



PAMUKKALE UNIVERSITY



IMSP'2010

**13th International
Materials Symposium**

**13-15th October 2010
Pamukkale University
Congress and Culture Center Denizli - TURKEY**

**Edited by
Engin TAN, Arzum ULUKOY, Murat OZENC and Recep YURTSEVEN**

Proceedings

Bortemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mikro Aşınma Davranışlarının İncelenmesi <i>Y. Kayalı, Y. Yalçın</i>	269
Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Kompozit Malzemelerin Üretim ve Bilgisayar Ortamında Kalıplama ve Takviye Malzemesine Bağlı Parametrelerinin Karşılaştırılması <i>Ü. Hüner, E. S. Erdoğan</i>	277
Characterization of Microstructural and Physical Properties of Y ₂ O ₃ Reinforced Cordierite Based Ceramic Materials <i>H. Gökçe, İ. Küçük, T. Boyraz, D. Ağaoğulları, İ. Duman, M. L. Öveçoğlu</i>	285
Characterization of Microstructure and Mechanical Properties of Different Flux-Cored Wires <i>H. D. Gençkan, S. Keskinliç, M. Koçak</i>	292
Characterization of Microstructure and Mechanical Properties of Low Temperature Transformation Welds (LTT) <i>O. Özdemir, G. Çam, H. Çimenoglu, M. Koçak</i>	299
Comparison of the PVD Coatings Deposited onto Plasma Nitrited Hot Work Tool Steel <i>M. P. Rubinić, L. A. Dobrzanski, M. Adamiak</i>	305
Composite City Furnishings And Their Advantages <i>N. Becenen, B. Eker</i>	313
Computer Aided Microstructure Analysis of the Al-Si-Cu Cast Alloy Cooled with Different Cooling Rates <i>M. Krupinski, K. Labisz, L. A. Dobrzanski, Z. Rdzawski</i>	320
Computer Simulation of Polymeric Composite's Fatigue Destruction <i>G. Wrobel</i>	327
Corrosion Resistance of the Sintered Composite Materials with the EN AW-AlCu4Mg1(A) Alloy Matrix Reinforced with Al ₂ O ₃ and Ti(C,N) Ceramic Particles <i>A. W. Fligier, L. A. Dobrzanski, M. Adamiak</i>	334
Çinko Oksit (ZnO) Nano Parçacıkların Çökeltme Tekniği Kullanılarak Düşük Sıcaklıklarda Sentezlenmesi <i>Ö. Altuntaş Yıldırım, C. Durucan</i>	342
Çökelme Sertleşmesi Isıl İşleminin Gözenekli 17-4 PH Paslanmaz Çeliğin Mekanik Özelliklerine Etkisi <i>İ. Mutlu, E. Oktay</i>	348
Dairesel Kompozit Tabakalarda Düşük Hızlı Darbe Hasarının İncelenmesi <i>M. Kara, İ. Yüce, M. Işık, M. Uyaner</i>	355
Demir Esaslı TM Malzemelere Teflon ve Nikel Kaplamanın İncelenmesi <i>N. S. Köksal, M. A. Baytaş</i>	363
Differences in the Microstructure of HVOF and Cold Gas Sprayed Bond Layers in TBC Coatings <i>F. Ak Azem, T. Grund, A. C. Karaoglanli, I. Ozdemir, B. Wielage, T. Lampke, A. Turk, F. Ustel</i>	371
Direct Conversion of 2024 and 6082 Al Alloy Chips <i>H. Mindivan, H. Cimenoglu, E. S. Kayali</i>	380
Dolomitik Kil İlavasının Porselen Karo Ürün Özelliklerine Etkisi <i>Z. Bayer Öztürk, N. Ay</i>	386
Dökme Demirlerde Pulse Plazma Teknolojisiyle Yüzey Sertleştirme <i>A. Ayday, S. C. Kurnaz, A. Özel, M. Durman</i>	394

