

PTFE Kaplanmış Gözenekli Kaymalı Yatağın Sürtünme ve Aşınma Davranışları

*¹ Kadir Güngör, ² Ahmet Demirel, ² İbrahim Özser

*¹ Vocational School of Hendek, Department of Mechanical and Metal Technologies, Sakarya University, Turkey

² Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering Sakarya University, Turkey

Abstract

Polytetrafluoroethylene (PTFE) with solid lubricant property is used by impregnating into pores of the bronze bearing materials or coating onto plain bearing working surfaces. In this study, Bronze + PTFE composite structure was produced by impregnating PTFE into porous bronze material using spray coating method. Then, friction and wear properties of plain bearing samples have been examined. AISI 4140 steel shaft has been used as counter abrader. Experiments have been carried out under dry environments at three different speeds and different loads by using plain bearing wear test rig. As a result, the wear rate increased with increasing speed and load. While the presence of PTFE does not completely prevent the abrasive action under high load, it has delayed the abrasive action under low loads.

Key words: Porous CuSn11, PTFE coating, PTFE impregnated, spray coating

Özet

Politetrafluoroetilen (PTFE)'nin katı yağlayıcı özelliğine sahip olması kaymalı yatakların çalışma yüzeylerinde kaplama veya gözenekli bronz yatak malzemelerin gözeneklerine emdirilmek suretiyle kullanılmasına imkân tanımaktadır. Bu çalışmada, Kalay bronzu + PTFE kompozit yapı, spreyle kaplama yöntemi kullanılarak gözenekli bronz malzemenin gözeneklerine emdirilerek elde edilmiştir. Ardından, bu kaymalı yatak numunelerinin sürtünme ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Karşı aşındırıcı olarak AISI 4140 çelik mil kullanılmıştır. Deneyler kaymalı yatak aşınma test cihazı kullanılarak kuru ortam şartlarında üç farklı hızda ve yükte gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, aşınma oranı hız ve yükün artması ile artmıştır. PTFE varlığı düşük yükler altında abrasif aşınmayı ertelerken, yüksek yük altında ise tamamen önleyememiştir.

Anahtar kelimeler: Gözenekli CuSn11, PTFE kaplama, PTFE emdirilmiş, spreyle kaplama

1. Giriş

Kaymalı yatak sistemlerinin çalışma ortamlarında sürtünme direncinin oluşumu hareketli parçaların çalışma yüzeylerindeki malzemelerin tribolojik özellikleri belirleyicidir. Bu sebeple; sürtünmenin etkisini azaltmada alınacak tedbirlerden biri de yatak malzemesinin doğru seçilmesidir[1]. Kaymalı yataklar, kendinden beklenen düşük sürtünme katsayısı, yüksek aşınma direnci ve korozyon dayanımı, yabancı partikülleri bünyesine gömebilme, iyi ısı iletkenlik, kolay işlenebilme ve düşük maliyet gibi özellikleri bir arada bulundurması gereklidir[2]. Bu sebeple

*Corresponding author: Address: Vocational School of Hendek, Department of Mechanical and Metal Technologies, Sakarya University, Turkey, E-mail address: kgungor@sakarya.edu.tr, Phone: +902642953656 Fax: +902642953677

kaymalı yataklardan bu yüksek mekanik özellikleri ve tribolojik özellikleri elde etmek için toz metallurjisi (T/M) yöntemiyle alaşımlandırılarak üretilmektedir[3]. Aynı zamanda T/M yöntemiyle üretilmiş kaymalı yatakların gözeneklerine hacminin yaklaşık %25'i kadar yağ depolayabilme avantajı sebebiyle tercih edilmektedirler[4-5]. Yatak ve mil çiftinin çalışma sırasında gözenekteki bu yağlayıcılar yüzeye çıkarak yağlama yapmaktadırlar. Dışarıdan yapılabilecek ilave bir yağlama işleminde de bu gözenekler tekrar dolarak uzun süreli yağlamalar yapabilmektedirler.

