

AKÜ FEMÜBİD 16 (2016) 017201 (192-197)  
DOI: 10.5578/fmbd.26345

AKU J. Sci. Eng. 16 (2016) 017201 (192-197)

Araştırma Makalesi / Research Article

## Küresel Grafitli Dökme Demirlere Uygulanan Farklı Isıl İşlemlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi

Yusuf KAYALI\*

\*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Afyonkarahisar/TÜRKİYE

ykayali@aku.edu.tr

Geliş Tarihi:14.03.2016; Kabul Tarihi:20.04.2016

### Özet

Bu çalışmada; alaşımsız küresel grafitli dökme demire üç farklı ısıl işlem uygulanmıştır. Bunlar Östemperleme, Borlama ve Bortemperleme işlemidir. Isıl işlem görmüş olan numuneler çekme ve aşınma testine tabii tutulmuştur. Mikro yapısal karakterizasyonu optik ve SEM mikroskop yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri için ise çapı 25 x 7 olan standart numuneler kullanılmıştır.

### Anahtar kelimeler

Küresel grafitli dökme demir, Borlama, Bortemperleme, Östemperleme, Mekanik Özellikler.

Bortemperlenen Küresel Grafitli Dökme Demir (BDI) numunelerin mekanik özellikleri, sadece Borlanmış Küresel Grafitli Dökme Demir (BDI) numunelerinden çok daha iyi olduğu fakat Östemperlenen Küresel Grafitli Dökme Demir (ADI) numunelerden daha az olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın Östemperlenen Küresel Grafitli Dökme Demir (ADI) numunelerin yüzey sertliklerine göre Bortemperlenen Küresel Grafitli Dökme Demir (BDI) numunelerin yüzey sertliklerinin çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Bortemperleme ısıl işleminin sürtünme katsayısı ve aşınma hızının da hem östemperleme ısıl işlemine ve borlama işlemine göre çok daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

## Effect of Different Heat Treatments on Mechanical Properties of Ductile Iron

### Abstract

In this study; three different heat treatments were carried out for unalloyed nodular cast iron. These methods are austempering, pack boriding and boro-tempering. Wear and tensile tests were performed for heat treated cast irons. Characterization of microstructure was performed using optical microscopy and scanning electron microscopy. The standard samples with size of  $\varnothing$  25x7 mm were used for wear tests.

### Keywords

Ductile Iron, Boronizing, Boro-Tempering, Austempering, Mechanical Properties.

The mechanical properties of bortempered ductile iron specimens are higher than that of borided ductile iron specimens but less than that of austempered ductile iron specimens. However, it was observed that the surface hardness of bortempered ductile iron specimens is comparatively higher than that of austempered ductile iron specimens. The wear tests showed that the friction coefficient and wear rate of borotempered samples were superior compared to borided and austempered samples.

## 1. Giriş

Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir (ADI) pek çok mühendislik uygulamasında iyi süneklik,

yüksek mukavemet, iyi aşınma direnci iyi yorulma direnci ve iyi kırılma tokluğuna, sahip olmasından dolayı, ısıl işlem görmüş çelik ve dövme çeliğin yerine kullanılmaktadır (Gudlanch ve Janowak, 1983, Harding ve Gilbert, 1986, Kayalı ve Yalçın, 2006, Yang ve Putatunda, 2005, Putatunda vd. 1993, Harding, 1985, Hughes, 1985, Putatunda, 2001). Bu üstün özellikleri ve avantajları sayesinde otomotiv sektöründe, makine ve teçhizat alanında, tarım ve ormancılıkta, savunma sanayinde birçok yapısal parçanın üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Fuller, 1985).

Teknolojinin gelişmesi ve malzemelerden daha üstün özelliklerin beklenmesi neticesinde kullanılan malzemelerin yüzey modifikasyonu gündeme gelmiştir. Metalik malzemelerin termo-kimyasal ve termo-kimyasal olmayan yöntemlerle kaplanması önem kazanmıştır. Ancak, östemperleme işlemi genellikle martenzit başlama sıcaklığı (Ms) ile 450 °C arasında yapılmaktadır (Roy ve Mana 2001), (Hsu vd. 2006).

