

## Düşük Karbonlu Çeliklerin Borlanması İçerisinde Nikel İçeriğinin Borür Tabakası Özelliklerine Etkileri

### Effects of Ni-Content on Boride Layer Occurred in the Low-Carbon Steels

K. Yıldızlı, F. Nair

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kayseri

M. Eroğlu

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ

**ÖZET:** Bu çalışmada, nikel bileşimi %1-5 arasında değişen, sabit % 0,15 karbonlu, beş tür çelik malzeme horlanarak, nikel içeriğinin, bor tabakası özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Parlatma işlemlerinden geçirilen kübik geometride hazırlanan numuneler, elektrik direnç fmm içerisinde sabit 950°C sıcaklığında, 3 saat sürede macun borlama tekniği ile horlanmıştır. İşlem sonrası, çelik yüzeylerinde oluşan bor tabakalarının, sertlik, kalınlık ve morfolojik yapılarının karakterize edilmesinde optik ve elektron mikroskopisi yöntemleri kullanılmıştır. Sonuçta, nikel bileşiminin artışı ile bor tabakası kalınlığının azaldığı, tabakanın düzleşerek dış derinliklerinin azaldığı, sertlik değerinin ise arttığı belirlenmiştir. En düşük Ni oranında dahi, oluşan bor tabakası sertliğinin, ana metalinkinden yaklaşık 10 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

**ABSTRACT:** In this study, effects of Ni-content on boride layer occurred in the low-carbon steels containing of Ni %1-5 and C % 0.15(constant) were studied. The patterns prepared cubic in shape and polished were borided through paste-boriding technique, at a temperature of 950°C for a holding time of 3 h. In order to determine hardness and thickness and morphological structure of the layers, both optical and electron microscope techniques were used. In conclusion, with the increase in Ni-content, thickness of the layer decreased and tooth-depth of the layer, flattening out morphological structure, was too. Conversely, the hardness of the layer increased. Even though the content of Ni is the lowest amount, the hardness of the occurring boride layer was higher ten times than that of the steel substrate.

## 1. GİRİŞ

Borlama işlemleri ile demir esaslı malzeme yüzeylerinde oluşturulan bor tabakaları üzerinde, alaşım elementlerinin etkilerini görebilmek amacıyla, gerek özel hazırlanmış numuneler, gerek ise ticari çelikler üzerinde yapılan çeşitli çalışmalar vasıtasıyla C, Cr, Ni, Mn, Mo, Si ve alüminyum gibi elementlerin, bor tabakasının sertlik, morfolojik yapı ve kalınlığına etkileriyle; bu elementlerin ana metal, geçiş bölgesi ve borür fazları üzerindeki dağılımları belirlenmeye çalışılmıştır(Yıldızlı,2002).

Bu elementler, FeB ve/veya Fe<sub>2</sub>B kafes kenarlarında demir atomlarının yerine geçerek yada bazı hallerde demir borür tabakaları içerisinde farklı partiküller dönüştürerek yapıda yer almaktadırlar(Özsoy,1991).

Genel olarak alaşım elementleri çelikteki bor difüzyonunu yavaşlatarak tabaka kalınlığını azaltmaktadır(Bozkurt, 1984). Alaşım ve yüksek karbonlu çeliklerde bor yayılımının daha az olması nedeniyle aynı şartlarda borlama yapılan düşük karbonlu çeliklere göre tabaka kalınlığının daha düşük olduğu vurgulanmaktadır (Tezcan,1996 ve Özmen,1990). Alaşım elementleri tabaka kalınlığını azaltırken, tabaka geometrisini de değişikliğe uğratmaktadır(Taşcı,1993).Çelik bünyesinde alaşım elementleri özellikle C, Cr ve Ni, bor difüzyonunun tercihli yönlendirilmesini etkileyerek tabaka-anametal ara yüzeyim çizgisel şekle sokar.

