



**AZ ALAŞIMLI ÇELİKLERDE KARBON MİKTARININ PLAZMA  
NİTRÜRASYONU DAVRANIŞINA ETKİSİ**

**(EFFECT OF CARBON CONTENT ON THE PLASMA NITRIDING  
BEHAVIOR OF LOW-ALLOY STEELS )**

**Serdar KARAOĞLU\***

**ÖZET/ABSTRACT**

Plazma nitrürasyonu ile çeşitli parametreler kullanılarak yüzeyi sertleştirilen, az alaşimli 16MnCr5 ve 50CrV4 çeliklerinin yapısal özellikleri; mikroskopi teknikleri, X-ışını difraksiyonu ve mikrosertlik ölçümleri kullanılarak incelenmiştir. Kimyasal bileşimleri açısından aralarındaki en büyük fark içerdikleri karbon miktarı olan bu çeliklerin incelenmesiyle, karbon miktarının yüzey sertleştirme işlemi ile oluşan iç yapıya ve mekanik özelliklere etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir.

*Structural properties of plasma-nitrided 16MnCr5 and 50CrV4 low-alloy steels were investigated using microscopy techniques, X-ray diffraction and microhardness measurements. Carbon content is the most important difference between chemical compositions of these steels. This study aims to investigate the effect of carbon content on the microstructural and mechanical properties of the case hardened materials.*

**ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS**

Plazma nitrürasyonu, Az alaşimli çelik, Mikrosertlik, X-ışını difraksiyonu  
*Plasma nitriding, Low-alloy steel, Microhardness, X-ray diffraction*

---

\* DEÜ, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bornova, İZMİR

## 1. GİRİŞ

Modern bir yüzey sertleştirme yöntemi olan plazma nitrürasyonu, günümüzde çelik, dökme demir, titanyum ve sinterlenmiş ürünlerin metalurjik, mekanik ve tribolojik özelliklerinin geliştirilmesinde geniş ölçüde kullanılmaktadır. Yöntem, konvansiyonel nitrürasyon metotlarına göre; ekonomik, çevresel ve metalurjik avantajlara sahiptir (Edenhofer, 1976; Hombeck ve Bell, 1991; Rie ve Broszeit, 1995).

Plazma nitrürasyonu işlemi azot-hidrojen gaz karışımında vakum ortamında gerçekleştirilir. Yüksek gerilim altında iyonize olan gaz iletken hale gelir. Pozitif yüklü gaz iyonları katodik (- kutba bağlanan) iş parçası tarafından çekilirler. İyonların iş parçası yüzeyini bombardıman etmesiyle nitrürleme işlemi gerçekleşir (Edenhofer, 1974). Pozitif iyonların malzeme yüzeyini bombardıman ederek yarattığı saçılma yüzeyde bir temizleme etkisi meydana getirirken, plazma ortamından malzemeye azot difüzyonunu da hızlandırır. Bu etki yüzeyi bir oksit tabakası ile kaplı olan paslanmaz çelik gibi malzemelerin yüzey işlemlerinde ayrı bir önem taşır (Grun ve Gunther, 1991).

Azot difüzyonuyla, iş parçası yüzeyinde, metalografik incelemede kolayca ayırt edilebilen iki tabaka oluşur. Yüzeydeki azotça zengin tabaka  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N ve  $\epsilon$ -Fe<sub>2,3</sub>N gibi demir-azot bileşiklerinden oluşur. Sadece birkaç mikron kalınlığında olan bileşik tabaka, dağlamadan etkilenmeyip, metalografik incelemede beyaz görüldüğü için “beyaz tabaka” olarak da anılır. Bileşik tabaka, oldukça kalın olan “difüzyon tabakası” tarafından desteklenir. Bu tabakada azot, katı eriyik olarak veya bazı özel nitrürler halinde bulunur.

