

## Borlama Süresinin Düşük Karbonlu Mikro Alaşımli Çeliklerin Sertlik Değerleri Üzerine Etkisi

Nursen Turku<sup>1</sup>, Şule Doğan<sup>1</sup>, Nazım Uçar<sup>1,\*</sup>, Adnan Çalık<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Bölümü, Isparta, Türkiye

\*Yazışılan yazar e-posta: nazimucar@sdu.edu.tr

Alınış: 05 Mayıs 2014, Kabul: 18 Ağustos 2014

**Özet:** Bu çalışmada, borlanan düşük karbonlu çeliklerin sertlik değerleri ölçülmüştür. Borlama işlemi 1123 K sıcaklıkta ve değişik sürelerde ticari ekabor-II tozları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan X Işınları Kırınımı (XRD) ve Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDX) analizleri ile borlanan düşük karbonlu mikroalaşımli çeliklerin borür tabakasında FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarının oluştuğunu gözlenmiştir. Borlama işleminin bir neticesi olarak difüzyon ve oluşan sert bor fazlar yüzünden, borlama süresi ile borür tabakası kalınlığı ve sertlik değerlerinde bir artışın olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Ekabor, XRD, EDX, difüzyon, FeB, Fe<sub>2</sub>B

## The Effect of Boriding Time on Hardness Values of Low Carbon Micro Alloyed Steels

**Abstract:** In this study, hardness values of borided low carbon microalloyed steels were measured. The boronizing treatment was performed at 1123 K under various exposure times using Ekabor-II commercial powders. The presence of FeB and Fe<sub>2</sub>B phases in the boride layer of the boronized low carbon microalloyed steels were observed using an X-ray diffractometer and energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis. It was concluded that boride layer thickness and hardness values increase with increasing boriding time due to hard boride phases and diffusion as a result of boronizing process.

**Key words:** Ecabor, XRD, EDX, diffusion, FeB, Fe<sub>2</sub>B

### 1. Giriş

Alaşım lar günlük yaşamda yaygın bir kullanıma sahip malzeme grubunu oluşturmaktadırlar. Günümüzde en çok kullanılan alaşımların başında da çelikler gelmektedir. Çelik, demir (Fe)-karbon (C) karışımı olup, makine yapım sanayi, otomotiv sanayi ve yan sanayi parçaları, savunma sanayi ve tıbbi cihazlar gibi günlük hayatın birçok noktasında kullanılmaktadır [1,2].

Demir-karbon alaşımı olan çeliklerin büyük çoğunluğu ısıl işlemlere karşı oldukça duyarlıdır. Bu nedenle mekanik özellikleri değiştirmek adına yüzey iyileştirme işlemi son yıllarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Özellikle bor ile yapılan bu işlem, bor atomlarının malzeme yüzeyinde termokimyasal yolla difüzyona uğrayarak bir tabaka ya da tabakalar oluşturması esasına dayanmaktadır [3-6] Bu işlem bir ısıl işlem olup, uygulama sürecindeki ısıl olaylar malzemenin yapısı üzerinde faz dönüşümüne, dolayısıyla mekanik özelliklerinin değişimine sebep olmaktadır. Yapılan bir çalışmada [7] bor ile kaplanmış çeliklerde 2000 HV e kadar ulaşan bir sertlik değerine ulaşılabileceği gösterilmiştir. Borlama işlemi esnasında bor atomları malzeme içine yayılarak yüzeye yakın bölgelerde borür adı verilen ve bor atomlarından fazla sayıda bulunan bir bölge oluşturur [3]. Bu bölge borür tabakası olarak isimlendirilir ve Fe esaslı alaşımların borlanması esnasında genellikle; FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazları bu bölgede oluşmaktadır [8]. Yapılan literatür çalışmalarında malzemenin mekanik özelliklerini büyük ölçüde iyileştirme oluşturan borlama işleminin borlama süresi, borlama zamanı, alaşım

elementlerinin cinsi ve miktarı ile bor kaynağının cinsine büyük oranda bağlı olduğu gösterilmiştir [9].

