

## **BORLAMA VE BİLYALI DÖVMENİN DEMİR ESASLI T/M MALZEMELERDE AŞINMA VE MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Selim Sarper YILMAZ\***, **Bekir Sadık ÜNLÜ\***, **Remzi VAROL\*\***

\* Celal Bayar Üniversitesi Turgutlu MYO Makina Bölümü, Turgutlu-MANİSA

\*\* Süleyman Demirel Üniversitesi Müh. Mim. Fak., Makina Mühendisliği Bölümü, ISPARTA

**Özet:**T/M yöntemiyle üretilmiş demir esaslı malzemeler endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemeler üretim sonunda hiçbir talaşlı işlem gerektirmeden son ürünün şeklini alması, kendinden yağlama özelliği olması nedeniyle yatak malzemesi olarak ve ayrıca tıp vb. endüstri uygulamalarında kullanılabilirliği açısından önem teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, demir esaslı FeCu-Grafit kompozitinden toz metal parçalar üretilmiştir. Bu parçalardan aşınma ve mekanik deney numuneleri üretilip, bazılarında borlama ve borlama+bilyalı dövme işlemi uygulanmıştır. Bu parçalar pim-disk aşınma deney cihazında 17 N yükte, 50 d/dak da ve kuru ortamda aşındırılarak aşınma ve mikro yapı özellikleri incelenip birbiriyle karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Toz metalurjisi, Borlama, Bilyalı dövme, Aşınma, Mikro yapı*

## **EFFECT ON WEAR AND MICROSTRUCTURE PROPERTIES OF BORONISING AND SHOT PEENING IN FERROUS BASED P/M MATERIALS**

**Abstract:** Ferrous based materials manufactured by P/M method are widely used in industry. These materials are very important no machining can be use for self-lubricated property as journal bearing material, in addition medical etc. applies.

In this study, powder metal parts were manufactured from composites ferrous based FeCu-Graphite by P/M method particulate reinforced. Wear and mechanical test samples were manufactured and boronising and boronising+shot peening was applied to some samples. Wear and properties of these parts were investigated and compared by wearing with 17 N load and 50 rpm on pin-on-disk wear test rig at dry conditions. In addition; wear and microstructure properties of these parts were investigated and compared.

**Keywords:** *Powder metalurgy, Boronising, Shot peening, Wear, Microstructure*

---

**\*Sorumlu Yazar**

selim.yilmaz@bayar.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Demir, bakır, demir-bakır, demir-karbon, demir-bakır-karbon, pirinç, bronz, paslanmaz çelik, nikel ve alaşımları çok kullanılan bazı T/M (toz metal) malzemelerdir. Bunların dışında metal dışı malzemeler (örneğin; oksitler, karbürler v. s.) metal tozlarla birlikte kullanılabilir. T/M, parça veya yarı mamul ürünlerin üretimi için kullanılan metal işleme yöntemlerinden biridir [1].

Bazı metallerin ergime sıcaklıklarının çok yüksek olması ve bu sıcaklıklara ulaşamaması bazı özelliklerin ancak T/M ile sağlanabilmesi (kendi kendine yağlanan yataklar gibi), süper alaşım ve sert metaller gibi önemli malzemelerin bu yöntem ile üretilmesi T/M yöntemini zorunlu kılan başlıca nedenlerdir [2, 3].

T/M parçaların mekanik özellikleri büyük ölçüde kalıcı gözenek miktarına, dağılımına, gözenek tipine, büyüklüğüne ve şekline bağlıdır. T/M parçalarda gözenek miktarı düştükçe yorulma dayanımının yanı sıra diğer bütün mekanik özellikler de iyileşmektedir. Bu genelleme kabaca kabul görürken iyileşme oranının hangi parça yoğunluğu değerleri üzerinde önem kazandığı tam açık değildir. Ancak düşük parça yoğunluklarında toplam gözeneklilik miktarı ana faktör olarak gözlenirken, yüksek yoğunluklarda gözenek boyutu, şekli ve dağılımı ile birlikte matris malzeme mikro yapısı daha önemli faktörler olarak önem kazanmaktadır [4]. Toz metalürjisi yöntemleri ile üretilen kalıcı gözenekli sıradan makine parçalarının toklukları yeterli seviyede olmadıkları gibi mukavemetleri de ancak döküm malzemelerin mukavemet değerleri mertebesinde olabilmektedir. Bundan dolayı makine parçası olarak kullanıldıklarında çelikler kadar dayanıma sahip olmamaktadırlar [5].

