



Doctoral Thesis

Experimental Investigations and Application of Ionic Liquids in Small Self-lubricating Porous Journal Bearings

Author(s):

Trachsel, Mathis

Publication Date:

2017

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000245698> →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Experimental Investigations and Application of Ionic Liquids in Small Self-lubricating Porous Journal Bearings

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

Mathis A. Trachsel

MSc ETH ME, ETH Zurich
born on Oktober 24, 1981
citizen of Zürich

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Jürg Dual, examiner
Prof. Dr. Konrad Wegener, co-examiner
Dr. Raniero Pittini, co-examiner

2017

Abstract

Small, self-lubricated porous journal bearings are widely applied in all kind of different machinery and applications and produced in enormous quantities. Their low cost, high resistance with respect to impacts and overload make them a very important and successful bearing solution to support a rotating shaft carrying a radial load.

For small journal bearings, supporting shafts with diameters in the range of mm, as applied in small machines, standard techniques of friction analysis cannot be used, because the boundary conditions of the specific application cannot be represented. Due to this, different friction values result when compared to the real application and the measurements obtained are not precise enough.

This work addresses systematic investigations of small journal bearings lubricated with Ionic Liquids, which present a novel generation of fluids with promising properties and good lubrication performance. A setup was designed and built so as to represent the application of such bearing systems in a small electric motor of 20 mm in diameter and imposes identical mechanical boundary conditions as experienced in such motors. A nominal shaft diameter of 3 mm was used for the experiments. The important parameter of the radial clearance was altered by using precise shafts of different diameters. The radial loading on the bearings was varied in the range from 0.2 N to 10 N.

A novel procedure for calibration allows to take into account deviations from perfect symmetry, as they are encountered on every part of the mechanical system. This new calibration allows to significantly increase measurement precision. In the case of miniature bearings, as they are used in this work, deviations from the ideal geometry cannot be neglected because measurement precision would suffer dramatically.

The setup developed allows for the simultaneous detection of friction and relative displacement between shaft and bearing, a key parameter in hydrodynamic lubrication theory. This gives additional insight into the bearing kinematics and allows to increase the precision of friction measurements even more, if measured values of shaft-bearing eccentricity are considered for the calculation of the friction torque. Using the developed setup, a nominal resolution of 50 nNm could be obtained with displacement measurements recorded at 150 nm nominal resolution.

An analysis of the displacement signal in the frequency domain was performed in order to give additional insight into the system dynamics and detection of whirling phenomena, which typically come along with an increase in friction. To avoid any misinterpretation of measured friction data, knowledge of the whirling state is important.

Viscous heating in the lubricant film strongly effects the lubricant temperature and therefore its viscosity and was also taken into account. Considering effects of viscous heating is especially important at high speeds. The setup under test allows for rotational speeds up to 25000 rpm. Using a combined experimental, numerical and analytical approach, a thermal model was developed and lubricant temperature and therefore fluid viscosity can be determined for Stribeck measurements under variation of speed. Experiments were performed using Newtonian viscosity standards, which provide constant viscosity over a wide range of shear rates. The effect of porous bearing material on friction was investigated as well, under variation of relevant parameters as rotational speed and radial clearance, applying the corresponding theory and the measurement technique developed.

Several selected Ionic Liquids were applied as lubricant in porous, self-lubricating journal bearings and compared to an established standard lubricant. Using these new fluids, the measured friction can be described applying the same models as in the case of the Newtonian reference oil. It was found that in the domain of mixed lubrication several low viscosity Ionic Liquids provide lower friction than the highly developed, non-Newtonian standard lubricant taken as reference.

Zusammenfassung

Kleine, selbstschmierende, poröse Sinterlager werden in riesigen Stückzahlen hergestellt, sind weit verbreitet und werden in den verschiedensten Anwendungen und Maschinen eingesetzt. Wegen ihren geringen Produktionskosten und ihrer Unempfindlichkeit gegenüber Lastspitzen und Schlägen sind sie ein wichtiges Konstruktionselement um eine radial belastete, drehende Welle zu stützen.

Etablierte Messtechniken zur Erfassung von Drehmomenten oder zur Messung von Reibung aus dem Gebiet der Tribologie können nicht einfach auf das System eines Miniatur-Gleitlagers, mit einer Welle mit Durchmesser im Bereich von wenigen mm, angewendet werden, weil die Randbedingungen der spezifischen Anwendung nicht reproduziert werden können. Die erfassten Messwerte würden die Situation in der realen Anwendung nicht genau genug repräsentieren.

