürleme işleminden sonra, nitrür boyutu ve dağılımı ince ve homojendir (Peng, 1989).

Şekil 5’de X40CrMoV51 çeliğinin iyon nitrürleme zamanının fonksiyonu olarak farklı iyon nitrürleme sıcaklıklarında difüzyon tabakasının karesine etkisi görülmektedir. Şekilden anlaşıldığı gibi, zaman arttıkça difüzyon tabakası artmakta, sıcaklığa bağlı olarak da zaman ve sıcaklık arttıkça difüzyon tabakası daha fazla artmaktadır (Özbaysal ve İnal, 1986)



Şekil 5. X40CrMoV51 çeliğinde değişik iyon nitrürleme sıcaklıklarında zamanın difüzyon tabaka kalınlığının karesine etkisi (10 Torr, %5-25N₂) (Özbaysal ve İnal, 1986).

Azot gazı ve saf metal arasındaki reaksiyonlardan oluşan nitrürler için çok fazla veri olduğu bilinmektedir (Sun and Bell, 1997). Bununla birlikte, literatürde, çözünen azot ve alaşım elementleri arasındaki reaksiyonlar hakkında çok az veri olduğu ifade edilmektedir. Bundan dolayı, azot gazı ve saf metal arasındaki reaksiyonun serbest enerjisinden, azot gazı ve çözünen alaşım elementleri arasındaki reaksiyon için serbest enerji (azot potansiyeli) tahmin edilmiştir. Şekil 6’da, sıcaklığın fonksiyonu olarak, azot gazı ve çözünen alaşım elementleri arasındaki çeşitli reaksiyonların serbest enerji eğrileri görülmektedir.



Şekil 6. Çeşitli nitrürlerin hesaplanan serbest enerji diyagramı (Sun and Bell, 1997)

3. 2. Gaz Akış Debisi, Basınç ve Gaz Bileşiminin Etkisi

Gaz akış debisi arttıkça beyaz tabaka kalınlığı ve difüzyon tabaka kalınlığı artmaktadır. Basınç arttıkça difüzyon tabaka kalınlığı artmakta, beyaz tabaka kalınlığı ise azalmaktadır (Cohen et al., 1986).

Gaz bileşimindeki N₂ oranının azalması demir nitrür tabaka kalınlığında önemli bir azalmaya neden olur. Bundan dolayı, yüksek kalitede ve istenilen kalınlıkta demir nitrür tabakası N₂ ve H₂'nin oranları ile sağlanabilir. Bununla beraber, demir nitrür tabaka kalınlığının artışının nitrürlemenin ilk bir kaç saati için zamana bağlılığı paraboliktir, daha sonra daha fazla bir artış göstermemiştir (Sun and Bell, 1991).

4. YAPILAN DENEYLER

Yapılan çalışmada X40CrMoV51 sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Çeliğe, 350°-400°C'de birinci ön ısıtma, 800°-820 °C'de nötr ortamda ikinci ön ısıtma, 1040°C'de ostenitleme, 500°-520 °C'de sıcak banyoda su verme ve 560 °C'de 3 kere 2 saat

süreyle temperleme uygulanarak su verme ve temperleme işlemi yapılmıştır.

Çeliğin kimyasal bileşim analizi için ARL 3460 spektrometresi, iç yapı analizi için X-ışını difraksiyonu kullanılmıştır. Difraksiyon, 40kV gerilim, 20mA akım, CoK_α ışını kullanarak 6-80° arasında, 10°/dak tarama hızı ile yapılmıştır. Kullanılan X-ışını difraksiyonu cihazı Rigaku 2050/32 (RINT X-Ray Diffractometer)'dir (Baycık, 1999).