T/M ürünlerinin özellikleri toz tanelerinin şekli, boyutu, bileşimi, yağlayıcı tipi, presleme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve

süresi gibi çok sayıda değişkene bağlı olduğundan özellikler hakkında genel bilgi vermek zordur. Ürünlerin yoğunlukları geniş bir aralıkta değişirken, çekme mukavemetleri 70 MPa ila 1250 MPa arasındadır. Genellikle mekanik özelliklerin çoğu yoğunluğa büyük bir bağımlılık göstermektedir. Düşük mukavemetli metallerden üretilen T/M ürünlerinin mekanik özellikleri dövme ürünlerinkine eşdeğerdir. Daha yüksek yoğunluklu parçaların üretimi için yüksek kapasiteli presler veya sıcak izostatik presleme yöntemi kullanılır. Böylece elde edilen toz ürünlerin özellikleri dövme ürünlerinin özelliklerine yaklaşır. % 100 yoğunluğa ulaşılması ve çok ince tane boyutunun sağlanması halinde ise toz parçaların özellikleri dövme ürünlerine yakın olarak elde edilir. T/M parçalarda gözenek miktarı azaldıkça tüm mekanik özelliklerde iyileşme gözlenmektedir [1, 6].

Mekanik özelliklerinin yanı sıra fiziksel özelliklerde, T/M parçalar gözenek oranından etkilenir. Korozyon direnci artan gözenek oranı ile birlikte azalır. Elektrik, ısı ve manyetik özelliklerde zafı yoğunlukla birlikte değişir. Öte yandan gözenek ses ve titreşim söndürme özelliğini arttırmaktadır. Bu nedenle toz metalürjisi ürünlerinin önemli bir kısmı gözenekliliğin sağladığı avantajları kullanmak üzere tasarlanmıştır [7]. Ayrıca; kendinden yağlamalı sinter malzemeler farklı sinterleme sıcaklık ve şartlarda farklı içyapılar ve farklı yoğunluklara sahip olmaktadır [8].

Uygulamalarda sık kullanılan kendi kendini yağlayan toz metal yataklar demir ve bakır esaslı yataklardır. Daha yüksek mekanik özellikler elde etmek için T/M yataklar alaşımlandırılarak üretilmektedir. Alaşımlandırma tekniği, toz karakteristikleri ve presleme şekilleri yatak malzemesinin yağlama, aşınma ve mikro yapı özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir [9, 10]. Üretilen T/M parçaların mekanik özellikleri kimyasal bileşimine bağlıdır [11, 12]. Gözenek tipi, miktarı dağılımı ve toz şekli yatakların kendi

kendini yağlama şartlarını iyileştirmek ve emdirilen yağ miktarını düzenlemek üzere kontrol edilmektedir [13, 14].

Borlama, termokimyasal bir yüzey işlemi olup, esas olarak borun yüksek sıcaklıkta çelik yüzeyine difüzyonudur. Bor verici olarak herhangi bir bor bileşiği kullanılabilir. Borlama ortamı diğer ilavelerle birlikte katı, sıvı veya gaz halinde olabilir. Son zamanlarda plazma borlama ve iyon implantasyon borlama yöntemiyle borlama yapılmaktadır. Bu ortamlarla çelik yüzeyinde tek fazlı Fe<sub>2</sub>B (demir di borür) tabakası elde edilmesi amaçlanır. Borlanmış yüzeyler sürtünme katsayısı düşük, aşınma direnci yüksek hale gelir. Malzeme yüksek sıcaklıklarda sertlik ve tribolojik özelliklerini korur. Borlama işlemi ve elde edilen tabaka kalınlığı, işlem sıcaklığı ve süreyle de ilgilidir. Borlama işlemi, 800-1050 °C sıcaklıklarda ve 10 saate kadar yapılabilmektedir [15-17]. Çelikler için en uygun ve yeterli borlama şartları; katı borlama yöntemiyle 950 °C de, 4 saatte yapılan borlamadır [18].