Bu çalışmanın amacı, plazma nitrürasyonu ile yüzeyi sertleştirilen karbon miktarı dışında yaklaşık olarak aynı kimyasal kompozisyona sahip olan 50CrV4 ve 16MnCr5 çeliklerinin işlem değişkenlerine bağlı olarak yapısal özelliklerinin incelenmesi ve karbon miktarının etkilerinin tespit edilmesidir. Çalışma, malzemelerin yüzey sertleşme karakteristikleri ve nitrürlenmiş tabakaların yapısı üzerine yoğunlaşmıştır. Plazma nitrürasyonu işlemi uygulanan numunelerin mikroyapıları optik mikroskop ve X-ışını difraksiyonu (XRD) yöntemleri ile incelenmiştir. Ayrıca mikrosertlik ölçümleri yapılarak numunelerin sertlik profilleri çıkarılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 2.1. Malzeme

Kullanılan 50CrV4 ve 16MnCr5 çeliklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Sementasyon çeliği olan 16MnCr5 in karbon miktarının düşük olması dışında malzemelerin bileşimlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. 850 °C de 1/2 saat tavlanylıp, yağda su verildikten sonra 580 °C de 1 saat temperlenen malzemeler oda sıcaklığına kadar havada soğutulmuştur. Isıl işleminden sonra, 50CrV4 ve 16MnCr5 numuneleri karışmaması için sırası ile 14 ve 12 mm çaplara tornalanmıştır. Daha sonra, bu silindirik çubuklar 15 mm uzunlukta kesilerek numunelerin imalatı tamamlanmıştır.

Çizelge 1. Malzemelerin kimyasal kompozisyonu

Malzeme	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Al	V
16MnCr5	0.16	0.30	1.1	0.02	0.02	1.09	0.09	0.02	-
50CrV4	0.52	0.23	0.95	0.03	0.02	1.02	0.05	0.03	0.13

## 2.2. Yüzey Sertleştirme İşlemleri

Plazma nitrürasyonu ile yüzey sertleştirme işlemi laboratuvar tipi bir ünite de yapılmıştır. Yüzey sertleştirme şartlarının aynı olması için her iki malzemeden imal edilen numuneler bir arada nitrürlenmiştir. %20 Azot, %80 Hidrojen karışımı kullanılarak, 10 mbar basınç altında gerçekleştirilen plazma nitrürasyonunda işlem süresi 4 saat, sıcaklık 500 °C olarak seçilmiştir.

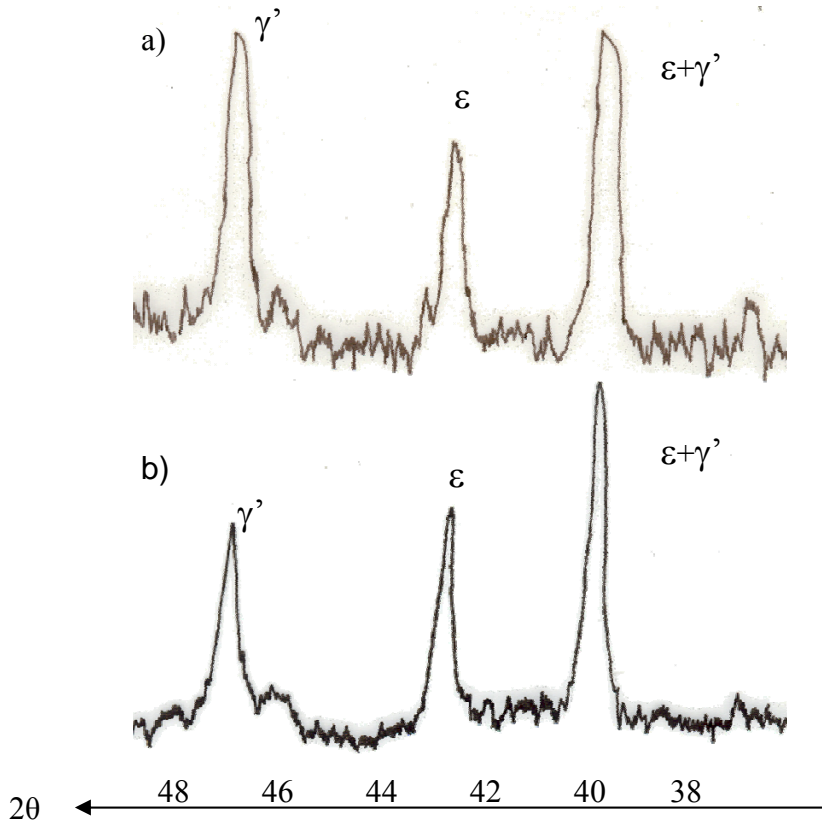
## 2.3. X-Işını Difraksiyonu, Mikrosertlik ve Mikroskopi Çalışmaları