COMMITTEES

Honorary President

Prof. Dr. Fazıl Necdet Ardıç

Pamukkale University - Rector – TR

International Scientific Committee

Prof. Dr. Agah Uguz	Uludağ Uni. - TR
Prof. Dr. Ahmet Akdemir	Selçuk Uni. - TR
Prof. Dr. Ahmet Avcı	Selçuk Uni. - TR
Prof. Dr. Ahmet Ekerim	Yıldız Teknik Uni. - TR
Prof. Dr. Ahmet Topuz	Yıldız Teknik Uni. - TR
Prof. Dr. Ahmet Baldan	Mersin Uni. - TR
Prof. Dr. Ali Ünüvar	Selçuk Uni. - TR
Prof. Dr. Ayhan Çelik	Atatürk Uni. - TR
Prof. Dr. Ayşegül Akdoğan Eker	Yıldız Teknik Uni. - TR
Prof. Dr. Barlas Eryürek	İstanbul Teknik Uni.- TR
Prof. Dr. Bülent Doyum	Ortadoğu Teknik Uni. - TR
Prof. Dr. Can Çoğun	Gazi Uni. - TR
Prof. Dr. Cevdet Meriç	Celal Bayar Uni. - TR
Prof. Dr. Cuma Bindal	Sakarya Uni. - TR
Prof. Dr. E. Sabri Kayalı	İstanbul Teknik Uni. - TR
Prof. Dr. Emin Bayraktar	Institut Supérieur de Mécanique de Paris - F
Prof. Dr. Enver Oktay	İstanbul Uni.- TR
Prof. Dr. Fazlı Arslan	Karadeniz Teknik Uni. - TR
Prof. Dr. Fehim Fındık	Sakarya Uni. - TR
Prof. Dr. Gabriel Wrobel	Silesian University of Tech. - PL
Prof. Dr. Galip Said	Afyon Kocatepe Uni. - TR
Prof. Dr. H. Erol Akata	İstanbul Aydın Uni. - TR
Prof. Dr. Halil Kumsar	Pamukkale Uni - TR
Prof. Dr. Halis Çelik	Fırat Uni. - TR
Prof. Dr. Hasan Mandal	Anadolu Uni. - TR
Prof. Dr. Hikmet Rende	Akdeniz Uni. - TR
Prof. Dr. Hong Hocheng	National Tsing Hua Uni.-TW
Prof. Dr. Hüseyin Çimenoğlu	İstanbul Teknik Uni. - TR
Prof. Dr. İ. Hakkı Tavman	Dokuz Eylül Uni. - TR
Prof. Dr. İbrahim Uzman	Kocaeli Uni. - TR
Prof. Dr. İrfan AY	Balıkesir Uni - TR
Prof. Dr. Jan Wieszka	Silesian University of Tech. - PL
Prof. Dr. Jerry H. Sokolowski	University of Windsor - CND
Prof. Dr. Jerzy Stobrawa	Silesian University of Tech. - PL
Prof. Dr. Levent Toppare	Ortadoğu Teknik Uni. - TR
Prof. Dr. M. Baki Karamış	Erciyes Uni. - TR
Prof. Dr. Maria Helena Robert	Uni. of Campanias - BR
Prof. Dr. Mario Rosso	Politecnico di Torino - I
Prof. Dr. Mehmet A. Akgün	Yeditepe Uni. - TR
Prof. Dr. Mehmet Demirkol	İstanbul Teknik Uni. - TR
Prof. Dr. Mehmet Durman	Sakarya Uni. - TR
Prof. Dr. Mehmet Pakdemirli	Celal Bayar Uni. - TR
Prof. Dr. Mehmet Yüksel	Pamukkale Uni. - TR
Prof. Dr. Metin Akkök	Ortadoğu Teknik Uni. - TR
Prof. Dr. Mirko Sokovic	University of Ljubljana - SLO
Prof. Dr. Mustafa Kurt	Marmara Uni. - TR
Prof. Dr. Müfit Gülgeç	Gazi Uni. - TR
Prof. Dr. Okan Ademir	İstanbul Teknik Uni. - TR
Prof. Dr. Ö. Faruk Emrullahoğlu	Afyon Kocatepe Uni. - TR
Prof. Dr. Rasim İpek	Ege Uni - TR

International Scientific Committee (Continue)

Prof. Dr. Remzi Varol	Bartın Uni. - TR
Prof. Dr. S. Engin Kılıç	Ortadoğu Teknik Uni. – TR
Prof. Dr. Sabri Altıntaş	Boğaziçi Uni. - TR
Prof. Dr. Sami Aksoy	Dokuz Eylül Uni. - TR
Prof. Dr. Sami Karadeniz	Karadeniz Teknik Uni. - TR
Prof. Dr. Selahattin Amık	İstanbul Teknik Uni. - TR
Prof. Dr. Serdar Salman	Marmara Uni. - TR
Prof. Dr. Temel Savaşkan	Karadeniz Teknik Uni. - TR
Prof. Dr. Tevfik Aksoy	Dokuz Eylül Uni. – TR
Prof. Dr. Veysel Kuzucu	Pamukkale Uni. - TR
Prof. Dr. Vural Ceyhun	Ege Uni. - TR
Prof. Dr. Wolfram Worner	Fh Regensburg - D
Prof. Dr. Yong-Taek Im	Advanced Institute of Science and Technology, KR

Executive Committee

Prof. Dr. Muzaffer Topçu	Chairman - PAU -TR
Prof. Dr. Leszek Dobrzanski	Chairman - Silesian University of Tech. - PL
Assoc. Prof. Dr. Cemal Meran	Chairman - PAU - TR
Prof. Dr. Alper Gülsöz	Pamukkale Uni. - TR
Assist. Prof. Dr. A. Rıza Tarakçılar	Pamukkale Uni. - TR
Assoc. Prof. Dr. H. Hüseyin Kart	Pamukkale Uni. - TR
Assist. Prof. Dr. Mirosław Bonek	Silesian University of Tech. - PL
Assoc. Prof. Dr. O. Ersel Canyurt	Pamukkale Uni. - TR
Assist. Prof. Dr. Özler Karakaş	Pamukkale Uni. - TR
Assist. Prof. Dr. Sema Palamutçu	Pamukkale Uni. – TR
Assoc. Prof. Dr. Tezcan Şekercioglu	Pamukkale Uni. – TR

Organizing Committee

Assoc. Prof. Dr. Aşkın Güngör	Pamukkale Uni. – TR
Prof. Dr. Bozo Smoljan	University of Rijeka – HR
Prof. Dr. Bülent Eker	Namık Kemal Uni. - TR
Prof. Dr. Erdiñ Kaluç	Kocaeli Uni. - TR
Assoc. Prof. Dr. Esat Kıter	Pamukkale Uni. – TR
Mech. Eng. Fatih Yaşa	MMO Denizli Şube - TR
Prof. Dr. Gürel Çam	Mustafa Kemal Uni. - TR
Prof. Dr. Joachim Hammer	Fh Regensburg -D
Assist. Prof. Dr. Koray Yılmaz	Pamukkale Uni. - TR
Dr. Małgorzata Drak	Silesian University of Tech. - PL
Dr. Marcin Adamiak	Silesian University of Tech. - PL
Prof. Dr. Mustafa Koçak	Gedik Holding - TR
Prof. Dr. M. Mustafa Yıldırım	Dumlupınar Uni. - TR
Assoc. Prof. Dr. Ramazan Yılmaz	Sakarya Uni. - TR
Prof. Dr. Ryszard Nowosielski	Silesian University of Tech. - PL
Prof. Dr. Süleyman Karadeniz	Dokuz Eylül Uni. - TR
Prof. Dr. Tahir Çağın	Texas A&M University - US
Assist. Prof. Dr. Tevfik Küçükömeroğlu	Karadeniz Teknik Uni. - TR
Dr. Wojciech Sitek	Silesian University of Tech. – PL
Prof. Dr. Zbigniew Rdzawski	Silesian University of Tech. – PL

