

BORLAMANNIN DEMİR ESASLI T/M MALZEMELERDE YORULMA DAVRANIŞINA ETKİSİ

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

* Celal Bayar Üniversitesi Gölarmara MYO, MANİSA

** Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, MANİSA

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

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

Bu çalışmada, demir esaslı FeCu-Grafit kompozitinden toz metal parçalar üretilmiştir. Bu parçalardan yorulma deney numuneleri üretilip, bazılarında borlama işlemi uygulanmıştır. Eğmeli yorulma deney cihazında yorulma deneyleri yapılarak, borlamanın yorulma davranışı üzerine etkileri incelenmiştir. Borlama ile bu malzemenin yorulma dayanımını artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Toz metalurjisi, Borlama, Yorulma

(EFFECT ON FATIGUE BEHAVIOUR OF BORONISING 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 and a little by 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. Fatigue test samples were manufactured and boronising was applied to some samples. Effects on fatigue behaviour of boronising were investigated on bending fatigue test rig.

Fatigue resistance of this materials has increased by boronising.

Keywords: Powder Metalurgy, Boronising, Fatigue

Geliş Tarihi: 18.04.2006

Kabul Tarihi: 22.05.2006

Sorumlu Yazar

selim.yilmaz@bayar.edu.tr

1. GİRİŞ

Demir, bakır, demir-bakır, demir-grafit, demir-bakır-grafit, pirinç, bronz, paslanmaz çelik, nikel ve alaşımları çok kullanılan bazı T/M (toz metal) malzemelerdir. Bunlardan başka metal dışı malzemeler metal tozlarla birlikte kullanılabilir. T/M, parça veya yarı mamul ürünlerin üretimi için kullanılan şekillendirme 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 kalıcı gözenek miktarına, dağılımına, gözenek tipine, büyüklüğüne ve şekline bağlıdır. T/M parçalarda gözenek miktarı düştükçe yorulma dayanımı ve diğer bütün mekanik özellikler de iyileşmektedir. Ancak bu genellemenin yanı sıra, 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 yeteri seviyede olmadıkları gibi mukavemetleri de ancak döküm malzemelerin mukavemet değerleri mertebesinde olabilmektedir. Bundan dolayı makine parçası olarak kullanıldığında çelikler kadar dayanıma sahip olmamaktadır [5].

T/M ürünlerinin özellikleri toz tane şekli, boyutu, bileşimi, yağlayıcı tipi, presleme basıncı, sinterleme sıcaklığı ve süresi gibi çok sayıda değişkene bağlı olduğundan özellikler hakkında genel bilgi vermek zordur. Genellikle mekanik özelliklerin çoğu yoğunluğa büyük bir bağımlılık gösterir. 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 ürünlerinin üzerine çıkar. T/M parçalarda gözenek miktarı azaldıkça tüm mekanik özelliklerde iyileşme gözlenmektedir [1, 6].

Mekanik özelliklerinin yanı sıra fiziksel özelliklerde, T/M parçalar porozite oranından etkilenir. Korozyon direnci artan porozite oranı ile birlikte azalır. Elektrik, ısıl ve magnetik özelliklerde izafi yoğunlukla birlikte değişir. Öte yandan porozite ses ve titreşim sönümlenme özelliğini arttırmaktadır. Bu nedenle toz metalürjisi ürünlerinin önemli bir kısmı porozitenin sağladığı avantajları kullanmak üzere dizayn edilmiştir [7]. Ayrıca; kendinden yağlamalı sinter malzemeler farklı sinterleme sıcaklık ve şartlarında farklı iç yapılar ve farklı yoğunluklara sahip olmaktadır [8].

Uygulamalarda sık kullanılan kendinden yağlamalı 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 Fe₂B (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 çatlamlar 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 alaşımsız 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 Fe₂B fazlarına bağlıdır. FeB fazı, Fe₂B fazından daha sert ve gevrekli. 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 demir esaslı T/M ve döküm malzemelerden üretilen

parçalarda ve kaymalı yataklarda uygulanabilir [1, 23].

