

## Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Horlanması Boronization of Spherical Cast Iron

İ. Çelikyürek, B. Baksan, R. Gürler  
Osmangazi Üniversitesi, Metalürji Enstitüsü, Batı Meşelik, 26480, Eskişehir

**ÖZET:** Bu çalışmada GGG40 küresel grafitli dökme demirlerin yüzeylerinin horlanması amaçlanmıştır. Borlama boraks ve SiC içeren sıvı banyo içinde yapılmıştır. GGG40 küresel grafitli dökme demirlerin yüzeyleri 900 ve 950°C'de 2 ve 4 saat süreyle horlanmıştır. Dökme demirlerin yüzeylerinde oluşan bor tabakası optik mikroskop ve X ışınlan difraksiyonu (XRD) analizi çalışmaları ile karakterize edilmiştir. Bor tabakasının kalınlığı LECO 2001 görüntü analizöründe ölçülmüştür. Yapılan ölçümler borlama sıcaklığı ve/veya süresi arttıkça bor tabaka kalınlığının arttığını göstermiştir. Mikrosertlik değerleri de borlama süresi ve sıcaklığının artışıyla bor tabakası sertliğinin arttığını göstermiştir. XRD analizinde bor tabakasının Fe<sup>2+</sup>B fazından oluştuğu görülmüştür.

**ABSTRACT:** In this study, it was aimed to boronize the surface of spherical cast irons. Boronizing was performed in a slurry salt bath consisting of borax and SiC. Boronizing was performed on GGG40 spherical cast iron at 900 and 950°C for 2-4 hours. The characterization of boride layer formed on the surface of spherical cast iron was carried out by optical microscopy and X-ray diffraction analyses. The thicknesses of boride layers were measured by LECO 2001 image analyzer. The measured results showed that when the boronizing temperature and/or time was increased the thickness and the microhardness of the boride layer increased. XRD analysis showed that the borided surface of GGG40 spherical cast iron has Fe<sup>2+</sup>B phase.

### 1. GİRİŞ

Nodular veya sünek dökme demir olarak da bilinen küresel grafitli dökme demir içinde grafit ince küreler şeklinde bulunur. Göreceli olarak yüksek mukavemet ve tokluğa sahip olan küresel grafitli dökme demirler bazı avantajlarından dolayı diğer dökme demirlerden ve çelik türlerinden daha fazla kullanım alanı bulabilmektedir. Küresel grafitli dökme demirler özellikle mukavemet ve tokluğun birlikte gerektiği yapısal uygulamalarda talaşlı imalatının kolay olması ve düşük fiyatından dolayı tercih edilir. Otomotiv ve tanımlı endüstrileri küresel grafitli dökme demirlerin en büyük kullanıcılarıdır (Sen ve ark., 2004).

Makine ve ekipmanların mekanik parçalanmadaki ekonomik kayıpların büyük çoğunluğu korozyon ve aşınmadan kaynaklanır. Bu kayıptan azaltmak için

kullanılan malzemelerin yüzey özellikleri geliştirilmelidir. Yüzey kalitesini artırma yöntemlerinden birisi de horlamadır. (Şahin ve ark., 2002)

Borlama ile parça yüzeyinde bir metalik borür tabakası oluşur. Borür tabakası bor atomlarının yüksek sıcaklıklarda ana metal içine difüzyonu ile oluşur. Bu bir kaplama işlemi değildir. Demir alaşımlarında demir borür tabakasının oluşması bir çok uygulama için çok çekicidir. Borlama gaz, sıvı tuz banyosu (elektrolizle birlikte ve/veya elektrolizsiz) ve katı (kutu borlama) ortamlarında yapılabilir (Sen ve ark., 2004). Bu değişik borlama teknikleri içinde sadece katı hal kutu horlaması ticari olarak yaygın kullanım alanına sahiptir. (Yu ve ark., 2002) Göreceli olarak küçük boyuta ve yüksek mobiliteye sahip olan bor atomları demir alaşımların içine çok kolay difüze olarak Fe<sup>2+</sup>B ve

### 1. Çelikyurek, B. Baksan, R. Gürler

Fe<sub>2</sub>B metaller arası bileşikler oluştururlar. Bu bileşikler oksit değil, seramik borürlerdir. Bor atomları genellikle ara yer atomu olarak çözünürler, işlem sıcaklığı, horlanacak malzemelerin kimyasal bileşimi, borlama ortamının bor potansiyeli ve borlama zamanına bağlı olarak tek fazlı Fe<sub>3</sub>B veya iki fazlı (Fe<sub>2</sub>B+FeB) tabakası elde edilebilir. Yüksek sıcaklıklarda yapılan borlama işleminin difüzyon kontrollü bir işlem olduğu bilinmektedir. (Genel ve ark., 2003) Demirin termokimyasal horlanmasında demir borürler sütun şeklinde oluşma eğilimindedirler. Bu tür bir oluşumun FeB/Fe<sub>3</sub>B veya Fe<sub>3</sub>B/matriks arayüzeyinde dişe benzer bir yapının oluşmasıyla sonuçlandığı iyi bilinmektedir (Sen ve ark., 2004).