Termo-kimyasal olan (karbürleme, nitrürleme ve borlama gibi) yüzey işlemleri ise östemperleme sıcaklığının üzerinde gerçekleştirildiği için ADI'e mükemmel özellikleri kazandıran beynitik yapı bozulmaktadır. ADI'in matris yapısını bozmadan yüzey özelliklerini geliştirmek için PVD, electroless nickel (EN) ve DLC (Dimond Like Carbon) yöntemleriyle düşük sıcaklıkta malzeme yüzeyini çeşitli filmler kaplanabilir (Roy ve Mana 2001), (Kayalı vd. 2011).

Düşük sıcaklık yüzey kaplama işlemleri ise östemperleme işlemine ilave olarak kaplama işlemi gerektirmektedir. Dolayısıyla maliyet oldukça artmaktadır (Kayalı vd. 2011).

Yüzey kalitesini artırmak için kullanılan en yaygın ve basit yöntemlerden biri de borlamadır (Meriç et al.

2006). Borlama işlemi termokimyasal bir difüzyon işlemi olup borun yüksek sıcaklıkta çeliğe yayınıdır (Özbek vd. 2004, Çelikyurek vd. 2006). Borlama işlemi genellikle 700-1000 °C aralığında 2-10 saat sürelerde katı, sıvı veya gaz ortamlarında gerçekleştirilir (Özbek vd. 2004, Çelikyurek vd. 2006, Taktak, 2007). En yaygın olarak kullanılan ve basit borlama metodu kutu karbürasyona benzeyen kutu borlamadır (Özdemir vd. 2009).

Bu çalışmanın amacı, ilave kaplama işlemi olmadan borlama ve östemperleme işlemlerini birleştirerek borür tabakası ile yüzeyde yüksek sertlik, matriste ise beynitik yapı sayesinde iyi süneklik, yüksek mukavemete sahip bir malzeme elde etmektir. Bu çalışmada bortemperleme ısıl işleminin borlamaya ve östemperlemeye göre mikroyapı, mekanik özellikler ve aşınma özellikleri arasındaki farklar araştırılmıştır.

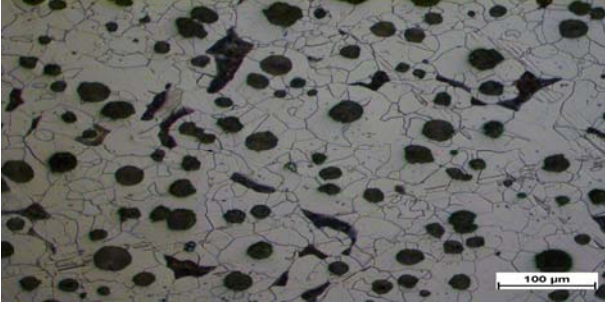
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1 Malzeme ve Isıl İşlemler

Deneysel çalışmalarda kullanılan KGDD'in kimyasal bileşimi Tablo 1 de mikroyapı fotoğrafı ise Şekil 1 de verilmiştir. Alaşimsız KGDD'in mikroyapısı iyi bir küreselliğe sahip grafit kürelerini çevreleyen ferrit ve perlitik bir matristen oluşmaktadır. Test numuneleri standartlara uygun olarak dökülen Y-blokların ayaklarından çıkarılmıştır. Çekme çubukları ASTM E8-01 standardına göre anma çapı 8 mm ve aşınma numuneleri Ø25x7 mm işlenmiştir.

**Tablo 1.** Deneysel malzemenin kimyasal bileşimi.

%C	%Si	%Cr	%Cu	%Mn
3.840	2.273	0.021	0.044	0.141
%S	%Sn	%Ti	%Mg	%P
0.010	0.005	0.020	0.039	0.048



Şekil 1. Deneysel malzemenin optik mikroyapısı.

