

**Physikalisch motivierte, transiente Modellierung
translatorischer Hydraulikdichtungen**

**Physically Motivated, Transient Modelling
of Translatory Hydraulic Seals**

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

vorgelegt von

Julian Benedikt Angerhausen

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

Tag der mündlichen Prüfung: 13.05.2020

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Universitätsbibliothek online verfügbar.

Zusammenfassung

Dichtungen sind entscheidende Maschinenelemente in hydraulischen Geräten. Ein Versagen der Dichtung kann zu teuren Produktionsausfällen oder sogar umweltgefährdenden Leckagen führen. Insbesondere im Hinblick auf dynamische Dichtungen - zum Beispiel bei Zylinderanwendungen - ist das physikalische Verständnis des Dichtungsmechanismus immer noch unzureichend.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine physikalisch motivierte und experimentell validierte Modellierung des tribologischen Kontakts translatorischer Hydraulikdichtungen unter Berücksichtigung transienter Effekte entwickelt. Das Modell beschreibt die physikalischen Größen im Dichtspalt, wie Spalthöhe, Kontakt- und Fluiddruck, die resultierende Reibungskraft sowie den Verschleiß des Dichtungsmaterials während des Betriebs. Ein solches Modell dient zum tiefergehenden Verständnis des Dichtmechanismus und kann zukünftige Optimierungspotentiale aufdecken.

Zunächst werden an einem eigens entwickelten Dichtungstribometer Versuche durchgeführt. Diese dienen zur detaillierten und exakt definierten Untersuchung des Dichtkontakts. Der Fokus liegt auf der Quantifizierung verschiedenster Einflüsse auf die stationäre und die transiente Reibkraft sowie auf der Ermittlung des sich einstellenden Dichtungsverschleißes.

Anschließend erfolgt der Aufbau und die Durchführung einer elasto-hydrodynamischen Simulation der Dichtung. Die makroskopische Verformung sowie ihr Einfluss auf den mikroskopischen Dichtspalt werden berücksichtigt. Hierzu wird in das Finite-Elemente-Programm ABAQUS über Subroutinen der Festkörperkontakt, nach dem physikalisch basierten Ansatz von Persson, der Fluidkontakt, auf Basis der Reynolds-Gleichung, sowie der Verschleiß der Dichtung, beschrieben durch das Modell von Archard, implementiert. Der anschließende detaillierte Vergleich zwischen Modell und Versuch zeigt über weite Bereiche eine gute Übereinstimmung.

Abschließend wird das validierte Modell genutzt um das transiente Verhalten einer hydraulischen Stangendichtung zu simulieren und den Einfluss transienter Effekte detailliert zu diskutieren.

Abstract

Seals are crucial machine elements in hydraulic devices. A failure of the seal can lead to expensive production downtimes or even environmentally hazardous leakage. Especially with regard to dynamic seals - for example in cylinder applications - the physical understanding of the sealing mechanism is still insufficient.

Within the scope of this thesis, a physically motivated and experimentally validated transient model of the tribological contact of translatory hydraulic seals is developed. The model describes the physical dimensions in the sealing gap, such as gap height, contact and fluid pressure, the resulting friction force and the wear of the sealing material during operation. Such a model serves the deeper understanding of the sealing mechanism and can reveal future optimization potentials.

First, tests are carried out on a specially developed seal tribometer. These experiments serve for a detailed and precisely defined examination of the sealing contact. The focus is on the quantification of different influences on the stationary and the transient frictional force as well as on the determination of the resulting seal wear.

Subsequently an elasto-hydrodynamic simulation of the seal is built and conducted. The macroscopic deformation and its influence on the microscopic sealing gap are taken into account. For this purpose, subroutines are implemented in the finite element program ABAQUS for the solid contact, based on the physical based approach of Persson, the fluid contact, based on the Reynolds equation, as well as the wear of the seal, described by the model of Archard. The following detailed comparison between model and experimental results shows a good correlation for a wide range of results.

Finally, the validated model is used to simulate the transient behavior of a hydraulic rod seal and to discuss the influence of transient effects in detail.