

Salınım hareketi yapan radyal kaymalı plastik yataklarda sürtünme

Ferda UZUNER*, Mustafa GEDİKTAŞ

İTÜ Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 34437, Gümüşsuyu, İstanbul

Özet

Günümüzde plastiklerin, günlük yaşantı da dahil olmak üzere geniş bir kullanım alanı bulması bu malzemelerin tribolojik davranışlarını bilmeyi zorunlu hale getirmiştir. Bu çalışmada, salınım hareketli radyal kaymalı plastik yatakların 45° lik salınım açısında sürtünme katsayısı ve temas yüzeyi sıcaklığı değişimleri, kayma hızına ve yüzey basıncına bağlı olarak incelenmiştir. Deneylerde $\phi 60 \times \phi 50 \times 50$ mm boyutlarında çok yüksek molekül ağırlıklı polietilenden (UHMWPE) yapılmış burçlar kullanılmıştır. Sürtünme katsayısının kayma hızı ile arttığı, yüzey basıncı ile düştüğü, temas yüzeyi sıcaklığının ise hem kayma hızı hem de basınç ile arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Salınım, radyal plastik yatak, sürtünme.

The friction in oscillating radial sliding plastic journal bearings

Abstract

Plastics made of polymers are widely used almost everywhere. Properties of the technical plastics have been developed together with technological development. So that they can be used in the mechanical construction. Because of their many advantages such as chemical resistance, ability for dry sliding, high damping properties, low friction coefficient, lightness, plastics can be used under the pv limits with high reliability (p: mean surface pressure, v:sliding speed). The widely use of plastics has to become necessary to know their tribological behaviors. In this study, the friction coefficient and surface temperature of oscillating radial sliding plastic bearing have been studied experimentally. Oscillation angle is 45°. Five different mean bearing pressures and five different oscillation frequencies are carried out in experiments. Friction force between plastic bearing-steel shaft is measured by means of force transducer, then friction coefficient are calculated. Temperature of contact area is also measured by means of thermocupl which are placed in the hole drilled on the axis direction in the bush as possible as near the rubbing surfaces. The measuring systems have % 3 errors. Bush material is UHMWPE. It has $\phi 60 \times \phi 50 \times 50$ mm. dimensions. It is seen that friction coefficients increase while sliding speed increases and they decrease while mean bearing pressure increases.

Keywords: Oscillation, radial plastic bearing, friction.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Ferda UZUNER. uzunerfer@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Makina Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Salınım hareketi yapan radyal kaymalı plastik yatakların sürtünme özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 16.06.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 01.09.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.05.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Kuru ve sınır sürtünmenin söz konusu olduğu hallerde sürtünme direncinin oluşumunda hareketli yüzeylerin malzemelerinin (tribo-malzemelerin) özellikleri belirleyicidir. Makina mühendisliği uygulamalarında bu malzemelerden biri genellikle çeliktir. Çeliğe karşı çalışan malzemeye de çoğu zaman yatak malzemesi adı verilir. Metal esaslı yatak malzemelerine ek olarak, özellikle geçen yüzyılın ikinci yarısında, mühendislik plastiklerinin de yatak malzemesi olarak kullanımı başlamış ve bu malzemeler bir çok uygulama alanı için oldukça geniş bir kabul görmüştür.

Plastikten yapılmış yatak malzemelerinin belli başlı avantajları olarak bir çok halde yağsız çalışabilmeleri, korozyona ve diğer kimyasal etkilere karşı dirençleri, imalat maliyetlerinin düşük oluşu, montaj ve demontajlarının nispeten kolay oluşu, bakım gerektirmemeleri, gerektiğinde elektriksel yalıtım sağlamaları sıralanabilir. Dezavantajları olarak da taşıma kapasitelerinin nispeten sınırlı oluşu, ısıl iletkenliklerinin iyi olmayışı söylenebilir.

Konstrüktif açıdan bakıldığında, yatak malzemelerinin bilinmesi gereken ana özellikleri olarak aşınma karakteristiği ve harekete karşı gösterdiği dirençtir. Bu amaçla, kontrollü laboratuvar şartlarında belli standart deney numuneleri kullanılarak yapılan sistematik deneylerin sonuçları derlenerek konstrüktörlerin kullanımına sunulur.

Çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen (UHMWPE) içeriğindeki 4.000.000-6.000.000 arasında değişen molekül yapısı ile diğer plastiklerden ayrılır. Düşük sürtünme katsayısı ve yüksek aşınma direnci ile iyi bir yatak malzemesi olma özelliğine sahiptir. Sadece makina konstrüksiyonunda değil aynı zamanda tıp alanında da kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemeye yönelik yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Holmgerg ve Wickström (1987), 22 çeşit polimerin sürtünme ve aşınma özelliklerinin hız, basınç ve ortam sıcaklığına bağlı olarak nasıl değiştiğini deneysel olarak incelemiştir. Deneyler sonucunda UHMWPE ve PTFE'nin diğer polimerler arasında en düşük aşınma ve sürtünmeye sahip

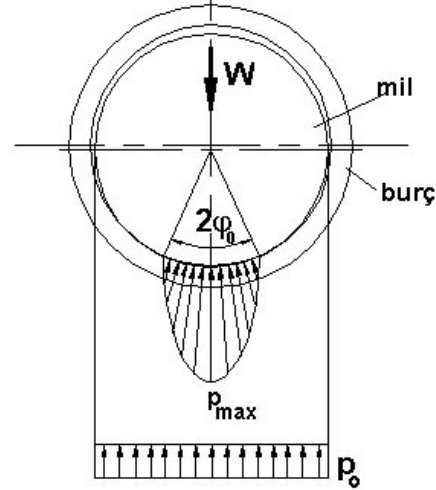
olduğunu, polimer malzemelerde basınç arttıkça sürtünme katsayısının düştüğünü, hız arttıkça arttığını ve ortam sıcaklığı düştükçe azaldığını ifade etmişlerdir. Sıcaklık azaldıkça sürtünme katsayısının düşmesini polimer yüzeyinin sertliğinin artmasına dolayısıyla gerçek temas alanının düşmesi sonucu sürtünme kuvvetinin azalmasına bağlamışlardır. Barrett vd., (1992) UHMWPE'nin sürtünme ve aşınma özelliklerinin, yüzey pürüzlülüğü ve kayma hızı ile değişimini araştırmışlar ve aşınmanın yüzey sıcaklığına ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olduğunu, yüksek kayma hızlarında ve yüksek pürüzlülüklerde abrazyonun meydana geldiğini ve UHMWPE den yapılmış pimlerin bir miktar eriyerek çelik disk yüzeyine sıvandığını saptamışlardır. Uzuner vd., (1994) çalışmalarında da, 12 değişik polimerin sürtünme katsayısı ve aşınma karakteristiklerini, çevre hızı ve yüzey basıncı değişimine bağlı olarak pim-disk makinasında deneysel olarak incelemiştir. Saf polimerlerde sürtünme katsayısının kayma hızı ile arttığını, yüzey basıncı ile düştüğünü, polimerler içinde en iyi aşınma mukavemetine sahip olanın UHMWPE olduğunu ifade etmişlerdir. Temiz (1998)'in yaptığı çalışmada, katkılı ve saf halde çeşitli polimer yatakların, sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, UHMWPE'nin sürtünme katsayısının kayma hızıyla arttığı, düşük kayma hızlarında sürtünme katsayısının yatak yüküyle pek değişmediği saptanmıştır. Suh vd., (1998)'in yaptıkları çalışmada, protez olarak kullanılan UHMWPE'nin aşınmasını azaltmak amacıyla PE içine kayma düzlemine dik doğrultuda koyulacak UHMWPE fiberlerinin meydana getireceği polietilen homokompozitlerinin bu amaca uygun sonuç verdiğini göstermişlerdir. Bu amaçla, silindirik şeklindeki UHMWPE'nin ve homokompozitin düzlem üzerine bastırılması ve bu düzleme osilasyon hareketi yaptırılması sonucu meydana gelen sürtünmeyi ve aşınmayı incelemiştir. Dong vd., (1999) biomedikal araştırmalar doğrultusunda, UHMWPE'nin titanium alaşımı olan Ti6Al4V malzemesi ile sulu temasında tribolojik performansını geliştirme potansiyelini araştırmışlardır. Song vd., (1999) doğrusal salınım hareketi altında, işlenmiş UHMWPE den yapılmış bir numunenin tribolojik davranışlarına, kesme hızı, paso derinliği