Mikro alaşımlı çelikler, yüksek dayanım, yüksek tokluk ve yüksek kaynak kabiliyeti nedeniyle doğal gaz ve çeşitli boru hatlarında ve özellikle otomotiv sektöründe yoğun biçimde kullanılmaktadır. Bu çalışmada bu çeliklerin sertlik değerleri üzerine borlama süresinin etkisi araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan düşük karbonlu mikro alaşımlı çeliklerin kompozisyonları Tablo 1 de verilmiştir.

**Tablo 1.** Kullanılan mikro alaşımlı çeliklerin kompozisyonları

Elementlerin Ağırlıkça Yüzdeleri (%)									
C	Si	Mn	P	Mo	Mg	Cr	Al	Nb	Fe
0.029	0.334	1.384	0.013	0.024	0.009	0.009	0.025	0.021	Kalan

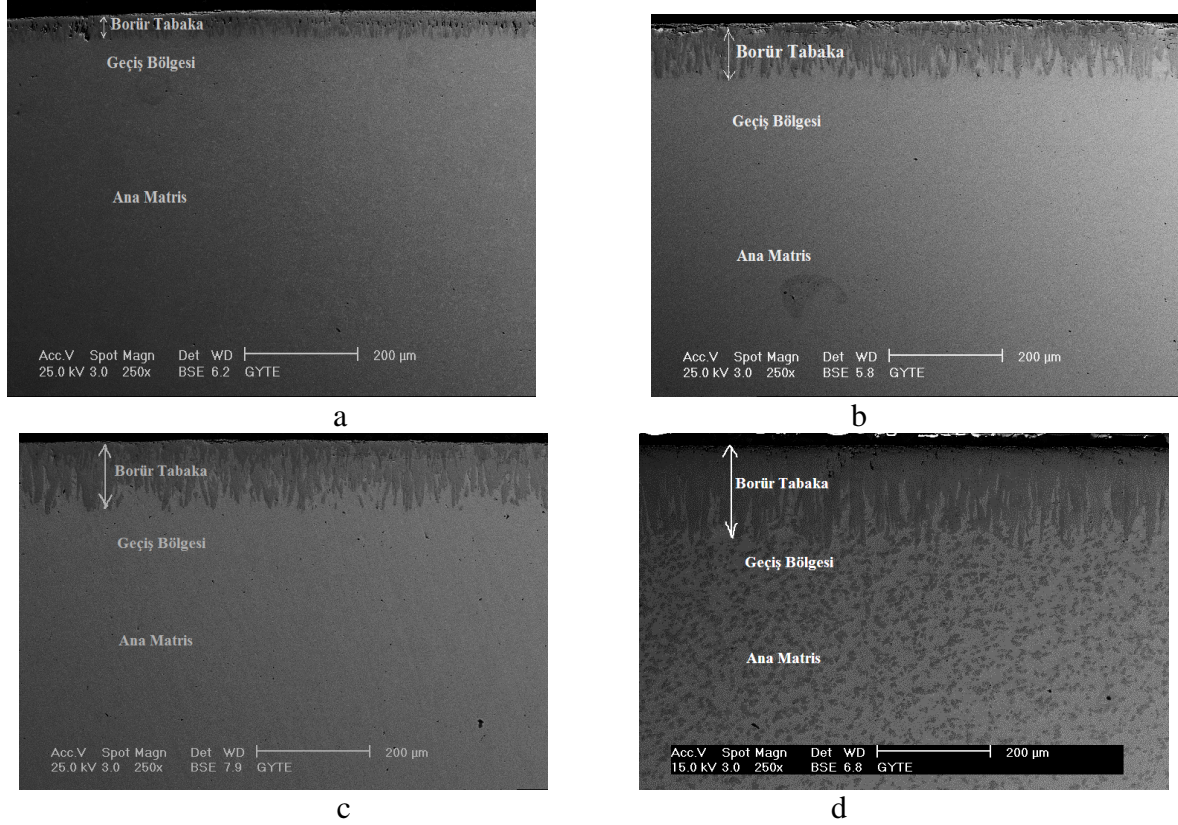
Ekobor-2 tozları ile dolu potalara yerleştirilen numuneler kül fırınlara konularak 1123 K sıcaklık ve 2, 4, 6 ve 8 saatlik süreler için termokimyasal olarak borlama işlemine tabi tutulmuşlar ve süreler sonunda numuneler soğumaya terk edilmişlerdir. Daha sonra bu numuneler, fazların durumunu ve yüzeylerden sertlik deneylerinin yapılabilmesi için bakalit kalıplara alınmıştır. Bakalite alınan numuneler zımpara ile parlatılmış ve %10 nital solüsyonu kullanılarak dağlanmıştır.

