

# KORSEM '08

XI. ULUSLARARASI KOROZYON SEMPOZYUMU  
INTERNATIONAL CORROSION SYMPOSIUM

## Bildiriler Kitabı Proceedings

22 - 25 Ekim 2008

Editörler / Editors

Ahmet ÇAKIR - Uğur MALAYOĞLU - Aylin Ziyhan ALBAYRAK - Bülent ÖNAY



Dokuz Eylül Üniversitesi  
İzmir



Türkiye Korozyon Derneği  
Corrosion Association  
Ankara/TURKEY

**BİLİMSEL DANIŞMA KURULU / SCIENTIFIC ADVISORY BOARD**

<b>Prof. Anne Neville</b>	School of Mechanical Engineering, University of Leeds / İngiltere
<b>Dr. Hamdy Shalaby</b>	Petroleum Research and Studies Center / Kuveyt
<b>Prof. Dr. Kemal Nişancıoğlu</b>	Department of Materials Technology, Norwegian University of Science and Technology / Norveç
<b>Dr. Noam Eliaz</b>	School of Mechanical Engineering & The Materials Science and Engineering Program, Tel-Aviv University / İsrail
<b>Prof. Bob Cottis</b>	School of Materials, The University of Manchester / İngiltere
<b>Prof. Erika KALMAN</b>	Institute of Surface Chemistry and Catalysis-Chemical Research Center / Macaristan
<b>Prof. Luca Bertolini</b>	Politecnico di Milano, Dipartimento di Chimica, Materiali / İtalya
<b>Prof. Dr. Saadet Üneri</b>	Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi / Türkiye
<b>Prof. Dr. Mustafa Doruk</b>	Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi / Türkiye
<b>Prof. Dr. Ali Fuat Çakır</b>	İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi / Türkiye
<b>Prof. Dr. Ing. Michael Schütze</b>	DECHEMA e.V. Karl-Winnacker Institute / Almanya
<b>Prof. Dr. Pavel Novak</b>	Department of Metals and Corrosion Engineering, Institute of Chemical Technology in Prague / Çek Cumhuriyeti

**DÜZEN**

Prof. Dr. M  
Prof. Dr. S  
Prof. Dr. M  
Prof. Dr. S  
Prof. Dr. C  
Prof. Dr. A  
Prof. Dr. I  
Prof. Dr. I  
Prof. Dr. I  
Prof. Dr. I  
Prof. Dr. I  
Prof. Dr. I  
Doç. Dr.  
Prof. Dr.  
Prof. Dr.  
Prof. Dr.  
Prof. Dr.  
Prof. Dr.  
Prof. Dr.  
Prof. Dr.  
Prof. Dr.  
Prof. Dr.  
Prof. Dr.  
Doç. Dr.  
Doç. Dr.  
Doç. Dr.

**YÜRÜ**

Prof. Dr.  
Doç. Dr.  
Yrd. Doç.  
Yrd. Doç.  
Müh. H  
Yük. M

**KORC  
EXEC**

Yük. M  
Prof. Dr.  
Yük. M  
Prof. Dr.  
Müh. H

**DÜZENLEME KURULU / ORGANIZING COMMITTEE**

Prof. Dr. Mustafa Doruk	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Saadet Üneri	Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Melike Kabasakaloğlu	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Semra Bilgiç	Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Gözen Bereket	Osman Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet Topuz	Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Hayri Yalçın	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Erbil	Çukurova Üniversitesi
Prof. Dr. Birgül Yazıcı	Çukurova Üniversitesi
Prof. Dr. İlyas Dehri	Çukurova Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet Çakır	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Kazım Önel	Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Bülent Öney	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa GÜDEN	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Prof. Dr. Fatih Köleli	Mersin Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa Cebe	Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Timur Koç	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Zühre Şentürk	Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. A. Abbas Aksüt	Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Kadriye Kayakırılmaz	Niğde Üniversitesi
Prof. Dr. Ümit Demir	Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Necati Menek	Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Doç. Dr. A. Bahar Yılmaz	Mustafa Kemal Üniversitesi
Doç. Dr. Hasan Galip	Doğu Akdeniz Üniversitesi
Doç. Dr. Sibel Zor	Kocaeli Üniversitesi

**YÜRÜTME KURULU / EXECUTIVE COMMITTEE**

Prof. Dr. Ahmet ÇAKIR	Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Bülent ÖNAY	Dokuz Eylül Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Uğur MALAYOĞLU	Dokuz Eylül Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Aylin Ziydan ALBAYRAK	Dokuz Eylül Üniversitesi
Müh. Haluk GÜRSES	Dokuz Eylül Üniversitesi
Yük. Müh. Necil Kurtkaya	Korozyon Derneği

**KOROZYON DEĞNEĞİ YÖNETİM KURULU /  
EXECUTIVE COMMITTEE OF CORROSION ASSOCIATION**

Yük. Müh. Necil Kurtkaya
Prof. Dr. Semra Bilgiç
Yük. Müh. Oktay Akat
Prof. Dr. Kadri Aydınol
Müh. Hayati Su