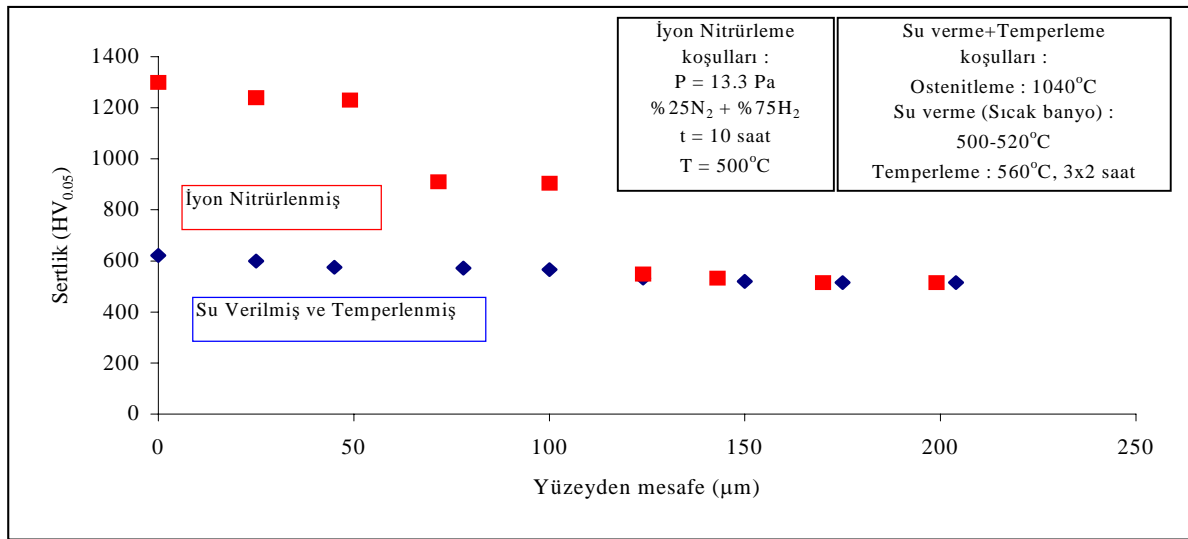
Su verme ve temperleme yapılmış çeliğin kimyasal bileşimi Tablo 1'de görülmektedir (Baycık, 1999). X-ışını difraksiyonunda ise α-Fe, Fe₃C ve Cr₇C₃ saptanmıştır.

Daha sonra, su verilmiş ve temperlenmiş çeliğe, 500°C sıcaklık, 13.3 Pa basınç, %25N₂ + %75H₂ gaz karışımı altında 10 saat süreyle iyon nitrürleme işlemi yapılmıştır. X-ışını difraksiyonunda, α-Fe, Fe₃C, Fe₂N, Fe₃N, Fe₂₋₃N karışık fazı saptanmıştır. Su verme ve temperleme işleminden ve iyon nitrürleme işleminden sonra, çeliklerin yüzey sertlikleri ve yüzeyden içeri doğru sertlikleri ölçülmüştür (Şekil 7) (Baycık, 1999).

Tablo 1. Su verme ve Temperleme Yapılmış X40CrMoV51 Çeliğinin Kimyasal Bileşimi (Baycık, 1999)

Malzeme	% C	% Mn ₂	% P	% S	% Si	% Cu	% Cr	% Ni	% Mo
Su verilmiş ve temperlenmiş X40CrMoV51	.3750	.3857	.0213	.0045	.9703	.1159	4.950	.2945	1.273

Malzeme	% Sn	% Al	% As	% Ca	% Ta	% V	% W	% Co	% Fe+
Su verilmiş ve temperlenmiş X40CrMoV51	.0108	.0274	.0107	.0006	.0254	.9494	.0656	.0182	90.53



Şekil 7. X40CrMoV51 çeliğinin yüzeyden içeri doğru sertlik değişimi (Baycık, 1999)