Demir borür oluşturmak için kullanılan bor bileşiklerinin ısı difüzyon işlemleri gaz, sıvı ve katı ortamların hepsinde tipik olarak 700-1000°C işlem sıcaklıkları gerektirir (Genel ve ark., 2002). İşlemin en çok rağbet gören yönü 2000HV'ye ulaşılabilen sertlik değeriyle diğer termokimyasal yüzey işlemleri olan karbürleme ve nitrürlemeden daha iyi sürtünme aşınması ve abresif aşınma direnci göstermesidir (Genel ve ark., 2003).

Bu çalışmanın temel konusu, endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılan küresel grafitli dökme demirlerin yüzey özelliklerini geliştirmek için alışlagelmiş borlama malzemelerinden farklı olarak boraks ve SiC'ün kullanılmasıyla horlamanın yapılmasıdır. İşlem parametrelerinden sıcaklık ve süre değiştirilerek bor tabakası kalınlığına ve sertliğe olan etkileri tespit edilmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmamızda kullanılan GGG40 küresel grafitli dökme demirler ENTİL firmasından temin edilmiş ve bileşimi çizelge 1'de verilmiştir. Borlamanın yapılacağı parçalar 8mm çapında ve 3,5mm kalınlığında silindirik şekilde hazırlanmıştır. Numunelerin her birinin horlanacak yüzeyleri horlanmadan önce metalografik yöntemlerle zımparalanıp 3 mikronluk elmas pasta ile parlatılmıştır. Bor kaynağı olarak kullanılan susuz boraks ve SiC tozu karışımı grafit pota içine konularak fırında borlama sıcaklığına kadar ısıtılmıştır. Borlama işleminde kullanılan fırın borlama sıcaklığına ulaşıldıktan sonra pota fırından

çıkarılarak içindeki sıvılaşmış boraks-SiC karışımı karıştırılıp horlamanın yapılacağı numune sıvı içine gömülmüş, 900 ve 950°C'de tekrar fırına konularak 2 ve 4 saat süreyle horlanması sağlanmıştır.

Çizelge 1. GGG40 Küresel grafitli dökme demirin bileşimi, %ağ.

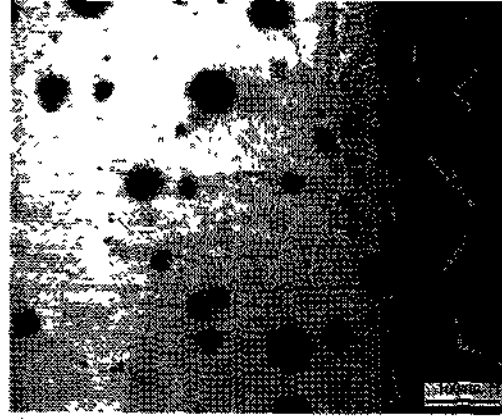
C	Si	Mn	Cu	Me	P	S	Cr	Fe
3,7	2,6	0,2	0,01	0,05	0,03	0,01	0,03	Kalan

Borlama işlemi bittikten sonra numunelerden *dik* kesit alınarak optik mikroskopi için numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerden hem mikroyapı karakterizasyonu yapılmış ve bor tabakası kalınlığı ölçülmüş hem de bor tabakasının sertliği ölçülmüştür. Mikroyapı karakterizasyonunda Olympus PMG3 optik mikroskobuyla entegre LECO 2001 görüntü analizörü kullanılmıştır. Yine aynı sistem üzerinde bor tabakası kalınlığı üç farklı bölgeden yaklaşık 25'er ölçüm yapılarak ortalaması alınıp tespit edilmiştir (Matuschka, 1980). Bor tabakasının sertliği SCHIMADZU HMV2000 mikrosertlik cihazıyla yüzeyden yaklaşık 15um mesafeden 5 ölçüm yapılarak ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Numunelerin horlanmış yüzeylerine XRD analizi yapılmıştır. Analiz 2θ=10°-100° aralığında Cu<sub>Kα</sub> ışınımı kullanılarak yapılmıştır.