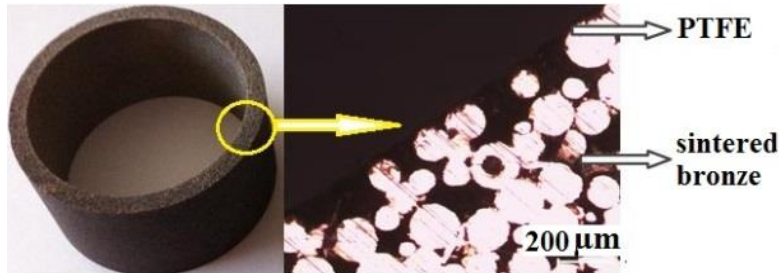
Uygulamalarda kaymalı yatak malzemesi olarak CuSn10-11 kalay bronzları iyi aşınma ve korozyon direnci, elastikiyet özelliğinin iyi oluşu, yüksek sıcaklıklarda yatak performansının iyi olması gibi nedenlerden dolayı havacılık, gemi ve otomobil endüstrisinde yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır[6-7]. Aynı zamanda T/M yöntemiyle elde üretilen bu gözenekli yataklara emdirilen yağ/polimer malzemeler ve çalışma yüzeylerine kaplanan polimerler sürtünme katsayısının düşürülmesinde önemli rol oynamaktadır[8]. PTFE, kendi kendini yağlayabilme, düşük sürtünme katsayısı, yüksek sıcaklık stabilitesi ve kimyasal direnci gibi özellikleri sebebiyle endüstride yaygın olarak kullanılan bir mühendislik polimeridir.

Kaymalı yatakların uzun süreli aşınma direncine sahip olması istenilen özelliklerden biridir. Aşınma direncini artırmak amacıyla çeşitli çalışmalar ve araştırmalar yapılmaktadır. Son yıllarda metal + PTFE kompozitler, düşük sürtünme özelliğini ve metalin aşınma direncini birleştirerek spesifik yatak uygulamaları için geliştirilmektedir[9-10].

Bu çalışmada ise, Bronz + PTFE kompozit yapısı, gözenekli bronz yatak numunelerinin çalışma yüzeylerine spreylendirme yöntemi kullanılarak PTFE emdirilmesi yoluyla üretilmiştir. Kendinden yağlama bu yatak numunelerinin kuru sürtünme testleriyle de çelik malzemelere karşı tribolojik davranışlarını anlamamıza katkıda bulunmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, PTFE emdirilmiş bronz yatak numunelerinin sürtünme ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Şekil 1'de görüleceği üzere; sinterlenmiş kalay bronzu yatak numunesinin gözeneklerine PTFE spreylendirme yöntemiyle emdirilmiştir. Bu çalışma, kuru şartlar altında çelik ve metal-PTFE kompozitler arasındaki kuru sürtünme ve aşınma davranışlarını anlamamıza katkı sağlayacaktır.



Şekil 1. PTFE emdirilmiş bronz yatak numunesi

Öncelikle, PTFE'nin gözeneklere ulaşabilirliğini incelemek ve kaplama kalınlığını belirlemede, yatak numunelerin yanal yüzeyi zımparalanarak yüzey kesitinin mikro yapı resimleri alınmış (Şekil 1) ve “image analyze” metodu ile ortalama PTFE kaplama kalınlığı ($\approx 50 \mu\text{m}$) tespit edilmiştir. Sonrasında, yatak numunelerinin yoğunluğu Archiment prensibine göre belirlenmiştir. Numunelerin sertlikleri ASTM D 2240 standardına göre, AFFRI universal sertlik ölçme cihazında, yüzey pürüzlülük değerleri ise, MAHR Marsurf PS1 yüzey pürüzlülük cihazı ile her bir numune için beş farklı bölgeden ölçülen değerlerin ortalaması hesaplanarak belirlenmiştir. Numuneye ait elde edilen yoğunluk, sertlik ve yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin ortalama sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve yoğunluk değerleri

	Sertlik (HB)	Yüzey pürüzlülüğü Ra (μm)	Yoğunluk (g/cm^3)
PTFE - emdirilmiş bronz yatak	35	13	5.68
AISI 4140 mil	423	< 0.2	7.85

Tablo 2. CuSn11 bronz malzemenin kimyasal kompozisyonu (wt.%)

Cu	Si	Zn	P	S	As	Ni	Al	Pb	Sn	Sb	Fe
88.67	0.042	0.015	0.2	0.002	0.002	0.003	0.033	0.004	11	0.012	0.017