ve ilerleme hızının etkilerini incelemişlerdir. İncelemeler sonucunda, sürtünme katsayısı ile paso derinliği ya da kesme hızı arasında anlamlı bir ilişki kurulamadığı ifade edilmiştir. Klapperich vd., (1999) yaptıkları çalışmada, UHMWPE'nin, parlatılmış çelikle temasında, hem tribolojik özelliklerini hem de temas süresince mikro yapısında meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Sürtünme katsayısının düşük basınçlarda kayma hızı ile azalırken, daha yüksek basınçlarda kayma hızı ile çok az arttığını ve daha düşük sürtünme katsayısı değerlerinin daha yüksek basınçlarda meydana geldiğini göstermişlerdir. Aşınmanın öncelikli olarak temas basıncına, ikincil olarak da kayma hızına bağlı olduğunu ve düşük basınçlarda UHMWPE'nin kristalin bölgedeki lamellerinin kayma boyunca kayma düzlemine paralel kaldığını ifade etmişlerdir. Orndorff (2000) denizcilikte ve pompa endüstrisi gibi sulu ortamlarda kullanılan yataklar için yaptığı araştırmada, UHMWPE ile kauçuktan oluşan yeni bir alaşımı yatak malzemesi olarak sulu ortamda test etmiş ve sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemiştir. Mil şeklindeki çelikten yapılmış karşı yüzey dönerken polimer malzemenin karşı yüzeye temas ettirilmesi sonucunda kinetik sürtünme katsayısının ve aşınmanın, artan yük ve hızla azaldığını, benzer şartlar altında kauçuk yatakların 10 kat daha fazla aşındığını ve sulu ortamlarda UHMWPE'nin iyi bir malzeme olduğunu ifade etmiştir.

Literatürde yer alan çalışmaların pek çoğu, düzlem yüzeylerin temasını sağlayan pim-disk tertibatı ile gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalar olup eğri yüzeylerin temasının söz konusu olduğu radyal yataklara ait çalışmalar çok azdır. Bu çalışmalar da daha ziyade çok küçük boyutlu yatakların dizayn parametrelerine yönelik çalışmalardır.

Düzlem iki yüzey arasında düzgün basınç dağılımı olduğu varsayılır ki, bu durum plastik yatak malzemelerinin standart deney numuneleri olarak denendiği laboratuvar şartlarına karşılık gelir. Radyal yatakta ise gerçek temas alanı ve buna bağlı olarak basınç dağılımı, yatak boşluğu, yatağın şekli ve boyutları gibi bazı konstrüktif parametrelere ve özellikle yatak malzemesinin bazı mekanik özelliklerine bağlıdır ve basit

yollarla belirlenemez. Düzlemsel hale karşılık gelen deneylerle elde edilmiş sonuçların radyal yatak için doğrudan kullanılabilirliği tartışılması gereken bir husustur. Şekil 1'de düzlem temasdaki basınç dağılımı ile radial temasdaki basınç dağılımı arasındaki fark şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1. Düzlem yüzeylerle eğri yüzeylerin basınç dağılımı

Basınç dağılımına ek olarak radyal yatakta olabilecek diğer bir farklılık ise muylunun hareketi ile ilgilidir. Bir çok uygulamada dönme hızı aynı yönde kalır. Bazı uygulamalarda ise hareket salınım hareketidir ve açısal hızda periyodik bir yön değişimi söz konusu olur. Yataktaki hareketin aynı yönde kalması yerine periyodik olarak yön değiştirmesinin bu yataklarda kullanılacak plastik yatak malzemelerinin sürtünme ve aşınma davranışlarında bir farklılık yaratıp yaratmadığı araştırılması gereken bir konudur.

Bu nedenle, pratikte kullanılan salınım hareketli radyal kaymalı metal yatakların yerine, çok yüksek molekül ağırlıklı polietilenden (UHMWPE) yapılmış plastik yatakların kullanılmasının uygun olup olmadığı konusunda bir fikir edinilmesi amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

Deney tesisatı

Değişken yüke maruz salınım hareketli plastik yataklar için, daha önce aynı laboratuvarda yapılan araştırmaların deney tesisatından ve

ölçme sistemlerinden yararlanılmıştır. Şekil 2’de deney tesisatının şematik resmi görülmektedir. Deney mili 50 mm nominal çapta olup, $R_a = 0.2 \mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü elde edilecek şekilde hassas olarak işlenmiştir. Mil iki ucundan hassas bilyalı, sıfır boşluklu, özel olarak imal edilmiş rulmanlarla yataklanarak çalışma sırasında mil ekseninin yer değiştirmesi önlenmiştir. UHMWPE’den yapılan yatak burçları 50 mm nominal iç çapa sahip olup dış çapı 60 mm ve genişliği 50 mm’dir.