Symposium Secretary

Res. Assist. Engin Tan	Pamukkale Uni. - TR
------------------------	---------------------



13th International Materials Symposium (IMSP'2010)
13-15 October 2010 – Pamukkale University – Denizli - Turkey



Technical Committee

Res. Assist. Arzum Uluköy
Res. Assist. Dr. Emin Ergun
Assist. Prof. Dr. Gürkan Altan
Res. Assist. Murat Özenç
Res. Assist. Recep Yurtseven

Pamukkale Uni. – TR
Pamukkale Uni. - TR
Pamukkale Uni. - TR
Pamukkale Uni. – TR
Pamukkale Uni. - TR

BORTEMPERLENMİŞ KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN MİKRO AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Yusuf Kayalı¹, Yılmaz Yalçın²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü, 03200, Afyon,
ykayali@aku.edu.tr

²Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü, 03200, Afyon,
yyalcin@aku.edu.tr

ÖZET

Bortemperleme; östenitlemenin bor tozu içerisinde yapılarak, takiben temperleme işleminin tuz banyosunda yapıldığı iki aşamadan oluşan bir ısıl işlem yöntemidir. Bu çalışmada, Bortemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin mikro-aşınma davranışına borlama süresinin ve temperleme sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. 900 °C 'de 1, 3 ve 5 saat katı ortamda borlanan numuneler 250-300-350 ve 400 °C sıcaklıklarda 60 dakika tuz banyosunda temperleme işleminden sonra oda sıcaklığında soğutulmuş ve bol su ile yıkanarak kurutulmuştur. Bortemperlenmiş numuneler, oda sıcaklığında, Ø8 mm çapındaki WC-Co bilyeye karşı, 10N ve 20N yükler altında mikro-aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Mikro-aşınma testi sonucunda oluşan aşınma iz çaplarından aşınma hacmi hesaplanmıştır. Daha sonra optik mikroskopta aşınma izleri ve metalografik olarak hazırlanan kesitlerden mikro yapılar incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir.

Bortemperleme işlemi ile küresel grafitli dökme demirin yüzey sertliği matris sertliğinin 6 katı kadar artış göstermiştir. Artan yüzey sertliği mikro-aşınma direncini arttırmıştır. Mikro-aşınma direncine bortemperleme şartlarının da etki ettiği gözlenmiştir. Artan borlama süresi ve azalan temperleme sıcaklığı ile mikro-aşınma direncinin arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Küresel Grafitli dökme demir, Bortemperleme, Mikro-aşınma,

ABSTRACT

Boro-tempering; is a two stage process in which the specimens are first treated in Boron powder and tempered in salt bath. In this study, the effect of boronizing time and austempering temperature on the behavior of micro-wear of boro-tempered ductile iron has been investigated. Specimens were boronized at 900 °C for 1h, 3h and 5h and austempered at temperatures 250, 300, 350 and 400 °C for 60 minute then cooled down to room temperature and cleaned by water to remove residues. Boro-tempered samples were wearing tested by against 8 mm diameter WC-Co ball under the load of 10N and 20N. The wear volume of specimens was calculated by using diameter of wear traces from micro-wear testing. In addition, the hardness of each specimen was also measured. Microstructural characterization was carried out using optical microscope on wear traces and cross-sections of specimens.

Boro-tempering process has increased the hardness of ductile iron up to six times of matrix hardness. Increased surface hardness improved micro wear resistance of the surfaces. Boro-tempering conditions had an effect on micro wear resistance behavior of the specimens. It was shown that high boronizing time and low tempering temperatures increased micro wear resistance of the surfaces treated by boro-tempering.

1. GİRİŞ

Endüstride yaygın olarak kullanılan malzemelerin başında çelik ve dökme demirler gelmektedir. Dökme demirler içerisinde ise küresel grafitli dökme demir (KGDD) özel bir öneme sahiptir. Zaten oldukça iyi özelliklere sahip KGDD'ler, östemperleme ısıl işlemi uygulanarak çok daha dikkat çekici bir malzeme haline gelmiştir. Bundan dolayı, östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir (ÖKGDD) pek çok mühendislik uygulamasında ısıl işlem görmüş çelik ve dövme çeliğin yerine kullanım potansiyeline erişmiştir. ÖKGDD, iyi süneklilikle birlikte yüksek mukavemet [1, 2], iyi aşınma direnci [3,4], iyi yorulma direnci [5,6] ve iyi kırılma tokluğuna [7,8] sahiptir.

Malzemenin mikroyapısal ve mekanik özellikleri üzerine yüzlerce çalışma yapılmıştır ve hâla da yapılmaktadır. Yeni çalışmalar malzemenin mevcut özelliklerini daha da geliştirmeye odaklanmıştır. Bilindiği gibi mühendislik malzemelerinin yüzey özellikleri, aşınma, korozyon ve yorulma davranışlarını önemli oranda etkilemektedir. Bu nedenle, ÖKGDD'lere, karbürleme, nitrürleme, karbonitrürleme ve borlama gibi bazı yüzey modifikasyon işlemleri ile lazer yüzey ergitme (LSM) ve lazer yüzey sertleştirme (LSH) gibi modern yüzey mühendisliği tekniklerinin uygulanmasına yönelik çalışmalar başlatılmıştır [9]. En son çalışmalar ise ÖKGDD'in matris yapısını bozmadan düşük sıcaklık kaplama teknikleriyle yüzey özelliklerini geliştirmeye yönelmiştir [10].