- Ankara Şeker Fabrikası Kazan Besleme Suyu Ve Kazan Suyunda St 35.8 ve 15Mo3 Çeliğinin Korozyon Davranışlarının İncelenmesi**  
*Investigation on Behaviours of ST 35.8 and 15Mo3 Steels in Boiler Feed Water and Boiler Water of Ankara Sugar Factory*  
 S. Altanlar, F. Erdem  
 Tşfaş. Şeker Enstitüsü  
 Türkiye .....394
- St-37 Düşük Alaşımli Çelik Ve Aısı 304, 304l, 316 Östenitik Paslanmaz Çelik Numunelerinin Şeker Fabrikaları Kule Difüzör Ünitesindeki Korozyon Davranışlarının Deneysel Araştırılması**  
*The Investigation of Corrosion Behavior of St-37 Low-Alloyed Steel and AISI 304, 304l, 316 Austenitic Stainless Steel at Diffuser Unit in Sugar Factory*  
 S. Kaya<sup>1</sup>, H. Demirören<sup>2</sup>, M. H. Korkut<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Milli Eğitim Müd. Erzincan, <sup>2</sup>Fırat Üniversitesi,  
 Türkiye .....401
- Bortemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Korozyon Davranışları**  
*Corrosion Behaviour of Boron-Tempered Ductile Iron*  
 Y. Kayalı, A. Büyüksağış, Y. Yalçın  
 Afyon Kocatepe Üniversitesi  
 Türkiye .....410
- Galvanostatik Modda DIS Yöntemiyle İmalat Çeliklerinin Erozyon-Korozyon Kavitasyonun Değerlendirilmesi**  
*Evaluation of Cavitation Erosion-Corrosion Degradation of Mild Steel by Means of Dynamic Impedance Spectroscopy in Galvanostatic Mode*  
 K. Darowicki, J. Ryl, P. Slepski  
 Gdańsk University Of Technology  
 Poland ..... 419
- Sıcak Korozyon Ortamının Plazma Sprey Tekniği İle Üretilmiş Termal Bariyer Kaplamalar Üzerine Etkileri**  
*The Effects of Hot Corrosive Environment on Plasma Sprayed Thermal Barrier Coatings*  
 E. Altuncu<sup>1</sup>, F.Üstel<sup>2</sup>, G. Erdoğan<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi,  
<sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi  
 Türkiye .....429
- Asidik Ortamda Yumuşak Çeliğin Elektrokimyasal Davranışına Benzidin'in Etkileri**  
*The Effect of Benzidine on Electrochemical Behaviour of Mild Steel in Acidic Media*  
 D. Özkir Ve E. Bayol  
 Niğde Üniversitesi  
 Türkiye .....438
- TiB<sub>2</sub> ve ZrB<sub>2</sub> nin Yüksek Sıcaklık Korozyonu**  
*High Temperature Oxidation of TiB<sub>2</sub> And ZrB<sub>2</sub>*  
 İ. Özkan\*, E. Dokumaci\*\*, O. Sancakoğlu\*\*, S. Tekdaş\*\*, B. Önay\*\*  
 Dokuz Eylül Üniversitesi  
 Türkiye .....448

## BORTEMPERLENMİŞ KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN KOROZYON DAVRANIŞLARI

Y. KAYALI<sup>a</sup>, A. BÜYÜKSAĞIŞ<sup>b</sup>, Y. YALÇIN<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar 03200, Türkiye  
<sup>b</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Afyonkarahisar 03200, Türkiye

**ÖZET:** Bu çalışmada, bortemperleme ısıl işleminin alaşımız küresel grafitli dökme demirin (KGDD) mikroyapı ve korozyon davranışları üzerine etkisi araştırılmıştır. Küresel grafitli dökme demirin korozyon karakteristikleri akım potansiyel eğrileriyle belirlenmiştir. Korozyon hızını belirlemek için anodik ve katodik Tafel bölgelerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu kullanılmıştır. İnhibitör etkinliği  $i_{cor}$  değerlerinden hesaplanmıştır. Parlatılmış ve dağlanmış numunelerin mikroyapıları optik mikroskop ve XRD cihazında incelenmiştir. Numuneler üzerinde oluşan bor tabakasının kalınlığı optik mikroskoba bağlı optik mikrometre kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar göstermiştir ki bortemperleme ısıl işlemi küresel grafitli dökme demire başarıyla uygulanabilmektedir. Bor kaplanan örneklerde korozyon potansiyeli daha pozitif değerlere kaymıştır. Bor tabakaları anodik bir inhibitör gibi davranmaktadır. Borlama süresi korozyon hızını etkilemektedir. Borlama süresinin artması kaplama kalınlığını arttırmış buda malzemenin korozyon direncini arttırmıştır. En iyi inhibisyon ve en düşük korozyon hızı 5 saat borlandıktan sonra havada soğutulan numunede gerçekleşmiştir. Daha yüksek sıcaklıkta temperleme korozyon direncini artırıcı yönde etki etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Küresel grafitli dökme demir, borlama, bortemperleme, korozyon.

## CORROSION BEHAVIOR OF BORO-TEMPERED DUCTILE IRON

**ABSTRACT:** In this study, the effect of boro-tempering heat treatment on the microstructure and corrosion behavior of unalloyed ductile iron was investigated. The corrosion characteristics of ductile iron have been determined by current-potential curves. To determine the corrosion rates, the anodic and cathodic Tafel regions extrapolating to corrosion potentials were used. The inhibitor efficiency was calculated from  $i_{cor}$  values. Optical microscope and X-ray diffraction (XRD) were used to examine the microstructure of polished and etched specimens. Thicknesses of the boride layers formed on samples were measured by an optical micrometer attached to the optical microscope. Results show that boro-tempering heat treatment can be successfully applied to ductile iron. The corrosion potential has shifted to more positive values in the boronized samples. The boride layer has behaved like an anodic inhibitor. The boronizing time has affected the corrosion rate. The increasing of boronizing time has made the coating thicker, which has increased the corrosion resistance of the material. The best inhibition and the lowest corrosion rate have been performed on the sample which is boronizing for 5 hours after cooling in furnace. The tempering in higher temperature leads to an increase at the corrosion resistance of the materials tested here.