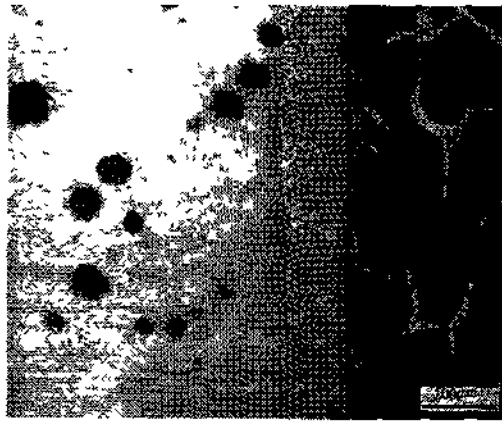
## 3. SONUÇLAR

900°C'de 2 ve 4 saat süreyle horlanmış küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapı resimleri şekil 1'de gösterilmiştir. 950°C'de 2 ve 4 saat süreyle horlanmış küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapı resimleri de şekil 2'de verilmiştir. Mikroyapıların elde edilmesinde herhangi bir dağlama işlemi yapılmamıştır. Her iki sıcaklık için de bor tabakasının dişimsi morfolojide olduğu görülmektedir. Yapılan bor tabakası kalınlığı ölçümlerinde borlama sıcaklığı ve/veya süresinin artmasıyla tabaka kalınlığının arttığı görülmektedir (şekil 3). Bor tabakasının sertliği yüzeyden yaklaşık 15µm mesafeden mikrosertlik cihazıyla ölçülmüştür. Mikrosertlik ölçüm sonuçları da borlama sıcaklığı ve/veya süresinin artmasıyla ulaşılabilen sertlik değerlerinin arttığı göstermektedir. Sertlikteki bu değişim şekil 4'de verilmektedir.

Şekil 5'de horlanmış yüzeyden alınan XRD analizi verilmiştir. Şekilden yüzeyde Fe<sub>2</sub>B tabakasının oluştuğu görülmektedir.

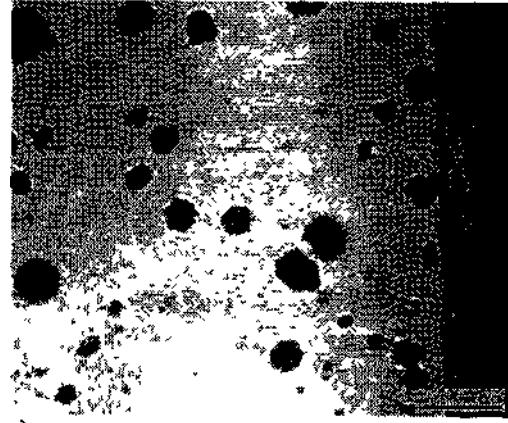


a)

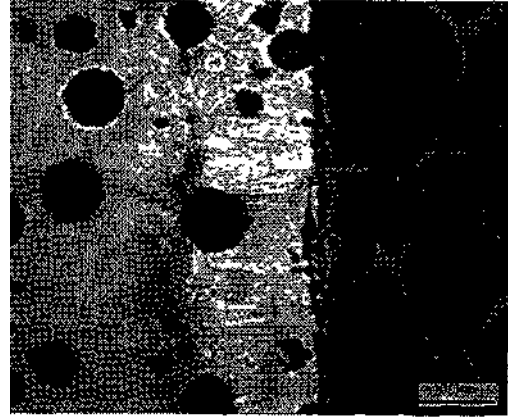


b)

Şekil 1. 900°C'de a) 2 saat, b)4 saat borlama sonucunda oluşan borür tabakası.

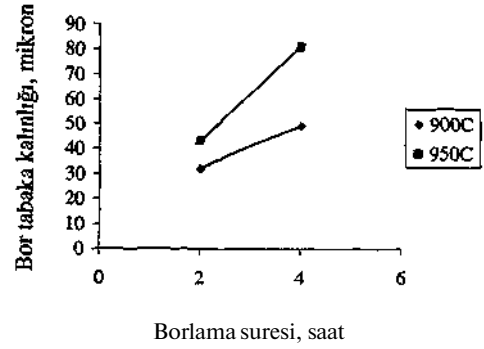


a)

