

III. ULUSLARARASI BOR SEMPOZYUMU BİLDİRİLER KİTABI

PROCEEDINGS OF THE 3rd INTERNATIONAL BORON SYMPOSIUM

02-04 Kasım/November
2006 Ankara, TÜRKİYE

Editörler/Editors

Tevfik GÜYAGÜLER
Sinem KARAKAŞ
Zeynep ÖZDEMİR
Ahmet KARAKAŞ
Ayşe BÜKÜLMEZ
Oğuz SÖNMEZER



TMMOB Maden Mühendisleri Odası
The Chamber of
Mining Engineers of Turkey



Eti Maden İşletmeleri
Genel Müdürlüğü
Eti Mine Works General Management



Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü
National Boron
Research Institute

III. ULUSLARARASI BOR SEMPOZYUMU BİLDİRİLER KİTABI

PROCEEDINGS OF III. INTERNATIONAL BORON SYMPOSIUM

2-4 KASIM / NOVEMBER 2006
ANKARA

Editörler / Editors

Tevfik GÜYAGÜLER
Sinem KARAKAŞ
Zeynep ÖZDEMİR
Ahmet KARAKAŞ
Ayşe BÜKÜLMEZ
Oğuz SÖNMEZER



Eti Maden İşletmeleri
Genel Müdürlüğü
Eti Mine Works
General Management



TMMOB
Maden Mühendisleri Odası
The Chamber of Mining Engineers
of Turkey



BOREN
Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü
National Boron
Research Institute

DÜZENLEME KURULU / ORGANIZING COMMITTEE

Mehmet TORUN TMMOB Maden Mühendisleri Odası
Orhan YILMAZ Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü
Erk İNGER Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN)

YÜRÜTME KURULU / EXECUTIVE COMMITTEE

Başkan / Chairman: Prof.Dr. Tevfik GÜYAGÜLER

Üyeler / Members :

Metin ALEMDAR	<i>Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü</i>
Salih AYDIN	<i>Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü</i>
Ayşe ALPAGUT BÜKÜLMEZ	<i>Orta Doğu Teknik Üniversitesi</i>
Ekrem CENGİZ	<i>Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü</i>
Celalettin ERTEN	<i>Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü</i>
Esenay HACIOSMANOĞLU	<i>Orta Doğu Teknik Üniversitesi</i>
Ahmet KARAKAŞ	<i>Orta Doğu Teknik Üniversitesi</i>
Sinem KARAKAŞ	<i>Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü</i>
Bilun ONAT	<i>Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü</i>
Zeynep ÖZDEMİR	<i>Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü</i>
Cemalettin SAĞTEKİN	<i>TMMOB Maden Mühendisleri Odası</i>
Ahmet SARDAR	<i>TMMOB Maden Mühendisleri Odası</i>
Oğuz SÖNMEZER	<i>TMMOB Maden Mühendisleri Odası</i>
Nejat TAMZOK	<i>TMMOB Maden Mühendisleri Odası</i>
Seyfullah YILMAZ	<i>Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü</i>

TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI YÖNETİM KURULU THE EXECUTIVE BOARD OF THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS

Başkan / President:	Mehmet TORUN
II. Başkan / Vice President:	Berna Fatma VATAN
Yazman / Secretary:	Nahit ARI
Sayman / Treasurer:	Ahmet SARDAR
Üyeler / Members:	Mehmet Ali HİNDİSTAN Cemalettin SAĞTEKİN Hüseyin Can DOĞAN