**Key words:** ductile iron, boronizing, boro-tempering, corrosion.

### 1.GİRİŞ

Yaklaşık 60 yıl önce keşfedilen düktil demir, gri dökme demirlerin üretim üstünlükleri ile çeliğin mühendislik üstünlüklerini bir araya toplamıştır. Düktil demir mükemmel dökülebilirlik, akışkanlık ve işlenebilirliğin yanında gri dökme demirden daha iyi mukavemet, süneklik ve tokluğa sahiptir. Bu avantajlarından dolayı düktil demir makine, otomotiv, maden endüstrisi ve hatta nükleer atık kapları gibi birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır[1, 2, 3].

Bu üstün özellikler ekstra bir ısıl işlem maliyeti olmaksızın döküm aşamasında mikroyapı ve özellikler kontrol edilerek sağlanabilir. Bununla birlikte, ısıl işlem ile dökümü özelliklerini daha da geliştirmek mümkündür. Östemperleme, mekanik özellikleri geliştirmek için

kullanılan en popüler ısıl işlemdir. Östemperleme düktil demire, iyi süneklikle birlikte yüksek mukavemet [4, 5], iyi aşınma direnci [6, 7], iyi yorulma direnci [8, 9] ve iyi kırılma tokluğu [10, 11] kazandırmaktadır. Ayrıca austempered ductile iron (ADI) daha düşük malzeme maliyeti, daha düşük üretim maliyeti, düşük yoğunluk, daha iyi işlenebilirlik, daha yüksek titreşim sönümleme kapasitesi ve tasarım esnekliği gibi birçok teknik ve ticari avantajlara sahiptir[5].

Tüm bu üstün özellikleri ve avantajları sayesinde otomotiv sektöründe, makine ve teçhizat alanında, tarım ve ormancılıkta, savunma sanayinde birçok yapısal parçanın üretiminde kullanılarak düktil demirlerin kullanım alanı daha da genişlemiştir [12].

ADI'nın mikroyapısal ve mekanik özellikleri üzerine yüzlerce çalışma yapılmıştır ve hala da yapılmaktadır. Yeni çalışmalar malzemenin mevcut özelliklerini daha da geliştirmeye odaklanmıştır. Bilindiği gibi mühendislik malzemelerinin özellikleri yüzey koşullarına büyük ölçüde bağlıdır. Bilye püskürtme, yüzey haddeleme ve yüzey sertleştirme malzemenin mukavemetini artırmak için kullanılan yaygın metotlardır. Karbürleme, nitrürleme, karbonitrürleme ve borlama gibi bazı yüzey modifikasyon işlemleri ise metalik malzemelerin mekanik ve korozif özelliklerini geliştirmek için uygulanmaktadır. Ancak bu yüzey modifikasyon işlemlerinin östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir (ÖKGDD) malzemeye uygulanması mümkün olmamaktadır. Östemperleme işlemi genellikle martenzit başlama sıcaklığı (Ms) ile 450 °C arasında yapılmaktadır. Yüzey işlemleri ise östemperleme sıcaklığının üzerinde gerçekleştirildiği için ÖKGDD'e mükemmel özellikleri kazandıran beynitik yapı bozulmaktadır. Bu problemi aşmak için, çalışmalar, lazer yüzey ergitme (LSM) ve lazer yüzey sertleştirme (LSH) gibi modern yüzey mühendisliği tekniklerine yönelmiştir. Böylece, matris yapıyı değiştirmeden yüzeyde belli kalınlıkta bir tabakanın özelliklerini geliştirmek mümkün olmaktadır [13]. Korozyon direnci ve yüzey sertliğini artırmak için düşük sıcaklıklar kullanılarak PVD, Elektroless kaplama[14] ve Sol-gel kaplama[15] gibi yüzey kaplama yöntemleri ile malzemenin yüzeyi kaplanır. Bahsedilen yöntemler sadece östemperleme ısıl işleminden sonra uygulandığı için maliyeti artırır.

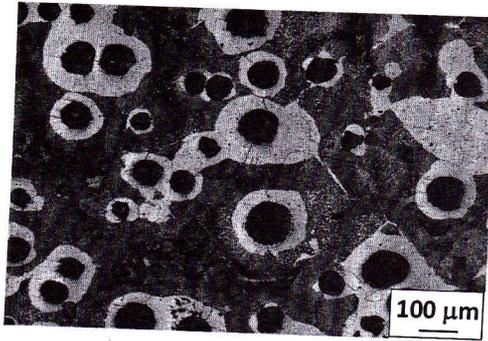
En yeni çalışmalardan biri ise düktil demire bortemperleme işleminin uygulanmasıdır. Yalçın ve arkadaşları [16] klasik borlama ve östemperleme işlemi birleştirerek yüzeyi sert, dolayısıyla aşınma ve korozyon direnci yüksek, matriste ise ösferritik yapı oluşturarak iyi süneklikle birlikte yüksek mukavemet ve kırılma tokluğuna sahip bir malzeme elde etmeyi amaçlamışlardır. Gerçekten, yapılan çalışmalarda ösferrit matrisi üzerinde FeB ve Fe<sub>2</sub>B'dan oluşan borür tabakasına sahip bortemperlenmiş küresel grafitli dökme demir (BDI) elde edilmiştir. Çalışmada BDI'nın ADI'dan daha iyi yüzey özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir.