5. İYON NİTRÜRLEMENİN UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Almanya, Fransa, Avusturya ve Japonya'da üretilen plastik işleme makinalarının silindirleri ve helezonları iyon nitrürleme ile sertleştirilmektedir (Karamış, 1990). Bu parçaların yapımında kullanılan çelikler 31CrMo12, 34CrAlMo5 veya X35CrMo17 gibi nitrürasyon çelikleri veya paslanmaz çeliklerdir. 530 °C'de 24 saat iyon nitrürleme ile bahsedilen helezonların ömrü, gaz atmosferinde yapılarına göre dikkate değer bir şekilde, çelik tipine bağlı olarak 3-10 kere uzatılmıştır. Yine 31CrMo12 (En40B) çeliğinden yapılmış toz karıştırma helezonlarının 500 °C'de 30 saat iyon nitrürlenmesi ile yüzey sertliği 890 HV₃₀'a ulaşmış ve tozların sebep olduğu abrasif aşınmaya karşı ömrü arttırılmıştır.

Sıcak dövme kalıbında kullanılan su verilmiş ve temperlenmiş X40CrMoV51 çeliğinin yüzey sertliği 621 HV_{0.05} iken bu çeliğe 500 °C sıcaklıkta 13.3 Pa basınç altında % 25N₂ + % 75H₂ gaz karışımı kullanarak 10 saat süreyle iyon nitrürleme yapıldığında çeliğin yüzey sertliği 1300 HV_{0.05}'e yükselmiştir (Baycık, 1999).

Nitrürlenmemiş X40CrMoV51 çeliğinden imal edilen sıcak dövme kalıpları ile yapılan ömür deneylerinde dövme sayısı 2000 civarında iken 460-480°C sıcaklıkta, 13.3 Pa basınç altında, % 20N₂ + %80H₂ gaz karışımında, 10 saat iyon nitrürleme yapılan kalıplarda aynı şartlarda ömür 18000 civarına çıkmıştır. Bu, iyon nitrürlemenin kalıp ömrünü 9-10 kat artırdığını göstermektedir (Tamer, 1996).

Enjeksiyon kalıp makinası endüstrisinde distribütör (42CrMo4), plastik kalıp endüstrisinde sıkıştırma kalıbı ve büyük enjeksiyon kalıbı (40CrMnNiMo864), basma endüstrisinde büyük çekme kalıpları (X155CrVMo12 2), dövme endüstrisinde sıcak iş kalıpları ve alüminyum ekstrüzyon endüstrisinde ekstrüder kalıbı (X40CrMoV51) yapımında kullanılır (Lidster and Pigott, 1989).

Otomotiv endüstrisinde valf, krank mili, dişli, dövme kalıpları; savunma endüstrisinde silah namlusu, top kuyruk kaması, roket atış rayı; kağıt endüstrisinde kesme ve ayırma bıçağı, doktor bıçağı, kıvrım haddeleri yapımında kullanılır (Kovacs and Russell, 1986).

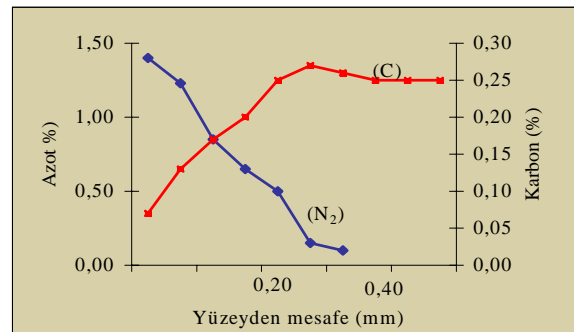
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İyon nitrürleme faktörlerinin çeliğin özelliklerine etkisi önemli bir araştırma konusudur. Bir

çalışmada, zaman ve sıcaklık arttıkça nitrür tabaka derinliğinin arttığı (Duh and Lin, 1993), başka bir çalışmada da belli bir süreden sonra tabaka kalınlığının artmadığı verilmiştir (Karamış ve Gerçekçioğlu, 1993). Diğer bir çalışmada, karbon miktarları değiştirilerek iyon nitrürleme yapılan çeliklerde, % C miktarı arttıkça sertliklerinin arttığı iddia edilmiştir (Sun and Bell, 1991). Bir çalışmada da, gaz akış debisinin artmasının nitrür tabaka derinliğini arttırdığı ifade edilmiştir (Cohen et al., 1986). Basıncın artması ise, difüzyon tabaka kalınlığını artırmakta, beyaz tabaka kalınlığını ise azaltmaktadır (Cohen et al., 1986).

