

## Fe-Mn İkili Alaşımlarının Mekanik Özellikleri Üzerine Borlamanın Etkileri

Musa BEKTEŞ<sup>1\*</sup>, Adnan ÇALIK<sup>2</sup>, Nazım UÇAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü / ISPARTA

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü / ISPARTA

Alınış tarihi:05.08.2009, Kabul tarihi:29.07.2010

**Özet:** Bu çalışmada değişik konsantrasyonlarda Mn içeren borlanmış ve borlanmamış Fe-Mn ikili alaşımlarının çekme özellikleri üzerine borlamanın ve Mn konsantrasyonunun etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, borlama ile maksimum zor değerinde bir artış ve artan Mn konsantrasyonu ile borür tabakasının kalınlığında bir azalmanın meydana geldiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Alaşım, Borlama, Çekme testi, Borür tabakası, Maksimum zor.

## Effects of Boronizing on the Mechanical Properties of Fe-Mn Binary Alloys

**Abstract:** In this study, the Mn concentration and boronizing effect on the tensile properties of boronized and unboronized Fe-Mn binary alloys having different Mn concentrations were investigated. The obtained results showed that the maximum stress increases with boronizing process while boride layer thickness decreases with increasing Mn concentration.

**Keywords:** Alloy, Boronizing, Tensile test, Boride layer, Maximum stress.

### Giriş

Metaller oldukça yumuşak malzemeler olmakla birlikte bu yapılar içine belli oranlarda diğer elementlerden katılarak ciddi yapısal değişiklikler elde edilebilmektedir. Alaşım adı verilen bu yapılar malzeme teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Onaran, 2000). Yeterince sertlik ve çekme özelliklerine sahip olan bu yapılar, yüzey iyileştirme adı verilen ve termo-kimyasal bir yöntem olan borlama işlemi ile çok daha sert, korozyona dayanıklı, yüksek aşınma özelliklerine sahip yepyeni özellikler katmak mümkün olabilmektedir (Sinha, 1991). Malzemelerin statik yük altındaki özelliklerini belirlemek ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlamak amacıyla çekme deneyleri yapılır. Bununla ilgili olarak çeşitli araştırmacılar (Lee vd., 2000; Lee ve Lin, 1998; Chiem ve Duffy, 1983) malzemelerin çekme davranışlarının zorlanma oranına ve sıcaklığa bağlılığını inceleyerek,deformasyon esnasındaki yapının çeşitli aşamalarındaki davranışlarını ortaya çıkarmışlardır. Özellikle alaşım element konsantrasyonundaki değişimlerin alaşımların mekanik ve yapısal özelliklerinde ciddi değişimlere neden olduğunu bulmuşlardır. Bunun nedeninin yapılarıdaki çizgisel kusur adı verilen yapısal kusurların davranışları ile ilgili olduğunu belirleyen bu araştırmacılar, çizgisel kusurlar ve alaşım elementleri arasındaki elastik etkileşimlerin yapıların mekanik özelliklerinde önemli olduğu sonucuna varmışlardır. (Mathis vd., 2004, Aytar vd, 2005).

Fe-Mn ikili alaşımları endüstriyel uygulamalar açısından önemli malzemelerdir. Non-manyetiklik, şekil hafızalı alaşım ve oldukça ucuz ısıtma malzemesi olarak kullanılabilme özelliklerinden dolayı Fe-Mn alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Bliznuk vd., 2002). Bu alaşımların borlama ile gerek sertlik gerekse zor değerleri yaklaşık beş kat artırılabilir. Borlama ile yüzeylerde oluşan borür fazları oldukça sert bir tabaka

oluşturmakta ve bu bölgede ciddi yapısal değişiklikler ortaya çıkmaktadır (Sinha, 1991; Özbek vd, 2004). Bu konuda yapılan literatür araştırmalarında, özellikle düşük ya da orta karbonlu çeliklerde borlama ile yüzey iyileştirmeler yapılmış ve borlama parametreleri olarak isimlendirilen borlama zamanı ve süresinin yüzey iyileştirme üzerine etkilerinin yoğun olarak çalışıldığı gözlenmiştir. Öte yandan şekil hafızalı alaşımlar olarak kullanılan Fe-Mn alaşımlarına katılan Cr ve Ni elementlerinin katılması ile şekil hafıza etkisi ve korozyon direncinin daha da artırılabilirliği bilinmektedir.