ADI'nın korozyon direncini artırmak için kullanılan kaplamalar ilave maliyet getirmektedir. Bortemperleme ise mükemmel mekanik özellikleri sağlayan ösferrit içyapıyı bozmadan ADI'nın yüzey özelliklerini geliştirmektedir. Ancak BDI'nın korozyon özellikleri üzerine henüz bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmanın amacı bortemperleme şartlarının sulu 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinde malzemenin korozyon davranışına etkisini incelemek ve mikroyapı ile ilişkisini araştırmaktır. Bu amaçla işlenmemiş (as-cast), borlanmış ve bortemperlenmiş numunelere korozyon testi uygulanmıştır. Elde edilen akım-potansiyel eğrilerinden yararlanarak korozyon hızları belirlenmiştir. Optik mikroskop ve XRD cihazları yardımıyla parlatılmış ve dağlanmış numunelerin mikro yapıları incelenmiştir.

## 2. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Malzeme ve Isıl İşlemler

Bu çalışmada kullanılan işlemsiz küresel grafitli dökme demirin kimyasal bileşimi C: 3.64%, Mn: 0.38%, Si: 2.52%, P: 0.051%, S: 0.10%, Cr: 0.084%, Cu: 0.26%' dir. Küresel grafitli dökme demir Y-blok kalıplarına dökülmüştür. Küresel grafitli dökme demirin mikroyapısı; iyi küreselliğe sahip, değişik kalınlıkta grafit kürelerini çevreleyen ferritik ile perlitik bir matristen oluşmaktadır (Şekil 1). Test örnekleri 5 mm çapında 20 mm uzunluğunda silindirik olarak hazırlanmıştır.



Şekil 1. %2 Nital ile dağlanmış küresel grafitli dökme demirin mikro yapısı.

Kutu borlama metodu seçilmiştir. Çünkü erimiş tuz banyosunda sıvı borlama tekniği numune üzerinde tuz tabakası oluşturur ve buda küresel grafitli dökme demirlerin östemperlenebilirliğini azaltır. Borlama 900°C sıcaklıkta, 2 ve 5 saat sürelerde atmosferik basınç altında ( bor verici - B<sub>4</sub>C, activator - KBF<sub>4</sub> ve dolgu maddesi-SiC) ticari Ekabor®2 tozu içeren katı ortamda gerçekleştirilmiştir. Sonra oda sıcaklığında havada soğutulmuştur. Bor temperleme işleminde ise örnekler ilk olarak borlanmış ve sonra 250°C ve 375°C sıcaklıkta erimiş tuz banyosunda yaklaşık 1 saat tutulmuştur. Bütün ısıl işlemler Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Küresel grafitli dökme demirin ısıl işlem şartları

Numune kodu	Borlama süresi (h)	Temperleme sıcaklığı, (°C)
5BFC	5	-
2BAC	2	-
5BAC	5	-
225BDI	2	250
525BDI	5	250
237BDI	2	375
537BDI	5	375

BFC: Borlanmış ve fırında soğutulmuş küresel grafitli dökme demir  
BAC: Borlanmış ve havada soğutulmuş küresel grafitli dökme demir  
BDI: Bortemperlenmiş küresel grafitli dökme demir

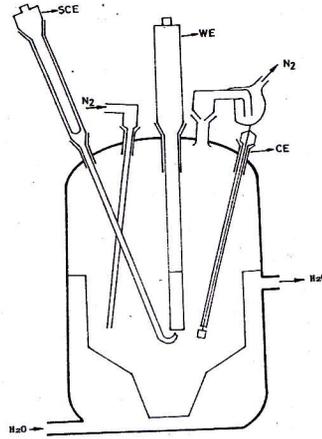
### 2.2. Metalografik İnceleme

Olympus optik mikroskop ve Leo 1430 VP taramalı elektron mikroskobu, parlatılmış ve dağlanmış numunelerin kesitlerinin mikroyapısını incelemek için kullanılmıştır. Parlatılmış

yüzeyler % 2 Nital kullanılarak dağlanmıştır. Kaplanmış tabaka içinde oluşan bor tabakasının varlığı CuK  $\alpha$  ( $\lambda = 0.15406$  nm) ışını kullanılarak Shimadzu XRD 6000 marka X ışını diffraksiyon cihazı yardımıyla doğrulanmıştır. Numuneler üzerinde oluşan bor tabakasının kalınlığı optik mikroskoba bağlı optik mikrometre ile ölçülmüştür.

### 2.3. Akım- potansiyel eğrilerinin elde edilmesi

As-cast, borlanmış ve bortemperlenmiş küresel grafitli dökme demirler çalışma elektrodu olarak kullanılmıştır. Deneyler bir elektrokimyasal hücrede yapılmıştır. Platin elektrot counter elektrot, doygun kalomel elektrot (DKE) referans elektrot olarak, demir ve demir alaşımları çalışma elektrotu olarak kullanılmıştır (Şekil.2).