Borürlü tabakalar dış şeklinde olmalarından dolayı ana metale daha iyi bağlanırlar. Alaşım elementleri oranı arttıkça dişlenme azalmaktadır (Meriç ve Ark. 1999). Bu elementlerin bir diğer etkisi ise,

*K. Yıldızlı, F. Nair, M. Eroğlu*

borür tabakasının sertliğini artırması ve Fe-B denge diyagramında ötektik noktayı aşağı kaydırmasıdır. Fe-B sisteminde % 1 C, ötektik sıcaklığını 50 °C kadar düşürmektedir (Bozkurt,1984). Malzeme yapısında yer alan alaşım elementleri miktarı aşınma dayanımına da etkir. Ancak bu etki uniform olmayıp daha ziyade aşınma mekanizmasına bağlıdır (Yüksel ve Ark.1993).

Çelikte, paslanmaya ve ısıya dayanımı artırıcı etki oluşturan nikel elementi, bor tabakasında, demir atomuyla (Fe, Ni) B ve (Fe,Ni)2B formunda bileşikler yaparak bünyede yer alır (Lin ve Ark.1987). Fe2B fazına girebildiği gibi; borür tabakasından aşağıda da toplanabilir (Tsipaz ve Rus,1987). Buna ilaveten bu halde de, Ni<sub>3</sub>B oluşmasına neden olabilir (Yoon ve Li,1999). Nikelin tabaka oluşumuna etkisi çok değildir; ancak artan miktarı, dişlenme derecesini azaltır (Taşçı,1993). Aynı borlama şartları altında Ni bileşimi ne kadar yüksek ise, bulunan bor tabakası kalınlığı o derece düşüktür. Fakat bu etki, Cr bileşimiyle karşılaştırıldığında çok belirgin değildir. Nikel bileşiminin yükselen miktarı, borür tabakasının kolonsal yapısını azaltıp, yüksek poroziteyi ve kötü mekanik özellikleri beraberinde getirmektedir(Sinha,1991).Ayrıca borür tabakasında mevcut nikel miktarının, ana metaldekinden daha az olduğu belirtilmektedir(Lin ve Cheng,1987).

Bu çalışmanın amacı, düşük karbonlu çeliklerin horlanmasında nikel içeriğinin borür tabakası özelliklerine etkilerini araştırmaktır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1 Malzeme Hazırlama ve Borlama İşlemi

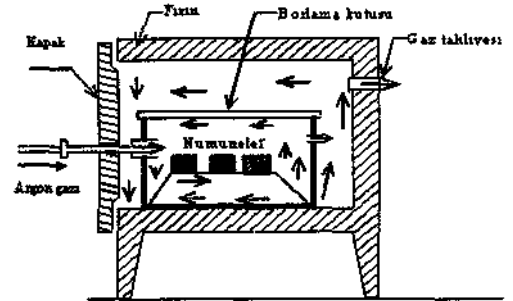
Çalışmanın deneysel kısmında kullanılan çelikler döküm yoluyla elde edilmişlerdir. 150 x 200 x 20 mm ebatlarında dökülen düşük karbonlu fakat farklı nikel içeriğine sahip çelikler 1100 °C sıcaklıkta dövme işlemine tabi tutulmuştur.

Sıcak dövülmüş çelikler en son işlem olarak 900 °C de 30 dakika süre bekletilerek normalize edilmişlerdir. Böylece sıcak dövülmüş ve normalize edilmiş çeliklerden borlama için 10 mm x 10 mm x 10 mm ebatlarında numuneler çıkartılmıştır. Bu numunelerin horlanacak yüzeyleri 80 mesh zımparadan 1200 mesh zımparaya kadar geçirilip

daha sonra 6 ve 1 mikronluk elma pastalara tabi tutulmuşlardır. Deneysel numunelerinin kimyasal bileşimleri Çizelge 1\* de verilmiştir. Borlama işlemi argon gazı altında 950 °C de 3 saat bekletilerek, pasta borlama tekniği ile Şekil 1'deki gibi gerçekleştirilmiştir. Borlama işleminden sonra horlanmış numunelerin yaklaşık orta kısmına yakın bir yerden kesilerek borlu yüzeyler ortaya çıkartılmıştır. Borlanmış tabakayı görmek için, yine yüzeyler metallografik işlemlere tabi tutulmuşlardır. Parlatılmış yüzeyler %2 nital çözeltisinde dağlanarak mikroyapılar ortaya çıkartılmıştır. Mikroyapı incelemelerinde hem optik hem de elektron mikroskobu kullanılmıştır. Ayrıca, bor tabakasının sertliği 40 gr yük altında mikrosertlik ölçüm yöntemiyle belirlenmiştir.