Tablo 3. AISI 4140 mil malzemesinin kimyasal kompozisyonu (wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu	Sn	Sb	Fe
0.443	0.242	0.896	0.009	0.026	1.132	0.137	0.027	0.328	0.037	0.044	96.679

Tablo 1’ de görüldüğü gibi, kaymalı yatak numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri ortalama 13 μm ve karşı aşındırıcı olarak kullanılan AISI 4140 milin yüzey pürüzlülük değeri < 0,2 μm olarak ölçülmüştür. Sürtünme elemanı olarak iç çapı $d = 35 \text{ mm}$ ve genişliği $b = 20 \text{ mm}$ olan PTFE emdirilmiş CuSn11 bronz yatak numuneleri ile karşı aşındırıcı olarak kullanılan sertleştirilmiş AISI 4140 çelik milin kimyasal kompozisyonları sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3’ de gösterilmiştir.

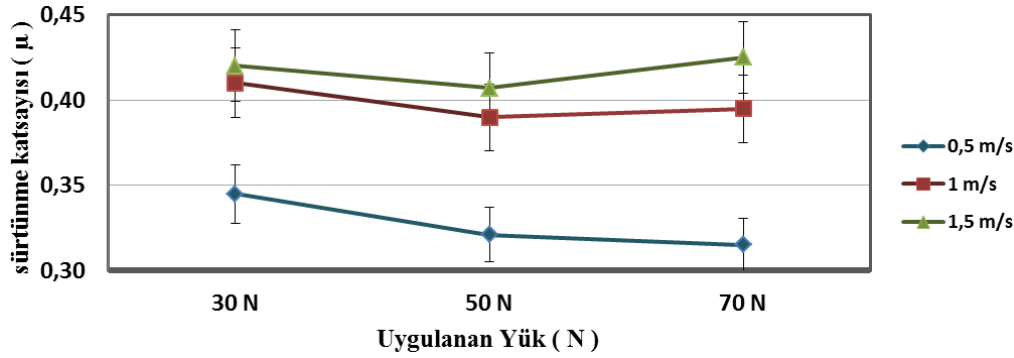
Deneylerde kaymalı yatak numuneleri 30 N, 50 N, 70 N yüklerde 0,5 m/s, 1 m/s ve 1,5 m/s hızlarda 2,5 saat boyunca kuru kayma şartlarında kaymalı yatak aşınma test cihazında aşındırılmıştır. Spesifik aşınma oranı, deneyler sonunda ölçülen kütle kaybı ölçülerek aşağıda verilen eşitlikten hesaplanmıştır.

$$w_s = \frac{\Delta m}{\rho \times v \times t \times F_N} \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{Nm}} \right) \quad (1)$$

Δm (g): kütle kaybı, ρ (g/cm^3): numunenin yoğunluğu, v (m/s): kayma hızı, t (s): kayma süresi ve F_N (N): kayma süresince numuneye uygulanan normal kuvvet olarak verilmiştir [11].

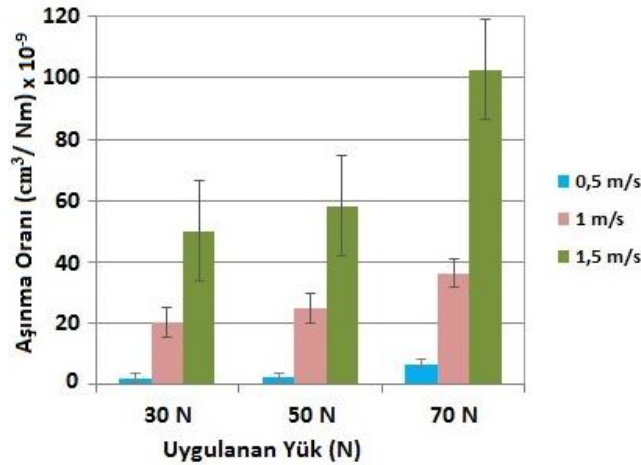
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Üç farklı kayma hızlarında yapılan deneyler sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayılarının 2,5 saat sonundaki yük ve zamana bağlı değişimleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Yatak numunelerinin farklı yüklerdeki hıza bağlı sürtünme katsayısı değişimleri

Deneyler sonucunda ortalama sürtünme katsayısı değişimlerini incelediğimizde düşük sürtünme katsayıları 0,5 m/s hızlarındaki deneylerde elde edilmiştir. En fazla sürtünme katsayısının ise en yüksek hız 1,5 m/s ve en yüksek yük olan 70 N’ da belirlenmiştir. Bu durum, numunelerin 2,5 saat kayma süresi sonunda en fazla yolu 1,5 m/s hızda almalarının ve çalışma yüzeylerinde bulunan PTFE’nin zamanla yüzeyden kalkarak bronz altlık malzemeyle beraber çalışmaya başladığının göstergesidir.