İyon nitrürleme işlemi ile çelikteki Al, Cr, Mo, V gibi bazı alaşım elementlerinin nitrür oluşturduğu bilinmektedir. Örneğin, alaşım elementi kromun yüzeyden mesafeye bağlı olarak çözüldüğü toplam azot miktarına ve ferritteki azot miktarına etkisi literatürde verilmiştir (Sun and Bell, 1997). % Cr miktarının artması toplam azot miktarının artmasına, ferritteki azot miktarının ise azalmasına neden olduğu Şekil 3'de görülmektedir. Bununla birlikte, çözünen azot ve alaşım elementleri arasındaki reaksiyonlar hakkında çok az veri olduğu ifade edilmektedir (Sun and Bell, 1997). Sistemin minimum enerji ile kararlı yapıda olduğu dikkate alındığında, Şekil 6'da, AlN'nin kararlı, VN ve CrN'nin yarı kararlı, Fe₄N'nin ise kararsız yapıda olduğu söylenebilir.

İyon nitrürlemede azot difüzyonu ve nitrür oluşumu en önemli konulardan bir tanesidir. Küçük tane boyutu ve yüksek dislokasyon yoğunluğuna sahip martenzit iğnecikleri çelikte yüksek azot difüzyonuna neden olur (Özbaysal ve İnal, 1986, Stappen et al., 1991). Ayrıca azot, nitrür difüzyon tabakasında karbon ile yer değiştirir (Sun and Bell, 1991). Bu yer değişiminin malzemenin yüzeyden mesafesinin bir fonksiyonu olduğu iddia edilmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. İyon nitrürlenmiş (520 °C, 10 saat) 31CrMo12 çeliğinin yüzeyden itibaren azot ve karbon miktarları (Sun and Bell, 1991)

Bu bilginin ışığında, azot miktarının fazla olduğu yüzeyde sertliğin yüksek olması, yüzeyden içeri doğru gittikçe de azot miktarının azalması ve dolayısıyla sertliğin düşmesi gerekmektedir. Su verilmiş ve temperlenmiş X40CrMoV51 sıcak iş çeliğinin yüzey sertliği 621 HV_{0.05}, aynı çeliğe iyon nitrürleme yapıldığında ise yüzey sertliğinin 1300 HV_{0.05}'e yükseldiği ve yüzeyden mesafe arttıkça sertliğin düştüğü, 175 µm derinlikte ise sertlik değerlerinin değişmediği Şekil 9'da görülmektedir. Şekil 7 ve Şekil 8'de verilen eğriler aynı dağılımı göstermektedir. Dolayısıyla, azot miktarının fazla olduğu yüzeyde sertliğin yüksek olduğu, yüzeyden içeri doğru gittikçe de azot miktarının azalması ile sertliğin düştüğü anlaşılmaktadır.

Çeliklere iyon nitrürleme işlemi uygulandığında sertliklerinin önemli miktarda arttığı bilinmektedir. Bundan dolayı, sertliğin önemli olduğu iş parçalarında iyon nitrürleme yapılması ömür artışı için çok önemlidir.

6. KAYNAKLAR

Baycık, H. 1999. İyon Nitrürlenmiş H13 Sıcak İş Çeliğinin Sıcaklık ve Zamana Bağlı Olarak Sertlik Değerlerinin Değişimi, Doktora tezi, İTÜ, İstanbul.