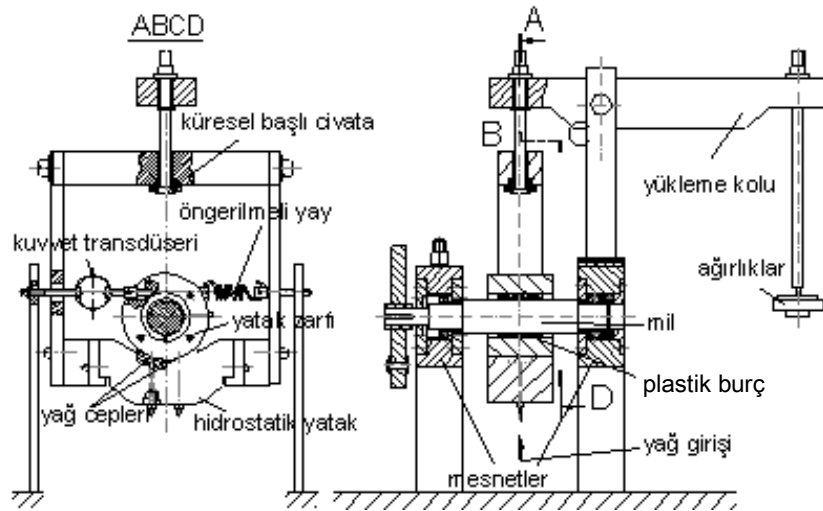
Burçların iç çapı komparatör yardımıyla takılmadan önce ve sonra, temasın olduğu band boyunca ölçülerek izafi yatak boşluğu hesaplanmıştır. Yatak boşluğunun tayininde son ölçü esas alınmıştır. Genişlik/çap oranı $L/d=1$ olarak alınmıştır.

Bu burçlar, çelik malzemeden, içten ve dıştan hassas taşlanarak yapılmış olan yatak gövdesine ara geçme toleransı ile yerleştirilerek yatak zafı dışından takılan bir civata ile sıkıştırılmış ve yatak içinde dönmeleri önlenmiştir. Deney yatağı gövdesi iki cepli bir hidrostatik yatak bloğu üzerine yerleştirilmiş, çalışma esnasında yatak bloğundaki ceplerin içine bir pompa yardımıyla yağ basılarak bu iki malzeme arasındaki sürtünmenin ortadan kaldırılması sağlanmıştır. Yatağın yüklenmesi bu bloğa bağlı bir çerçeve üzerinden, bir tarafına ağırlık asılan manivela kolu ile yapılmıştır. Çerçeve ile

manivela kolunun bağlantısı, küresel bir yuva içinde oynayabilen baş kısmı küresel olarak işlenmiş bir civata ile sağlanmış, küresel yüzeyin çerçeveye verdiği üç dönme serbestliği yatakta yan oturmayı önlemiştir.

İzafi hareket sırasında, plastik burç ile çelik mil arasındaki sürtünme kuvvetini ölçmek için, Yücenur (1979) tarafından geliştirilen ölçme sisteminden yararlanılmıştır. Bu sistemde bir kuvvet transdüseri ve bir yay öngerilmeli olarak bir taraflarından yatak zarfına diğer taraflarından yere kaynak edilmiş profil demirlerine civatalarla bağlanmış, böylece gövdenin dönme serbestliği önlenmeden, deney esnasında halkaya gelen yükün milin salınım periyodu içinde hep aynı yönde kalması sağlanmıştır. Kullanılan kuvvet transdüseri, tahmini maksimum kuvvete göre, deneysel gerilme analizi hesapları kullanılarak alüminyum malzemeden imal edilmiştir. İç ve dış kısmına karşılıklı olarak dört adet strain-gage yapıştırılarak tam köprü bağlantısı ile hem sistemin duyarlılığı artırılmış hem de sıcaklık kompensasyonu sağlanmıştır. Transdüserin bağlandığı strain-gage amplifikatörünün 50 kHz modülasyon frekansı olduğundan deney frekanslarında doğrusal bir karakteristiğe ve çeşitli kademelerde ölçüm hassasiyetine sahiptir.