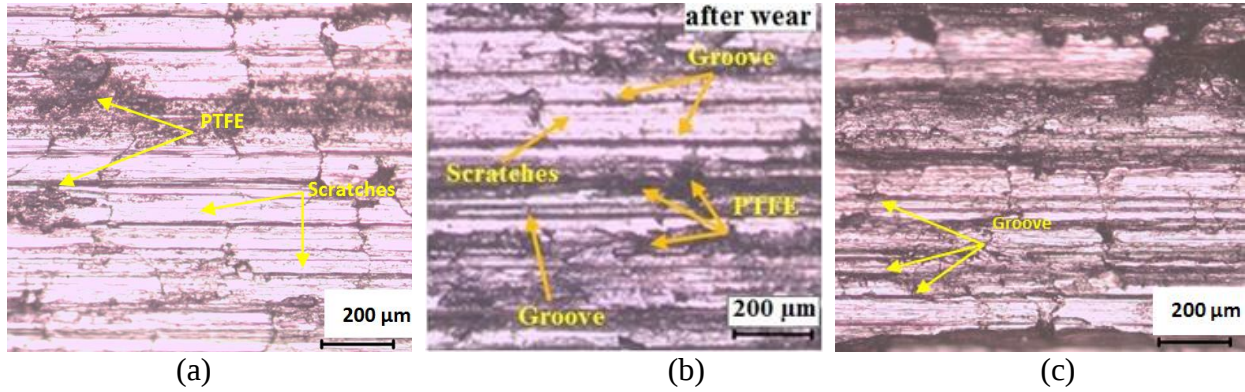


Şekil 3. Yatak numunelerinin farklı yüklerdeki hıza bağlı aşınma oranı değişimleri

Düşük hızla yapılan deneylerde düşük sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiş ve az miktarda aşınma gözlenmiştir. En düşük hız ve en yüksek hızda yapılan deneylerin sürtünme katsayıları arasında yaklaşık % 32’lik bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum, Sharma ve ark. ile Prasad ve ark.’nın açıkladığı gibi, sürtünme kuvvetinin artan yük ve hıza bağlı olarak artmakta ve sürtünme katsayısını etkilemesiyle açıklanabilir[12-13]. Öte yandan düşük hızda yapılan deneylerde yatak numuneleri 4500 m yol almış olurken, en yüksek hız olan 1,5 m/s hızda ise 13500 m yol almaktadır. Dolayısıyla, düşük hızlarda mil PTFE yüzeyinde kayarak çalışırken, yüksek hızlarda

ise; yola bağılı olarak özellikle de yükün fazla olduğı deneylerde zamanla PTFE yüzeyden uzaklaştığı için, sadece gözeneklerde kalan PTFE ve çoğunlukla da bronz yüzeyinde kaymaktadır.

Yatak ağırlık kayıpları genel olarak yük ve hızın artışına paralel olarak artarken 0,5 m/s hızlarda çalışma yüzeylerinde bulunan PTFE'nin katı yağlayıcı özelliğı sebebiyle daha az aşınma gözlemlenmiştir. Hızın ve yükün artmasına bağılı olarak zaman içerisinde PTFE'nin yüzeyden uzaklaşmasıyla birlikte milin bronzla temasıyla ağırlık kayıpları da artmıştır. En fazla ağırlık kaybı yükün ve hızın en yüksek olduğı 1,5 m/s ve 70 N yükte tespit edilmiştir.



Şekil 4. 1 m/s hız ve farklı yüklerdeki aşınma yüzeylerinin mikroyapı görüntüleri, (a) 30 N, (b) 50 N, (c) 70 N.

Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde de; kuru ortamdaki Bronz + PTFE yatakların çalışma yüzeylerinde bölgesel çizikler ve aşınmalar oluşmuştur. Yatakların yükleme ve hız değerleri arttığında aşınma izleri daha belirgin hale gelmiştir. Düşük hız ve düşük yüklerde yapılan deneylerdeki yatak numunelerinin çalışma yüzeyleri incelendiğinde ise, aşınma yüzeylerinin PTFE'nin yağlayıcı özelliğinden dolayı çizik oluşumu ve aşınma izleri daha küçük ve yüzeysel olarak tespit edilmiştir. Şekil 4'den de anlaşılacağı üzere yük artışıyla birlikte bu çizikler, oluk şeklinde abrasif aşınma izleri olarak daha belirgin hale gelmiştir.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Bronz + PTFE kompozit yatak numuneleri, radyal kaymalı yatak aşınma test cihazında aşındırılarak deney süresi sonundaki sürtünme katsayısı, aşınma kayıpları belirlenmiş ve numunelerin çalışma yüzeylerinde oluşan aşınma izlerinin mikroyapı görüntüleri incelenmiştir.

Aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Sürtünme katsayısı artan hıza bağılı olarak artmıştır ve düşük hızda yükün artmasıyla azalırken, yüksek hızlarda ise artma eğilimindedir.
- Düşük hızda yatak aşınma kayıplarının hızın yükselmesi ve yükün artmasıyla birlikte artığı gözlemlenmiştir.
- Düşük hızlarda ve düşük yüklerde yapılan deneylerde numunelerin çalışma yüzeylerinde, aşınma izlerinin daha küçük ve yüzeysel olduğı, yüksek yük ve yüksek hızlarda ise daha belirgin aşınma ve çizikler tespit edilmiştir.

- Çalışma yüzeylerine spreyle kaplama emdirilen PTFE kaplamanın sürtünme katsayısını düşürmekte olduğu ve aşınmayı erteleyen bir katkı sağladığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Alp A., Erdemir A., Kumar S., Energy and wear analysis in lubricated sliding contact, *Wear*, vol. 191, p. 261–264,
- [2] Unlu BS., Tribological and Mechanical Properties of P/M Journal Bearings. *Powder Metallurgy*. (2011); vol. 54, no. 1, p. 338-342.
- [3] Unlu BS., Investigation of tribological and mechanical properties of metal bearings. *Indian Academy of Sciences Bull. Mater. Sci.*; Vol. 32, No. 4, August 2009, pp. 451–457.
- [4] W.B. Eisen, R.M. German, *ASM Handbook, Powder Metal Technologies and Applications*, 1998; vol. 7, 1051–1057.
- [5] ASTM B438, Standard Specification for Sintered Bronze Bearings (Oil-Impregnated), ASTM International, 2004.
- [6] Improved mechanical and tribological properties of tin-bronze journal bearing materials with newly developed triballoy alloy additive *Mat. Sci. and Engineering A* 489 (2008); 389–402
- [7] Jones, M., PTFE Plain Bearings. *Industrial Lubrication and Tribology*. (48, 6), 10-12, 1996
- [8] M. Pushpavanam, N. Arivalagan, N. Srinivasan, P. Santhkumar, S. Suresh, *Plating Surf. Finish*. 83 (1996); 72.
- [9] Balaji R., Pushpavanam M., Kumar K.Y., Subramanian K., *Surface Coatings Technology*. (2006). vol. 201, p. 3206, DOI:10.1016/j.surfcoat.2006.06.039
- [10] Tevrüz T., Tribological behaviours of bronze-filled polytetrafluoroethylene dry journal bearings, *Wear*, (1999); vol. 230, p. 61, DOI: 10.1016/S0043-1648(99)00091-5.
- [11] L. Gyurova, P. Justel, A. Schlarb, *Wear* 268, (2010); 710
- [12] Sharma S.C., Satish B.M., Girish B.M., Somashekar D.R., Wear characteristics of phosphor-bronze/silicon carbide particulate composites. *Journal of Materials Processing Technology*, (2001);. vol. 11, p. 65–68, PII: S0924-0136(01)00868-8.
- [13] B.K. Prasad, Sliding wear behavior of bronzes under varying material composition, microstructure and test conditions. *Wear*. (2004); vol. 257, p.110–123,