

Mitteilungen aus dem Institut für  
Grundlagen der Maschinenkonstruktion ETH Zürich  
Herausgegeben von Prof. Dr. H. H. Ott

**Nr. 15**

# **Die Berechnung instationär belasteter Radialgleitlager unter Berücksichtigung veränderlicher Schmiermittelviskosität**

**Dr. sc. techn. Georgios Paradissiadis**

Diese Abhandlung wurde an der Eidg. Techn. Hochschule in Zürich  
als Dissertation Nr. 8249 eingereicht und angenommen.

Referent: Prof. Dr. H. H. Ott

Korreferent: Prof. Dr. E. Anderheggen

Verlag: Institut für Grundlagen der  
Maschinenkonstruktion ETH Zürich  
1987

## 10. ZUSAMMENFASSUNG

Für die Untersuchung des instationären Verhaltens von Radialgleitlagern wird ein Berechnungsmodell entwickelt, welches die Erwärmung des Oels im Schmier-spalt berücksichtigt. Wegen der starken Temperaturabhängigkeit der Viskosität des Oels ist für die Berechnung der Spaltströmung eine simultane Lösung der Reynolds-Gleichung für den Druck mit der Energie-Gleichung für die Temperatur notwendig. Für den Druck wird eine Variation in Umfangs- und in Breitenrichtung angenommen, für die Temperatur in Umfangs- und in Spalthöhenrichtung.

Im Fall von Auftreten von nichttragenden Strähnen-gebieten im Schmierfilm ist die Wahl der Druckrandbedingungen besonders wichtig für die Ermittlung der Ausdehnung dieser Gebiete und somit für die Berechnung der Druckverteilung im ganzen Spalt. In der vorliegenden Arbeit werden die Floberg-Jacobsson-Olsson-Randbedingungen verwendet, weil ihre numerische Behandlung relativ zu anderen vorgeschlagenen Randbedingungen einfacher ist, und weil die für ihre Herleitung getroffenen Vereinfachungen keine wesentliche Auswirkungen bei den hier betrachteten, relativ hoch belasteten Lagern haben. Diese Randbedingungen werden hier für veränderliche Schmiermittelveiskosität aus einer Kontinuitätsbetrachtung der Strömung an der Trennfläche zwischen einem Druck- und einem Strähnengebiet hergeleitet.

Die Temperatur-Gleichung im Schmier-spalt ergibt sich aus der Energie-Gleichung als Bilanz zwischen Wärmekonvektion in Umfangs- und Spalthöhenrichtung, Wärmeleitung in Spalthöhenrichtung und Dissipation infolge des Geschwindigkeitsgradienten in Spalthöhenrichtung. Als Randbedingungen werden eine konstante Temperatur der Wellenoberfläche und eine isolierte Segmentlauffläche angenommen. Die grösste Schwierigkeit in der Auswahl der Randbedingungen für die Temperatur stellt jedoch die Bestimmung der Temperaturverteilung des Oels beim Eintreten des Spaltes dar, für die noch keine befriedigenden experimentellen und theoretischen Ergebnisse vorliegen. In den berechneten Beispielen wurde eine gleichmässige Temperatur über die ganze Spalthöhe vorausgesetzt, gleich der Temperatur der Wellenoberfläche.

Durch eine theoretische Analyse wird bewiesen, dass die zweidimensionale Temperatur-Gleichung in den Strähnengebieten die gleiche Form wie im Druckgebiet behält. Das erlaubt eine einheitliche Integration der Temperatur-Gleichung über den ganzen Spalt. Rechenbeispiele zeigten, dass in Strähnengebieten gleich nach dem Spalteintritt ein beträchtlicher Temperaturanstieg in der Nähe der Segmentoberfläche stattfindet, bewirkt durch die schwache konvektive Abfuhr der durch Dissipation produzierten Wärme. In Strähnengebieten nach dem Aufreissrand bleibt das Temperaturprofil hingegen über den Umfang ungefähr konstant, weil dort die Dissipations-

wärme durch Leitung abgeführt wird.

Die Reynolds- und die Temperatur-Gleichungen werden numerisch mit Hilfe von Finite-Elemente-Methoden integriert. Dabei stellen die Erfüllung der Randbedingungen zwischen Druck- und Strähnengebieten und die Berücksichtigung der möglichen Rückströmung am Spalteintritt zwei wichtige Sonderprobleme dar.