BİLİM KURULU / SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Dr. Ali AKAR	D.E.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Ali İhsan AROL	ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Ümit ATALAY	ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü
Doç. Dr. Ergun BAYSAL	Muğla Üniversitesi Eğitim Fakültesi Mobilya Dek. Böl.
Prof. Dr. Nusret BULUTÇU	İ.Ü. Metalurji-Kimya Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. M. Sabri ÇELİK	İ.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Halim DEMİREL	Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Göktay EDİZ	Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Ekrem EKİNCİ	İ.Ü. Metalürji-Kimya Bölümü.
Prof. Dr. İnci EROĞLU	ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Sait GEZGİN	Selçuk Üniversitesi Toprak Bilimleri Bölümü
Prof. Dr. İsmail GİRGİN	Hacettepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Özcan GÜRSOY	Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Cahit HİÇYILMAZ	ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Çetin HOŞTEN	ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü
Doç. Dr. Nami KARTAL	İ.Ü. Orman Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Ferhat KARA	Anadolu Üniversitesi Metalürji-Malzeme Bölümü
Prof. Dr. Mevlut KEMAL	D.E.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü
Dr. Adnan KÖSE	Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü
Prof. Dr. Hasan MANDAL	Anadolu Üniversitesi Metalürji-Malzeme Bölümü
Doç. Dr. Ayhan MERGEN	Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü
Prof. Dr. Güven ÖNAL	İ.T.Ü. Maden Fakültesi
Prof. Dr. Gülhan ÖZBAYOĞLU	ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Önder ÖZBELGE	ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Hüseyin ÖZDAĞ	Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Canan ÖZGEN	ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü
Doç. Dr. Şafak ÖZKAN	İ.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Saim ÖZKAR	ODTÜ Kimya Bölümü
Prof. Dr. Tayfur ÖZTÜRK	ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Dr. Kenan POSLU	Süd-Chemie Madencilik San ve Tic. A.Ş.
Prof. Dr. Naci SEVİNÇ	ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Uğur ŞAYLI	Fatih Üniversitesi Tıp Fakültesi
Prof. Dr. Süleyman TABAN	Ankara Üniversitesi Toprak Bilimleri
Prof. Dr. Muharrem TİMUÇİN	ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Yavuz TOPKAYA	ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Gürdal TUNCER	ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Lemi TÜRKER	ODTÜ Kimya Bölümü
Prof. Dr. Ali USANMAZ	ODTÜ Kimya Bölümü
Doç. Dr. İlker USTA	Hacettepe Üniversitesi Ağaç İşleri
Ümit R. ÜNCÜ	Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü
Prof. Dr. Kahraman ÜNLÜ	ODTÜ. Çevre Mühendisliği Bölümü
Doç. Dr. Ayşen YILMAZ	ODTÜ Kimya Bölümü
Doç. Dr. Ekrem YÜCE	İ.T.Ü. Maden Fakültesi
Prof. Dr. Hayrettin YÜCEL	ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü
Prof. Dr. Meral YÜCEL	ODTÜ Biyoloji Bölümü