Borlama ile malzeme yüzeyinde sert bir seramik tabakası oluşur. Örneğin Fe yüzeyine uygulanırsa oluşan bu tabaka FeB tabakasıdır. Bor difüze edilmiş yüzeylerin aşınma direnci normal yüzeylere göre yaklaşık 100 kat fazladır. Ancak ağır yükler altında oluşan yüzey gerilmeleri ile pullanma ve çatlamalar olabilir. Ayrıca borlanmış tabakalar su ve atmosfer şartlarında kötü korozyon direncine sahiptir. Ancak oksitlenmeyen asitlere karşı iyi korozyon direnci gösterirler [19]. Bor tabakasına C elementinin de etkisi vardır. Az karbonlu çeliklerde daha kalın bor tabakası elde edilmektedir [20].

Borlama ile yüzey sertleştirme işlemlerine göre çok sert, iyi sürtünme ve aşınma davranışı elde edilebilmesinin yanında alaşımız çeliklere de uygulanabilmesi, bu işlemin önemini ortaya çıkarmaktadır. Borlanmış tabakanın özelliklerine ait çalışmalar daha çok sertlik, aşınma ve

korozyon özellikleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Borlamanın en büyük etkisi sertlik üzerine olup, ana malzeme cinsine ve yüzeyde oluşacak FeB ve Fe<sub>2</sub>B fazlarına bağlıdır. FeB fazı, Fe<sub>2</sub>B fazından daha sert ve gevreklerdir. Borlama ile elde edilen sertlik çeliklerde 1800-2100 HV, titanyumda ise yaklaşık 3000 HV' dir. Ayrıca, çelik esaslı malzemeler için 20-200 µm' lik bir tabaka kalınlığı elde edilmektedir [21, 22].

Borlama ile demir esaslı malzemelerin aşınma direnci, mekanik özellikleri ve yorulma dayanımı artar. Bu nedenlerden dolayı borlama işlemi demir esaslı T/M ve döküm malzemelerden üretilen parçalarda ve kaymalı yataklarda uygulanabilir [1, 23].

Bilyalı dövme işlemi ise; çok sayıda bilyadan meydana gelen bir bilya jetinin işlem görecekt makine parçası veya elemanın yüzeyine, kontrollü şartlar altında, uygulanması işlemidir. Bilya jetine maruz bırakılan metal malzeme yüzeyinde homojen olmayan plastik deformasyon sonucu, bası gerilmeli bir tabaka meydana gelir. Yöntem olarak benzemekle birlikte, işlemin esas gayesi açısından kum püskürtülerek yüzey temizleme işleminden tamamen farklıdır. Bilyalı dövme işleminin gayesi metal malzemedan yapılmış parçaların yorulma, korozyonlu yorulma ve gerilmeli korozyon gibi hasar türüne karşı direnci arttırmaktır. Bununla birlikte dövme işlemleri sonucu dövülmüş parçaların yüzeyleri de temizlenmiş olmaktadır [24, 25]. Bilyalı dövme işleminde, dövülmesi istenen malzemeye göre daha sert, genellikle küre şekilli dökme demir, çelik, cam, seramik gibi malzemelerden yapılmış bilyaları dövülecek malzeme üzerine batmasını sağlayacak büyüklükte bir hız verilerek fırlatılması esastır. Çok fazla sayıdaki bilyaların akışı bir su jetine benzetilebilir [26, 27].