Cho, K. S., Lee, C.O. 1980. The effects of Carbon on İon-nitriding, Transactions of the ASME, Journal of the Engineering Materials and Technology, V.102, 229-233.

Cohen, A., Boas, M. and Rosen, A. 1986. The Influence of İon Nitriding Parameters on the Hardness Layer of 15-5 ph Stainless Steel, Thin Solid Films,141, 53-58.

Duh, J. G., Lin, S. C. 1993. Nitriding Behaviour in Fe-Al-Mn-Cr-C Alloys at 1000-1100 Degree C, Journal of Materials Science, V28, N22, 5975-5980.

Karamış, M. B. 1990. "İyon Nitrürleme Esasları ve Çeliklere Uygulanması", **4.Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi**, ODTÜ, Ankara.

Karamış, M. B., Gerçekçioğlu, E. 1993. "Plazma Nitrürlenmiş Paslanmaz Çeliklerin Yüzey Tabaka Özellikleri", **5. Denizli Malzeme Sempozyumu**, Denizli.

Kowacs, W., Russell, W. 1986. "An Introduction to İon nitriding-What is it? Why is it Used? Where is it Used?", **First İon Nitriding International Conference**, Cleveland-Ohio, USA, 9-17

Kwon, S.C., Lee, G.H. and Yoo, M. C. 1986. "A Comparative Study Between Pulsed and D. C. İon

Nitriding Behaviour İn Specimens With Blind Holes", **First İon Nitriding International Conference**, Cleveland-Ohio, USA, 15-17 September, 77-82.

Li, F. 1989. "On Micro-Structure Of İon-Nitrided Layer", **Proceedings of ASM's 2nd International Conference on İon Nitriding/Carburising**, Cincinnati, Ohio, USA.

Lidster, P.C., Pigott, G. 1989. "İon Nitriding Of Cold Forging Die Alloys", **Proceedings of ASM's 2nd International Conference on İon Nitriding/Carburising**, Cincinnati, Ohio, USA.

Özbaysal, K., İnal, O.T. 1986. Structure and Properties Of İon-Nitrided Stainless Steels, Journal of Materials Science, 21, 4318-4326.

Özbaysal, K., İnal, O.T. and Romig, A.D. 1986. İon-Nitriding Behaviour Of Several Tool Steels, Materials Science & Engineering, 78, 179-191.

Peng, Q. F.1989. Improving Abrasion Wear By Surface Treatment, Wear, 129, 195-203.

Robino, C. V., İnal, O. T. 1983. İon Nitriding Behaviour Of Several Low Alloy Steels, Materials Science and Engineering, 59, 79-90

Spalvins, T. 1989. "Advances and Directions Of İon Nitriding/Carburizing", **Proceedings of ASM's 2nd International Conference on İon Nitriding/Carburising**, Cincinnati, Ohio, USA.

Spalvins, T. 1993. Tribological and Microstructural Characteristics Of İon-Nitrided Steels; Thin Solid Films, 108, 157-163

Stappen, M., Malliet, B., Stals, L., Schepper, L., Roos, J. R. and Celis, J. P. 1991. Characterization of TiN Coatings Deposited on Plasma Nitrided Tool Steel Surfaces, Materials Science and Engineering, A140, 554-562.

Stahlschlüssel, 1983. Foundations of Theoretical Mechanics, Springerlag, p. 185.

Sun, Y., Bell, T. 1991. Plasma Surface Engineering of Low Alloy Steel, Materials Science and Engineering, A140, 419-434.

Sun, Y., Bell, T. 1997. A Numerical Model of Plasma Nitriding of Low Alloy Steel, Materials Science and Engineering, A224, 33-47.

Tamer, M. 1996. İyon Nitrürleme ile Sıcak Dövme Kalıplarının Ömrünün Artırılması, Doktora tezi, İTÜ, İstanbul.