Nitrürlenmiş yüzeylerdeki mevcut fazlar JSDx-100 S4 cihazı kullanılarak x-ışını difraksiyonu ile analiz edilmiştir.

Mikroskobik inceleme ve mikrosertlik ölçümleri için polyester kalıba alınan numunelerin yüzeyleri standart yöntemlerle parlatılıp %2'lik nital ile dağlanmıştır. Oluşan yapıların incelenmesi ve bileşik tabaka kalınlıklarının ölçümü optik mikroskop altında yapılmıştır. 80 gr yük uygulanarak gerçekleştirilen mikrosertlik ölçümleri ile numunelerin sertlik profilleri çıkarılmış, böylece ulaşılan sertlik seviyeleri ve sertleşme derinlikleri tespit edilmiştir. Difüzyon tabakası kalınlığı, sertleşmemiş göbek kısmına göre %10 daha yüksek sertliğe sahip olan noktaya yüzeyden itibaren ölçülen mesafe olarak alınmıştır.

## 3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

X-ışını difraksiyonu analizlerinde, az alaşımlı çelikler üzerinde yapılan benzer araştırmalarda olduğu gibi numunelerin bileşik tabakalarının  $\gamma'+\epsilon$  nitrürlerden oluştuğu görülmüştür (Şekil 1) (Alsaran ve Çelik, 2001; Alsaran vd., 2002; Çelik vd., 2001). Az alaşımlı olan bu malzemelerde yüzeydeki alaşım nitrürlerinin bu yöntemle tespiti zordur.



Bileşimindeki karbon miktarı daha yüksek olan 50CrV4 malzemede  $\epsilon$  nitrürün  $\gamma'$  nitrürden daha fazla olduğu, karbon miktarı az olan 16MnCr5 in yüzeyinde ise  $\gamma'$  nitrürün daha fazla olduğu görülüyor. Bu sonuç; nitrüleme ortamında veya nitrürlenmiş malzemede bulunan karbonun artışıyla  $\epsilon$  nitrür oluşümünün teşvik edildiğini bildiren diğer bazı çalışmalarla uyumludur (Karamış, 1992; Edenhofer, 1974; Lampe vd., 1993; Haruman vd., 1992).

Mikroyapılar incelendiğinde her iki malzemenin yüzeyinde de tipik bileşik tabaka oluşumu gözlenmiştir. XRD analizinden ağırlıklı olarak karışık demir nitrürlerden ( $\epsilon+\gamma'$ ) oluştuğunu gördüğümüz bu tabaka son derece sert ve gevrek olup, fazla kalın olması aşınma dayanımını azaltmaktadır (Karamış, 1992; Karaoğlu, 2003).