Makine elemanları genellikle yönü ve şiddeti zamanla değişen gerilme ve kuvvetlere maruz oldukları için bu tür makine parçalarının tasarımında yorulma özellikleri ön planda

tutulmak zorundadır. Yorulma özellikleri ön plana çıkan parçalarda, yorulma dayanımı değerlerini arttırarak güvenilirliği etkilemeksizin, mukavemet / ağırlık oranını arttırmak için gerekli çalışmalara ağırlık verilmektedir. Yorulma hasarlarını önlemek veya yorulma ömrünü arttırmak için uygulanmakta olan kalıcı gerilme oluşturma yöntemlerinden biriside bilyalı dövmedir. Bilyalı dövmenin bir avantajı da parçanın üretim yöntemine ve metalin cinsine bakılmadan her türlü makine parçasına uygulanabilir olmasıdır. Yine bilyalı dövme ince metal plakaların istenilen formlarda şekillendirilmesi, yüzey sertleştirme, yüzey kalitesinin arttırılması için yüzeydeki gözeneklerin giderilmesi gibi çeşitli amaçlar için kullanılan ucuz ve etkili bir yüzey işlemi olarak bugün yerini almıştır [28].

Bu çalışmada, borlanmamış, borlanmış ve borlandıktan sonra bilyalı dövme işlemi uygulanmış demir esaslı FeCu-Grafit T/M kompoziti pim-disk aşınma test cihazında

aşındırılarak aşınma ve mikro yapı özellikleri belirlenmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. Malzeme ve Yöntem

Aşınma ve mikroyapı deneyleri için; FeCu-Grafit kompoziti T/M yöntemiyle 400 MPa basınçta 55x10x10 mm boyutlarında preslenip, 1120 °C de sinterlenerek üretilmiştir. Borlanmamış FeCu-grafit (1. Grup), borlanmış B-FeCu-grafit (2. Grup) ve borlanmış+bilyalı dövme uygulanmış BB-FeCu-grafit (3. Grup) numunelerden temel sürtünme elemanı olarak  $\phi$  5.5 x 15 mm boyutlarında aşınma numuneleri hazırlanıp, aşınma deneyleri yapılmıştır. Karşı aşındırıcı olarak SAE 1020 çelik disk kullanılmıştır. Malzemelerin kimyasal bileşenleri Tablo 1' ve Tablo 4' te verilmiştir. Aşınma deneyleri, pim-disk aşınma deney cihazında 17 N yükte, 50 d/dak da ve kuru ortamda yapılmıştır. Ağırlık kayıpları,  $10^{-4}$  hassasiyetinde terazide ölçülerek belirlenmiştir.

**Tablo 1.** SAE 1020 çelik diskin kimyasal bileşenleri (% ağırlık).

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Fe
SAE 1020	0.2	0.25	0.7	0.04	0.05	Kalan

Çalışmada kullanılan ASC 100.29 demir tozunun bazı temel özellikleri Tablo 2' de verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan

numuneler laboratuvar ortamında üretilmiştir.

**Tablo 2.** ASC 100.29 demir tozunun bazı temel özellikleri.

Grade	Tane Boyutu $\mu$ m	Görünür Yoğunluk $g/cm^3$	Akış s/50 g	H <sub>2</sub> Kaybı %	C %	Sıkıştırılabilirlik $g/cm^3$ (600 MPa da)
ASC 100.29	20 - 180	2,96	24	0,8	0,002	7,21

Tablo 3' de ASC 100.29 demir tozunun bazı temel mekanik ve fiziksel özellikleri Höganäs firmasının (İsveç) katalogundan yararlanarak verilmiştir. Numuneler belirtilen demir tozunun içerisinde Tablo 4' de gösterildiği

oranlarda alaşım elemanları ilave edilerek karıştırılması sonucu preslemeye hazır hale getirilmiştir.