Ancak yüzey modifikasyon işlemlerinin 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 ösferritik yapı bozulmaktadır. Diğer taraftan düşük sıcaklık yüzey kaplama işlemlerinin ise östemperleme işlemine ilave olarak kaplama işlemi gerektirmesi ve bunun da maliyeti arttırması bizi yeni arayışlara itmiştir[11].

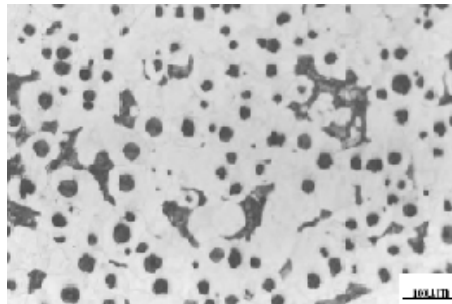
Bortemperleme işlemi aslında iyi bilinen iki işlemin (borlama ve temperleme) birlikte uygulanmasından ibarettir. Bortemperleme işlemi uygulanan küresel grafitli dökme demir **“Bortemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demir”** olarak isimlendirilmektedir. Bortemperlemenin amacı, yüzeyi sert dolayısıyla aşınma ve korozyon direnci yüksek, matriste ise ösferritik yapı oluşturarak iyi süneklilikle birlikte yüksek mukavemet ve kırılma tokluğuna sahip bir malzeme elde etmektir.

Bortemperleme ısıl işlemi yeni bir yöntem olduğu için mikro-aşınmasıyla ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla, bu çalışmada Bortemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin iki farklı yük altında (10N ve 20N) mikro-aşınma davranışına etkisi araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

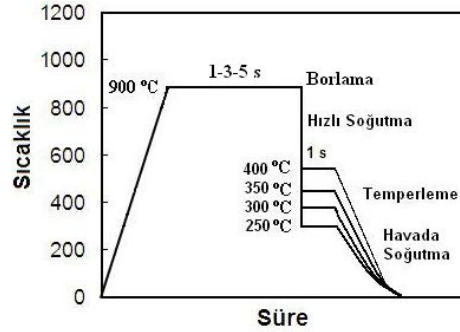
2.1. Malzeme ve Isıl İşlemler

Deneysel çalışmalarda kullanılan küresel grafitli dökme demir %C: 3.840, %Si: 2.273, %S: 0.010, %Cr: 0.021,%Cu: 0.044, %Sn: 0.005, %Mn: 0.141, %Ti:0.020 , %Mg:0.039 , %P:0.048 kimyasal bileşimine sahiptir. Deneysel malzemenin mikroyapı fotoğrafı Şekil 1'de verilmiştir. Mikroyapı iyi bir küreselliğe sahip grafit kürelerini çevreleyen ferrit ve perlitik bir matristen oluşmaktadır. Aşınma deney numuneleri 25 mm çapında ve 7 mm kalınlığında diskler şeklinde hazırlanmış ve sonra bortemperleme ısıl işlemine tabii tutulmuştur.



Şekil 1. Deneysel malzemenin optik mikroyapısı.

Deney numuneleri paslanmaz çelik kutu içerisinde Ekabor[®]2 tozuna gömüldükten sonra sıcaklığın ± 1 °C hassaslikle kontrol edilebileceği elektrik direnç fırınında 900 °C de 1, 3 ve 5 saat borlandıktan sonra numuneler kutu içerisinden hızla alınarak 250, 300, 350 ve 400 °C 'deki tuz banyosu içine atılmıştır. Tuz banyosunda 60 dakika bekletildikten sonra fırın dışına alınan numuneler oda sıcaklığına soğutulmuş ve bol suyla yıkanıp kurutulmuştur. Temperleme işleminin yapıldığı tuz banyosu %50 NaNO₃ + %50 KNO₃ bileşiminden oluşmaktadır. Her bir bortemperleme şartı için üçer numune kullanılmıştır. Bortemperlenen numunelerin kesit mikroyapıları Olympus BX-60 marka optik mikroskopta incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir. Mikroyapı incelemesi için, kesit zımparalama ve parlatma kademelerinden geçirildikten sonra %2 Nital ile dağlanmışır.

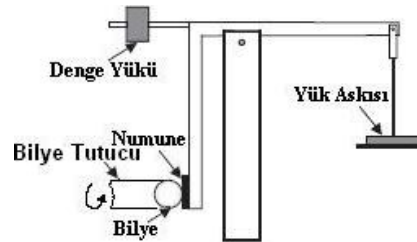


Şekil 2. Alaşimsız küresel grafitli dökme demire uygulanan bortemperleme ısıl işlem çevriminin şematik gösterimi.

Borür tabakasının ve matrisin sertliği 50 g yük altında Shimadzu HMV-2 sertlik cihazıyla ölçülmüştür. Ölçme işlemleri yüzeyden itibaren matrise kadar, belirli mesafelerde belirli bir aralıkta yapılmıştır.

2.3. Mikro-Aşınma Deneyi

Bortemperlenen numuneler, Şekil 3'de şematik olarak gösterilen mikro-aşınma test cihazında aşınma deneylerine tabi tutulmuştur. Aşınma deneyleri, 8mm çapındaki WC-Co bilyenin numune yüzeyinde 300 devir/dakika hızla döndürülerek gerçekleştirilmiştir. Deneyler 10 N ve 20 N yükler altında, kuru ortamda 60 dakikalık süreler için yapılmıştır.