Deneylemeden önce, kuvvet transdüseri rijit bir gövdeye asılarak bilinen ağırlıklarla kalibre edilmiştir. Yatak burcu ile milin teması sonucu



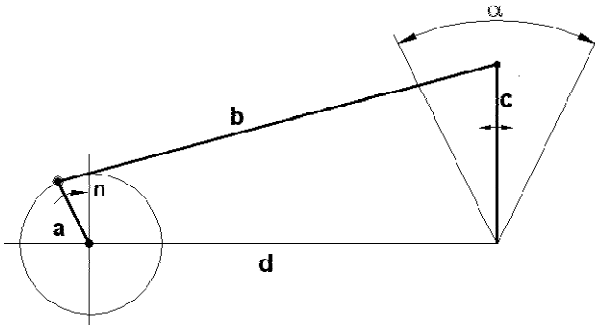
Şekil 2. Deney tesisatının şematik resmi

ortaya çıkan sürtünme işinden dolayı oluşan sıcaklığı ölçmek için, her biri 0.2 mm çapında biri bakır diğeri nikel, üzerleri özel korumayla kaplanmış iki telin sarımıyla elde edilen bir termoeleman kullanılmıştır. Burç temas yüzeyine 0.5 mm mesafedeki noktadan aksel yönde delinerek termoelemanın bir ucu temas yüzeyine paralel olarak deliğe sokulmuş, diğer uçtaki tellerden biri potansiyometreye diğeri ise 0 °C'deki buzlu su karışımına sokularak ortam sıcaklığının değişkenliğinden sakınılmıştır. Potansiyometre yardımıyla mV olarak ölçülen değerler bir dönüşüme tabi tutularak temas yüzeyi sıcaklığı elde edilmiştir. Yapılan hata analizi sonucu, ölçümlerin %3 hata payı içerdiği saptanmıştır.

Deney miline verilen salınım hareketi, bir "santrik üç çubuk" mekanizması ile elde edilmiştir (Şekil 3). Deneyler 45° lik salınım açısında yapılmıştır. Kayma hızlarının hesabında aşağıdaki açısal hız bağıntısı kullanılmıştır:

$$\omega = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot n}{30} \cdot t\right) \quad (1)$$

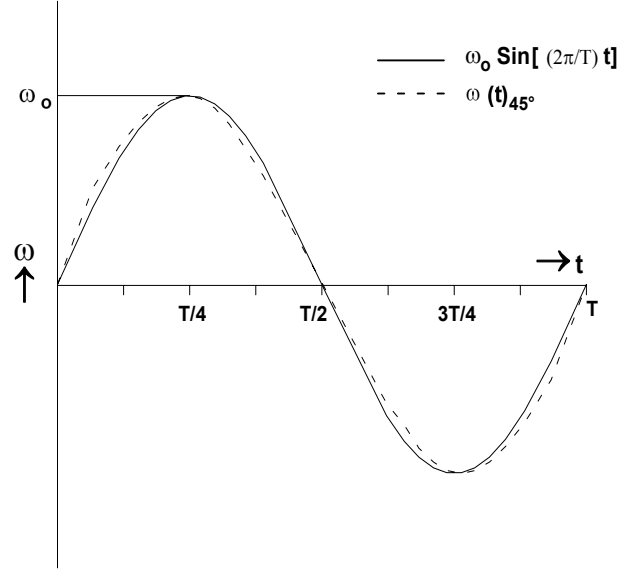
Şekil 4'de bu mekanizmadan elde edilen salınım hareketinin açısal hız diyagramı, kıyaslamak amacıyla, bir sinüs eğrisi ile birlikte görülmektedir.



Şekil 3. Üç çubuk mekanizması

Deneylerin yapılışı

Deneyler 18-22° C ortam sıcaklığı ve % 60 nem oranındaki laboratuvar şartlarında gerçekleştirilmiştir. Salınım frekansı 30 d/d-430 d/d arasında ($v = 0.03 \text{ m/s}-0.44 \text{ m/s}$) 5 kademedeki yük, 94.5 N-346.5 N arasında ($p_0 = 0.038 \text{ MPa}-0.138 \text{ MPa}$) 5 kademedeki uygulanmıştır.



Şekil 4. Üç çubuk mekanizması ile elde edilen hareketlerin açısal hız diyagramları

Deneylere başlamadan önce, sistemin titreşimsiz çalışabildiği en yüksek salınım frekansı saptanarak milin maksimum kayma hızı hesaplanmış, buna göre kalan dört kademedeki salınım frekansları belirlenerek diğer kayma hızları bulunmuştur.

UHMWPE'nin literatürden alınan p.v limitine göre ($p.v = 0.06 \text{ MPa.m/s}$; p: ortalama yüzey basıncı = $W/d.L$, v: kayma hızı) ortalama yüzey basıncının değeri saptanarak bu değere karşılık gelen normal kuvvet bulunmuştur. Buna bağlı olarak manivela koluna asılacak maksimum ağırlık saptanmıştır. Diğer kademelere ait manivela kolu ağırlıkları ve bunlara karşılık gelen yatak yükleri belirlendikten sonra deney yapma aşamasına geçilmiştir.