A. Çalık, M. Şimşek	175
Ticari EKabor®-II Tozunun Borlama İşleminde Tekrar Kullanma Sayısının Araştırılması / <i>Investigation of Reusing of Commercial EKabor® II Powder in Boriding Process</i>	
Y. Kayalı, Y. Yalçın, Ş. Taktak	181
Amorf Bor'un Boroksit'ten Eldesi ve Soxhlet Yöntemiyle Saflaştırılması / <i>Production of Amorphous Boron from Boron Oxide and Purification by Soxhlet Method</i>	
M. Erdoğan, T. Özgen, S. Okur, S. Okur	187
Amonyum Tetraborat Tetrahidratın Bor Oksit Üretimi / <i>Production of Boron Oxide from Ammonium Tetraborate Tetrahydrate</i>	
Ö. Şahin, M.S. İzgi, H. Demir	191
Asetik Asit Çözeltilerinde Boraksın Çözünme Kinetiği / <i>Dissolution Kinetics of Borax in Acetic Acid Solutions</i>	
M. Tunç, N. Mermerci, M.Yeşilyurt, M.M.Kocakerim, S.Çolak	199
Probertitin Borik Asit Çözeltisinde Çözünürlüğünün İncelenmesi / <i>Investigation of Dissolution of Probertite in Boric Acid Solutions</i>	
M.H. Demirhan, A. Mergen, B. Şentürk, O. Yılmaz	203
Potasyum Tetraborat Tetrahidratın Kurutulma Kinetiği / <i>Drying Kinetics of Potassium Tetraborate Tetrahydrate</i>	
Ö. Şahin, E. S. Cennetkuşu, M.S.İzgi	209
Flaş Kalsine Kolemanitin CO ₂ Gazı ile Doyurulmuş Sulardaki Çözünürlüğünün İncelenmesi / <i>Investigation of Dissolution of Flash Calcined Colemanite in Waters Saturated with CO₂ Gas</i>	
M. Yeşilyurt, S. Çolak	217
Nadir Toprak Element Katkılı Lityum Triboratin Sentezi ve Karakterizasyonu / <i>Synthesis and Characterization of Rare-Earth Doped Lithium Triborate</i>	
B.Ardıçoğlu, G.Özbayoğlu, A. Yılmaz	223
Bir Organik Yakıt Kullanılarak Çözelti Ortamında Kobalt Borat Sentezi / <i>Synthesis of Cobalt Borate in the Solution Medium by Using an Organic Fuel</i>	
H.Erdoğan, N.Altuntaş-Öztaş, B. Zümreoğlu-Karan	227
Çinko Oksit ve Borik Asitten Çinko Borat Üretim Reaksiyonunun Kinetiği / <i>Kinetics of Zinc Borate Production Reaction from Zinc Oxide and Boric Acid</i>	
D. Gürhan, İ. Eroğlu, G.Ö. Çakal, S. Özkar	231
Çinko Borat Katkılı Polipropilen Bazlı Kompozitlerin Yanma Davranışları ve Mekanik Özellikleri / <i>Flame Behavior and Mechanical Properties of Zinc Borate Containing Polypropylene Composites</i>	
M. Kılınç, G. Bayram	237
Borik Asit Üretim Sisteminin Algısal Yöntem ile Denetlenmesi / <i>Inferential Control of Boric Acid Production System</i>	
Ö. Dervişoğlu, I. Aşar, İ. Eroğlu, C. Özgen, G. Ö. Çakal	245
Mikrodalga Enerjisinin Hidrate Bor Minerallerinin Sudaki Çözünürlüklerine Etkisinin Araştırılması / <i>Investigation of The Effects of Microwave Energy on The Solubility of Hydrated Boron Minerals in Water</i>	
Ş. G. Özkan, M. F. Eskibalçı	253
Kalsiyum Borat Üretiminin Araştırılması	
M.E. Çelen, L. Özmen	259
Farklı Bor İçeriğine Sahip Potasyum Boratların Üretim Yönteminin Araştırılması	
M.E. Çelen, L. Özmen	263
Borik Asit Çözeltilerinin Sülfürik Asit Varlığındaki Çözünürlük ve Nükleasyon Davranışı ve Endüstriyel Açısından Önemi / <i>Solubility and Nucleation Behavior of Boric Acid Solutions in The Presence of Sulfuric Acid and Their Industrial Importance</i>	
A.A.Ceyhan, M. B. Kuşay Çelikoyan, A.N.Bulutcu	267
Püskürtmeli Kurutucu Çalışma Şartlarının Hidrate Sodyum Borat Ürünü Üzerine Etkileri / <i>Effect of Spray Drying Conditions on Hydrated Sodium Borate Powders</i>	
E. Özdemir, N. Erdöl Aydın, G. Nasün Saygılı	273
Boraks Dekahidratın Islanma Isısının Aktifleme Sıcaklığına Bağlı Değişimi / <i>Change of Immersion Heat of</i>	

Ticari EKabor®-II Tozunun Borlama İşleminde Tekrar Kullanma Sayısının Araştırılması

Investigation of Reusing of Commercial Ekabor® II Powder in Boriding Process

Y. Kayalı, Y. Yalçın & Ş. Taktak

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, A.N.S. Kampüsü, 03200, Afyon

ÖZET: Bu çalışmada, ticari Ekabor®-II tozunun borlama işleminde tekrar kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla küresel grafitli dökme demir numuneler, daha önce borlanmış paslanmaz çelik kutu içerisinde Ekabor®-II tozuna gömülerek 900 °C de 2 saat borlanmışır. İşleminde kullanılan borlama tozu borlama şartları aynı olmak üzere ikinci ve üçüncü kez kullanılmıştır. Borlama tozunun tekrar kullanım sayısına bağlı olarak malzeme üzerinde oluşan borür tabakasının morfolojisi, bileşimi, kalınlığı ve sertliği incelenmiştir. Ayrıca, borlanan numunelerin farklı yükler altındaki aşınma davranışları araştırılmıştır.