Şekil 3. Mikro-aşınma deney cihazının şematik resmi.

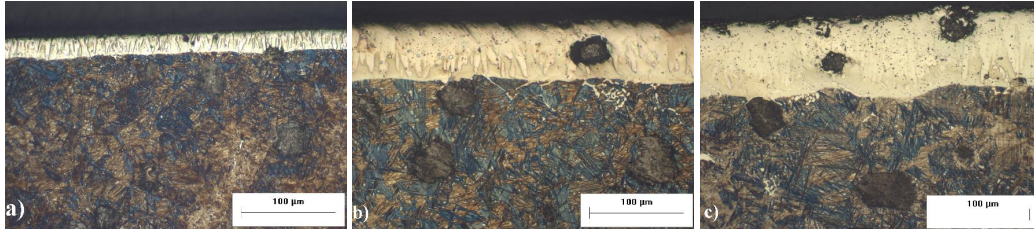
Deney sonucu oluşan aşınma izleri optik mikroskop altında ölçüldükten sonra aşağıdaki formül kullanılarak aşınma hacimleri hesaplanmıştır. V: Aşınma hacmi (mm³), d: Aşınma iz çapı(mm), R: Bilye yarıçapı(mm)[12].

$$V = \frac{\pi d^4}{64R} \quad d \ll R$$

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

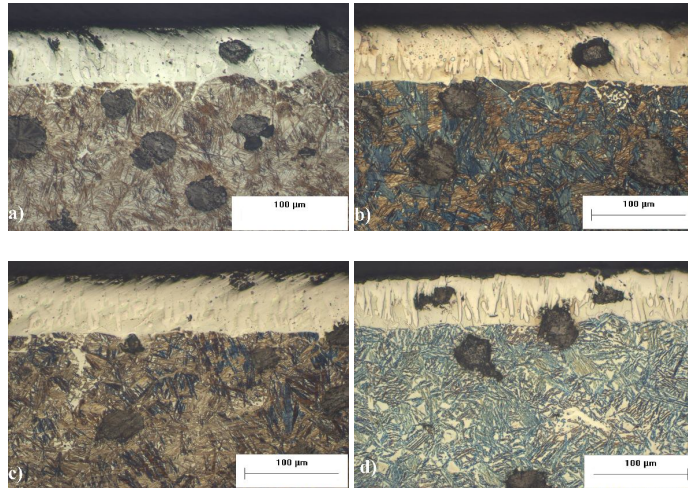
3.1. Kaplama tabakası ve mikroyapı

900 °C de 1, 3 ve 5 saat borlandıktan sonra 300 °C de 1 saat temperlenen KGDD'lerin optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 4'de verilmiştir. Yüzeyde oluşan borür tabakası dışsal bir morfolojiye sahiptir ve tabaka/matris arayüzeyi oldukça düz görünmektedir. Aynı temperleme sıcaklığında, borlama süresinin artmasıyla borür tabakasının kalınlığı artmaktadır. Yüzeyde oluşan borür tabaka kalınlığı, 1, 3 ve 5 saatlik borlama süreleri için sırasıyla 25, 58 ve 71 µm olarak ölçülmüştür.



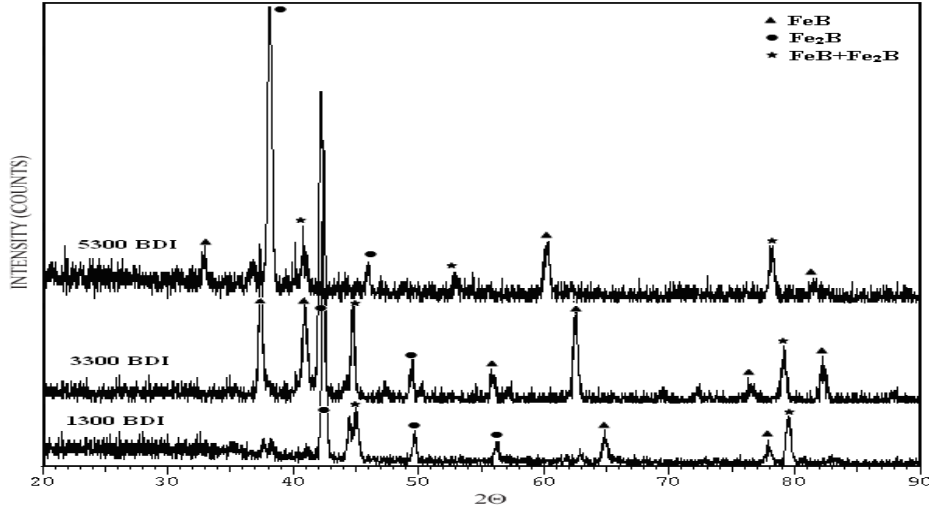
Şekil 4. 900 °C de a) 1 saat, b) 3 saat ve c) 5 saat borlandıktan sonra 300 °C de 1 saat temperlenen numunelerin optik mikroyapı resimleri.

Bortemperlenen numunelerin mikroyapıları incelendiğinde izotermal dönüşüm (temperleme) sıcaklığına bağlı olarak matris yapının da değiştiği görülmüştür (Şekil 5). 900 °C de borlanarak, 250 °C de temperlenen numunede iğnesel alt beyrit yapısı elde edilmiştir. Buna karşın 300 °C de temperlenen numunelerde alt beyrit yapısı beklenirken [4,13] bor tabakasının etkisi ile ince bir üst beyrit yapısı oluşmuştur. 350 °C de bortemperlenen numunelerde üst beyrit yapısı elde edilmiştir. Sıcaklığın daha fazla artmasıyla (400 °C) üst beyritik yapı kabalaşmaktadır.