Borlanan ve yüzeyleri parlatılıp dağlanan numunelerin yüzeylerinden Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile alınan fotoğraflar vasıtasıyla fazların dağılımı, borür ve geçiş tabakasının kalınlığı tespit edilmiştir. Borlanmış tabakada meydana gelen fazlar aynı zamanda XRD, EDX analizleri ile belirlenmiştir.

Parlatılan ve dağlanan numuneler Metkon mikro sertlik cihazı ile mikro Vickers sertlik testine maruz bırakılmıştır. Mikro sertlik testleri 100 gr yük altında ve 15'er saniye süre ile uygulanmıştır. mikrosertlik test sonuçlarının sağlıklı alınabilmesi için her bir numune için farklı bölgelerden çok sayıda (15'er tane) ölçüm alınmıştır.

## 3. Araştırma Bulgularının Değerlendirilmesi

Değişik süreler için borlama ile yüzey iyileştirmesi yapılan düşük karbonlu mikro alaşımlı çeliklerin kesitlerinden SEM ile alınan fotoğrafları Şekil 1 de verilmiştir.

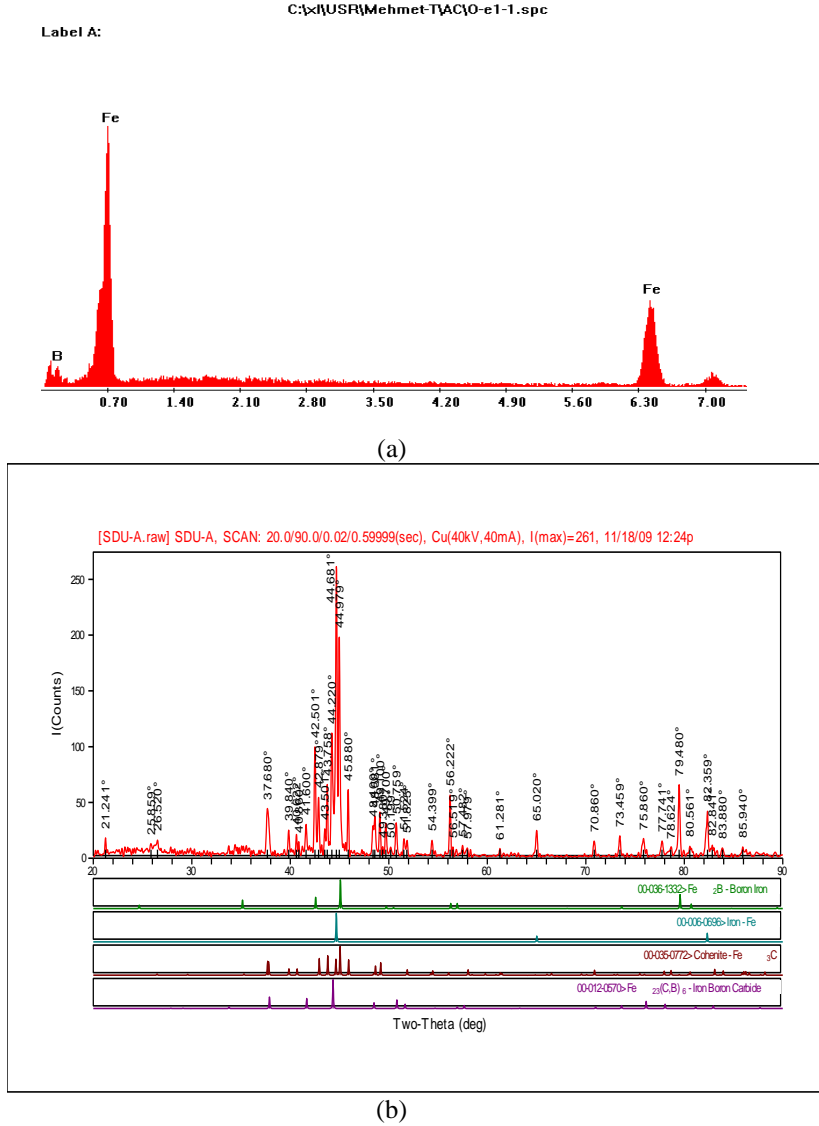