Şekil 2. Korozyon hücresi.

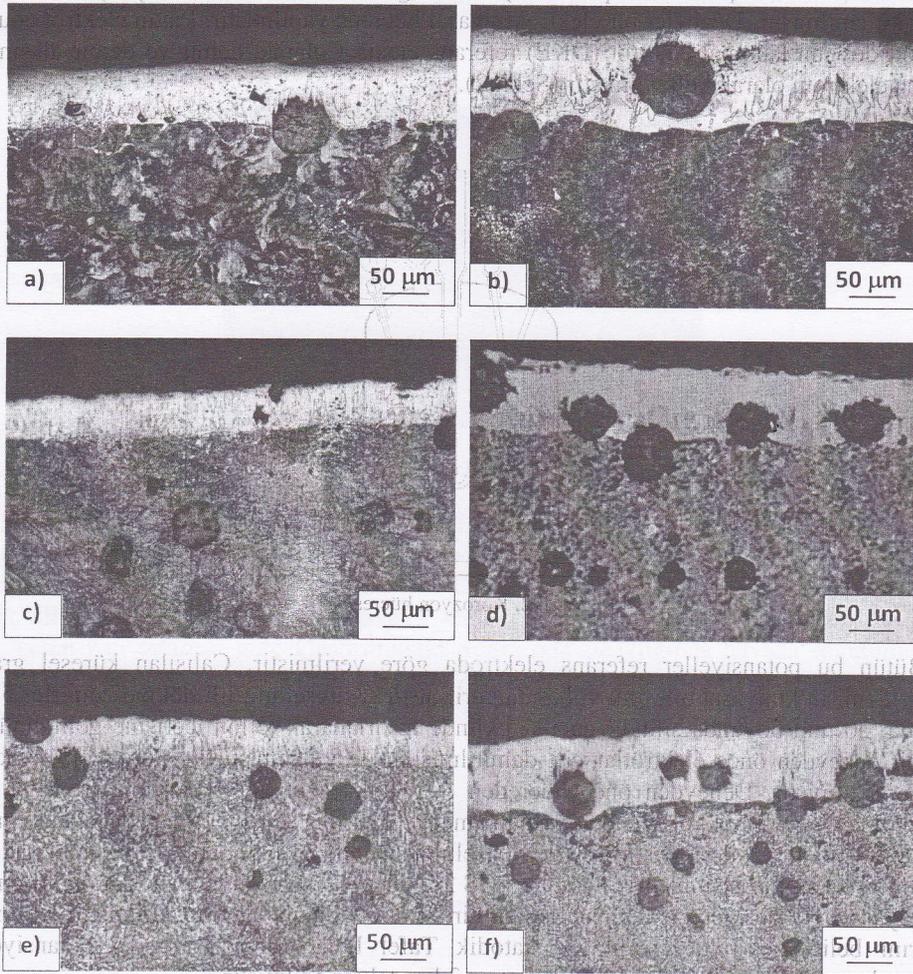
Bütün bu potansiyeller referans elektroda göre verilmiştir. Çalışılan küresel grafitli dökme demirin kimyasal bileşimi yukarıda verilmiştir. Küresel grafitli dökme demirler 5 mm çapında, 20 mm boyunda silindir çubuk şeklinde hazırlanarak teflon içerisine gömülmüştür. Her bir deneyden önce elektrotlar çift damıtılmış su ile yıkanmıştır ve korozyon hücresine transfer edilmiştir. Deneyden önce hücreden 30 dakika azot gazı geçirilmiştir. Azot gazı progallolden geçirilerek oksijenden arındırılmıştır. Her bir deney esnasında çözeltiler bir magnetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Çözeltiler merck saflıkta H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılarak çift damıtılmış su ile hazırlanmıştır. Ölçümler PGS 2000D potansiyostat/galvanostat, Pentium 100 bilgisayar ve HP deskjet 845C yazıcı içeren bir sistem kullanılarak elde edilmiştir. Korozyon hızlarını belirlemek için anodik ve katodik Tafel bölgelerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu kullanılmıştır. Deneyler en az 3 kez tekrar edilmiştir.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

### 3.1. Mikroyapı

Borlanmış ve bor temperlenmiş KGDD'lerin seçilmiş optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 3'de görülmektedir. Yüzeyde oluşan bor tabakası dişsel bir morfolojiye sahiptir ve tabaka/matris arayüzeyi oldukça düz görünmektedir. Mikroyapısal inceleme bor tabaka kalınlığının borlama süresine bağlı olduğunu, fakat borlamadan sonra soğutma koşullarından etkilenmediğini göstermektedir. Borlanan ve bortemperlenen KGDD'lerin yüzeyinde oluşan

bor tabaka kalınlığı 2 ve 5 saatlik borlama süreleri için sırasıyla  $42 \pm 8,8$  and  $65 \pm 9,6$   $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Borlanmış ve bor temperlenmiş küresel grafitli dökme demir (BKGDD) ve ÖKGDD'in mekanik özellikleri ve matris mikroyapısı üzerine etki eden başlıca faktör izotermal dönüşüm sıcaklığıdır. Borlanan numunenin matris mikroyapısı ince perlitik yapıya sahipken (Şekiller 3a ve 3b), bor temperlenen dönüşüm sıcaklığına bağlı olarak ya alt beynitik (Şekil 3c ve 3d) ya da üst beynitik (Şekil 3e ve 3f) matris yapısına sahiptir.