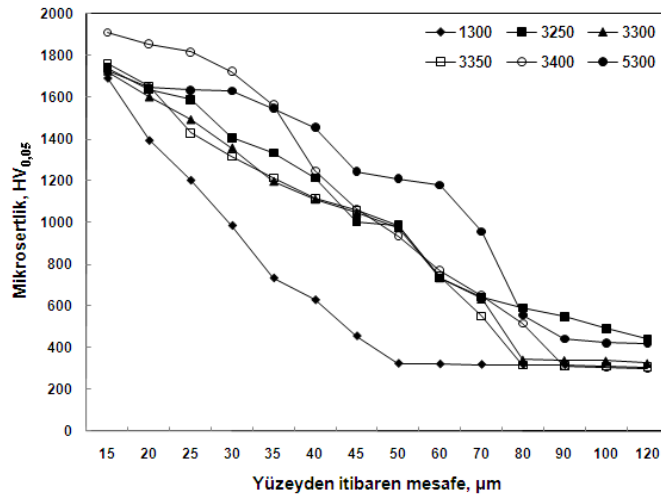
Şekil 5. 900 °C de 3 saat borlama işleminden sonra a) 250 °C, b) 300 °C, c) 350 °C ve d) 400 °C de temperlenen numunelerin optik mikroyapı resimleri.

Bortemperlenen numunelerin yüzeylerinden alınan XRD analiz sonuçları Şekil 6 da verilmiştir. XRD analizlerine göre kaplama tabakasının yüksek oranda Fe₂B ve az miktarda FeB fazlarından oluştuğu belirlenmiştir. Fe-B ikili denge diyagramına göre FeB fazının oluşabilmesi için ağırlıkça %16'nın üzerinde bor'a ihtiyaç vardır. Dolayısıyla FeB ve Fe₂B fazının miktarı borlama sıcaklık ve süresine kuvvetle bağlıdır. Bu çalışmada borlama sıcaklığı sabit tutulduğundan, artan borlama süresi ile FeB fazı artmıştır[14, 15].



Şekil 6. 900 °C de 1 saat (1300BDI), b) 3 saat (3300 BDI) ve c) 5 saat (5300 BDI) borlandıktan sonra 300 °C de 1 saat temperlenen numunelerin XRD grafikleri.

Bortemperlenmiş KGDD'ler için yüzeyden içeriye doğru mikrosertlik değerlerindeki değişim Şekil 7.'de görülmektedir. Belli bir derinlikten sonra değerler hemen hemen sabit kalmaktadır. Bu beklenen bir davranıştır. Çünkü yüzeyde oluşan borür tabakası yüksek sertliğe sahiptir. Bortemperleme şartlarına bağlı olarak yüzey sertlik değerleri 1694 ile 1912 HV_{0,05} arasında, matris sertlik değerleri ise 300-442 HV_{0,05} arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 7. Bortemperlenmiş numunelerin yüzeyinden matrise doğru mikro-sertlik değişimi. Grafikteki 5 rakamlı sembollerde ilk rakam saat olarak borlama süresini, takip eden üç rakam ise temperleme sıcaklığını göstermektedir.

3.2. Mikro-Aşınma

Bortemperleme şartları ve uygulanan yüke bağlı olarak elde edilen aşınma hacmi değerleri Tablo 1 de toplu olarak verilmiştir. Bu değerler kullanılarak çizilen grafikler (Şekil 8) borlama süresi ve temperleme sıcaklığının aşınma hacmine etkisini açıkça göstermektedir. Şekil 8a dan bortemperleme işleminin işlemsiz numuneye göre aşınma hacmini azalttığı görülmektedir. 10 N yük altında bortemperleme ile birlikte aşınma hacminde %78 ila %87 civarında azalma kaydedilmiştir. Buna karşılık uygulanan yük 20 N olarak seçildiğinde aşınma hacmindeki azalma %92-96 değerlerine ulaşmaktadır. Bu veriler bortemperleme işleminin büyük yüklerde daha önemli olduğunu göstermektedir.

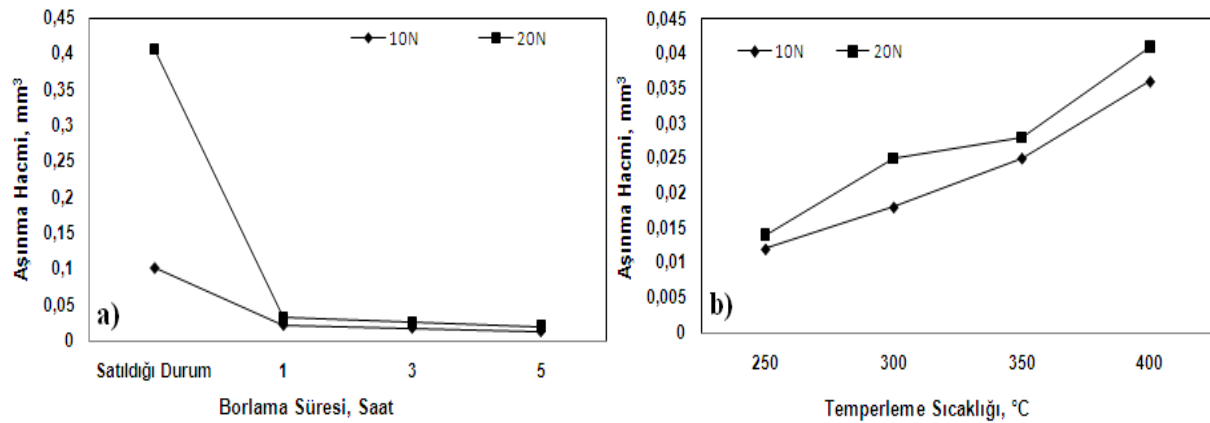
Uygulanan yükteki artış en fazla işlemsiz KGDD'in aşınma davranışını etkilemektedir. Yükün 10 N dan 20 N a çıkarılması işlemsiz KGDD'in aşınma hacmini %75 arttırırken, bortemperlenmiş numunelerde bu artış (1 saatlik borlama süresi hariç; %31) %10-14 civarındadır.