**Tablo 3.** ASC 100.29 demir tozunun mekanik ve fiziksel özellikleri.

Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Yüzde Uzama A <sub>5</sub> (%)	Yoğunluk $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Sertlik (HV)
275	218	3,7	6,61	95

**Tablo 4.** Numunelerin kimyasal bileşenleri (% ağırlık).

Toz Cinsi	Grafit	Bakır	Demir	Yağlayıcı (Zn-Stearat)
Miktarı (% ağırlık)	0,2	3	Kalanı	0,8

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 3. 1. Aşınma Özellikleri

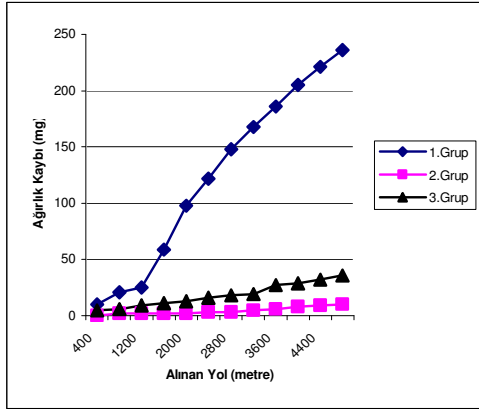
Aşınma numunesi test cihazına bağlanarak toplam 4800 m olmak üzere her 400 m de bir oluşan ağırlık kayıpları, 12 kez hassas terazide ölçülerek belirlenmiştir. Aşınma deneyleri, 17 N yükte, 50 d/dak da ve kuru ortamda yapılmıştır.

T/M yöntemiyle üretilmiş borlanmamış FeCu-grafit kompozitinin aşınması incelendiğinde, 4800 m lik bir aşınma mesafesinin sonunda 236 mg lik bir ağırlık kaybı ve borlanmış FeCu-grafit kompozitinde ise yaklaşık 10 mg olmuştur. Borlanmış+bilyalı dövülmüş FeCu-grafit kompozitinde ise yüzeyler biraz bozulduğu için yaklaşık 36 mg olmuştur. Yani borlanmış numunede aşınma dayanımında yaklaşık 24 kat bir artış, borlanmış+bilyalı dövülmüş numunede ise yaklaşık 7 kat bir artış olmuştur. 3. grup numunenin ağırlık kaybı-yol grafiğine bakıldığında, 3400 m aşınmadan sonra eğimin artması borür tabakasının azalmasından kaynaklanmaktadır. Buradaki demir esaslı bu kompozitin fazla aşınma nedeni de aşınma ortamının kuru ortam olmasından kaynaklanmaktadır. Halbuki bu malzemeler yağlı ortamda aşındırıldığında aşınma da o denli az olmaktadır. Bu nedenle bronz ve demir T/M malzemeler yağlandığında gözenekleri yağ ile dolduğundan kendinden yağlamalı yatak

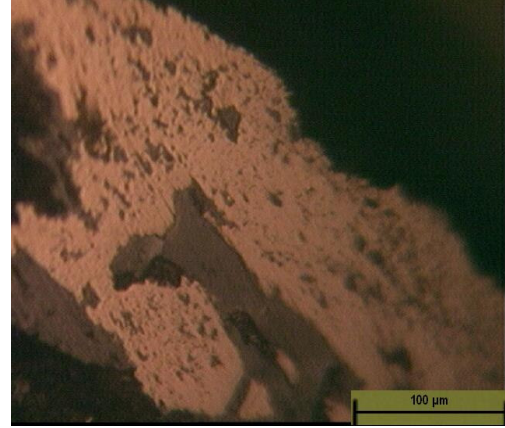
olarak kullanılmaktadır [23]. T/M yöntemiyle üretilmiş bu kompozitlerin ağırlık kaybı-yol değişimi Şekil 1' de verilmiştir

