ETH zürich

ETH Library

Auslegung konzentrischer Gewindewellendichtungen bei laminarer Strömung und konstanter Viskosität

Doctoral Thesis

Author(s):
Krautzig, Joachim

Publication date:
1985

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000333059

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

DISS. ETH 7708

Auslegung konzentrischer Gewindewellendichtungen bei laminarer Strömung und konstanter Viskosität

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines
Doktors der Technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Joachim Krautzig
Dipl.-Ing., TU Hannover
geboren am 23. März 1946
von Deutschland

angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. H. H. Ott, Referent
Prof. Dr. B. Chaix, Korreferent

Verlag: Institut für Grundlagen der
Maschinenkonstruktion ETH Zürich
1985

12. ZUSAMMENFASSUNG

Nach Einleitung und Darstellung der mathematischen Grundlagen wird gezeigt, dass sich in einer konzentrischen Gewindewellendichtung mit rechteckigem Flachgewinde bei laminarer Strömung und konstanter Viskosität ein spezieller Betriebszustand herbeiführen lässt, bei dem der Druck über dem ganzen Umfang in axialer Richtung zwischen den beiden Randdrücken linear verläuft und in Umfangsrichtung konstant ist (Bild 3.3). Den betreffenden Betriebspunkt im Durchsatz-Druck-Diagramm kann man exakt angeben (Bild 3.5). Die bei laminarer Strömung lineare Kennlinie einer Dichtung in diesem Diagramm ist deshalb durch einen weiteren Punkt oder die Geradensteigung bestimmt. Diese Daten lassen sich allerdings nur numerisch, experimentell oder mit Hilfe eines Näherungsverfahrens ermitteln.

Die Lösung der Reynolds-Differentialgleichung für die Druckfunktion eines beliebigen Betriebspunkts lässt sich aufspalten in (a) die Lösung, die sich bei der Randdruckdifferenz null und rotierender Welle ergibt und (b) die Lösung im Stillstand bei der gegebenen Druckdifferenz zwischen beiden Seiten der Dichtung. Eine Drehzahländerung hat allein eine proportionale Streckung oder Stauchung der Teillösung (a) zur Folge, eine Veränderung der Randdruckdifferenz wirkt sich in gleicher Weise linear nur auf die Teillösung (b) aus. Durch Superposition kann man daher die Gesamtlösung für einen beliebigen Betriebspunkt aus einmal vorhandenen Teillösungen erzeugen — auch die spezielle vollkommen lineare Druckverteilung.

Wenn die Ueberlagerung zweier (bestimmter, aber nur proportional veränderbarer) Teillösungen eine vollkommen lineare Gesamtlösung ergibt, kann der Unterschied zwischen beiden nur in eben dieser linearen Druckverteilung bestehen. Damit lässt sich aus einer einmal vorhandenen Teillösung (a) oder (b) leicht die zweite erzeugen, woraus dann jede beliebige Gesamtlösung für das betreffende Gewinde zusammengesetzt werden kann.

Da die Teillösung (b) bei Stillstand eine Hele-Shaw-Strömung und damit ein ebenes Potentialproblem ist, weiss man aufgrund dieser Zusammenhänge nicht nur, wie sich die Druckverteilung bei Aenderung der Betriebsbedingungen verhält, sondern es besteht auch die Möglichkeit, mit Hilfe konformer Abbildungen ein bei praktisch allen interessierenden Gewindegeometrien anwendbares Näherungsverfahren zu entwickeln, das wesentlich exakter als die bisher bekannten ist.

Zur Ueberprüfung dieses Näherungsmodells wurde eine grosse Anzahl von Druckverteilungen mit Hilfe eines Finite-Elemente-Programms berechnet. Das Programm wird in seinen Grundzügen dargestellt. Eine seiner wesentlichen Eigenschaften ist die direkte Erzeugung der Gesamt-Fluiditätsmatrix. Weiterhin werden die Schwierigkeiten bei der Anwendung des Programms und ihre Lösung beschrieben.

Nach einem Ueberblick über die Formen der berechneten Druckverteilungen und ihrer Darstellung (Bilder 6.1 und folgende) folgt aus der Diskussion des Verlaufs des Strömungswiderstands über der Dichtungsbreite, dass der Widerstand schon bei relativ geringen Werten linear mit der Breite anzusteigen beginnt (Bilder 7.1 und folgende). Die Steigung dieser Geraden lässt sich exakt ermitteln, jedoch ist unbekannt, in welcher Entfernung vom Ursprung sie verläuft (Bild 7.21).