Deney mili ve yatak burçlarının içleri her deney başlangıcında, teknik kuru yüzey elde etmek için, saf aseton ile temizlenmiştir. Yükleme, manivela koluna ağırlık asılmak suretiyle gerçekleştirildikten sonra motor devreye sokulmuştur. Rejim sıcaklığına ulaşıldığı zaman yatak zarfı altındaki ceplere yağ basılmış ve kaydediciden milimetrik kağıda çizilmiş grafik çıktılar alınmıştır. Plastik burçdaki temas yüzeyine 0.5 mm mesafedeki noktadan alınan mV cinsinden sıcaklık değerleri ile digital termometreye ölçülen oda sıcaklığı değerleri kaydedilmiştir.

Daha önceden çıkarılan ağırlık-kaydedici kalibrasyon eğrisinden, transdüserin bağlı olduğu noktadaki kuvvetin değeri okunarak sürtünme kuvveti hesaplanmış, normal kuvvete bölünerek sürtünme katsayısı bulunmuştur.

Bütün bu işlemler, üçer kez tekrarlanmış, sürtünme katsayısı değeri olarak, bu üç deneyde elde edilen sürtünme katsayılarının ortalaması alınmıştır.

Sonuçlar ve tartışma

Yapılan deneyler sonunda 45°'lik salınım açısında UHMWPE'den yapılmış plastik burcun çelik mülle temasında ortaya çıkan temas yüzeyi sıcaklıklarının ve elde edilen sürtünme katsayılarının, kayma hızı ile değişimleri Şekil 5'de görülmektedir.

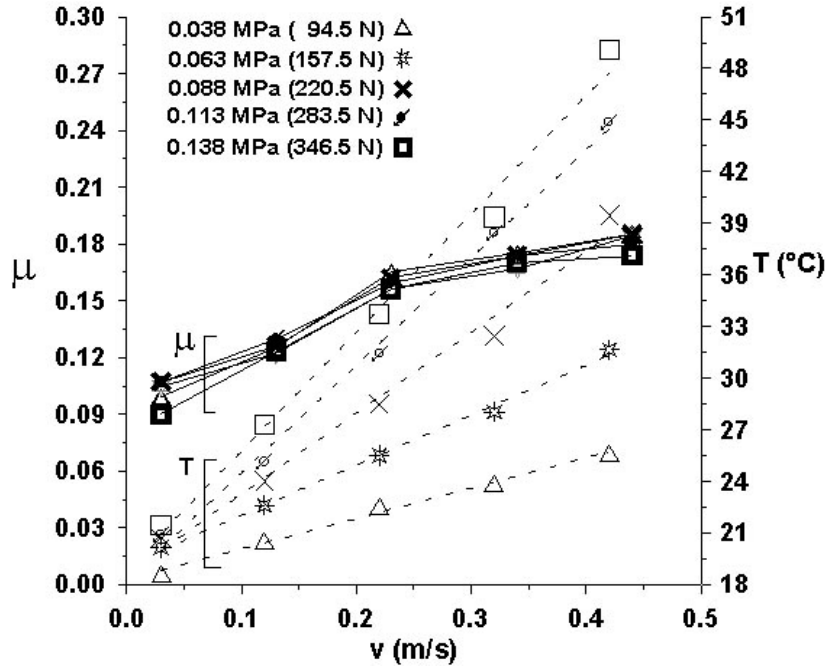
Grafikten de anlaşılacağı gibi, kayma hızı arttıkça malzemenin temas yüzeyi sıcaklığı ve sürtünme katsayısı artmaktadır. Sürtünme işinin ısıya dönüşmesiyle ortaya çıkan yüzey sıcaklığı hızla bağlı olarak artış göstermektedir. Bunun yanısıra yüzey sıcaklığının artmasıyla ısıl genişleme katsayısı büyük olan plastik burcun boyutları değişecek dolayısıyla izafi boşluk azalacağı için temas alanı artacaktır. Bowden ve Tabor (1954)'e

göre temas alanındaki artış da sürtünme katsayısını arttıracaktır.