#### 3. 2. Mikroyapı Özellikleri

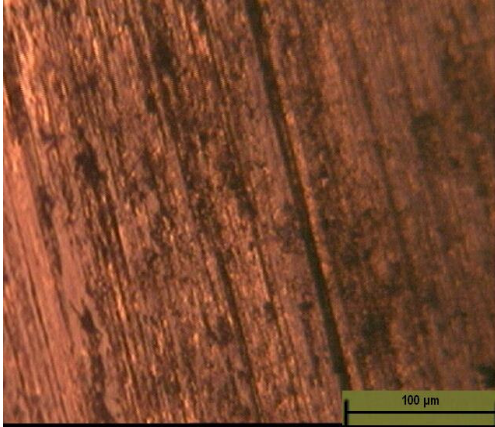
T/M yöntemiyle üretilen parçaların mikro yapıları incelendiğinde; T/M kompozitinin aşınma izlerinin karakteristik yapıları görülmektedir. Bu T/M malzemelerde borlanmamış yüzeylerde aşınma sırasında oluşan bölgesel çizikler belirgin bir şekilde görülmektedir. Aşınma izleri büyük çizikler halinde ve belirgin bir şekilde oluşmuştur. Borlanmış ve borlanmış+bilyalı dövülmüş yüzeylerde ise aşınma izleri çok daha az olarak elde edilmiştir. Borlanmış+bilyalı dövülmüş yüzeylerde bilyalı dövmenin etkisiyle yüzeyde bozulmalar oluşmuştur (Şekil 7). Aşınma izlerindeki ve içyapıdaki koyu siyah bölgeler grafit, renkli bölgeler bakır ve açık bölgeler de demir tanelerini göstermektedir. İçyapıdaki çukur siyah bölgeler ise gözeneklerdir. Homojen ve çok az aşınmış yüzeyler mevcuttur. Bu da bor tabakasının hala yüzeyden ayrılmamış olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, bor tabakası (dişli bölgeler) bu kuru ortam aşınmasında bile katı yağlayıcılık görevini yerine getirmektedir. Bu mikro yapı görüntüleri Şekil 2-7 arasında verilmiştir. Mikro yapılar, Hund Wetzlar CCD-290 ışık mikroskopunda çekilmiştir.



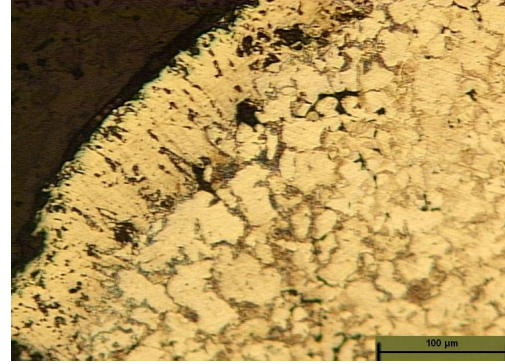
Şekil 1. Numunelerin ağırlık kaybı-yol değişimi.



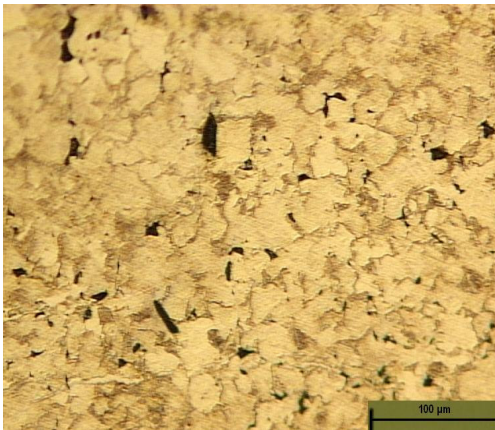
Şekil 4. B-FeCu-grafit kompozitinin yüzeyinde oluşan aşınma izleri (x 200).



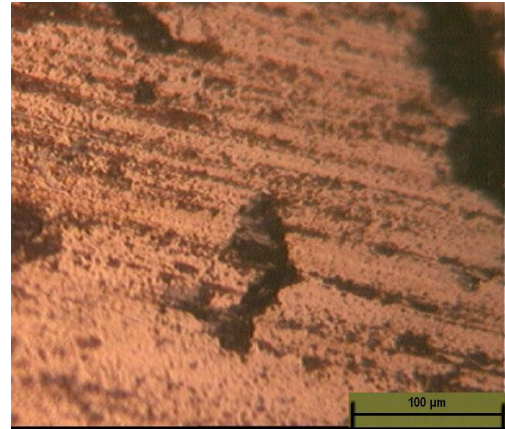
Şekil 2. FeCu-grafit kompozitinin yüzeyinde oluşan aşınma izleri (x 200).