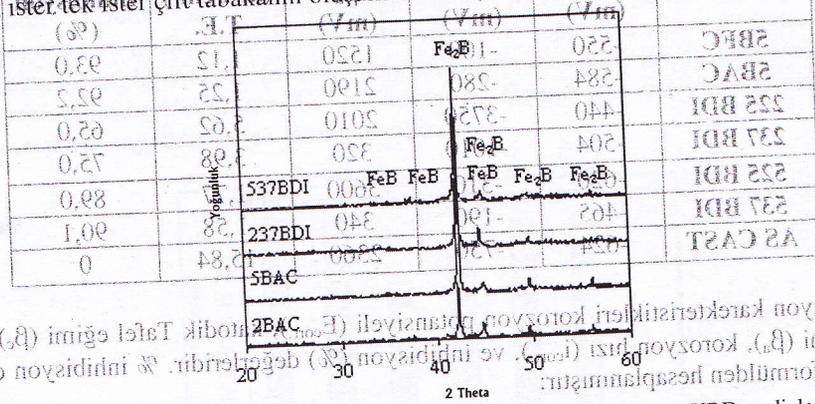


Şekil 3. Borlanmış ve bor temperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin optik mikroyapıları: (a) 2 saat borlanmış (2BAC), (b) 5 saat borlanmış (5BAC), (c) 2 saat borlanmış ve 250°C'de temperlenmiş (225BDI), (d) 5 saat borlanmış ve 250°C'de temperlenmiş (525BDI), (e) 2 saat borlanmış ve 375°C'de temperlenmiş (237BDI) ve (f) 5 saat borlanmış ve 375°C'de temperlenmiş (537BDI).

250°C de ferrit iğnelerinin büyüme hızı yüksek iken karbon difüzyon hızı nispeten düşüktür. Oda sıcaklığında matris ince, iğnesel ferrit, az miktarda kalıntı östenit ve çok ince karbürlerden oluşan alt beynitir. Yüksek sıcaklıkta (375°C) üst beynit oluşumuyla sonuçlanan farklı bir dönüşüm mekanizması mevcuttur. Karbon difüzyonu daha hızlıdır ve böylece karbonun çoğu beynitik ferrit plakalarının dışına yayılabilir. Neticede üst beynit

yapısı nispeten kaba, tüylü, karbürsüz ferrit plakaları ve yüksek miktarda kalıntı östenit bir karışımından oluşmaktadır.

900 °C de 2 ve 5 saat borlanan ve bor temperlenen numunelerin yüzeyinde oluşan fazlar XRD analizi ile belirlenmiştir. (Şekil 4). Borlama ve bor temperleme ısıl işlemi ile Fe<sub>2</sub>B'den oluşan bir tabakanın meydana geldiği görülmektedir. Oysa daha önce yapılan bir çalışmada [17] tuz banyosunda borlanan KGDD'in yüzeyinde çift tabakanın oluştuğu kaydedilmektedir. Gerçekte, ister tek ister çift tabakanın oluşumu ortamda borun bulunabilirliğine bağlıdır.

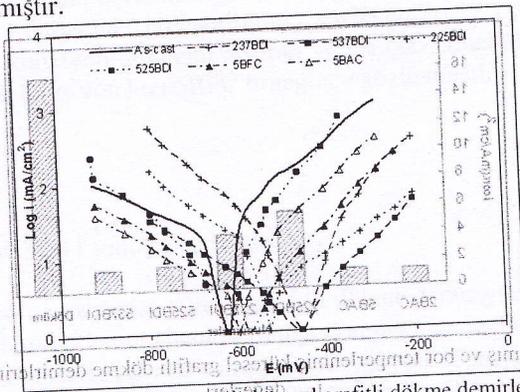


Şekil 4. Bor temperlenmiş ve borlanmış küresel grafitli dökme demirlerin XRD analizleri

Şimdiki çalışmada, Fe<sub>2</sub>B tek tabakanın oluşumu borlama ortamında bor miktarının sınırlı olmasına bağlanabilir. Aslında, Fe<sub>2</sub>B'den oluşan tek bor tabakası daha fazla tercih edilmektedir. Çünkü, FeB and Fe<sub>2</sub>B fazları sırasıyla çekme ve basma kalıntı gerilmeler altında oluşur. Çift faz tabaka arayüzeyinde sık sık çatlak oluşmuştur. Bu çatlaklar, mekanik zorlama uygulandığında pul pul dökülmelere neden olabilmektedir [18].

### 3.2. Akım Potansiyel Eğrilerinin Sonuçları

İşlenmiş küresel grafitli dökme demir, borlanmış ve bor temperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin korozyon davranışı Wenking PGS 2000D potansiyostat/galvanostat korozyon ölçüm sistemi kullanılarak incelenmiştir. Anodik polarizasyon eğrileri 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinde oluşturulmuştur. Şekil 5 de bütün örneklerin tipik potansiyodinamik anodik polarizasyon eğrilerini göstermektedir. Borlanmış ve bor temperlenmiş örneklerin korozyon potansiyelleri daha pozitif potansiyel değerlerine kaymıştır. Bor tabakası burada anodik inhibitör olarak davranmıştır.