Borlama işlemi; Paslanmaz çelik kutu içerisine yerleştirilen numuneler ticari Ekabor-2 tozu ile örtüldükten sonra 900 °C de 3 saat borlama işleminden sonra fırın içerisinde soğutulmuştur. Östemperleme işlemi; Paslanmaz çelik kutu içerisine kendi talaşı içerisine gömülen numuneler 900 °C de 3 saat östenitleme işleminden sonra 300 °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 %50 NaNO<sub>3</sub> + %50 KNO<sub>3</sub> bileşiminden oluşmaktadır. Bortemperleme işlemi; borlama, hızlı soğutma, temperleme ve oda sıcaklığına soğuma kademelerinden oluşmaktadır. Numuneler daha önce, borlama işleminde kullanılan paslanmaz çelik kutu içerisine yerleştirildikten sonra ticari Ekabor-2 tozu ile örtülmüştür. Sıcaklığın ±1 °C hassasite kontrol edilebilebildiği 8 KW gücündeki elektrik direnç fırınına yerleştirilen kutu içerisinde 900 °C de 3 saat sürelerde borlanan numuneler kutu içerisinden hızla alınarak 300 °C 'deki tuz banyosu içine atılmıştır. Tuz banyosunda 60 dakika bekletildikten sonra fırın dışına alınan numuneler oda sıcaklığına soğutulmuş ve bol suyla yıkanıp kurutulmuştur.

## 2.2. Metalografik İnceleme

Aşınma deneyi numunelerinden kesilen parçalar metalografik olarak hazırlanıp %2 Nital ile dağlandıktan sonra Olympus BX-60 marka optik mikroskop ve SEM mikroskobu yardımıyla kesitten kaplama tabakası ve matris mikroyapısı incelenmiştir.

## 2.3. Mekanik Testler

Çekme deneyleri 10 ton kapasiteli Instron 8801 marka çekme cihazında yapılmıştır. Çekme testlerinde tekrarlanabilir veriler elde edebilmek için her bir işlemde üçer deney yapılmıştır.

## 2.4. Aşınma Testleri

Bu çalışmada, ısıl işlem uygulanan küresel grafitli dökme demir numuneler bilye-disk aşınma yöntemine tabi tutulmuştur. Numuneler oda sıcaklığında 10 N yük altında ve 0,3 m/s kayma hızında 1000 m aşındırılmıştır. Aşındırıcı olarak 8 mm çapında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye kullanılmıştır. Aşınma hızı, Perthometer M2 marka pürüzlülük cihazından elde edilen aşınma izleri kullanılarak aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

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

Her bir numune için izin profili çıkarılmış ve milimetrik kağıt üzerinden kesit alanları hesaplanmıştır. Kesit alanının aşınma izinin çevre uzunluğu ile çarpılması neticesinde aşınan hacim miktarı belirlenmiştir.