Die Erfüllung der Floberg-Jacobsson-Olsson-Randbedingungen an den Grenzen zwischen Druck- und Strähnengebieten wird durch eine iterative Herabsetzung bzw. Anhebung der Druckrandwerte am Spalteintritt bzw. -austritt erreicht.

Für die Lösung der Temperatur-Gleichung im Fall von Rückströmung des Schmiermittels durch den Spalteintritt wird nach einer ersten Integration über den ganzen Spalt die Temperatur-Gleichung im Bereich der Rückströmung separat integriert, so dass am Spalteintritt die Temperatur des zurückfliessenden Oels auf Grund der Strömung im Spalt berechnet und im Rückstrombereich als Randbedingung eingegeben wird.

Eine weitere Schwierigkeit in der Berechnung der Strömung im Spalt stellt der instationäre Term in der Temperatur-Gleichung dar, der das Strömungsbild im Schmier-spalt zu einem gewissen Zeitpunkt von der Vorgeschichte der Strömung abhängig macht. Als Folge sind die Feder- und Dämpfungskonstanten für eine bestimmte Lage und Verlagerungsgeschwindigkeit der Welle nicht eindeutig definiert. Eine theoretische Untersuchung und Vergleichsrechnungen haben gezeigt, dass der Einfluss dieses Termes begrenzt ist. So kann seine Vernachlässigung bei der Berechnung der Feder- und Dämpfungskonstanten einen Fehler von maximal 10% auf ihrem Wert bewirken, meistens ist jedoch der Fehler viel kleiner.

Der Vergleich der Rechenergebnisse mit experimentellen Resultaten zeigt gute Uebereinstimmung, insbesondere bei mittleren und grossen Belastungen. Die relativ grössere Abweichungen im Bereich der kleinen Belastungen sind vor allem an Nichtlinearitätsfehler bei den Messungen in diesem Bereich zurückzuführen.

Weiter wurden die Ergebnisse des entwickelten Rechenprogramms mit den Ergebnissen einer kostensparender isoviskosen Rechnung verglichen. Dabei wurde als gleichmässige Temperatur über den ganzen Spalt die für die gleiche Lagerbelastung durch eine vollständige Rechnung ermittelte mittlere Ausflusstemperatur des Oels aus dem Spalt angenommen. Die Uebereinstimmung der nach dem isoviskosen Modell berechneten Werte für die Feder- und Dämpfungskonstanten als Funktionen der Belastung mit den durch die vollständige Rechnung ermittelten Werten ist bis zu mittleren Lagerbelastungen befriedigend, bei höheren Lasten wird die Abweichung bei den Federkonstanten erheblich. Bei den Lagerkenngrössen ist die Uebereinstimmung für den Oeldurchsatz perfekt, die Reibleistung dagegen wird durch die isoviskose Rechnung kräftig unterschätzt.

Nonstationary performance of journal bearings  
considering variable viscosity

---

Abstract

A theoretical model for the calculation of the flow in the lubricating film of a journal bearing under non-stationary operating conditions is being developed, considering the variable viscosity of the lubricant. The pressure, temperature and velocity distributions in the film are obtained from the solution of the system of the Reynolds and the energy equation, which are coupled by the temperature-dependent viscosity. The pressure is assumed variable in the circumferential and the axial direction, the temperature circumferentially and over the film thickness. The expansion of cavitation areas in the lubricant is determined according to the Floberg-Jacobsson-Olsson boundary conditions. A simplified model for the flow in the cavitation areas enables the integration of the temperature equation over the whole film. Both Reynolds and temperature equations are solved with finite element methods.

Constant uniform temperature of the lubricant is assumed over the film inlet thickness. The same constant temperature is supposed on the journal surface, while the bearing surface is considered as isolated. In the case of reverse flow a separate integration of the temperature equation in the reverse flow area provides the temperature distribution of the outflowing lubricant at the film inlet.

Mainly due to of the nonstationary term in the temperature equation, the solution of the flow field for a certain moment depends on the preceding history of the flow. As a result the stiffness and damping coefficients of a bearing can not be uniquely defined. A numerical investigation however has shown that this dependence and its influence on the dynamic coefficients of the bearing are weak.

The stiffness and damping coefficients estimated using the developed variable-viscosity model were in good agreement with experimentally determined values. Comparing the results of this model with results obtained assuming a constant uniform temperature over the entire film, good agreement was found for the damping coefficients, while for the stiffness coefficients the divergence was considerable, especially for heavily loaded bearings.