Die Analyse bekannter Näherungsverfahren zeigt, dass der lineare Zuwachs mit der Breite auch schon früher ausgenutzt wurde, dass aber die Lage der Widerstandsgeraden durch einen scheinbar bisher unbekannten terrassenförmigen Druckverlauf (Bild 7.16) und andere Effekte teilweise so stark beeinflusst wird, dass diese Verfahren oft sehr ungenau sind. Daraus folgen Notwendigkeit und erforderliche Eigenschaften eines neuen Näherungsverfahrens.

Das hier vorgestellte Verfahren beruht auf der Nachbildung der Druckverläufe durch Raumflächen, die durch einfache komplexe analytische Funktionen beschrieben werden. Den gesuchten Strömungswiderstand eines solchen Näherungspotentials erhält man durch konforme Abbildungen auf eine Parallelströmung.

An der Grenze zwischen Gewindenut und -damm lassen sich aufgrund der Kontinuitäts- und Stetigkeitsbedingung (Anschlussbedingung) gewisse Details der wirklichen Gewindeströmung erkennen, die später bei der Zusammensetzung der Näherung benutzt werden. Ausserdem zeigt sich, dass es für die Bestimmung des Strömungswiderstands allein ausreicht, nur ein Viertel des eigentlichen Lösungsgebiets abzubilden. Aus Zweckmässigkeitsgründen werden noch gewisse Umverteilungen innerhalb des Restgebiets vorgenommen und ihre Konsequenzen diskutiert.

Die Nutströmung lässt sich in zwei sich überlagernde Strömungen aufspalten, wovon die eine allein von der Form der Gewindeabwicklung und die andere (näherungsweise) nur von der Spalthöhe abhängt. Nach einigen Vereinfachungen werden die Näherungen für Nut- und Dammgebiet aus einfachen Potentialen zusammengesetzt, daraus die Widerstände hergeleitet und aus den Teilwiderständen der Näherungs-Strömungswiderstand der gesamten Dichtung bestimmt.

Die anschliessende Ueberprüfung zeigt, dass das Näherungsverfahren schon bei einer festen Anordnung der Teil-Potentiale innerhalb des Gewindes zu akzeptablen Ergebnissen führt, dass aber besonders im unteren gekrümmten Bereich der Widerstandskurve noch Verbesserungen möglich sind. Diese werden mit geringen, durch empirische Korrekturgleichungen beschriebenen gegenseitigen Verschiebungen der zur Gesamtfläche zusammengestückelten Potentialteile erreicht.

Die Restfehler dieses Näherungsverfahrens liegen bei schmalen Dichtungen maximal etwa bei 5 % (Bilder 11.10 bis 11.12). Da die relativen Fehler etwa reziprok zur Breite abnehmen, sind sie in den meisten praktisch interessierenden Fällen vernachlässigbar.

CALCULATION OF CONCENTRIC VISCOSEALS WITH LAMINAR FLOW AND CONSTANT VISCOSITY

ABSTRACT

Initially, this dissertation shows that it is possible to induce an operating condition in a concentric viscoseal with constant viscosity and laminar flow, neglecting certain details of the flow at the step between the groove and the ridge, the pressure distribution being linear in the axial and constant in the circumferential directions.

This point of operation in the graph of volume flow versus pressure difference can be calculated exactly. If one knows another point of operation, such as the point of closeness, one knows the linear characteristic and with that the behavior of the seal beside the calculated operating point as well.

The existence of the operation point with the complete linear pressure distribution in both directions of the thread surface has another important consequence. The pressure distribution within the thread can be obtained from the pressure function at standstill due to the superposition capability of the solutions of the pressure differential equation.

The flow through the seal at standstill is a Hele-Shaw-flow and therefore it is a problem of potential. The use of conformal representations allows the development of a more exact model for the pressure distribution in the thread than has been used hitherto for approximate methods to determine, for example, the sealable pressure difference.

An approximate method of this type is developed and its results are compared with the solutions of a finite element analysis for a large number of various thread geometries. — The finite element program structure and its use are also described. — After slight empirical corrections, the approximate method can be used in the whole technically interesting scope of the geometric parameters with negligibly small errors.