Borlama tozunun tekrar borlama işleminde kullanılmasıyla borür tabaka kalınlığının azaldığı gözlenmiştir. Oluşan borür tabakasının bileşimi ve sertliğinin de tozun tekrar kullanılma sayısına bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Tozun ilk kullanımında malzeme yüzeyinde oluşan borür tabakası FeB ve Fe₂B fazlarından meydana gelirken, toz tekrar kullanıldıkça FeB fazı azalmış ve hemen hemen sadece Fe₂B den oluşan tek fazlı bir kaplamaya dönüşmüştür. Dolayısıyla azalan FeB fazıyla birlikte tabaka sertliğinde düşüş meydana gelmiştir. Aşınma deneyleri neticesinde ise artan kullanım sayısı ve artan yük ile aşınma hızının arttığı belirlenmiştir.

ABSTRACT: In this study, reuse of commercial Ekabor®-II boriding powder was investigated. Ductile cast iron samples were pack borided in Ekabor® II powder at a temperature of 900 °C for 2 h. Boriding powder was used second and third times at same boriding conditions. Hardness, thickness and morphology of boride layer was examined depending on number of reuse. In addition, wear behaviour of borided samples was investigated under different loads.

It was observed that boride layer thickness decreased with the reuse of Ekabor®-II. In addition, phase content and hardness of boride layer was changed depending on number of reuse. While boride layer consisted of FeB and Fe₂B layers after first usage of boriding powder, after second and third usages boride layer constituted of a Fe₂B mono-layer only. Consequently, boride layer hardness decreased due to decreasing FeB content. Wear experiment results showed that wear rate increased with an increase in load and number of reuse.

1 GİRİŞ

Borlama termo-kimyasal bir difüzyon işlemi olup borun yüksek sıcaklıkta çeliğe yayınıdır. Borlama işlemi bütün çeliklere uygulanabildiği gibi demir dışı metal ve alaşımlarına da uygulanabilmektedir. (Özbek, 2000, Usta, 2004). Borlamanın diğer yüzey sertleştirme işlemlerine üstünlüğü, yüzey tabakasının çok sert olmasının yanında yüksek aşınma, korozyon ve yüksek sıcaklıkta oksidasyon direncine sahip olmasıdır (Bindal, 1991). Borlama işlemi genellikle,

700–1000 °C sıcaklık aralığında 1–10 saat sürelerle çeşitli borlama ortamlarında gerçekleştirilmektedir. Borlama ortamı katı, sıvı, gaz ve plazma olup bor kaynağı olarak katı ortamda B₄C, ferro-bor ve amorf-bor (Genel, 2003), gaz ve plazma ortamında B₂H₆, BCl₃ ve (CH₃)₃B (Pengxun, 1992, Bartsch, 1999) ve sıvı ortamında boraks ve borik asit (Şen, 2004) bileşikleridir.

Borlama işleminin en önemli karakteristik özelliği elde edilen borür tabakasının çok yüksek sertlik (1400 – 3000 HV), aşınma direnci, ergime sıcaklığı ve sürtünme katsayısına sahip olmasıdır (Sinha, 1991). Borür tabakası sertliğini nispeten

yüksek sıcaklıklarda (550–600°C) muhafaza edebilmektedir. Ayrıca demir esaslı malzemelerin oksitleyici içermeyen seyreltik asitlere karşı korozyon direncini ve bu malzemelerin erozyon dirençlerini artırmaktadır (Biddulph, 1977, Bindal, 1996).

Kutu proseslerinde kullanılan çok değişik borlama tozları mevcuttur (Sinha, 1991). Bunlardan birisi de ticari olan Ekabor®-II borlama tozudur. Yaklaşık kimyasal bileşimi %5 B₄C, %90 SiC, %5 KBF₄ dir. Genellikle borlama tozu sadece bir kez kullanılmakta ikinci bir borlama işleminde kullanılmamaktadır. Tozun oldukça pahalı olması ve başka bir şekilde değerlendirilememesi maliyeti artırmaktadır. Tozun, borlama işleminde tekrar kullanılabilirliğine yönelik bir çalışmaya rastlanamaması bu çalışmayı yapmaya teşvik etmiştir.