**Şekil 1.** 1123 K sıcaklıkta ve değişik sürelerde borlama işlemine maruz bırakılan düşük karbonlu mikro alaşımlı çeliklerin kesitlerinden SEM ile alınan yüzey fotoğrafları, (a) 2 saat, (b) 4 saat, (c) 6 saat ve (d) 8 saat

Fotoğraflar üzerinden de anlaşılacağı üzere bir borür tabakası, geçiş bölgesi ve borlama işleminden etkilenmeyen matris bölgesi açıkça gözükmemektedir. SEM ile alınan fotoğraflar yardımıyla belirlenen bor tabakasının ortalama kalınlığının borlama süresi ile değişimi Tablo 2 de verilmiştir. Gerek SEM fotoğraflarından gerekse bu tablodan açıkça görülmektedir ki, borlama süresi arttıkça bor tabakasının genişliği artmaktadır. Bu artış difüzyonun difüzyon kanunlarının bir sonucu olarak görülmelidir.

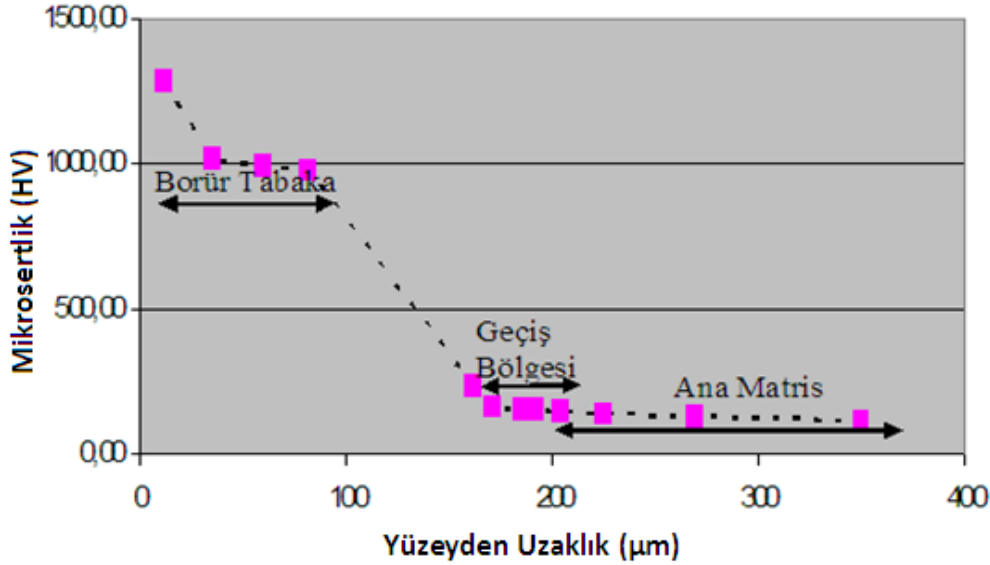
<b>Tablo 2.</b> Bor tabakasının kalınlığının borlama süresi ile değişimi	
Borlama İşlem Süresi (Saat)	Ortalama Bor Tabakası kalınlığı ( $\mu\text{m}$ )
2	57
4	78
6	106
8	158

Diğer taraftan Şekil 2 a ve b de verilen EDX ve XRD analizlerinden hareketle bor tabakasında borlama işlemi ile ortaya çıkan fazlar FeB ve Fe<sub>2</sub>B olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Borlanan düşük karbonlu mikro alaşımlı çeliklerden alınan, (a) EDX, (b) XRD analizleri