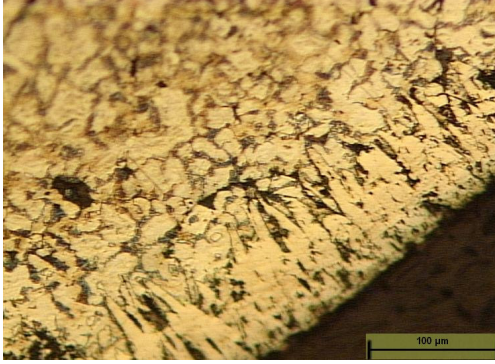
Şekil 5. B-FeCu-grafit kompozitinin bor tabakası ve içyapısı (x 200).



Şekil 3. FeCu-grafit kompozitinin iç yapı görüntüsü (x 200).



Şekil 6. BB-FeCu-grafit kompozitinin yüzeyinde oluşan aşınma izleri (x 200).



Şekil 7. BB-FeCu-grafit kompozitinin bor tabakası ve içyapısı (x 200).

#### 4. SONUÇLAR

1. 4800 m lik bir aşınma mesafesinin sonunda borlanmamış FeCu-grafit kompozitinin aşınmasında, 236 mg lık bir ağırlık kaybı elde edilmiştir.

2. Borlanmış FeCu-grafit kompozitinde yaklaşık 10 mg elde edilmiştir. Aşınma dayanımı yaklaşık 24 kat artmıştır.

3. Borlanmış+bilyalı dövülmüş FeCu-grafit kompozitinde ise yüzeyler biraz bozulduğu için yaklaşık 36 mg elde edilmiştir. Bu numunede ise aşınma dayanımı yaklaşık 7 kat artmıştır.

4. Borlanmamış yüzeylerde aşınma sırasında bölgesel çizikler belirgin bir şekilde görülmektedir. Aşınma izleri büyük çizikler halinde ve belirgin bir şekilde oluşmuştur. Borlanmış ve borlanmış+bilyalı dövülmüş yüzeylerde ise aşınma izleri çok daha az elde edilmiştir.

#### Kaynaklar

[1] Yılmaz, S. S. “ Demir Esaslı T/M Parçaların Yüzey Sertleştirme İşlemlerinin Fiziksel ve

- Mekanik Özelliklerine Etkisi”, Doktora Tezi, C. B. Ü. Fen Bil. Enst., 2004.
- [2] Lawley, A., “Atomization, The Production of Metal Powders”, MPIF, Princeton, 1992.
- [3] Turan, H., Sarıtaş, S., “Gaz Atomizasyonu ile Metal Tozu Üretimi”, 6.Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, 21-23 Eylül 1994, ODTÜ, Ankara.
- [4] Douib, N., “Fatigue of Inhomogeneous Low Alloy P/M Steels” P/M, Vol. 32, No:3, 209-214 pp., 1989.
- [5] Sarıtaş, S., “Fatigue of Surface Treated Powder Forged Steels”, Heat Treatment 81, The Metal Society , s.147-157, Birmingham, 1981.
- [6] Tunay, R., F., Varol, R., Yılmaz, S., S., “Borlamanın T/M Çelik Parçaların Mekanik Özelliklere Etkisi” Gazi Üniversitesi 3.Uluslararası Toz Sempozyumu, s. 1221-1228, 2002.
- [7] Çalışkan, C. “Toz Metalurjisi” , İstanbul Teknik Üniversitesi, Bitirme Projesi, 2000
- [8] Justino, J. G., Bernardini, P. A. N., “Self-Lubricating Bearings: Microstructural and Dimensional Evolution Under Industrial Processing Conditions”, Materials Science Forum, 299-300, pp. 356-363, 1999.
- [9] Ekşi, A., Kurt A., “Metal ve Seramik Tozların Bilgisayar Kontrollü Tek Eksenli Kalıpta Preslenmesi”, Ankara ODTÜ, II. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, s. 557-565, 1999.
- [10] Kurt, A., “Toz Metal Bronz Yatak Malzemelerinin Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, G. Ü., Fen Bil. Enst., Ankara, 1992.
- [11] Demir A., Sarıtaş S., “Toz Metal Çeliklerin Mekanik Özellikleri”, Isparta A.Ü. Müh. Fak. Mak. Müh. Dergisi, Sayı.7, s. 1-13, 1993.
- [12] 12. Varol, R., Sarıtaş, S., “ Bilyalı Dövme İşleminin Demir Esaslı T/M Parçaların Yorulma Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması”, Ankara Gazi Üniversitesi, I.Ulusal Toz Metalurjisi Konf., s. 407-418, 1996.
- [13] Bradury, S., “Powder Metallurgy Equipment Manual-3”, N. Jersey, Powder Metallurgy Assoc., pp.191, 1996.
- [14] Sarıtaş, S., “ Toz Metalurjisi”, Ankara Makine Mühendisleri Odası, Makine Müh. El Kitabı, s. 64-82, 1992.
- [15] Matuschka, A. G., “Boronizing”, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1980