Ancak Fe-Mn ikili alaşımları üzerine özellikle borlama ile oluşan yapısal değişimler ve borlama sonucunda mekaniksel özelliklerinin değişimi üzerine detaylı yapılmış çalışmaların varlığının az sayıda olduğu saptanmıştır. Bu çalışma da çeşitli konsantrasyonlarda Mn içeren Fe-Mn ikili alaşımları üzerine borlamanın etkisi ve bu etki ile alaşımların maksimum çekme zoru üzerindeki değişimler araştırılmıştır.

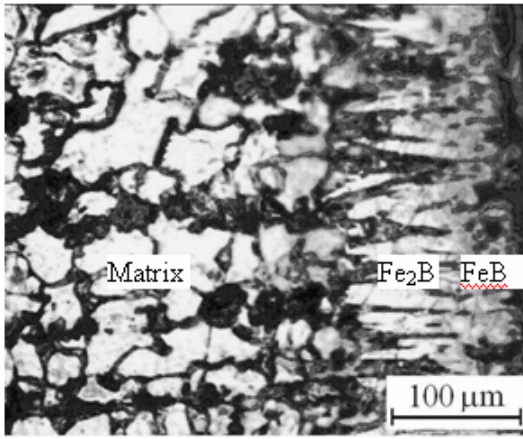
### Materyal ve Metot

Bu çalışmada çeşitli konsantrasyonlarda Mn içeren Fe-Mn ikili alaşımları kullanılmıştır. Mn konsantrasyonları % 0.42 Mn, % 0.76 Mn ve % 0.94 Mn şeklindedir. Çalışma da iki grup numune dikkate alınmış olup; birinci gruptaki numunelere herhangi bir yüzey iyileştirme uygulanmamış, diğer gruptaki numuneler ise 900 °C 'de 5 saat süre ile borlama işlemine (yüzey iyileştirme) maruz bırakılmışlardır. Borlama için kutu borlama yöntemi seçilmiş olup, ticari Ekabor 2 tozları borlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Borlama işlemine maruz kalan ve kalmayan numuneler uygun ebatlarda kesilerek Schimadzu AG-I 250 kN mekanik test cihazı ile  $1.2 \times 10^{-6} s^{-1}$  lik bir zorlanma hızı ile çekme işlemine

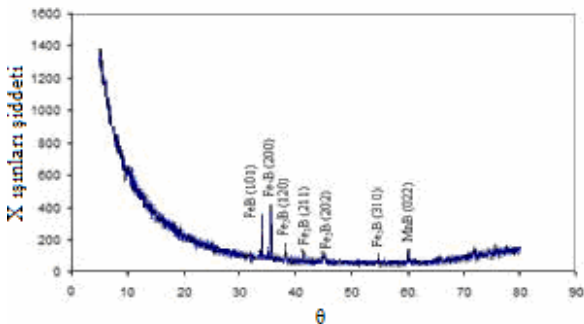
tabi tutulmuşlardır. Elde edilen çekme-uzama eğrilerinden hareketle zor-zorlanma eğrilerine geçilmiş ve bu eğriler üzerinde maksimum zor değerleri tespit edilmiştir. Diğer yandan borlanan numunelerin parlatılan yüzeyleri optik mikroskop ile incelenmiştir. Optik mikroskop incelemeleri kesitten alınan fotoğraflardan borlanmış numunelerde borür tabakası, geçiş bölgesi ve bor atomlarının hiçbir etkisinin olmadığı ana bölge (matrix) varlığı tespit edilmiştir. Öte yandan borür tabakasında ortaya çıkan fazların durumu optik mikroskop yanında SEM ve XRD analizlerine bakarak değerlendirilmiştir. Deneysel işlemler ile ilgili olarak daha fazla bilgi referanslardan elde edilebilir (Çalık ve Uçar, 2008; Çalık, vd, 2009).

## Bulgular

Borlama işlemine maruz bırakılan numunelerin kesitlerinden alınan optik fotoğraflarında iki fazın ortaya çıktığı açıkça gözükmemektedir (Şekil 1). Diğer yandan Şekil 2 de verilen XRD analizlerine dikkatle bakılırsa bu fazların yüzeye yakın kısımda FeB bitişğinde ise Fe<sub>2</sub>B fazlarının baskın olarak oluştuğu anlaşılmaktadır.