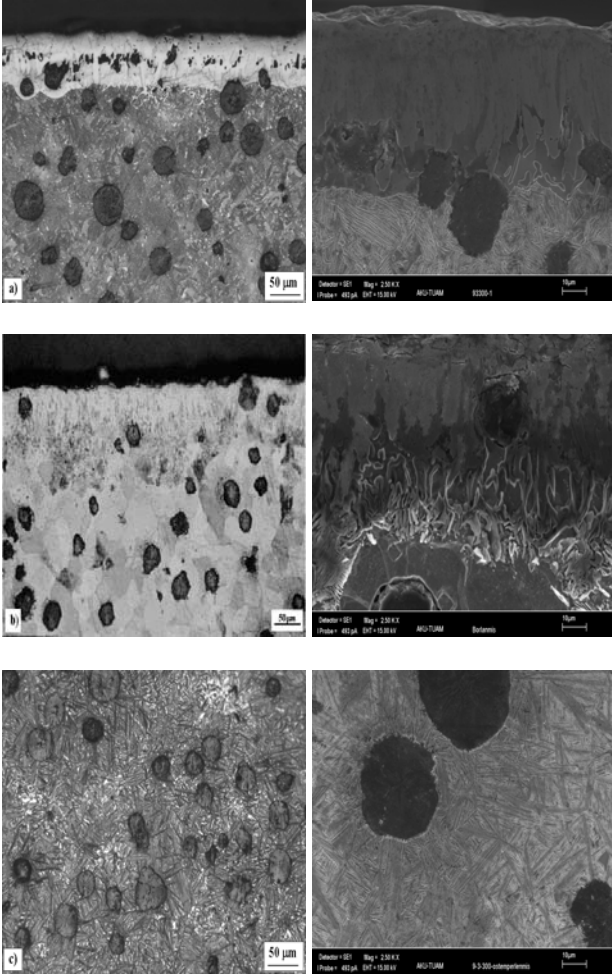
## 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

### 3.1. Kaplama tabakası ve mikroyapı

Borlanmış, östemperlenmiş ve bortemperlenmiş KGDD'lerin optik ve SEM mikroyapı fotoğrafları Şekil 2'de verilmiştir. Yüzeyde oluşan borür tabakası dişsel bir morfolojiye sahiptir ve tabaka/matris arayüzeyi oldukça düz görünmektedir. Yüzeyde oluşan borür tabaka kalınlığı, 3 saatlik borlama süresinde yaklaşık olarak 65±3 µm ölçülmüştür.

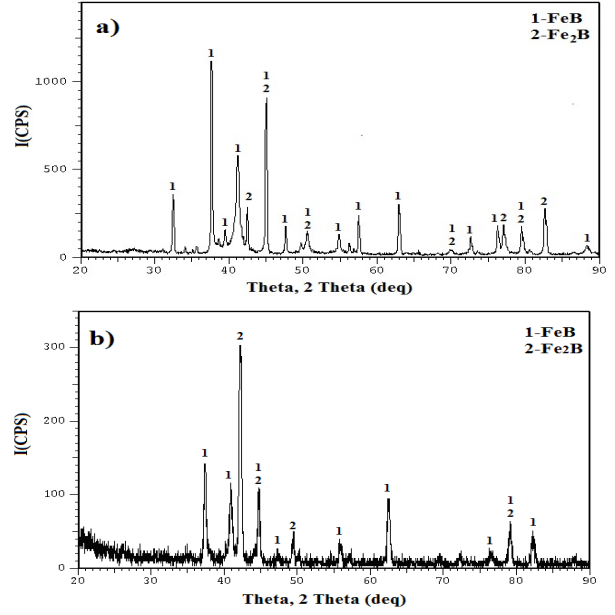
Östemperleme işlemiyle 300 °C dönüşüm sıcaklığında elde edilen beynit yapısı, Bortemperleme işlemi sonunda, borür tabakasının altında ferrit iğnelerinin büyüme hızının yüksek, karbon difüzyon hızının nispeten düşük olmasından dolayı ince iğnesel ferrit, az miktarda kalıntı östenit ve çok ince karbürlerden oluşan alt beynit matris

oluşmaktadır ( Kayalı vd. 2010, Meriç vd. 2006).



**Şekil 2.** (a) 900 °C de 3 saat borlanmış, 300 °C temperlenen, (b) 900 °C de 3 saat borlanan ve (c) 900 °C de de 3 saat östenitlenmiş 300 °C de temperlenen küresel grafitli dökme demirin kesitten alınmış Optik ve SEM mikroskop resimleri.

Bortemperlenen numunelerin yüzeylerinden alınan XRD analiz sonuçları Şekil 3 de verilmiştir. XRD sonuçları (a) borlanmış ve (b) bortemperleme ısıl işlemi ile Fe<sub>2</sub>B ve FeB dan oluşan bir tabakanın meydana geldiğini göstermektedir (Baydoğan ve Akay 2009, Kul vd. 2016). Borlanmış numunelere de FeB pikleri daha baskındır.