Şekil 5. İşlenmemiş, borlanmış ve bor temperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisinde anodik polarizasyon eğrileri.

Bu çalışmadaki bütün örnekleri için potantiodinamik polarizasyon testlerinin sonuçları Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Potansiyodinamik polarizasyon testlerinin sonuçları.

Numuneler	$E_{cor}$ (mV)	$\beta_c$ (mV)	$\beta_a$ (mV)	$i_{corr.}$ (mA/cm <sup>2</sup> ) T.E.	Inhibisyon (%)
5BFC	-550	-100	1520	1,12	93,0
5BAC	-584	-280	2190	1,25	92,2
225 BDI	-440	-3750	2010	5,62	65,0
237 BDI	-504	-1010	320	3,98	75,0
525 BDI	-620	-310	3600	1,77	89,0
537 BDI	-465	-190	340	1,58	90,1
AS CAST	-624	-750	2360	15,84	0

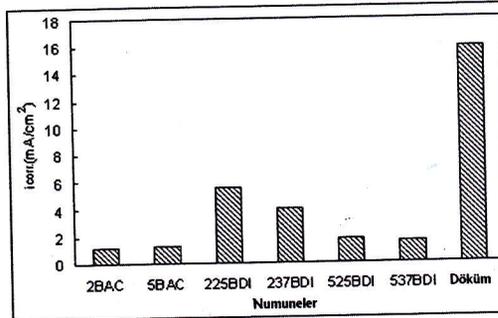
Korozyon karakteristikleri korozyon potansiyeli ( $E_{corr.}$ ), katodik Tafel eğimi ( $\beta_c$ ), anodik Tafel eğimi ( $\beta_a$ ), korozyon hızı ( $i_{corr.}$ ), ve inhibisyon (%) değerleridir. % inhibisyon değerleri aşağıdaki formülden hesaplanmıştır:

$$Inhibisyon\% = \frac{i_0 - i_c}{i_0} \times 100$$

Burada  $i_c$  ve  $i_0$  sırayla inhibitörlü ve inhibitörsüz korozyon hızlarını göstermektedir.

Örneklerin karşılaştırmalı  $i_{corr.}$  ve % inhibisyon değerleri şekil 6 ve şekil 7'de sırayla gösterilmiştir. Çizelge 2, Şekil 6 ve Şekil 7 incelendiğinde örneklerinin korozyon davranışının ısıtma şartlarından etkilendiği görülmektedir. Borlama işleminden sonra borlama süresi ve soğutma şartları gibi ısıtma şartları numunelerin korozyon davranışlarını etkilemektedir. Borlama süresi bor tabakasının kalınlığını artırırken bununla birlikte soğutma şartları farklı matris yapı oluşumunu kontrol eder.

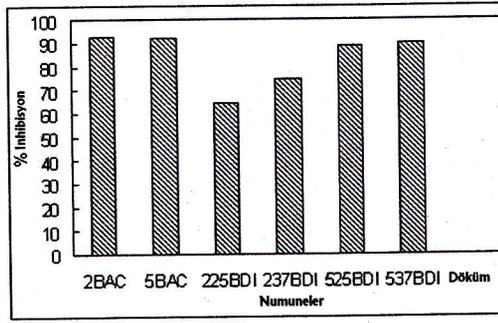
Borlama süresi korozyon direnci üzerine çok etkilidir, borlamadan sonraki soğutma şartlarının etkisi tamamen sınırlıdır. Borlama süresinin artması kaplama kalınlığının artmasına neden olmuştur malzemenin korozyon direncini artırmıştır. 2 saat borlanmış örneklerin korozyon hızı yüksektir. 2 saat süreyle borlanan numunelerin korozyon hızı 5 saat süre ile borlanan numunelerin korozyon hızından daha yüksek ve % inhibisyonları daha düşüktür.



Şekil 6. İşlenmemiş, borlanmış ve bor temperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisindeki  $i_{corr.}$  değerleri

Soğutma şartlarına göre oluşan matris yapısı numunelerin korozyon davranışını da etkilemektedir. Hem havada hem de fırında soğutulan örneklerde dikkate değer düşük korozyon hızı gözlenmiştir. 5BFC örneği fırında soğutmada sonra oluşan ferritik matris yapısına en çok sahip olmaktadır. Bununla birlikte havada soğutulan 5BAC örneği perlitik matris yapısına sahiptir. Bu sonuçlar Şekil 7 ve Çizelge 2 'de gösterilen % inhibisyon değerleri ile de uyumludur.

Anodik ve katodik Tafel eğrilerinden elde edilen  $\beta_a$  ve  $\beta_c$  değerleri düşük sıcaklıklar ve havada soğutmanın tersine yüksek sıcaklıklar ve fırında soğutmada daha düşüktür. Korozyon hızları yüksek sıcaklıklarda ve fırında soğutmada daha düşüktür. En düşük korozyon hızları 5BFC örneklerinde görülmüştür. En iyi korozyon direnci için optimum şartlar 5 saatlik borlama ve yavaş soğutma olarak tanımlanabilir.



Şekil 7. İşlenmemiş, borlanmış ve bor temperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisindeki % inhibisyon değerleri.