Malzemelerdeki yorulma olayı ise çok karmaşık bir olaydır. Bu olay pek çok faktörden etkilenir. Dinamik yük altında çalışan makina elemanları önemli oranda yorulma kırılmasına maruzdur. Bu dinamik yük altında çalışan makina parçalarının yorulma özellikleri, diğer mekanik özelliklerden daha önemlidir. Yorulma ömrü, aşınma dayanımını artırmak için yapılan bazı termokimyasal yüzey işlemleriyle biraz daha artırılabilir. Ayrıca, mikroyapının homojen ya da heterojen olması, kimyasal bileşim, yüzey kalitesi, kalıcı gerilmeler yorulmaya etki eder [24-30].

Bu çalışmada, borlanmamış ve borlanmış demir esaslı FeCu-Grafit T/M kompozit malzemenin eğmeli yorulma deney cihazında deneyleri yapılarak, borlamanın yorulma davranışına etkileri incelenmiştir.

Borlama ile yüzey sertleştirme işlemlerine göre çok sert, iyi sürtünme ve aşınma davranışı elde edilebilmesinin yanında alaşımsız 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 Fe₂B fazlarına bağlıdır. FeB fazı, Fe₂B fazından daha sert ve gevrekli. 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 demir esaslı T/M ve döküm malzemelerden üretilen parçalarda ve kaymalı yataklarda uygulanabilir [1, 23].

Malzemelerdeki yorulma olayı ise çok karmaşık bir olaydır. Bu olay pek çok faktörden etkilenir. Dinamik yük altında çalışan makina elemanları önemli oranda yorulma kırılmasına maruzdur. Bu dinamik

yük altında çalışan makina parçalarının yorulma özellikleri, diğer mekanik özelliklerden daha önemlidir. Yorulma ömrü, aşınma dayanımını artırmak için yapılan bazı termokimyasal yüzey işlemleriyle biraz daha artırılabilir. Ayrıca, mikroyapının homojen ya da heterojen olması, kimyasal bileşim, yüzey

kalitesi, kalıcı gerilmeler yorulmaya etki eder [24-30].

Bu çalışmada, borlanmamış ve borlanmış demir esaslı FeCu-Grafit T/M kompozit malzemenin eğmeli yorulma deney cihazında deneyleri yapılarak, borlamanın yorulma davranışına etkileri incelenmiştir.

Tablo 1. ASC 100.29 demir tozunun bazı temel özellikleri

Grade	Tane Boyutu μm	Görünen Yoğunluk mg/m^3	Akış s/50 g	H ₂ Kaybı %	C %	Sıkıştırılabilirlik mg/m^3 (600 MPa)
ASC 100.29	20 - 180	2,96	24	0,8	0,002	7,21

Tablo 2' de ASC 100.29 demir tozunun bazı temel mekanik ve fiziksel özellikleri Höganäs (İsveç) katalogundan yararlanarak verilmiştir. Numuneler belirtilen demir tozunun içerisine

Tablo 4' de gösterildiği oranlarda alaşım elemanları ilave edilerek karıştırılması sonucu, preslenmeye hazır hale getirilmiştir.

Tablo 2. ASC 100.29 demir tozunun mekanik ve fiziksel özellikleri

$\sigma_{\text{çekme}}$ (MPa)	σ_{akma} (MPa)	% A ₅	P (mg/m^3)	HV
275	218	3,7	6,61	95

Tablo 3. Numunelerin kimyasal bileşenleri (% ağırlık).

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

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Metalik malzemelerin yorulma özellikleri, yorulma deneyleriyle belirlenebilir. Bu amaçla, T/M yöntemiyle borlanmamış ve borlanmış FeCu-Grafit kompozitinin yorulma özellikleri belirlenmiştir. Burada yorulma dayanımı [N/mm^2] yani [MPa], olarak verilmiştir. Bu sonuçlar Tablo 4' de gösterilmiştir.