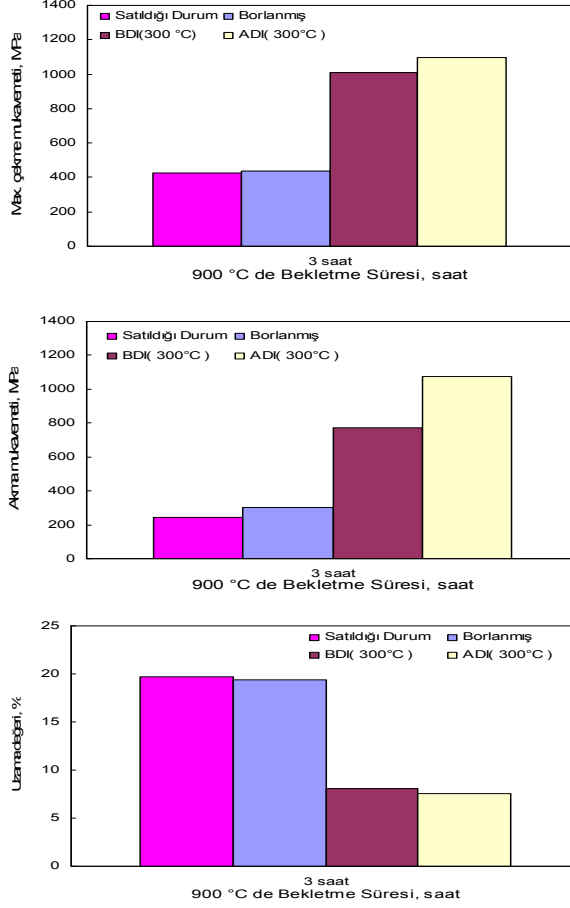
**Şekil 3.** a) 900 °C de 3 saat borlanmış, b) 900 °C de 3 saat borlanıp 300 °C de temperlenen numunenin XRD analizi.

### 3.2. Mekanik Özellikler

Borlama, Östemperleme ve Bortemperleme şartlarının çekme mukavemeti, % 0,2 akma mukavemeti ve % uzamadaki değişim grafikleri Şekil 4 da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde östemperleme ısıl işleminin çekme mukavemetinin ve % 0,2 akma mukavemetinin yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi hem tok hem de yüksek dayanıma sahip olan beynit mikro yapısındanır. Borlama işleminin ise işlemsiz KGDD den biraz daha iyi olduğu görülmektedir. Bortemperleme işlemi uygulanmış KGDD ise hem borlamadan kazanılan yüksek yüzey sertliği hem de östemperlemeden kazanılan tok yapısı sayesinde iyi sonuçlar elde edilmiştir. İşlemsiz numunelerden ve Borlama işlemi uygulanmış KGDD den daha yüksek çekme ve % 0,2 akma mukavemeti elde edilmiştir (Kayalı vd. 2010).

Isıl işlemsiz numunelerin çekme mukavemeti 420 MPa iken, en yüksek çekme mukavemeti Östemperlenmiş numunede 1100 MPa olarak elde edilmiştir. Bortemperlenmiş numunenin çekme mukavemeti ise 1007 MPa'dır. Bu veriler östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir standartlarına göre en düşük sınıfın özelliklerine yakın değerlerdir (Kayalı vd. 2010, Kayalı vd. 2011, Baydoğan ve Akay 2009). Bu da matrisin

östemperlendiğini, yani beynitik yapının elde edildiğini göstermektedir. % 0,2 akma mukavemeti değerleri incelendiğinde yine en yüksek mukavemetin beklendiği gibi östemperlenmiş KGDD de elde edildiği görülmektedir.