Bu çalışmanın amacı Ekabor®-II ticari borlama tozunun borlama işleminde tekrar kullanılabilirliğini araştırmak ve tozun tekrar kullanılması durumunda malzeme özelliklerine etkisini incelemektir. Bu amaca ulaşmak için ilk borlamada kullanılan toz ikinci borlamada, ikinci borlamada kullanılan toz ise üçüncü borlamada kullanılarak borlanmış küresel grafitli dökme demir malzemeler elde edilmiştir. Borlama tozunun tekrar kullanım sayısına bağlı olarak malzeme üzerinde oluşan borür tabakasının morfolojisi, bileşimi, kalınlığı ve sertliği incelenmiş, borlanan numunelerin farklı yükler altındaki aşınma davranışları araştırılmıştır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Borlama işlemi

Çalışmada borlanacak altlık malzeme olarak, kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilen küresel grafitli dökme demir kullanılmıştır. Numuneler 10x10x17 mm boyutlarında kesilerek metalografik olarak hazırlanmıştır.

Tablo 1. Deneysel malzemenin ağırlıkça kimyasal bileşimi.

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Cu
3,64	2,52	0,38	0,051	0,10	0,084	0,26

Borlama işlemi, ticari Ekabor®-II kullanılarak 900 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile bir paslanmaz çelik pota içerisinde gerçekleştirilmiştir. Paslanmaz pota içerisine ilk önce 1,5 cm yüksekliğinde ticari Ekabor® II tozu yerleştirildikten sonra numunenin üzerine kapatacak şekilde tekrar ticari Ekabor®-II tozu konulmuştur. En üst yüzeye numunelerin atmosferle ilişkisini kesmek amacıyla Ekrit tozu konulmuştur. Borlama işleminden sonra kullanılan toz alınarak ikinci borlamada ve ikinci borlamada kullanılan toz ise üçüncü borlamada kullanılmıştır.

Bu işlemler her bir numune için toz miktarları ve borlama şartları aynı kalacak şekilde yapılmıştır. Borlanan numuneler ortadan kesilerek 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik zımparalardan geçirilmiş ve 1 µm’lik alümina ile parlatılmıştır. Parlatılan ve % 2’lik nital ile dağlanan numuneler optik mikroskop (Olympus BX-60) altında incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir. Tabaka kalınlıkları optik mikroskop yardımıyla ölçülmüş ve her bir numune için 40 ölçümün ortalaması alınmıştır. Numune yüzeylerinden Cu K_α radyasyonu kullanılarak X-ışınları difraksiyon analizi (Shimadzu XRD-6000) yapılmıştır. Ayrıca, numune yüzeyinde oluşan bor tabakasının kalınlığı optik mikroskoba bağlı olan optik mikrometre ile ölçülmüştür.

2.2 Borür tabakasının sertliği ve aşınma direnci

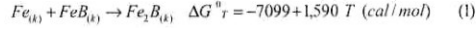
Borlanmış numunelerin sertlik değerleri mikrosertlik cihazında (Shimadzu HM-2) Vickers uç kullanılarak 50 gr. yük altında yüzeyden matrise doğru sıra sertlik alınarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri ise 5, 10 ve 15 N yükler altında 0,3 m/s kayma hızında 1000 metre mesafe boyunca aşındırılarak gerçekleştirilmiştir. Karşı malzeme olarak 4,6 mm çapında WC-Co bilye kullanılmıştır. Aşınma hızı, Perthometer M2 marka pürüzlülük cihazından elde edilen aşınma izleri kullanılarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Aşınma hızı} = \frac{\text{Aşınan hacim miktarı}}{\text{Uygulanan yük} \times \text{Kayma mesafesi}}, \text{ mm}^3/\text{Nm}$$

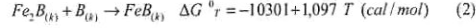
3 DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Mikroyapı ve tabaka kalınlığı

900°C’de 2 saat borlanmış olan numunelerin optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 1’de görülmektedir. Borür tabakası düz bir morfolojiye sahiptir. Bilindiği gibi çelikteki karbon miktarının artışı kolonsal olan borür tabakasını düzleştirmektedir (Carbucicchio vd., 1984). Bor tozunun tekrar kullanımı borür tabakasının morfolojisinde belirgin bir değişikliğe yol açmamış ancak tabaka bileşimi ve kalınlığını etkilemiştir. Numune yüzeylerinden alınan x-ışını difraksiyon analiz sonuçları Şekil 2’de verilmiştir. Tozun ilk kullanımında küresel grafitli dökme demirin yüzeyindeki borür tabakası FeB (baskın) ve Fe₂B fazlarından oluşmaktadır. Şekil 2’nin dikkatle incelenmesiyle 2. ve 3. kullanımdan sonra FeB fazının kaybolduğu ve yapının tamamen Fe₂B’den oluştuğu görülmektedir. Knocke ve Barın’ın yapmış olduğu çalışmalarda, FeB ve Fe₂B borürlerinin oluşumuna ait termodinamik reaksiyonlar aşağıda verilmiştir.