Çizelge 1. Deneysel numunelerinin kimyasal bileşimleri

Numune m	(% Ağırlık)						
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Fe
1	0.149	0.30	0.51	0.028	0.032	0.99	Kalan
2	0.151	0.30	0.50	0.024	0.034	2.05	Kalan
3	0.150	0.29	0.53	0.025	0.031	3.10	Kalan
4	0.152	0.28	0.52	0.029	0.035	4.25	Kalan
5	0.150	0.29	0.51	0.023	0.034	5.20	Kalan



Şekil 1. Borlama işleminin yapılarını gösteren sematik görüntüsü

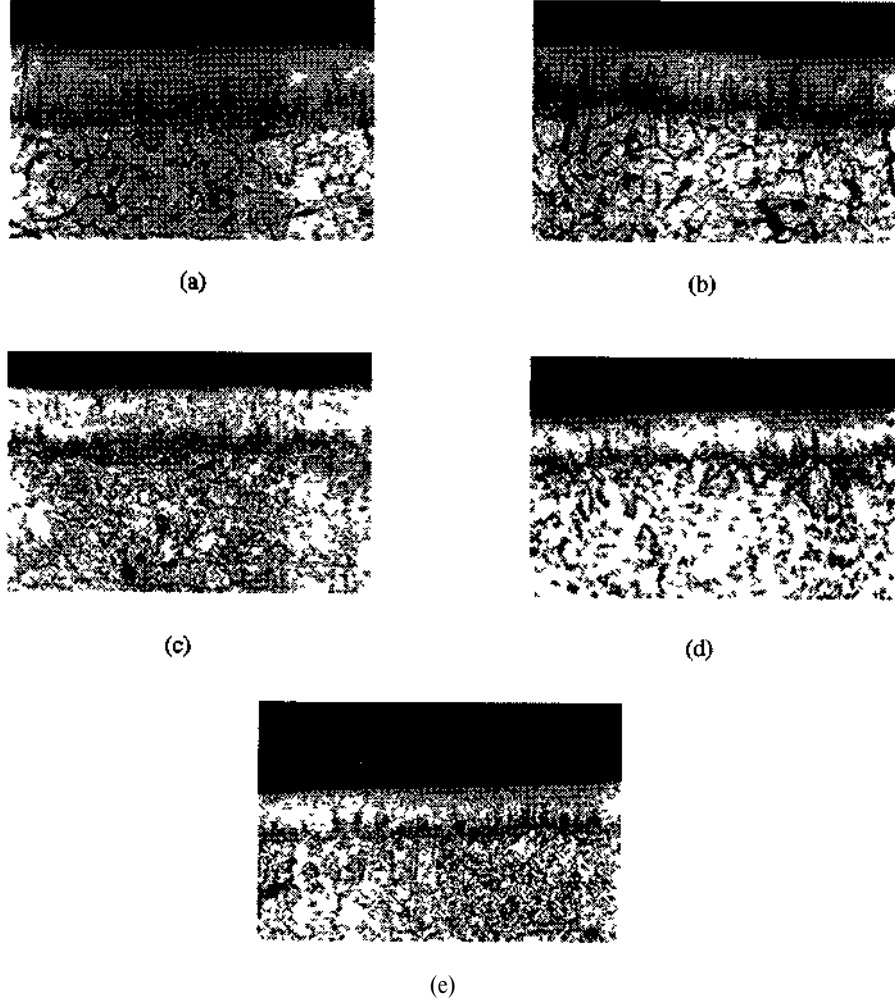
## 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 3.1. Mikroyapı Sonuçları