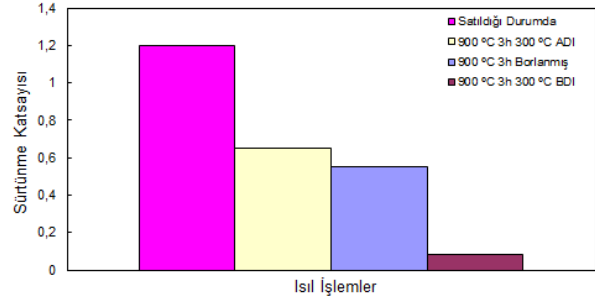
Şekil 4. Mekanik özelliklerin karşılaştırılması.

En iyi uzama değerleri işlemsiz ve borlanmış numunelerde elde edilmiştir. Östemperlenmiş ve bortemperlenmiş numunelerin yaklaşık olarak % 8 civarında iken işlemsiz numunelerin % uzama değerleri % 20 civarındadır. Bortemperleme ısıl işlem ile KGDD'in % uzama değeri düşmüştür (Kayalı vd. 2010).

### 3.3. Aşınma Özellikleri

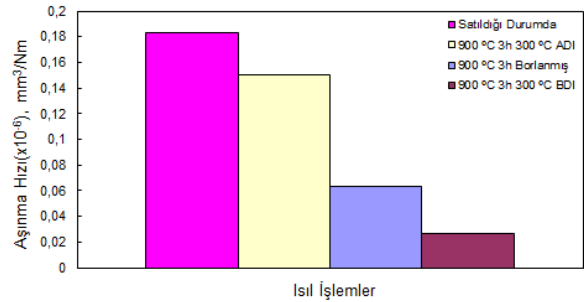
Isıl işlemsiz ve ısıl işlem görmüş KGDD'in sürtünme katsayıları ve aşınma davranışları arasındaki fark ise Şekil 5 ve Şekil 6'da görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde, ısıl işlem görmemiş olan KGDD lerin sürtünme katsayısı 1,2 iken, bortemperlenmiş KGDD'in 0,082 gibi çok düşük bir değer elde edilmiştir. Literatürde borlanmış çeliklerin sürtünme

katsayısı değeri 0,5-0,7 arasındadır. Bortemperleme ısıl işlemi ile sürtünme katsayısı çok düşük değerlere düşmüştür (Kayalı vd. 2011).



Şekil 5. Sürtünme Katsayısının Karşılaştırılması.

Bortemperlenmiş KGDD 'in aşınma hızı, diğer ısıl işlemlere göre ve ısıl işlemsiz numuneye göre daha düşüktür. Bortemperlenmiş KGDD aşınma hızı, ısıl işlemsiz numunenin aşınma hızından 6 kat daha iyidir. Bortemperleme ısıl işlemi ile küresel grafitli dökme demirlerin hem yüzeyi çok sert hem de iç kısmı tok bir yapı elde edilmiştir. Böylece hem aşınmaya karşı dirençli hem de tok bir yapı oluşmuştur (Kayalı vd. 2010, Kayalı vd. 2011, Baydoğan ve Akıray 2009).



Şekil 6. Aşınma Hızının Karşılaştırılması.

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

Bortemperleme ısıl işlemi ile hem borür tabakası hem de beynit tabakası elde edilmiştir. Bortemperlenen KGDD 'in yüzeyinde FeB ve Fe<sub>2</sub>B 'den oluşan çift fazlı bir borür tabakası oluşmuştur.

Borlanmış ve bortemperlenmiş KGDD yüzeyinde elde edilen borür tabaka kalınlığı yaklaşık olarak 65±3 µm ölçülmüştür.

Maksimum çekme ve % 0,2 akma mukavemeti östemperlenen numunelerde elde edilmiştir. Bortemperlenmiş numunelerin çekme ve akma mukavemeti değerleri, borlanmış numunelerden daha yüksek, östemperlenmiş numunelerden ise biraz düşük olarak tespit edilmiştir.