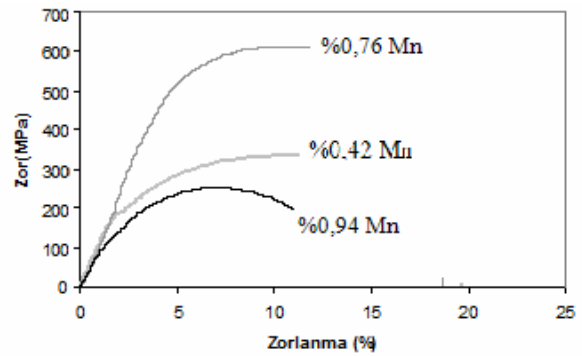
Şekil 1. 5 saat Borlanmış Fe-%0.42 Mn alaşımının metal mikroskobu görüntüsü



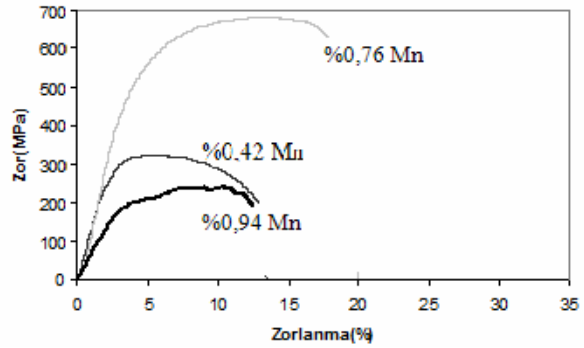
Şekil 2. 900 °C de 5 saat borlama işlemine tabi tutulan Fe- % 0.42 alaşımına ait XRD şekillenimi

Zor-zorlanma eğrilerinde zor' un en büyük olduğu değer maksimum zor olarak bilinir (Dieter, 2000). Bu çalışmada numunelerden elde edilen zor-zorlanma eğrileri Şekil 3-5 'de verilmiştir. Şekil 3 ve 4'de sırasıyla borlanmamış ve

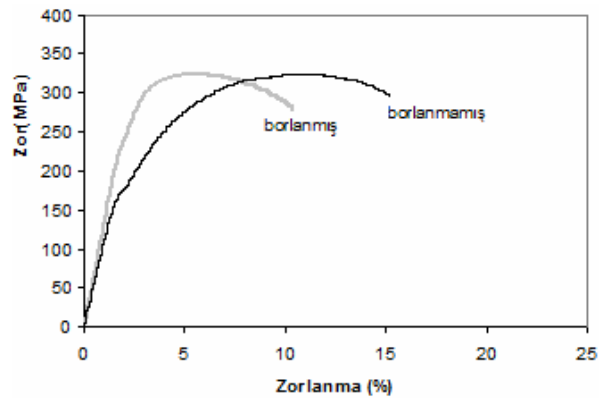
borlanmış Fe-Mn alaşımlarının zor-zorlanma eğrileri görülmektedir. Literatürde borlanmamış numuneler için alaşım elementi konsantrasyonunun artması ile elastik zor ve maksimum zor değerinin arttığı gözlenmiş ve bu durum alaşım elementinin çizgisel kusurları kitlediği yani deformasyonu zorlaştırdığı sonucu ile açıklanmıştır (Şahin vd., 2007). Bu çalışmada gerek borlanmış gerekse borlanmamış Fe-Mn ikili alaşımlarında artan Mn konsantrasyonu ile artan maksimum zor anlamında bir lineerlik elde edilememiştir. Ancak borlama ile Fe-Mn ikili alaşımlarının maksimum zor değerlerinde bir artış (Şekil 3 ve 4) ile borlanan numunelerde sünekliğin ciddi azaldığı Şekil 5'de açık bir şekilde görülmektedir. Bu davranış borlanmış numunelerde oluşan borür tabakası ve bu tabakada oluşan sert FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarının mevcudiyeti ile açıklanabilir.