Eşitlik 2'ye göre FeB fazı, daha önceden oluşmuş Fe₂B fazının ortamdaki bor ile reaksiyona girmesi sonucunda oluşmaktadır. Bu reaksiyonun gerçekleşme ihtimali Eşitlik 1'e göre ΔG^0_T değerinin daha yüksek olması sebebiyle daha yüksektir. Fe₂B fazı kuvvetli olarak tercihli yönlenecek öncelikli olarak oluşmaktadır. Borür tabakasının büyüme mekanizması, Fe₂B çekirdeğinin oluşması ve bu çekirdeğin matris bileşimi ve işlem şartlarına bağlı olarak iğnesel bir şekilde büyüyerek bor

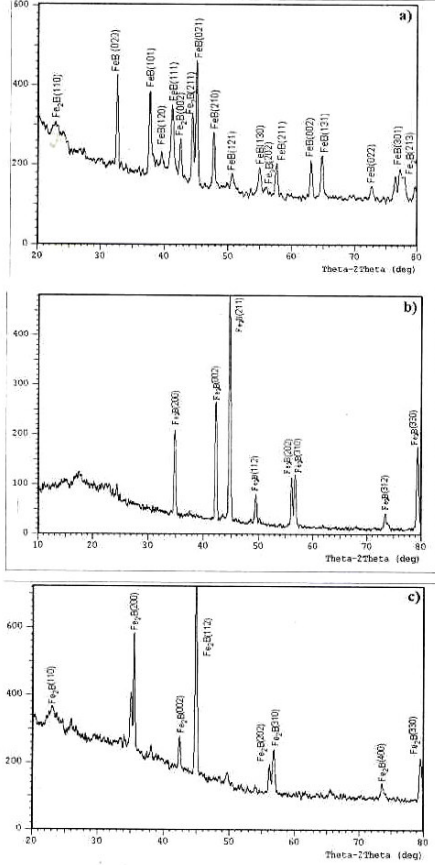


konsantrasyonu boyunca ilerlemesi şeklindedir. (Barın vd. 1973, Konecke vd. 1991) Bizim çalışmamız da ise Eşitlik 2 reaksiyonu baz alındığında ilk oluşan Fe₂B ile tekrar kullanım sayısının artmasıyla yetersiz kalan Bor konsantrasyonundan dolayı FeB fazında azalma görülmüştür. Bu durum borlayıcı ortamdaki bor kaynağının (B₄C), EKabor®-II tozunun tekrar kullanımıyla azaldığını göstermektedir.

Bor tozunun kullanım sayısına bağlı olarak numune yüzeyinde elde edilen borür tabaka kalınlığının değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Bor tozlarının tekrar kullanım sayısının artmasıyla küresel grafitli dökme demirin yüzeyinde oluşan borür tabaka kalınlığı azalmıştır (Şekil 3). Borlama tozunun kullanım sayısına göre elde edilen tabaka kalınlıkları sırasıyla 60,6 ± 4 µm, 45 ± 3 µm ve 35 ± 5 µm olarak ölçülmüştür. Tozun ilk kullanımına göre ikinci kez kullanılmasıyla tabaka kalınlığında ≈%25'lik, üçüncü kez kullanılmasıyla ise ≈%42'lik bir azalma olduğu tespit edilmiştir. İkinci kez borlamada kullanılan toz üçüncü kez kullanılırsa tabaka kalınlığındaki azalmanın %22 civarında olduğu belirlenmiştir. Dördüncü defa kullanılan tozlarla da deney yapılmış ve yetersiz tabaka kalınlığı (5 µm) elde edilmiştir. Borür tabakası genelde çelikler üzerinde 30 µm ve üzeri tabaka kalınlığı oluşmaktadır (Sinha 1991). Dördüncü defa kullanılan tozlarda elde edilen borür tabaka kalınlığı amaca hizmet edecek kalınlıkta değildir.