- [16] Bayça, S. U., Şahin, S., “Borlama”, Mühendis ve Makina, Sayı 532, s. 51-59, Mayıs 2004.
- [17] Pengxun, Y., "Gaseous boronizing with solid boron-yielding agents" Thin Solid Films., V-214, N-1 Jun 30, P:44-47, 1992.
- [18] Yılmaz, S. S., “Çeliklerde Bor İle Yüzeysel Sertleştirme”, Yüksek Lisans Tezi, C. B. Ü. Fen Bil. Enst., 1997.
- [19] Karamış, M. B., Nair, F., Selçuk, B., "Borlanmış Malzemelerin Tribolojik Özellikleri", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, Sayfa: 446-454, 12-13-14 Nisan, Denizli 1995.
- [20] Göy, Z., “Borlama”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bil. Enst., İstanbul, 1984.
- [21] Atik, E., "Çeliklerin Borlanarak Aşınma Dayanımlarının Arttırılması" Mühendis ve Makine, Cilt: 38, Sayı: 445, Sayfa: 17-20, 1997.
- [22] Demirci, A. H., “Fe-Esaslı Malzemelerin Borlanması İle Kaviteasyon Dayanımının Değişimi”, 7.Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, 11-13 Eylül ODTÜ, Ankara, 1996.
- [23] Ünlü, B. S., “Kaymalı Yataklarda Tribolojik Özelliklerin ve Borlanmış Demir Esaslı Malzemelerin Yatak Olarak Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, C. B. Ü. Fen Bil. Enst., Manisa 2004.
- [24] Varol, R. “2024 Alüminyum Alaşımının Yorulma Ömrü Üzerine Farklı Bilyalı Dövme Parametrelerinin Etkisi” Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Konya 1990.
- [25] Sarıtaş, S., Varol, R., Doğan, C., “The Effect of Shot Peening on the Fatigue Properties of Steels” Euro PM 97, Proce.of Advance Structural PM Component Production, Münih, Germany, October 15 – 17, 1995.
- [26] Varol, R., Meriç, C., “Bilyalı Dövme: Teori ve Uygulamaları” Mühendis ve Makine 34(405), s. 15-22, 1992.
- [27] Selver, R., Boylu, K. S., Varol, R. “Bilyalı Dövme ve Borlama İşlemlerinin T/M Çelik Malzemelerin Bazı Özelliklerine Etkisi” Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8-1(2004) 141-144.
- [28] Orman, Ş., “Bilyalı Dövme Parametrelerinin 1020 Çeliğinin Yorulma Davranışına Etkilerinin İncelenmesi” Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.

Geliş Tarihi: 14/02/2007

Kabul Tarihi: 25/06/2007