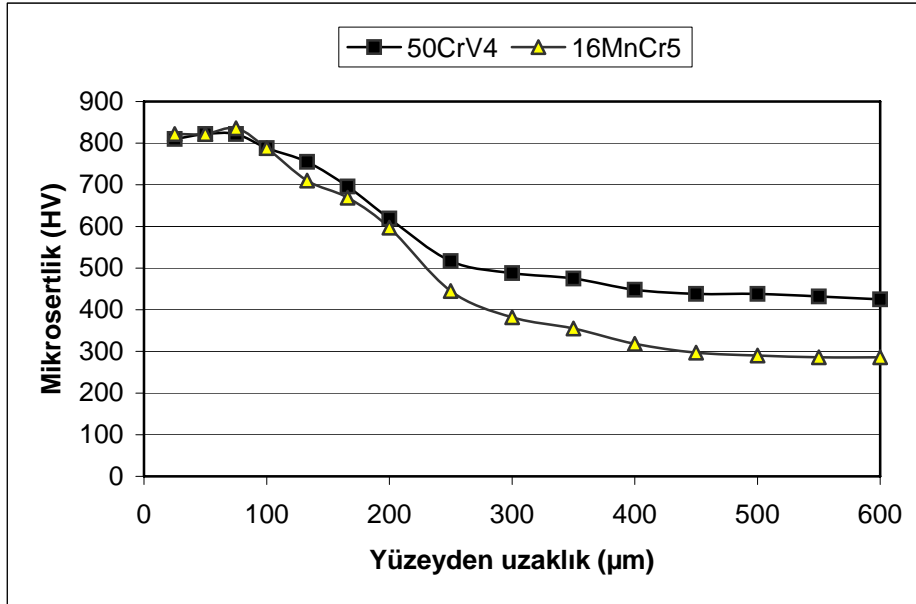
Numunelerin bileşik tabaka kalınlığı, sertleşme derinliği ve maksimum sertlik değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Mikrosertlik taramalarının sonuçları ise Şekil 2'de görülmektedir.

Çizelge 2. Maksimum yüzey sertliği, difüzyon tabakası ve bileşik tabaka kalınlıkları

Özellik	Malzeme	
	50 CrV4	16MnCr5
Yüzey Sertliği (HV)*	810	822
Difüzyon Tabakası ( $\mu\text{m}$ )	340	407
Bileşik Tabaka ( $\mu\text{m}$ )	4-6	3.5-5

(\*Yüzeyin 25  $\mu\text{m}$  altından ölçülen değerler)

$\epsilon$  nitrür miktarı daha fazla olan malzemede (50CrV4) oluşan bileşik tabakanın daha kalın olması  $\epsilon$  nitrürün büyüme hızının  $\gamma'$  nitrürden daha fazla olması ile izah edilebilir (Sun ve Bell, 1991).



Şekil 2. Sertlik profilleri

Plazma nitrürlenmiş numunelerde önemli yüzey sertleşmesi sağlanmıştır. Bu sertleşmenin sebebi azotun plazma ortamından malzemelere difüzyonu ve bu esnada oluşan bazı reaksiyonlardır. İncelediğimiz çeliklerde, difüzyon tabakasındaki azot atomları tercihen Cr vb nitrür yapıcı alaşım elementleri ile birleşerek çeşitli metal-nitrür çökeltileri oluştururlar. Malzemelerdeki sertlik artışının esas sebebi budur. Metal-nitrürlerin oluşumu ve azotun

arayer atomu olarak  $\alpha$ -demirine yerleşmesi neticesinde, sertleşen tabakada bası türünden artık gerilmeler meydana gelmektedir (Sun ve Bell, 1991). Artık gerilmelerin oluşumu ve azot girişi bu bölgelerde karbon dağılımını değiştirir. Karbon atomları yüzeye doğru veya nitrürleme cephesinin önüne doğru daha gerilimsiz bölgelere yayınırlar.

Çelikteki karbon içeriği arttıkça (50CrV4) daha fazla alaşım elemanı (örneğin Cr) karbür şeklinde bağlanacağı için, nitrür (CrN) oluşturacak alaşım elemanı azalır. Daha düşük olan göbek sertliğine kıyasla 16MnCr5’de daha fazla sertleşme oluşumunun sebebi budur. Bu malzemenin difüzyon tabakası kalınlığı da 50CrV4’e göre daha fazladır. Karbon miktarı arttıkça azotun çelik içindeki difüzyonu zorlaşmaktadır. Arayerler C atomları tarafından doldurulunca azotun difüzyon katsayısı düşmektedir (Sun ve Bell, 1991).