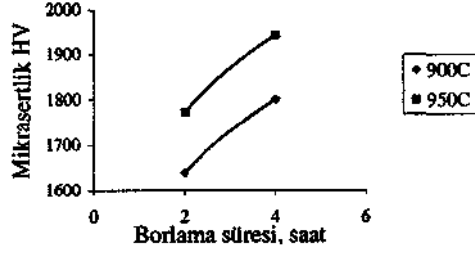


b)

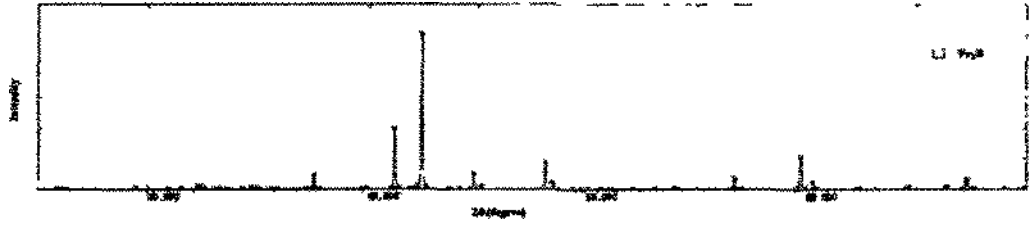
Şekil 2. 950°C'de a) 2 saat, b)4 saat borlama sonucunda oluşan borür tabakası.



Şekil3. Borlama süresine bağlı olarak değişik sıcaklıklarda elde edilen bor tabakası kalınlıkları.



Şekil 4. Boriama süresine bağlı olarak değişik sıcaklıklarda elde edilen bor tabakası mikrosertlikleri.



Şekil 5. 900°C'de 2 saat horlanmış küresel grafitli dökme demirin XRD analizi.

#### 4. TARTIŞMA

Boriama çoğunlukla demir esaslı malzemeler üzerine yapılan bir yüzey işlemidir. Boriama işlemi katı, sıvı ve gaz ortamlarında yapılabilsede günümüzde ticari olarak sadece katı hal horlaması yaygın olarak kullanılmaktadır. Katı hal horlaması pratik bir yöntem olmasına karşın tüm yönleriyle çok avantajlı sayılmaz. Borlamada direk olarak boraksın kullanımı pek yaygın değildir. Literatürde değişik horlama bileşimleri kullanılarak elde edilen bor tabakası kalınlıkları 950°C için 4 saat sürede yaklaşık 30-150µm ve sertlikleri ise yaklaşık 1600-2000Vickers civarındadır. Çalışmalarımızda kullandığımız boraks-SiC sıvı banyoda da diğer yöntemlerde olduğu gibi, dışımsi bir yapının makul kalınlık ve sertlikte oluşturulabildiği gösterilmiştir. Boriama esnasında oldukça kırılğan olan FeB tabakasının oluşması istenmez. Yapılan çalışmada uygulanan deney şartlarında küresel grafitli dökme demir yüzeyinde endüstriyel olarak aranan Fe<sub>2</sub>B fazı elde edilmiştir. Boraksın doğrudan borlamada kullanımı diğer yöntemlerdeki özel malzeme

kullanım gereksinimi olmadığından ekonomik açıdan çok daha avantajlıdır.

#### KAYNAKLAR

- Sen U., Sen S. ve Yılmaz F. 2004. *An Evaluation of Some Properties of Borides Deposited on Boronized Ductile Iron*, Journal of Materials Processing Technology, v. 148,1-7.
- Şahin S. ve Meriç C. 2002. *Investigation of The Effect of Boronizing on Cast Iron*, Materials Research Bulletin, v.37,971-979.
- Sen U., Sen S. ve Yılmaz F. 2004. *Structural Characterization of Boride Layer on Boronized Ductile Irons*, Surface and Coatings Technology, v. 176, 222-228.
- Yu L.G., Khor K.A. ve Sundararajan G. 2002. *Bonding of Mild Steel Using The Spark Plasma*

*Sintering (SPS) Technique, Surface and Coatings Technology*, v. 157,226-230.

Genel K., Özbek İ. ve Bindal C. 2003. *Kinetics of Boriding of AISI W1 Steel*, *Materials Science and Engineering*, v. A347,311-314.

Genel K., Özbek İ., Kurt A. ve Bindal C. 2002. *Boriding Response of AISI W1 Steel and Use of Artificial Neural Network for prediction of Bonded Layer Properties*, *Surface and Coatings Technology*, v. 160, 38-43.

Matuschka A.G.1980. *Boronizing*, Carl Hanser Verlag München Wien, ISBN 3-446-13176-0, p.51