In dieser Arbeit wird die Anwendung einer neuen Generation von Fluiden, ionischen Flüssigkeiten, als Schmiermittel in kleinen porösen Sinterlagern untersucht. Die neuartigen Flüssigkeiten haben viel versprechende physikalische Eigenschaften und eine gute Schmierfähigkeit.

Es wurde ein Versuchsaufbau gebaut und charakterisiert, um die Anwendung der Gleitlager in einem kleinen Elektromotor mit 20mm Durchmesser abzubilden und die gleichen mechanischen Randbedingungen wie in der Anwendung im Motor zu erzeugen. Für die experimentellen Untersuchungen wurde eine Welle mit 3mm Durchmesser verwendet. Der radiale Fluidspalt, ein wichtiger Parameter in der Lagertechnik, kann durch die Verwendung von Wellen mit unterschiedlichen Durchmessern verändert werden. Die auf das Lager wirkende Radiallast wurde im Bereich von 0.2N bis 10N variiert. Ein neuartiges Kalibrierungs-Verfahren erlaubt es, Abweichungen von der idealen Geometrie zu berücksichtigen, welche auf jedem mechanischen Teil anzutreffen sind. Dies erhöht die Messgenauigkeit signifikant, da im

Fälle von kleinen Lagern, wie sie in dieser Arbeit verwendet wurden, diese Abweichungen nicht vernachlässigt werden können.

Der entwickelte Versuchsaufbau erlaubt die gleichzeitige Erfassung von Lagerreibung und der relativen Verschiebung zwischen Welle und Lager, ein wichtiger Parameter in der Theorie der Gleitlager. Dies gibt einen wertvollen Einblick in die Kinematik der Lager und erhöht die Messgenauigkeit noch weiter, wenn die gemessenen Daten für die Berechnung der Lagerreibung verwendet werden. Mit dem Messaufbau wird eine nominelle Messgenauigkeit von 50nNm für das Reibmoment erreicht. Die relative Verschiebung wird mit 150nm Auflösung erfasst.

Eine Analyse der Daten der relativen Bewegung zwischen Welle und Lager im Frequenzbereich gibt einen zusätzlichen Einblick in die Dynamik des Systems, speziell auf Wirbel-Phänomene, welche zusammen mit einer Erhöhung der Reibung auftreten. Um die Messdaten der Reibung nicht falsch zu interpretieren, ist die Kenntnis des dynamischen Zustandes sehr wichtig.

Die Erwärmung des Schmierfilmes wegen viskoser Energiedissipation beeinflusst die Temperatur des Schmierfilms signifikant und somit auch dessen Viskosität. Vor allem bei Messungen mit hohen Geschwindigkeiten bis zu 25000U/min ist dieser Effekt deutlich in der Messung der Reibung sichtbar. Mit einem Ansatz bestehend aus Messungen, numerischen Simulationen und analytische Modellen wurde ein thermisches Modell entwickelt, um die Fluidfilm-Temperatur im Spalt und somit auch die Schmiermittel-Viskosität für verschiedene Stribeck-Messungen unter Variation der Rotationsgeschwindigkeit der Welle zu bestimmen. Hierfür wurden Messungen mit Newtonschen Referenz-Ölen durchgeführt, welche über einen weiten Bereich von Geschwindigkeiten eine von der Scherrate unabhängige Viskosität aufweisen. Zusammen mit einer Veränderung der involvierten relevanten Parametern wurde der Einfluss der Lagerporen auf die Reibung mit der entwickelten Messtechnik untersucht und mit der entsprechenden Theorie modelliert.

Ausgewählte ionische Flüssigkeiten wurden in porösen Sinterlagern eingesetzt, gemessen und mit Standard Schmierstoffen verglichen. Bei der Anwendung dieser Fluide kann die gemessene Reibung mit den gleichen Modellen beschrieben werden wie im Falle der Newtonschen Referenz-Öle. Im Bereich der Mischreibung zeigten einige niedrigviskose Fluide weniger Reibung als der hoch entwickelten nicht-Newtonsche Standard Schmierstoff.