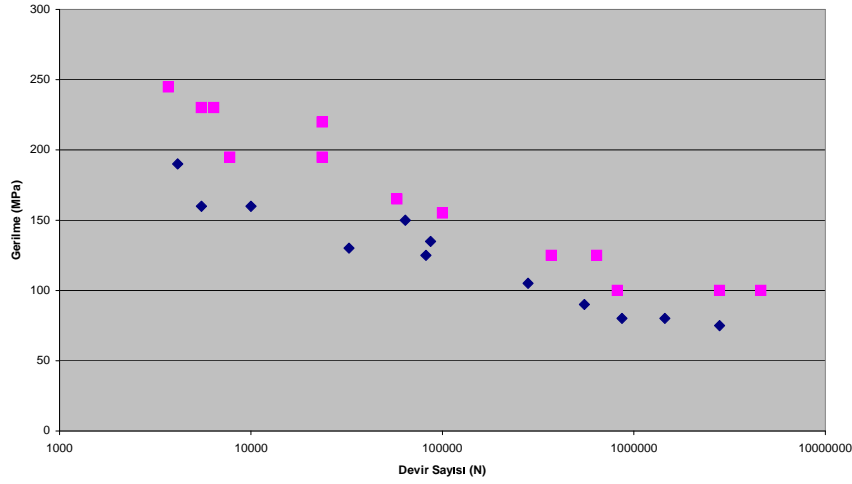
Tam yoğun sade karbonlu çelik malzemelerde Yorulma dayanımı/ Çekme dayanımı oranı yaklaşık 0.5 mertebesindedir [25-27]. Sonuçlardan da görüldüğü gibi, bu çalışmada bulunan oran ise 0.310-0.438 aralığındadır. Yüzey işlemlerinin etkisinin faydalı ve bazı hallerde zararlı olmasına bağlı olarak bu değerler değişiklik göstermektedir.

Tablo 4. Yorulma dayanımı ve yorulma dayanımı/çekme dayanımı değerleri.

Numune Grup No	Yorulma Dayanımı (MPa)	Yorulma Dayanımı/Çekme Dayanımı Oranı
1	76	0.348
2	98	0.393

Şekil 1’ de verilen S-N eğrilerinin kısa ömürlü bölgeleri incelendiğinde tam yoğun malzemelerin S-N eğrilerine göre daha yatkın olduğu ve dolayısıyla eğimlerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durum T/M malzemelerde gözenek miktarına, bir başka ifade ile izafi yoğunluğun düşük olması ile açıklanabilir. Üzerinde çalışılan ve değişik yüzey işlemi uygulanmış grupların kendi

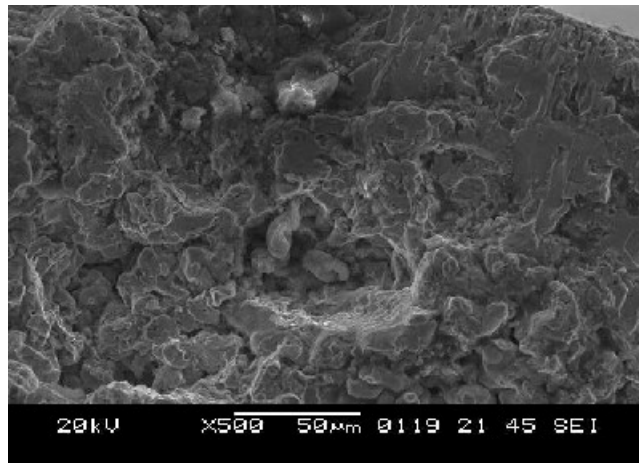
aralarında karşılaştırılmaları durumunda S-N eğrilerinin kısa ömürlü bölgelerinde farklı eğimlerin elde edildiği gözlenmektedir. Buradan hareketle her bir borlama işleminin yorulma davranışı üzerinde farklı etkiye sahip olduğu fikri doğmaktadır. Borlama ile malzeme yüzeyi sertleştirildiği için yorulma dayanımı artmıştır.