Şekil 1. EKabor®-II tozuyla 900 °C'de 2 saat borlanmış olan Küresel Grafitli Dökme Demirin optik mikro yapısı, a) Tozun ilk kullanımı b) Tozun 2. kullanımı c) Tozun 3. kullanımı.

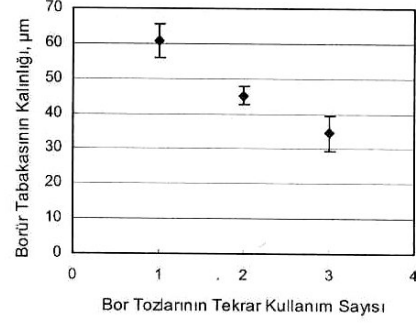


Şekil 2. EKabor®-II tozuyla 900 °C'de 2 saat borlanmış olan Küresel Grafitli Dökme Demirin X-ışınları difraksiyon analiz paterni a) Tozun ilk kullanımı b) Tozun 2. kullanımı c) Tozun 3. kullanımı.

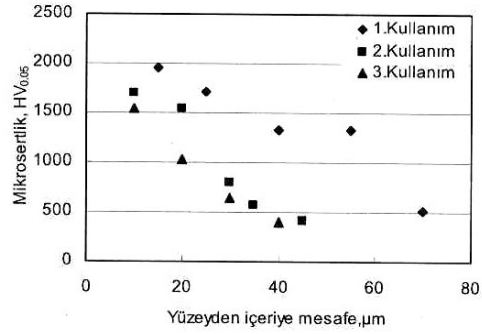
3.2 Sertlik ve aşınma direnci

Borlanan numunelerin yüzeylerinden içeriye doğru sertlik dağılımı Şekil 4'de görülmektedir. Oluşan borür tabakasının yüzeyden itibaren sertlik dağılımlarında, borür tabakası boyunca yüksek sertlik değeri elde edilmekte ve matrise gelindiğinde ani düşüş görülmektedir. Sertlik değerlerindeki değişimler bor tozlarının kullanım sayısına bağlı olarak değişmektedir. Borlanmış Küresel Grafitli Dökme Demir (KGDD)'in yüzey sertliğinin 2100–1800 HV arasında değiştiği literatürde kaydedilmektedir (Sinha, 1991). Bu çalışmada ilk

kullanılan borlama tozunda dökme demir yüzeyinde elde edilen sertlik yaklaşık 1958 iken 2. ve 3. kullanımdan sonra yüzey sertliklerinin 1705 ve 1537 HV_{0.05} değerlerine sırasıyla düştüğü görülmektedir.



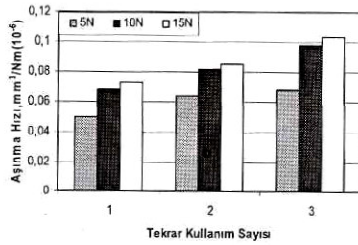
Şekil 3. Bor Tozlarının tekrar kullanım sayısına bağlı olarak borür tabaka kalınlığının değişimi.



Şekil 4. Bor Tozlarının tekrar kullanım sayısına göre borlanmış KGDD'lerin yüzeyinden içeriye doğru mikro sertlik dağılımı.

Aynı tozun tekrar kullanımı ile borlanmış küresel grafitli dökme demir numunelerin farklı yükler altında yapılan aşınma deneylerinden elde edilen kullanım sayısı ve uygulanan yük ile aşınma hızının değişim grafiği Şekil 5'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bütün kullanımlarda yükün artmasıyla aşınma hızı artmaktadır. İlk kullanılan tozda borlanmış dökme demirin aşınma hızının düşük olduğu ve tozun kullanım sayısı artıkça aşınma hızının da arttığı görülmektedir. Borür tabakasında mevcut FeB fazının çekmeye, Fe₂B fazının ise basmaya çalıştığı bilinmektedir (Martini vd., 2004). İki fazın borür tabakasında olması yorulmaya çalışan sistemlerde, arayüzeyde oluşan farklı gerilmelerden dolayı, yüzeyde pullanma ve tabakalaşma gibi aşınma hasarları ortaya çıkarmakta ve aşınma hızının artmasına neden olmaktadır. Burada çift fazlı da olsa yüzey sertliğinin aşınma direncine olumlu katkısının daha etkili olduğu söylenebilir.