#### 4. SONUÇLAR

Çeliğin karbon miktarının, plazma nitrürasyonu ile oluşan bileşik tabakanın kompozisyonuna önemli etkisi vardır. Karbon miktarı arttıkça  $\epsilon / \gamma'$  oranı artmakta, bileşik tabaka kalınlığı ise azalmaktadır.

Malzemenin karbon miktarı elde edilen sertlik seviyesine ve sertleşme derinliğine de etki etmektedir. Karbon miktarı fazla olduğunda, karbonun alaşım elemanlarını karbür şeklinde bağlaması neticesinde nitrür oluşturacak alaşım elemanı azalmakta, dolayısı ile elde edilen sertlik miktarı da azalmaktadır. Karbonun azot difüzyonunu zorlaştırması neticesinde sertlik derinliği düşmektedir.

Düşük karbon miktarının yanında, nitrür yapıcı alaşım elementleri içeren 16MnCr5 gibi sementasyon çeliklerinde, plazma nitrürasyonu işlemi elde edilen sertlik seviyesi ve sertleşme derinliği bakımından tatmin edici sonuçlar vermektedir.

#### KAYNAKLAR

- Alsaran A., Çelik A. (2001): “Structural Characterization of Ion-Nitrided AISI 5140 Low-Alloy Steel”, *Materials Characterization*, 47, 207-213.
- Alsaran A., Karakan M., Çelik A. (2002): “The Investigation of Mechanical Properties of Ion-Nitrided AISI 5140 Low-Alloy Steel”, *Materials Characterization*, 48, 323-327.
- Çelik A., Efeoğlu İ., Sakar G. (2001): “Microstructure and Structural Behavior of Ion-Nitrided AISI 8620 Steel”, *Materials Characterization*, 46, 39-44.
- Edenhofer B. (1974): “Physical and Metallurgical Aspects of Ionitriding-Part2”, *Heat Treatment of Metals*, V. 1, p. 23-28.
- Edenhofer B. (1976): “The Ionitriding Process-Thermochemical Treatment of Steel and Cast Iron Materials”, *The Metallurgist and Materials Technologist*, V. 8, p. 421-426.
- Grun R., Gunther H.J. (1991): ”Plasma-nitriding in Industry-problem, New Solutions and Limits”, *Mater. Sci.Eng. A* 140 435-441.
- Haruman E., Bell T., Sun Y. (1992): “Compound Layer Characteristics Resulting From Plasma Nitrocarburising in Atmospheres Containing Carbon Dioxide Gas Additions”, *Surface Engineering*, Vol. 8, No. 4, 275-282.
- Hombeck F., Bell T. (1991): “Environmentally Harmless Plasma Thermochemical Processes”, *Surface Engineering*, V. 7(1), p.45-52.
- Karamış M.B. (1992): “Some Effects of the Plasma Nitriding Process on Layer Properties”, *Thin Solid Films*, V. 217, p.38-47.
- Karaoğlu S. (2003): “Structural Characterization and Wear Behavior of Plasma-Nitrided AISI 5140 Low-Alloy Steel”, *Materials Characterization*, 49, 349-357.
- Lampe T., Eisenberg S., Laudien G. (1993): “Compound Layer Formation During Plasma

- Nitriding and Plasma Nitrocarburising”, Surface Engineering, Vol. 9, No. 1, 69-76.
- Rie K.T., Broszeit E. (1995): “Plasma Diffusion Treatment and Duplex Treatment-Recent Development and New Applications”, Surf.Coatings Technol., 76-77, 425-436.
- Sun Y., Bell T. (1991): “Plasma Surface Engineering of Low Alloy Steel”, Mater. Sci. and Eng., V.A 140, p. 419-434.