

Verlustanalyse am Kolben-Buchse-Kontakt von Axialkolbenpumpen in Schrägscheibenbauweise

Loss Analysis at the Piston-Bushing Contact of Axial Piston Pumps in Swash Plate Design

Von der Fakultät für Maschinenwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Markus Gärtner

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Katharina Schmitz

Tag der mündlichen Prüfung: 29.11.2019

II Kurzfassung

Der Kolben-Buchse-Kontakt in Axialkolbenpumpen in Schrägscheibenbauweise ist einer hohen mechanischen Belastung ausgesetzt und hat erheblichen Einfluss auf das Betriebsverhalten und die Effizienz der gesamten Verdrängereinheit. In der Baugruppe Kolben – Zylinder treten mechanische Verluste, das heißt Reibkräfte und Reibmomente sowie volumetrische Verluste, in Form von Leakage und auch Kompressionsverluste auf.

In der vorliegenden Arbeit werden experimentelle, analytische und simulative Methoden zur Beschreibung der Verluste herangezogen. Die experimentellen Untersuchungen erfolgen an einem Einkolbenprüfstand im Prüffeld des Instituts für fluidtechnische Antriebe und Systeme (ifas). Aufgrund des großen einstellbaren Betriebsbereichs sind Zustände unter reiner Flüssigkeitsreibung, aber auch unter Mischreibung abbildbar. Ergebnisse die axiale Reibkraft und die Leakage betreffend und die daraus ermittelten Verlustarbeiten sind Grundlage der weiterführenden Analyse.

Mithilfe eines analytischen Ansatzes gelingt die korrekte Berechnung der Leakage, sofern treffende Werte für die Kolbenexzentrizität angenommen werden. Eine Verbesserung des Berechnungsergebnisses wird durch die Berücksichtigung der gemessenen Temperaturverteilung im Dichtspalt erzielt. Die Kompressionsarbeit wird unter Berücksichtigung des druckabhängigen Kompressionsmoduls berechnet.

Die Ergebnisse der Mehrkörpersimulation mit elasto-hydrodynamischer Kopplung der Lagerstellen bieten weitere Einblicke, die durch Versuche nach derzeitigem Stand der Technik nicht verlässlich ermittelt werden können. Anhand von drei Simulationsmodellen des Einkolbenprüfstands mit unterschiedlicher Komplexität werden neben den Verlustkenngrößen Reibkraft, Reibmoment und Leakage auch die radiale Kolbenverlagerung und die resultierenden Kontaktdrücke analysiert. Dem Einfluss des Betriebspunkts und der Kolbenrotation wird besondere Beachtung geschenkt.

Daraufhin werden die Verlustanteile in Abhängigkeit von den Betriebsparametern Druck und Drehzahl aufgetragen. Daraus können die wesentlichen Verlustursachen abgeleitet werden. Abschließend erfolgt ein Vergleich der Analysemethoden hinsichtlich des Aufwands und der möglichen Fehlerquellen.

III Abstract

The piston-bushing contact in axial piston pumps in swash plate design is highly stressed and has a considerable influence on the operating behaviour and the efficiency of the whole displacement unit. The piston-cylinder assembly shows mechanical losses, i.e. by friction forces and by friction torque, volumetric losses like leakage and compression losses.

In this work experimental, analytical and simulative methods are used to describe the losses. The experimental tests are carried out on a well-known single piston test rig in the ifas laboratory. Due to the large adjustable operating range, states under pure viscous friction but also mixed friction can be investigated. Results on axial friction force, leakage and the respective loss work are the basis of the further analysis.

Using an analytical approach, the correct leakage calculation can be achieved, if appropriate values for the piston eccentricity are assumed. An improvement of the calculation result is obtained by taking the measured temperature distribution in the sealing gap into account. The compression work is calculated considering the pressure-dependent bulk modulus.

The results of the multibody simulation with elasto-hydrodynamic coupling of the bearings offer further insights that cannot be reliably determined by tests carried out according to the state of the art. Based on three different simulation models of the single piston test rig with different complexity, the radial piston dislocation and the resulting contact pressures are analysed in addition to the loss characteristics of friction force, friction torque and leakage. The influence of the operating point and the piston rotation is given special attention.

Each loss share is then plotted as a function of the operating parameters pressure and rotational speed. This shows the cause of main losses. Finally, a comparison of the analysis methods regarding the effort and the possible sources of errors are given.