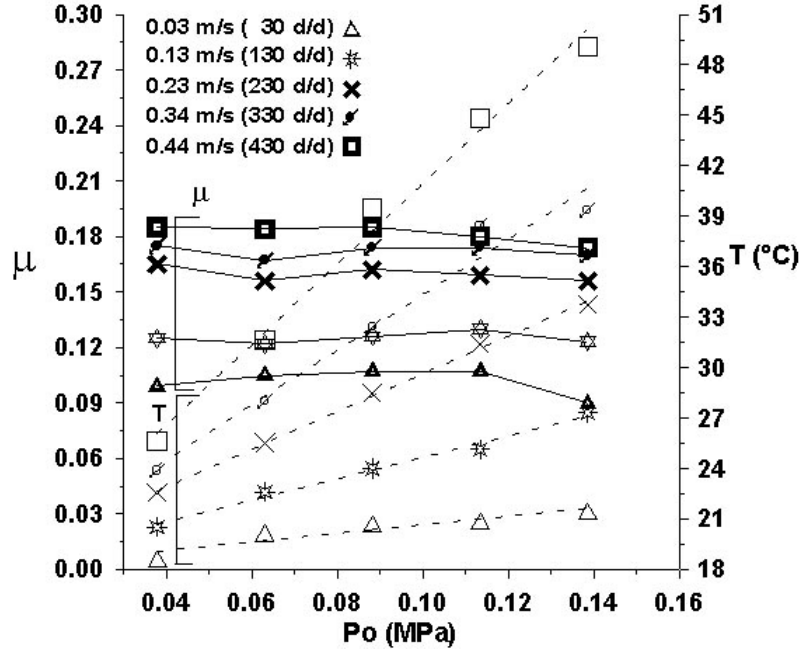
Şekil 6'da ise yine aynı burcun sürtünme katsayısının ve temas yüzeyi sıcaklığının ortalama yüzey basıncı ile değişimi görülmektedir.

Temas yüzeyi sıcaklığı ortalama yüzey basıncı ile artarken sürtünme katsayısının yük arttıkça hafifçe düşme eğiliminde olduğu görülmektedir. Artan basınç sürtünme ısını arttırdığı için temas yüzeyi sıcaklığı da doğal olarak artacaktır.

Kragelski (1981)'de yer alan kuru sürtünmeli radyal yatak bölümündeki Hertz bağıntılarına göre, radyal yataklarda basıncın artması aynı zamanda temas alanının da artmasına neden olmaktadır. Alan artış oranı ile basınç artış oranı aynı olduğu için sürtünme kuvvetindeki artışla yük artışı paralellik arz etmektedir. Dolayısıyla sürtünme katsayısı küçük basınçlarda pek değişmemektedir. Daha büyük basınçlarda ise yük arttıkça gerçek temas alanı görünür alana yaklaştığından basınç artmasına rağmen sürtünme kuvveti değişmeden kalmakta ve sürtünme katsayısı azalmaktadır.



Şekil 5. UHMWPE' den yapılmış plastik burcun çelik mülle temasında sürtünme katsayısının ve temas yüzeyi sıcaklığının kayma hızı ile değişimi



Şekil 6. UHMWPE' den yapılmış plastik burcun çelik mille temasında sürtünme katsayısının ve temas yüzeyi sıcaklığının ortalama yüzey basıncı ile değişimi

Uzuner vd., (1994), Temiz (1998) ve Uzuner ve Gediktaş (2002)'nin gerçekleştirdiği deneyler sonucunda elde ettikleri UHMWPE'nin sürtünme katsayısı değerleri, bu çalışmada elde edilen değerlerle karşılaştırmak amacıyla Tablo 1'de verilmiştir.

Tablodan da görüleceği üzere salınım açısı 45° olan salınım hareketli radyal kaymalı plastik yatağın sürtünme katsayısı değerleri, salınım açısı 30° olan salınım hareketli radyal plastik yatağın, tam dönme yapan radyal kaymalı plastik yatağın ve düzlem temas durumunda incelenen plastik numunenin sürtünme katsayısından daha küçük çıkmaktadır.

Salınım hareketi yapan radyal kaymalı yataklarda sürtünmeye yüzey basıncının, yatak boşluğunun ve yüzey sıcaklığının olduğu kadar osilasyon hareketinin ve salınım açısının da büyük etkisi vardır. Rehbein ve Wallaschek (1998) yaptıkları

çalışmada, yüksek frekanslı osilasyon hareketinde polimer-çelik ve alüminyum-alüminyum temasında malzemelerin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemiştir. Temas halindeki yüzeylerin arasındaki moment iletiminin temas noktalarındaki pürüzlerin çarpışması sonucu olduğunu ve bu mikroçarpışmaların hem normal hem de teğetsel doğrultuda lokal olarak titreşen numuneler yarattığını, bunun da temas alanını azalttığını ve yüksek frekansta elde edilen sürtünme katsayısının alçak frekansta elde edilenden daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Benzer konuda çalışma yapan Van de velde ve Baets (1997) çelik üzerinde lineer gidip gelme hareketi ile kayan plastik numunenin sürtünme ve aşınma davranışını incelemiştir. Normal ve teğetsel titreşimin sürtünme kuvvetinde azalmaya neden olduğu için sürtünme kuvvetinin düzgün hareketten daha düşük çıktığını ve sürtünme katsayısının artan yükte azaldığını ifade etmişlerdir. Soom ve Kim (1983), osilasyon hareketi

