

THERMOELASTOHYDRODYNAMISCHE BETRACHTUNG DES KOLBEN-BUCHSE-KONTAKTS IN HOCHDRUCKPUMPEN

*Thermoelastohydrodynamic Consideration of the
Piston/Cylinder Contact in High-Pressure Pumps*

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

vorgelegt von

Felix Lukas Fischer geb. Mühlenberg

Berichter: Universitätsprofessorin Dr.-Ing. K. Schmitz
 Universitätsprofessor Dr.-Ing. A. Rienäcker

Tag der mündlichen Prüfung: 24.06.2020

ZUSAMMENFASSUNG

Die globale Herausforderung an die Senkung des CO₂-Ausstoßes im Verkehrssektor und die immer strengere Abgasgesetzgebung für Otto- und Dieselmotoren hat für die Peripherie der Verbrennungskraftmaschine mannigfaltige und grundlegende Auswirkungen. Bei modernen Dieselmotoren, die von einem Common-Rail-System gespeist werden, besteht die Notwendigkeit, dass der Kraftstoff möglichst fein zerstäubt wird. Eine Möglichkeit dies zu erreichen besteht in der Erhöhung des Einspritzdrucks. Bei der Common-Rail-Hochdruckpumpe unterliegt der Kolben-Buchse-Kontakt daher einer immer größeren Belastung. Der Dichtspalt zwischen Kolben und Buchse, der in der Größenordnung einiger Mikrometer liegt, muss den hohen Raildruck von bis zu 3.000 bar abdichten. Die Temperaturerhöhung, die der Kraftstoff im Dichtspalt erfährt, führt zu einer Verformung von Kolben und Buchse sowie einer Verschlechterung des Wirkungsgrads der Pumpe durch erhöhte Leckage. Die numerische Abbildung des kritischen Kolben-Buchse-Kontakts in der Hochdruckpumpe muss zur Auslegung zuverlässig durchgeführt werden können.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Mikrosपालtprüfstand entwickelt und erprobt, der die Validierung der TEHD-Simulation auf einem abstrahierten Level ermöglicht. Dafür wird zunächst eine Konzeptstudie für die verschiedenen Abstraktionsstufen der tribologischen Prüfkette durchgeführt sowie die Anforderungen für einen solchen Mikrosपालtprüfstand ermittelt. Im Anschluss daran wird ein Entwurf vorgestellt und gefertigt. Die besonderen Randbedingungen und Sensitivitäten der Prüfstands-entwicklung werden dabei diskutiert. Der Funktionsnachweis des Mikrosपालtprüfstands erfolgt bei bis zu 3.000 bar Betriebsdruck. Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wird nachgewiesen und die Charakteristika des Hochdruck-Mikrosपालts beschrieben. Abschließend wird eine Sensitivitäts- und Robustheitsanalyse durchgeführt.

Anhand einer TEHD-Simulation werden die wichtigsten physikalischen Effekte im Mikrosपालt identifiziert und diskutiert. Die weiterführende Analyse beinhaltet spezielle Effekte des vorliegenden Tribokontakts. Weiterhin wird die Eignung des Mikrosपालts zur Validierung eines kommerziellen TEHD-Tools diskutiert. Zur Schließung der tribologischen Prüfkette werden schlussendlich zwei weitere Abstraktionsstufen experimentell erschlossen und die Ergebnisse der Mikrosपालtversuche auf diese Ebenen übertragen.

ABSTRACT

The global challenge of reducing CO₂ emissions in the transport sector and the ever stricter exhaust gas legislation for gasoline and diesel engines has manifold and fundamental effects on the periphery of the internal combustion engine. In modern diesel engines, which are powered by a common rail system, there is a need for the fuel to be atomized as finely as possible. One way to achieve this is to increase the injection pressure. In the common rail high pressure pump, the piston/cylinder contact is therefore subject to an increasing load. The sealing gap between piston and cylinder, which is in the order of a few micrometers, must seal the high rail pressure of up to 3.000 bar. The temperature increase that the fuel in the sealing gap experiences leads to a deformation of piston and cylinder as well as a deterioration of the efficiency of the pump due to increased leakage. The numerical mapping of the critical piston/cylinder contact in the high pressure pump must be able to be carried out safely for the design.

In the present work a microgap test rig is developed and tested, which allows the validation of this calculation on an abstracted level. Therefore, a concept study for the different abstraction levels of the tribological test chain is carried out and the requirements for such a microgap test rig are determined. In the following a design is presented and manufactured. The special boundary conditions and sensitivities of the test stand development are discussed. The functional verification of the microgap test stand is carried out with up to 3.000 bar operating pressure. The reproducibility of the results is proven and the characteristics of the high pressure microgap are described. A sensitivity and robustness analysis is then performed.

Using a TEHL simulation, the most important physical effects in the microgap are identified and discussed. The further analysis includes special effects of the present tribocontact. Furthermore, the suitability of the microgap for the validation of a commercial TEHL tool is discussed. To close the tribological test chain, two further levels of abstraction will be developed experimentally and the results of the microgap tests will be transferred to these levels.