Ayrıca mevcut bilye-disk aşınma sisteminde çift fazlı borür tabaka yapısının daha az aşınma göstermesi, sistemde yorulmanın çok fazla etken olmamasına bağlanabilir.



Şekil 5. Bor Tozlarının tekrar kullanım sayısına göre borlanmış KGDD'lerin farklı yükler altındaki aşınma dirençleri.

4 SONUÇLAR

- Borür tabaka kalınlığındaki azalma ve tabakadaki Fe₂B fazındaki artış dikkate alınarak ticari Ekabor®-II tozu küresel grafitli dökme demirlerin borlanması bir den fazla kullanılabilir.
- İlk borlama işleminde FeB (baskın faz) ve Fe₂B dan oluşan çift fazlı bir borür tabakası oluşurken tozun ikinci ve üçüncü kullanımında FeB fazı kaybolmakta ve Fe₂B dan oluşan tek bir tabakadan meydana gelmektedir.
- Ticari Ekabor tozunun artan tekrar kullanım sayısıyla borür tabakası kalınlığının azaldığı ve sırasıyla 60,6 ±4 µm, 45 ±3 µm ve 35 ±5 µm olduğu ölçülmüştür.
- Tozların kullanım sayısının artmasıyla birlikte, borür tabakasının yüzey sertliğinde azalma meydana gelmiştir. Borür tabakasının sertliği sırasıyla 1958 HV_{0,05}, 1705 HV_{0,05} ve 1537 HV_{0,05} olarak ölçülmüştür.
- Tozların kullanım sayısı ve uygulanan yük

miktarının artmasıyla aşınma hızı artmıştır.

- Ticari Ekabor®-II tozunun üçüncü kullanımdan sonra yetersiz kalınlıkta borür tabakası elde edilmemektedir.

KAYNAKLAR

- Biddulph R.H., 1977, Boronizing for erosion resistance, Thin Solid Films, 45:341-347.
- Bindal C., 1991, Ticari karbon çelikleri ve düşük alaşımli çeliklerin yüzeyine borlamayla seramik kompozit kaplama ve bazı malzeme özelliklerine etkileri, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
- Bindal, C., Erdemir A., 1996, Appl. Phys. Lett., 86(7): 923-925.
- Bartsch K., Leonhardt A., 1999, Formation of iron boride layers on steel by d.c.-plasma boriding and deposition processes, Surf. & Coat. Techn., 116-119:386-390.
- Carbucicchio M., Palombarini G., Sambogna G., 1984, Composition and structure of boride layers grown on low-manganese ternary iron alloys, J.Mater Sci.19(12):4035-39
- Genel K., Özbek I., Bindal C., 2003, Kinetics of boriding of AISI W1 steel, Materials Science and Engineering A347:311-314.
- Martini C., Palombarini G., Poli G., Prandstraller D., 2004, Sliding and abrasive wear behavior as boride coatings, Wear 256:608-613
- Özbek I., Akbulut H., Zeytin S., Bindal C., Üçışık A.H., 2000, The characterization of borided 99,5% purity nickel, Surface and Coatings Technology, 126:166-170.
- Pengxun Y., 1992, Gaseous boronizing with solid boronyielding agents, Thin solid films, 214: 44-47.
- Sinha, A.K., 1991, Boriding, ASM Handbook, 4:437-447.
- Şen U., Şen Ş., Yılmaz F., 2004, Structural characterization of boride layer on boronized ductile irons, Surface and Coatings Technology, 176:222-228.
- Usta, M., 2004, The characterization of borided pure Nb, Surface and Coatings Technology,
- Barin I., Konecke O., 1973, Thermo-Chemical Properties of Inorganic Substances, First Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Newyork.
- Konecke O., Kubaschewski O., Hesselmann K., 1991, Thermo-Chemical Properties of Inorganic Substances, Second Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Newyork.