Bortemperlenmiş numunelerde, her iki yük için, artan borlama süresi ile aşınma hacmi az da olsa sürekli düşüş göstermektedir. Buna karşılık aynı borlama süresi için uygulanan yükün 10 N dan 20 N a artması, aşınma hacminde dikkate değer bir artışa neden olmamaktadır. Artan borlama süresiyle tabaka kalınlığının ve FeB miktarının artması aşınmanın azalmasına neden olmaktadır.

Aynı borlama süresinde artan temperleme sıcaklığı ile aşınma hacmi artmaktadır (Şekil 8b). Temperleme sıcaklığının matris yapısına önemli etkisi bulunmaktadır. Ancak kaplama tabaka kalınlığı ve yüzey sertliğine etkisi olmakla birlikte bu etkinin büyük miktarlarda olmadığı daha önceki çalışmalarda görülmüştür [16]. Artan temperleme sıcaklığı ile aşınma hacminin artması belki borür tabakası ile matris sertliği arasındaki farka bağlanabilir. Bilindiği gibi yüzey sertliği artan temperleme sıcaklığı ile hemen hemen değişmezken matris sertliği azalmaktadır. Yani temperleme sıcaklığının artmasıyla yüzey ile matris arasındaki sertlik farkı artmaktadır. Bu artış borür tabakası ile matrisin birbirine uyumunu ve bağlanmasını olumsuz etkileyebilir. Sebebin daha iyi anlaşılabilmesi için temperleme sıcaklığı-kaplama tabakası bileşim ve sertliğinin nasıl değiştiği belirlenmelidir.

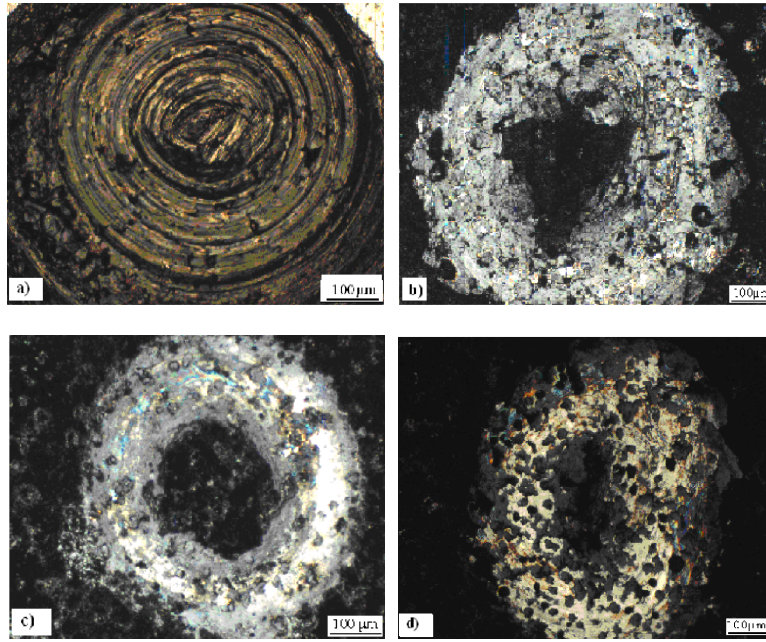
Tablo 1. Bortemperleme şartları ve uygulanan yüke bağlı olarak elde edilen aşınma hacmi değerleri.

Borlama Süresi(saat)	Temperleme Sıcaklığı (°C)	Uygulanan Yük(N)		Temperleme Sıcaklığı(°C)	Borlama Süresi(saat)	Uygulanan Yük(N)	
		10	20			10	20
		Aşınma Hacmi, mm ³				Aşınma Hacmi, mm ³	
Satıldığı durumda		0,102	0,407	250		0,012	0,014
1	300	0,022	0,032	300	3	0,018	0,020
3		0,018	0,020	350		0,025	0,028
5		0,013	0,015	400		0,036	0,041



Şekil 8. Bortemperleme işlemlerine bağlı olarak iki farklı yükteki a) Borlama süresinin b) Temperleme sıcaklığına göre aşınma hacmi değişim grafikleri.

Aşınma izleri incelendiğinde (Şekil 9) tek bir aşınma türünün hakim olmadığı görülmektedir. Isıl işlem uygulanmamış numunenin aşınmasında abrasif aşınmanın etkili olduğu dairesel kazıma izlerinden anlaşılmaktadır. Ancak bortemperlenmiş numunelerde abrasif aşınma türünden ziyade adeziv aşınma karakterine daha uygun olduğu görülmektedir.



Sekil 9. 10 N yük altında yapılan aşınma deneyleri sonucunda oluşan aşınma izlerinin optik fotoğrafları a) Isıl işlemsiz b) 1 saat, c) 3 saat ve d) 5 saat süre ile borlanmış 300 °C de temperlenmiş.