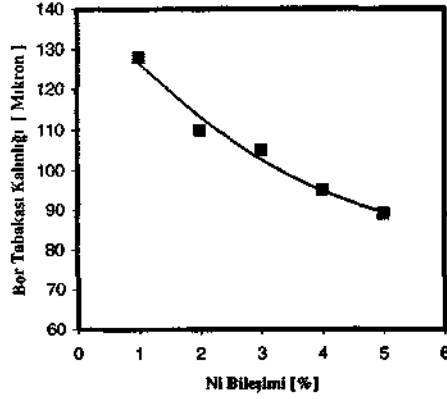
Yapılan mikroyapı incelemeleri sonucunda bütün nikel oranı için yüzeyde bor tabakasının varlığı tespit edilmiştir. Ancak, nikel miktarındaki artışla

beraber, mikroyapıda değişimler kaydedilmiştir. Her bir nikel içeriği için elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 2a-e' de verilmiştir. Bu mikroyapı resimlerinden de görüleceği gibi çok iyi bir borlama işleminin gerçekleştiği söylenebilir. Ancak, bor tabakalarının kalınlığına ve morfolojilerine

bakıldığında, nikel miktarı arttıkça borlanmış tabakanın kalınlığında bir azalmamın olduğu ve dişli yapının biraz daha düzleştiği söylenebilir. Şekil 3' de, oluşan bor tabakası kalınlığının, çelikteki Ni oranı ile değişimi görülmektedir.



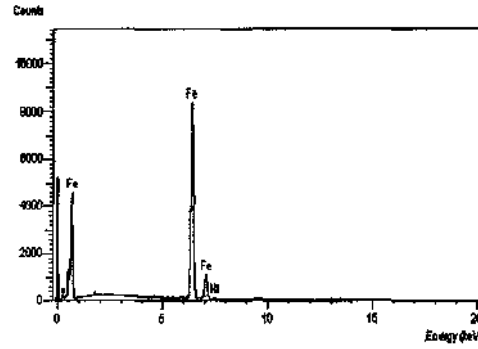
Şekil 2. Nikel içeriğine bağlı olarak borlanmış tabakaların optik mikroskop görüntüleri : a) % 1 Ni, b) % 2 Ni, c) % 3 Ni, d) % 4 Ni ve e) %5 Ni içeren çelik yüzeylerinde oluşturulan bor tabakaları (100 X).



Şekil 3. % Ni artışı ile bor tabakası kalınlığı değişimi

Yapılan EDX analizleri sonucunda borlanmış tabakadaki Ni miktarları tespit edilmiştir. Bulunan değerler Çizelge 2' de verilmiş ve Şekil 2'de % 1 Ni içeren numune içim gösterilmiştir (Şekil 4).

Geleneksel borlama metodlarında görüldüğü gibi, borlanmış tabakanın dış kısımlarına doğru FeB ve iç kısımlarına doğru Fe<sub>2</sub>B fazının oluştuğu, ancak FeB ve Fe<sub>2</sub>B kristal kafeslerinde nikel atomlarının yer alan atom olarak yerleştiği düşünülmektedir.



Şekil 4. %1 Ni içeren numunedeki bor tabakası üzerinden alınan EDX analizi.

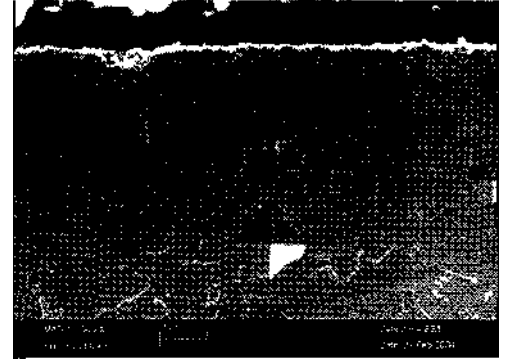
Çizelge2. Borlanmış tabaka içindeki nikel miktarı (%Ağ.)

Numune No	% Ni
1	0.80
2	1.91
3	2.83
4	3.95
5	4.80

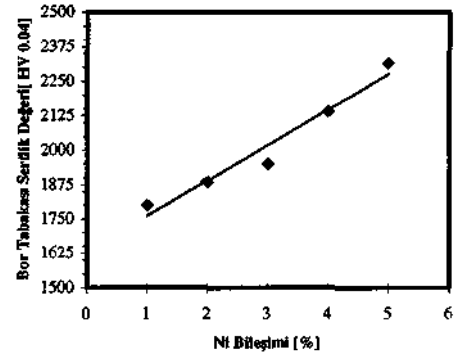
Böylece yapılan mikroyapı incelemeleri ve gerekli analizlerle beraber ölçümler sonucunda, mkel miktandaki artışla beraber borlanmış tabaka kalınlığı ve morfolojisindeki değişimler nikel atomlarının bor atomlarının difüzyonuna etki ettiğini göstermektedir.