En düşük sürtünme katsayısı ve en düşük aşınma hızı, bortemperlenmiş numunelerde elde edilmiştir. Sürtünme katsayısı, bortemperleme ısıl işlemiyle yaklaşık olarak 15 kat azalırken, aşınma hızı ise 6 kat azalmıştır.

## 5. KAYNAKLAR

- Gudlanch, R.B., and Janowak, J.F., 1983. Development of A Ductile Iron For Commercial Austempering. AFS Trans., 94, 377–388
- Harding, R.A., Gilbert, G.N.J., 1986. Why The Properties Of Ductile Irons Should Interest Engineers. British Foundryman, 79, 489-496.
- Kayalı, Y., Yalçın, Y., 2006. Bortemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul.
- Yang, J., Putatunda, S.K., 2005. 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 A, 406, 217-228.
- Putatunda, S.K., Bartosiewicz, L., Krause, A.R., Singh, I., Alberts, F.A., 1993. Influence of Microstructure on High Cycle Fatigue Behavior of Austempered Ductile Cast Iron. Mater. Charact., 30, 221-234.
- Harding, R.A., 1985. Austempered Ductile Irons-Gears. Materials&Design, 6, 177-184.
- Hughes, I.C.H., 1985. Austempered Ductile Irons-Their Properties and Significance, 6, 124-126.
- Putatunda, S.K., 2001. 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 A, 315, 70–80.
- Fuller, A.G., 1985. Austempered Ductile Irons-Present Applications. Materials&Design, 6, 127-130.
- Roy, A., Mana, I., 2001. Laser Surface Engineering to Improve Wear Resistance of Austempered Ductile Iron. Materials Science and Engineering A, 297, 85–93.
- Hsu, C-H., Lu, J-K., and Tsai, R-J., 2006. Characteristics of Duplex Surface Coatings on Austempered Ductile Iron Substrates. Surface & Coatings Technology, 20, 5725–5732.
- Kayalı, Y., Taktak, Ş., Ulu, S., Yalçın, Y., 2010. Investigation of Mechanical Properties of Boro-Tempered Ductile Iron. Materials & Design, 31, 1799-1803.
- Kayalı, Y., Yalçın, Y., 2011. The Effects of Boro-Tempering Heat Treatment on Microstructural Properties of Ductile Iron. Materials & Design, 32, 1414-1419.
- Kayalı, Y., Yalçın, Y., Taktak, Ş., 2011. Adhesion and Wear Properties of Boro-Tempered Ductile Iron. Materials & Design, 32, 4295-4303.
- Meriç, C. Sahin, S. Backir, B. Koksall, N.S. 2006. Investigation of the boronizing effect on the abrasive wear behavior in cast irons. Materials and Design, 27, 751-757.
- Özbek, İ, Sen S, İpek M, Bindal C, Zeytin S, Üçışık H.A, 2004. Mechanical aspect of borides formed on the AISI 440Cstainless-steel. Vacuum, 73, 643–648.
- Ozdemir, O., Omar M.A., Usta M., Zeytin S., Bindal C., Ucisik A.H., 2009. An investigation on boriding kinetics of AISI 316 stainless steel. Vacuum, 83, 175-179.
- Celikyurek, İ., Baksan B., Torun O., Gurler R., 2006, Boronizing of iron aluminate Fe<sub>72</sub>Al<sub>28</sub>. Intermetallics, 14, 136-141.
- Taktak, S., 2007. Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels. Materials and Design, 28, 1836–1843.
- Baydogan, M., Akray, S.I., 2009. Successive Boronizing and Austempering for GGG-40 Grade Ductile Iron. Journal of Iron and Steel Research. International, 16(2), 50-54.
- Kul, M, Oskay, K.O., Temizkan, A., Karaca, B., Kumruoglu, L.C., Topçu, B., 2016. Effect of boronizing composition on boride layer of boronized GGG-60 ductile cast iron. Vacuum, 126,80-83.