4. SONUÇLAR

- Borlama süresinin artması hem bor tabakasının artmasını hem de matris yapıyı etkilemektedir. Bortemperleme ısıl işlemi küresel grafitli dökme demirin yüzeyinde FeB ve Fe₂B'dan oluşan iki fazlı bir kaplama tabakası oluşturmaktadır.
- Bor tabakasının kalınlığı borlama süresinin artmasıyla artmaktadır. Bortemperleme ısıl işlemi ile tabaka kalınlıkları 1, 3 ve 5 saat borlanan numunelerde sırasıyla 25, 58 ve 71 μm dir.
- Borür tabakası çeliklerden farklı olarak düz bir tabaka/matris arayüzeyine sahiptir. Ancak tabaka kendi içinde diş şeklinde bir oluşum göstermektedir. Tabakanın altında oluşan matris, temperleme sıcaklığına bağlı olarak alt ösferrit veya üst ösferrit olabilmektedir. 250 °C'de alt ösferrit, 300, 350 ve 400 °C'lerde üst ösferrit matris elde edilmiştir. Ösferritik yapı 300 °C de oldukça ince bir yapıda iken 400 °C de kabalaşmaktadır.
- Bor tabakasının sertliği 1694-1912 HV_{0,05} arasında değişmektedir. Çekirdek sertliği matris mikroyapısına bağlıdır ve 300-342 HV_{0,05} aralığındadır.
- Bortemperleme ısıl işlemi ile küresel grafitli dökme demirin mikro-aşınma direncini artırmıştır. Bortemperleme işlemi ağır yüklerde daha etkili olmaktadır.
- Artan borlama süresiyle küresel grafitli dökme demirin mikro-aşınma direnci artmıştır. Buna karşılık temperleme sıcaklığındaki artış mikro-aşınma direncinin azalmasına neden olmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Gudlanch R.B., Janowak J.F., “Development of a ductile iron for commercial austempering”, AFS Trans 94:377–88, 1983.
2. Harding RA, Gilbert GNJ. “Why the properties of ductile irons should interest engineers”, British Foundryman 79:489–96, 1986.
3. Harding R.A., “Opening up the market for ADI”, The Foundryman, 197-208, June, 1993.
4. Yang J, Putatunda S.K., “Effect of microstructure on abrasion wear behavior of austempered ductile cast iron (ADI) processed by a novel two-step austempering process”, Materials Science and Engineering A406, 217–228, 2005.
5. Putatunda S.K., Bartosiewicz L., Krause A.R., Singh I., Alberts F.A., “Influence of microstructure on high cycle fatigue behavior of austempered ductile cast iron”, Mater. Charact. 30, 221–234, 1993.
6. Harding R.A., “Austempered ductile irons-gears”, Materials&Design, 6, 177-184, 1985.
7. Hughes I. C. H., “Austempered ductile irons-their properties and significance”, Materials&Design 6, 124-126, 1985.
8. Putatunda S.K., “Development of austempered ductile cast iron (ADI) with simultaneous high yield strength and fracture toughness by a novel two-step austempering process”, Materials Science and Engineering A315, 70–80, 2001.
9. Roy A., Mana I., “Laser surface engineering to improve wear resistance of austempered ductile iron”, Materials Science and Engineering A297, 85–93, 2001.
10. Cheng-Hsun H., Jung-Kai L., Rung-Jie T., “Characteristics of duplex surface coatings on austempered ductile iron substrates”, Surface & Coatings Technology 20, 5725–5732, 2006.
11. Yazdani S., Rahimi M.A., “Wear Behavior of an Austempered Ductile Iron Containing Mo-Ni-Cu”, Materials Science Forum Vols., 475-479, pp199-202, 2005.
12. Oliveira, C.K.N., Munoz Riofano, R.M., Casteletti, L.C., “Micro-abrasive wear test of niobium carbide layers produced on AISI H13 and M2 steels”, Surface & Coatings Technology 200, pp.5140-5144, 2006.
13. Eric O., Jovanovic M., Sidanin L., Rajnovic D., Zec S., “The austempering study of alloyed ductile iron”, Materials&Design, 27, 617-622, 2006.
14. Martini C., Palombarini G., Poli G., Prandstraller D., “Sliding and abrasive wear behaviour of boride coatings”, Wear 256, 608–613 (2004)
15. Sinha A.K., “Boriding (boronizing)”, In: ASM Int handbook, vol. 4. Materials Park, OH, USA: The Materials International Society; p. 437–447 (1991)
16. Kayalı Y, Taktak Ş, Ulu S, Yalçın Y, “Investigation of mechanical properties of boro-tempered ductile iron”, Materials&Design, 31, 2010; p.1799-1803.

BİYOĞRAFİLER

Yusuf KAYALI 1979 ‘de Kütahya’nın Emet ilçesinde doğmuştur. 2004 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünden mezun olduktan sonra 2006 yılında aynı üniversitenin Metal Eğitimi A.B.D’ da yüksek lisansını tamamladı. Halen aynı üniversitesin Metal Eğitimi A.B.D ‘da doktora eğitimini yapmaktadır. Yüzey modifikasyonu, ısıl işlemler ve elektrokimyasal korozyon yöntemleri çalışma alanlarını oluşturmaktadır.

Yılmaz YALÇIN 1963 yılında Fethiye’de doğmuştur. 1986 yılında İ.T.Ü Sakarya Mühendislik Fakültesi, Metalürji mühendisliği bölümünü bitirmiştir. İ.T.Ü Fen bilimleri Enstitüsü Metalürji Mühendisliği bölümü Malzeme Anabilim dalında 1991 yılında yüksek lisans, 1998 yılında ise doktora eğitimini tamamladı. Isıl işlemler, Mekanik metalürji ve malzeme alanlarında çalışmaktadır.