Şekil 3. Borlanmamış numunelerde Mn konsantrasyonunun zor-zorlanma eğrileri üzerine etkisi

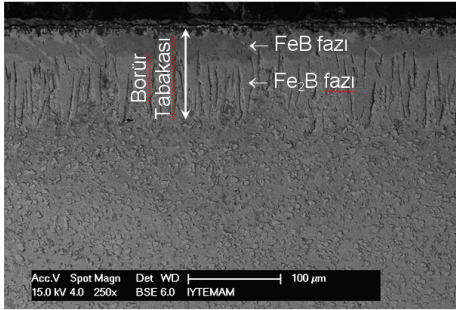


Şekil 4. Borlanmış numunelerde Mn konsantrasyonunun zor-zorlanma eğrileri üzerine etkisi

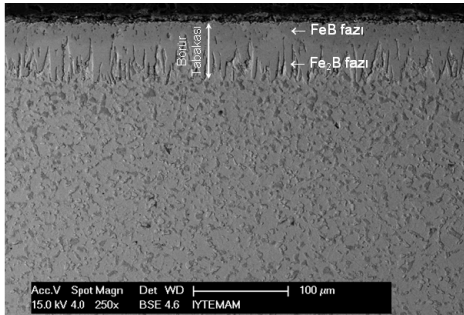


Şekil 5. Fe- % 0.42 Mn ikili alaşımında borlamanın zor-zorlanma eğrileri üzerine etkisi

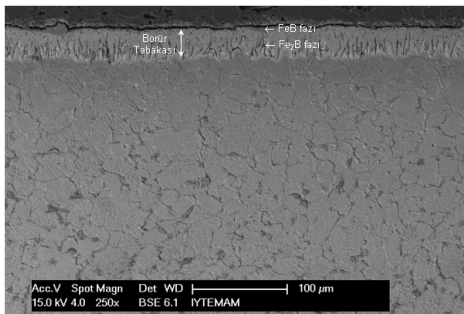
Diğer yandan mevcut çalışmada borür tabakası kalınlığı ile Mn konsantrasyonu arasında da bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 6.a.b.c). Literatürde borür tabakası kalınlığının borlama sıcaklığı ve borlama süresi ile değiştiği belirtilmektedir (Meriç vd., 2000). Ayrıca borür tabakasının karakteristik özelliği olan dış ya da kolonsal bir görüntü sergilemesinin alaşım elementlerinin cins ve konsantrasyonları ile ilgili olduğu belirtilmektedir (Yıldızlı, K., Nair, F., 2004). Bununla ilgili olarak alaşım elementleri konsantrasyonunun artması ile dişli yapının belirginliğinin ortadan kalktığı ve daha düzgün bir yapının ortaya çıktığı da belirtilmektedir. Diğer yandan düşük karbonlu çelik numunelerde yapılan bir çalışmada alaşım elementlerinden Ni'nin artışı ile borür tabaka kalınlığının azaldığı, tabakanın düzleşerek dış derinliklerinin azaldığı, sertlik değerinin ise arttığı belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan 900 °C de 5 saat borlama işlemine tutulan Fe-Mn ikili alaşımlarında da literatüre uygun sonuçlar elde edilmiştir.



a



b



c

**Şekil 6.** Mn konsantrasyonu ile borür tabakası kalınlığının değişim.; (a) Fe-%0.42 Mn, (b) Fe-%0.76 Mn, (c) Fe-%0.94 Mn

Şekil 6.a-c 'de görüleceği üzere borlanmış Fe-Mn ikili alaşımlarında Mn konsantrasyonunun artması ile borür tabakasının kalınlığında bir azalma ve tabakanın düzleştiği açıkça gözükmemektedir. Borür tabaka kalınlığı Mn-% 0.42 Fe ikili alaşımında borür tabaka kalınlığı 100  $\mu\text{m}$  iken bu değer Fe-%76 Mn alaşımında 60  $\mu\text{m}$ , Fe-% 0.94 Mn alaşımında ise borür tabakası genişliği 30  $\mu\text{m}$  değerine düşmektedir. Aynı zamanda bu resimler karşılaştırıldığında artan Mn konsantrasyonu ile borür tabakasının düzgün bir yapıya dönüştüğü açıkça görülmektedir. Buna karşın Mn konsantrasyonunun artması ile maksimum zor da bir artış meydana gelmektedir. Sonuç olarak Mn atomlarının bor atomlarının alaşım içindeki difüzyonunu etkilediklerini söyleyebiliriz. Artan Mn konsantrasyonu ile maksimum zordaki artış ise FeB ve Fe<sub>2</sub>B yapısına yer alan atom olarak giren Mn atomlarının kristal kusuru olarak davranması ve çizgisel kusurları kitlenmesi ile açıklanabilir.

## Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma da değişik Mn konsantrasyonlarına sahip Fe-Mn ikili alaşımlarına borlamanın etkisi ve borlamanın alaşımların maksimum zor değerlerine etkisi araştırılmıştır. Borlama işlemi 900 °C de 5 saatlik süre de gerçekleştirilmiştir. Buna göre elde edilen bulgulardan aşağıdaki genel sonuçlar çıkartılabilir:

1. Gerek borlanmış gerek se borlanmamış alaşımlarda Mn konsantrasyonunun artması ile maksimum zor değeri artmaktadır.
2. Borlama ile alaşımlarda borür tabakası, geçiş bölgesi ve bor atomlarının ulaşmadığı ana bölge olmak üzere 3 faklı bölge ile borür tabakasında FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazları oluşmaktadır.
3. Artan Mn konsantrasyonu ile borür tabakasının kalınlığı azalmaktadır.
4. Oluşan fazlar ve borür tabakasındaki azalma yüzünden borlanan alaşımlarda maksimum zor değeri borlanmamış alaşımlara göre ciddi oranda artmaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışma SDÜ BAP tarafından desteklenen 1507 D 07 no'lu doktora projesi esas alınarak hazırlanmıştır. İlgili birime teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Aytar , B., Uzun, O., Aktürk, S., Ekinci, A. E., Düzün, B., Uçar, N. 2005. Plastic Behaviour of Fe-Mn Binary Alloys. Chinese Journal of Physics, vol. 43, No. 3-I, S. 491-496.
- Bliznuk, V. V., Glavtaska, N. I., Södeberg, O., Lindroos, V. K. 2002. Effect of Nitrogen On Damping, Mechanical and Corrosive Properties of Fe-Mn Alloys. Materials Science and Engineering, 338, 213-218.

- Çalık, A., Şahin, O., Uçar, N. 2009. "Mechanical Properties of Boronized AISI 316, AISI 1040, AISI 1045 and AISI 4140 Steels" *Acta Physica Polonica A*, Vol;115,694-698
- Çalık, A., Uçar, N. 2008. 2. Ulusal Bor Çalıştayı, Bildiri Kitabı, 17-18 Nisan, Ankara, 497-504.
- Chiem, C. Y., Duffy, J. 1983. Strain Rate History and Observations of Dislocation Substructure In Aluminium Single Crystals Following Dynamic Deformation. *Materials Science And Engineering*, 57, 233-247.
- Dieter, G. E. 2000. *Mechanical Behavior Under Tensile and Compressive Loads*, ASM, 8, ASM International, Materials Park, Ohio, Usa, 237-261.
- Lee, W. S., Lin, C. F. 1998. Plastic Deformation and Fracture Behavior of Ti-6Al-4V Alloy Loaded With High Strain Rate Under Various Temperatures.. *Materials Science and Engineering A*, 241, 48-59.
- Lee, W., S., Sue, S. W. C., Lin, F., Wu, C. J. 2000. the Strain Rate and Temperature Dependence of the Dynamic Impact Properties of 7075 Aluminium Alloy. *Journal of Materials Processing Technology* 100, 116.
- Mathis, K., Trojanova, Z., Lukac, P., Caceres, C. H., Lendvai, J. 2004. Modelling of Hardening and Softening Processes in Mg Alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 378, 176-179.
- Meriç, C., Şahin, S., Yılmaz, S.S. 2000, Investigation of the Effect On Boride Layer of Powder Particle Size Used in Boronizing with Solid Boron-Yielding Substances, *Materials Research Bulletin*, 35, 2165-2172.
- Onaran, K. 2000. *Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul*, 317.
- Özbek, I., Şen, Ş., İpek, M., Bindal, C., Zeytin, S., Üçışık, A. H., 2004. A Mechanical Aspect of Borides Formed on the AISI 440C Stainless-Steel. *Vacuum Surface Engineering, Surface Instrumentation and Vacuum Technology*, 73, 643-648.
- Şahin, O., Çalık, A., Ekinci, A. E., Uçar, N. 2007. Work Hardening Behavior in Fe-Mn Binary Alloys, *Materials Characterization*. 571-574.
- Sinha, A.K., 1991. *ASM Handbook, Boronizing*, 4, ASM International, Materials Park, Ohio, USA, 437.
- Yıldızlı, K., Nair, F., Düşük Karbonlu Çeliklerin Borlanması Nikel İçeriğinin Borür Tabakası Özelliklerine Etkileri, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004 Eskişehir, Türkiye.