### 3.2. Bar Tabakası Sertlik ölçüm Sonuçları

Şekil 5'de bor tabakası üzerinde ve hemen altında sertlik izleri görülmektedir. Bu izlere bakıldığında tabakanın oldukça sert olduğu açıktır. Sertlikteki bu artış FeB ve Fe<sub>2</sub>B yapısına yer alan atom olarak giren nikelin kafes kusuru oluşturması ile izah edilebilir.



Şekil 5. % 5 Ni içeren numunedeki bor tabakası üzerinde ve hemen altındaki sertlik izleri görünümü



Şekil 6. Bor tabakası sertliğinin Ni oranı ile değişimi

Yapılan mikrosertlik ölçüm sonuçlarında elde edilen ortalama değerlerin Ni oranı ile değişimi Şekil 6' da verilmiştir. Bu grafikten de görüleceği gibi, nikel miktarındaki artışla beraber sertlik de artış göstermiştir.

#### 4. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada düşük karbonlu fakat % 1' den % 5'e kadar değişen oranlarda nikel içeren çelikler 950 °C de 3 saat süreyle borlama işlemine tabi tutularak, nikel içeriğinin bor tabakasının özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Buna göre bulunan sonuçlardan aşağıdaki genel sonuçlar çıkartılabilir:

1. Nikel miktarındaki artışla beraber borlanmış tabaka kalınlığı azalmıştır.
2. Nikel miktarındaki artışla beraber borlanmış tabakanın uç kısmı dişli yapıdan düz bir yapıya doğru değişmiştir.
3. Nikel miktarındaki artışla beraber borlanmış tabakanın sertliği artmıştır.
4. Borlanmış tabakanın aşınma davranışında nikelin etkisi ileri bir çalışma olarak önerilmektedir.

#### KAYNAKLAR

- Bozkurt,N., 1984, *Bor Yayımlı Çeliklerde Yüzey Sertleştirme*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Lin, H.R., Cheng, Gwo-Hwa.,1987, *Hardenability Effect of Boron on Carbon Steels*, Materials Science and Technology, Vol:3, 855-859
- Meriç.C, Şahin.S., Uzkut, M., 1999, *Borlamanın Kaynak Bölgesine Etkisinin incelenmesi*, Kaynak Teknolojisi H. Ulusal Kongresi, 211-220
- Özmen,Y., 1990, *The Effect of Surface Hardening With Bonding on The Wear Resistance In X210Cr12 Steel*, M.Sc.Thesis, 9 Eylül University, İzmir,
- Özsoy,A.,1991,*Çe/2ğün Borlanmasında Borür Tabakası, Geçiş Zonu ve Ana Matriksin Özelliklerinin İyileştirilmesi*, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir

Sinha, A.K., B.P. Division, 1991, *Boriding (Boronizing)*, ASM Handbook, Heat Treating ASM International Materials Vol.4, Park, Ohio, 437-447

Taşçı, A., 1993, *Borlanmış Çeliklerin Aşınma ve Korozyon Dayanımları*, Y.Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Tezcan, R., 1996, *Borlama İşlemi ve Endüstriyel Uygulamaları*, Y.Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir

Tsipas, D.N., Rus, J., 1987, *Boronizing of Alloy Steels*, Journal of Materials Science Letters, Vol: 6,116-120

Yıldızlı,K., 2002, *Borlamanın çeliklerde eroziv aşınma davranışına olan etkilerinin deneysel olarak incelenmesi*, Y.Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yoon, J.H., Jee, Y.K., Lee, S.Y., 1999, *Plasma Paste Boronizing Treatment of The Stainless Steel AISI 304*, Surface and Coatings Technology, 112, 71-75

Yüksel, M., Can, A.C., Özmen, Y., 1993, *X210Cr12 Takım Çeliğinin Tuz Banyosunda Borlanması*, Akdeniz Üniversitesi İsparta Müh. Fak. Makine Müh. Böl. Dergisi, Sayı: 7, 68-69