Şekil 3 de ise 1123 K de ve 4 saat borlama işlemine tabi tutulan düşük karbonlu mikroalaşımlı çeliğin yüzeyinden itibaren ölçülen mikro sertlik değerleri ile ilgili grafik verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere, matrisin yani bor atomlarından etkilenmeyen bölgenin sertlik değeri yaklaşık 150 HV iken borlama işlemi ile yüzey iyileştirmesi yapılan bu malzemenin yüzey sertliği yaklaşık 1300 HV lere ulaşmıştır. Bu demektir ki yaklaşık dokuz katlık bir sertlik artışı sağlanmıştır. Bu sertlik artışına yüzey deki bor tabakasında oluşan FeB ve Fe<sub>2</sub>B şeklindeki fazların neden olduğu düşünülebilir. Diğer taraftan, borür tabakası ile ana matris arasındaki geçiş bölgesinde de sertlik artışı meydana gelmektedir. Bu, bor elementinin metalde alaşım elementi etkisi göstermesinden kaynaklanır. Öte yandan artan borlama süresine bağlı olarak artan bor tabakasının kalınlığına paralel olarak borlama süresinin artması ile borür tabakasının sertliği artmaktadır.



Şekil 3. 1123 K sıcaklık altında 4 saatlik borlama işlemine maruz bırakılan düşük karbonlu mikro alaşımlı çeliğin yüzeyden itibaren sertlik değeri değişimi

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Borlama ile alaşımlarda borür tabakası, geçiş bölgesi ve bor atomlarının ulaşmadığı ana bölge olmak üzere 3 farklı bölge ile borür tabakasında FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazları oluşmaktadır. Bor tabakasının kalınlığı borlama süresi ile artmaktadır.

Yüzey iyileştirme ile çalışılan çelikler üzerinde yaklaşık 9 katlık bir sertlik artışı meydana getirilmiştir ve borlama süresine bağlı olarak artmaktadır.

#### Kaynaklar

- [1] Onaran K., NARAN K., 2000. Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- [2] Kong J., Xie C., 2006. Effect of molybdenum on continuous cooling bainite transformation of low-carbon microalloyed steel, *Materials and Design*, 27: 1169-1173.
- [3] Sinha A.K., 1991. Boriding (boronizing). In: ASM Int Handbook, vol. 4. Materials Park, OH, USA: The Materials International Society; pp. 437-447.
- [4] Atik A., Yunker E., Meric C., 2003. The effects of conventional heat treatment and boronizing on abrasive wear and corrosion of SAE 1010, SAE 1040, D2 and 304 steels, *Tribology International*, 36, 155-161.
- [5] Bektes M., Calik A., Ucar N., Keddani M., 2010. Pack-boriding of Fe-Mn binary alloys: Characterization and kinetics of the boride layers, *Materials Characterization*, 61: 233-239.
- [6] Brakman C.W., Gommers A.W.J., Mittemeijer E.J., 1989. Bonding of Fe and Fe-C, Fe-Cr, and Fe-Ni alloys; Boride-layer growth kinetics, *Journal of Materials Research*, 4: 1354-1370.
- [7] Celikyurek I., Baksan B., Torun O., Gurler R., 2006. Boronizing of iron aluminide Fe<sub>72</sub>Al<sub>28</sub>, *Intermetallics*, 14: 136-141.
- [8] Nair F., Karamis M. B., 1997. Borlanmış Çeliklerde Malzeme Bileşiminin Mikrosertliğe Etkileri, 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, DENİZLİ, TÜRKİYE, s 354-360.
- [9] Li C., Shen B., Li G., Yang C., 2008. Effect of boronizing temperature and time on microstructure and abrasion wear resistance of Cr12Mn2V2 high chromium cast iron, *Surface & Coatings Technology*, 202: 5882-5886.

Nursen TURKU e-posta: nursenturku@hotmail.com

Şule DOĞAN e-posta: d.sule@hotmail.com

Adnan ÇALIK e-posta: adnancalik@sdu.edu.tr