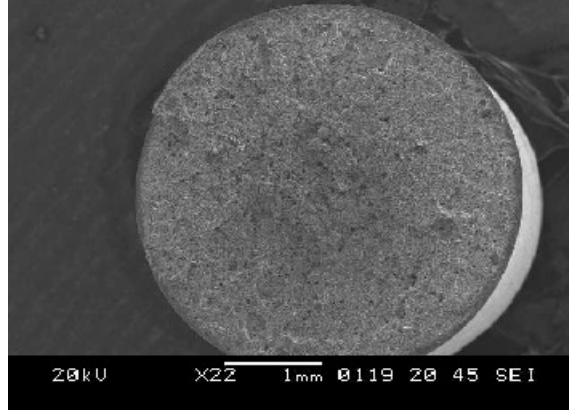
Şekil 1. Numunelerin gerilme-çevrim sayısı (S-N) eğrileri.

Şekil 2 ve 3’ de borlanmış yorulma numunesinin kırık yüzeylerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerde özellikle çatlak başlangıçlarının yerleri, çatlak

çeşitleri ve ilerleme şekilleri belirlenmeye çalışılmıştır. Kırılma yüzeylerindeki parlak görüntülerden gevrek kırılma olduğu gözlenmektedir.



Şekil 2. 2.grup yorulma deneyi numunesinin çatlak başlangıcının SEM görüntüsü.



4. SONUÇLAR

1. Yorulma dayanımı / Çekme dayanımı oranı 0.310-0.438 aralığında elde edilmiştir.
2. Borlanmış numunelerin yüzey kısımlarının sertliği çok arttığı için yorulma dayanımı, işlem uygulanmamış numunelere göre daha yüksek elde edilmiştir.
3. Yorulma olayında, SEM görüntülerinden gevrek kırılma olduğu gözlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Yılmaz, S. S. “ Demir Esaslı T/M Parçaların Yüzey Sertleştirme İşlemlerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi”, “ Doktora Tezi, Danışman: R. Varol, 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, 20027. 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. 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., P.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, sayfa: 51-59, Mayıs 2004
17. Pengxun, Y., "Gaseous boronizing with solid boron-yielding agents" Thin Solid Films. Y-1992, V-214, N-1 Jun 30, P:44-47.

18. Yılmaz, S. S., “Çeliklerde Bor İle Yüzey 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, 12-13-14 Nisan 1995 Denizli, Sayfa: 446-454.
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
22. Demirci, A. H., “Fe-Esaslı malzemelerin borlanması ile kavitasyon dayanımının değişimi”, 7.Uluslar arası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, 11-13 Eylül 1996, ODTÜ, Ankara
23. Ünlü, B. S., “Kaymalı Yataklarda Tribolojik Özelliklerin ve Borlanmış Demir Esaslı Malzemelerin Yatak Olarak Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Danışman: E. Atik, C. B. Ü. Fen Bil. Enst., Manisa, 2004
24. Ünlü, B. S., ”Bazı Metal Malzemelerin Yorulma Dayanımlarının Belirlenmesi”, Metal Makina, Kasım-Aralık, 2005
25. Sarıtaş, S., “Toz Metal Çeliklerin Yorulma Özellikleri”, 3. Uluslar arası Toz Metalurjisi Konferansı, S. 1207-1120, Ankara, 2002
26. Genel, K., Demirkol, M., Çapa, M., “Effect on Ion Nitriding on Fatigue Behaviour of AISI 4140 Steel”, Materials Science and Engineering, Vol. A 279, pp. 207-216, 2000
27. Costa, J. D., Ferreira, J. M., Ramalho, A. L., “ Fatigue and Fretting, Fatigue of Ion- Nitrided 34CrNiMo6 Steel”, Theroretical and Applied Fracture Mechanics, Vol. 35, pp.69-79, 2001
28. Şahin, S., Yılmaz, S. S., Akgün, S., Ünlü, B. S., “Farklı Yüzey İşlemlerinin Demir Esaslı T/M Parçalarda Yorulma Davranışına Etkileri”, 4. Uluslar arası Toz Metalurjisi Konferansı, Sakarya, 2005
29. Karagöz, M., Akakgündüz, B., “Yorulma Olayı Ve Otomat Çeliğinde Yorulmanın Deneysel Olarak İncelenmesi” , Kara Harp Okulu, Öğretim Başkanlığı
30. Sonsino, C. M., “Fatigue Design for powder metallurgy”, P/M Vol. 33. No: 3. pp. 235-245, 1990