Bortemperlenmiş örnekler karşılaştırıldığı zaman dönüşüm esnasında üretilen yapı üst ösferrit veya alt ösferrit ise sırayla korozyon hızı daha düşük veya daha yüksektir. Bununla birlikte borlama süresi BDI örneklerinde korozyon direnci üzerinde matris tipi yapısından çok fazla etkilidir.

237BDI ve 537BDI örnekleri benzer matris yapısına (üst ösferrit) sahiptir ama 537BDI (%90,1) örneği 237BDI örneğinden (%75) daha yüksek inhibisyon değerine sahiptir. Bu borlama süresinin artmasıyla borlama kalınlığının artması şeklinde açıklanabilir. 537BDI, 5BAC ve 525BDI nin sonuçları karşılaştırıldığında matris ve yüzeylerin sertliği artar ve bir önceki çalışmada gözlenen darbe tokluğunun azalması gibi [16].

Gözlemlenen sonuçlardan borlama veya bortemperleme işleminin küresel grafitli dökme demirlerin korozyon direncini iyileştirdiğini söyleyebiliriz. Daha yüksek sıcaklıkta bortemperleme işlemi korozyon direncini artırıcı yönde etki etmektedir. Sonuç olarak en iyi inhibisyon ve en düşük korozyon hızı 5BFC örneğinde gözlenmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. Borlanan ve bortemperlenen küresel grafitli dökme demir yüzeyinde Fe<sub>2</sub>B tek tabakası oluşmuştur. Hem borlanmış hem bortemperlenmiş numunelerin bor tabaka kalınlığı 2 ve 5 saatlik borlama süreleri için sırasıyla 42±8,8 and 65±9,6 µm olarak ölçülmüştür.
2. Matris mikroyapısı borlamadan sonraki soğutma koşullarına bağlı olarak perlitik, alt beyitlik veya üst beyitlik yapıda oluşmaktadır.

3. Bor kaplanan örneklerde korozyon potansiyeli daha pozitif değerlere kaymıştır. Burada bor tabakaları anodik inhibitör gibi davranmaktadır.
4. En iyi inhibisyon ve en düşük korozyon hızı 5BFC örneğinde olmuştur. Daha yüksek sıcaklıkta temperleme korozyon direncini artırıcı yönde etki etmektedir.
5. Hem borlanan hem bor temperlenen numunelerin korozyon direnci işlemsiz küresel grafitli dökme demire göre daha yüksektir. Bununla birlikte, sadece borlanan numuneler, bor temperlenenlere göre daha iyi korozyon direnci göstermiştir.

**Tesekkür:** Bu çalışma 104M398 Nolu TUBITAK projesi tarafından desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR

1. Iacoviello F., Di Bartolomeo O., Di Cocco V. and Piacente V., Materials Science and Engineering A, vol. 478, p. 181, 2008.
2. Cheng-Hsun Hsu, Ming-Li Chen and Chia-Jung Hu, Materials Science and Engineering A, vol. 444, p. 339, 2007.
3. Yongxin Zhou and Zhenlin Lu, Min Zhan, Materials & Design, vol. 28, no. 1, p. 260, 2007.
4. Gundlach R.B. and Janowak J.F., AFS Trans., vol. 94, p.377, 1983.
5. Harding R.A., Kovove Mater., vol. 45, p. 51, 2007.
6. Harding R.A., The Foundryman, vol. 86, p.197, 1993.
7. Yang J. and Putatunda S.K., Materials Science and Engineering A, vol. 406, p.217, 2005
8. Putatunda S.K., Bartosiewicz, L., Krause, A.R., Singh, I. and Alberts, F.A., Mater. Charact., vol. 30, p. 221, 1993.
9. Harding R.A., Materials & Design, vol. 6, p. 177, 1985.
10. Hughes I. C. H., Materials & Design, vol. 6, p. 124, 1985.
11. Putatunda S.K., Materials Science and Engineering A, 2001, vol. 315, p. 70, 2001.
12. Fuller A.G., Materials & Design, vol. 6, p. 127, 1985.
13. Roy A. and Mana I., Materials Science and Engineering A, vol. 297, p. 85, 2001.
14. Cheng-Hsun Hsu, Jung-Kai Lu, and Rung-Jie Tsai, Surface & Coatings Technology, vol. 20, p. 5725, 2006.
15. Pepe A., Galliano P., Cere S., Aparicio M. and Duran A., Materials Letters, vol. 59, p. 2219, 2005.
16. Yalçın Y. and Yazıcı A.M., Kovove Mater., vol. 45, p. 51, 2007.
17. Şen, U., Şen, Ş. ve Yılmaz, F., Surface and Coatings Technology, vol. 176, p. 222, 2004.
18. Sinha A.K., ASM Int. Handbook Materials Park, OH, USA: The Materials International Society, vol. 4, p. 437, 1991.

#### 4 SONUÇLAR

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. Borlanan ve bor temperlenen küresel grafitli dökme demir yüzeyinde Fe<sub>2</sub>B tek tabakası oluşmuştur. Hem borlanmış hem bor temperlenmiş numunelerin bor tabaka kalınlığı 2 ve 2 saatlik borlama süresi için sırasıyla 42±8.8 and 62±9.0 μm olarak ölçülmüştür.
2. Matris mikroyapısı borlamadan sonraki süzümüne bağlı olarak farklı boyutluk ve şekilli veya üst boyutluk yapıda oluşmaktadır.