Tablo 1. UHMWPE' nin maksimum sürtünme katsayısı değerleri

	Bu çalışma (2003) (α=45°)	Uzuner ve Gediktaş (2002) (α=30°)	Temiz (1998)	Uzuner vd., (1994)
μ	0.18	0.22	0.25	0.32

altında düz yüzeylerin temasında ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerinin, normal ve teğetsel doğrultudaki osilasyonun temas alanını azaltması sonucu küçük çıktığını söylemişlerdir.

Semboller

ω	: Açısal hız (1/s)
a, b, c, d	: Kol uzunlukları (mm)
p_{max}	: Max.yüzey basıncı (Mpa)
d	: Mil çapı (mm)
p_0	: Ortalama yüzey basıncı (Mpa)
T	: Peryot (s); Sıcaklık (°C)
α	: Salınım açısı (°)
n	: Salınım frekansı (d/d)
μ	: Sürtünme katsayısı
φ_0	: Temas açısı (°)
L	: Yatak genişliği (mm)
W	: Yük (N)
t	: Zaman (s)

Kaynaklar

- Barrett, T. S., Stachowiak, G. W. ve Batchelor, A. W., (1992). Effect of roughness and sliding speed on the wear and friction of ultra-high molecular weight polyethylene, *Wear*, **153**, 331-350.
- Bowden, E. P. ve Tabor, D., (1954). *The friction and lubrication of solids*, 90 sf., Oxford University Press, London.
- Dong, H., Shi, W. ve Bell, T., (1999). Potential of improving tribological performance of uhmwpe by engineering the ti6a14v counterfaces, *Wear*, **225-229**, 146-153.
- Holmgerg, K. ve Wickström, G., (1987). Friction and wear tests of polymers, *Wear*, **115**, 95-105
- Klapperich, C., Komvopoulos, K. ve Pruitt, I., (1999). Tribological properties and microstructure evolution of ultra high molecular weight polyethylene, *Transaction of The ASME*, **121**, 394-402.
- Kragelsky, IV., (1981). *Friction, Wear, Lubrication, Tribology Handbook*, 193 sf., Mir Publishers, Moscow.
- Orndorff, Jr. R. J., (2000). New UHMWPE/ rubber bearing alloy, *Journal of Tribology*, **122**, 367-373.
- Rehbein, P. ve Wallaschek, J., (1998). Friction and wear behaviour of polymer/Steel and alumina/alumina under high-frequency fretting conditions, *Wear*, **216**, 97-105.
- Song, J., Lin, P., Cremens, M. ve Bonutti, P., (1999). Effects of machining on tribological behaviour of ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) under dry reciprocating sliding, *Wear*, **225-229**, 716-723.
- Soom, A. ve Kim, C., (1983). Interactions between dynamic normal and frictional forces during unlubricated sliding, *Journal of Lubrication Technology*, **105**, 221-229.
- Suh, N. P., Mosleh, M. ve Arinez, J., (1998). Tribology of polyethylene homocomposites, *Wear*, **214**, 231-236.
- Temiz, V. (1998). Çeşitli katkılı ve katkısız polimer yatakların sürtünme ve aşınma karakteristiklerinin deneysel tayini, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uzuner, F., Temiz, V. ve Gediktaş, M. (1994). Çeşitli katkılı ve katkısız polimerlerin polimer/çelik temas durumunda sürtünme ve aşınma özelliklerinin deneysel tayini, *6. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi*, ODTÜ, Ankara, 285-294.
- Uzuner, F. ve Gediktaş M., (2002). The experimental study of friction properties of oscillating radial sliding plastic journal bearings, *Proceedings of ESDA2002, 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis*, Istanbul, Turkey
- Van de Welde, F. ve de Baets, P., (1997). The friction and wear behaviour of polyamide 6 sliding against steel at low velocity under very high contact pressure, *Wear*, **209**, 106-114.
- Yücenur, M .S., (1979). Salınım hareketli radyal kaymalı yatakta sürtünme ve film durumu, *Doktora Tezi*, İTÜ Makina Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.