

Schraubenmaschinen Nr. 8/2000

Experimente und Simulation

Prof. Dr.-Ing. Knut Kauder

Inhalt

Experimentelle und numerische Untersuchung von Gasströmungen in einem ebenen Hauptrotor-Gehäusespaltmodell einer Schraubenmaschine	2
Einführungsstudie zur mathematischen Modellierung der Strömungen in Schraubenkompressoren	4
Ähnlichkeitsbetrachtung für Spaltströmungen im Vakuum	6
Temperaturverteilung in Rotoren von Schraubenkompressoren - Experimentelle Ergebnisse	8
Nasslaufende Schraubenkompressoren mit Saugrohreinspritzung - Zustandsänderung und Wärmeübergang	10
Experimentelle Untersuchung des Füllungsvorganges von Zweiphasen-Schraubenmotoren	12
Anhang	14

You will find the English title and abstract below the respective German section.

ISSN 0945-1870

Experimentelle und numerische Untersuchung von Gasströmungen in einem ebenen Hauptrotor-Gehäusespaltmodell einer Schraubenmaschine

- Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. L. de Araujo-Rudolph, Dipl.-Ing. R. Sachs
- erschienen: 2000
- in: Schraubenmaschinen Nr. 8 , Forschungsberichte des Fachgebiets Fluidenergiemaschinen, ISSN 0945-1870, S.5-16, Universität Dortmund, 2000
- Zusammenfassung: Sowohl die Energiewandlungsgüte als auch die Betriebssicherheit und das Betriebsverhalten von Rotationsverdrängermaschinen werden wesentlich durch die arbeitsraumbegrenzenden Spaltströmungen beeinflusst. Die Untersuchung der Spaltströmungen in Schraubenmaschinen werden sowohl mit Hilfe der numerischen Strömungssimulation, Computational Fluid Dynamics (CFD), als auch mit der experimentellen Strömungsvisualisierung durchgeführt. Die Strömungssichtbarmachung soll zunächst einen qualitativen Überblick über die Strömungsverhältnisse liefern und helfen, sie zu charakterisieren. Erste numerische Analysen von Gasströmungen in einem ebenen Hauptrotor-Gehäusespaltmodell einer Schraubenmaschine werden vorgestellt. Da diese komplexen, instationären Spaltströmungen in der Simulation bislang noch nicht hinreichend genau beschrieben worden sind, ist es wichtig, ausgewählte Details der errechneten Ergebnisse experimentell zu validieren. Die qualitative Übereinstimmung mit experimentellen Daten zeigt, daß CFD als effektives Werkzeug zur Spaltströmungsuntersuchung in Schraubenmaschinen nutzbar ist. Die vorliegende Arbeit soll ein weiterer Schritt hin zum besseren Verständnis fluidmechanischer Wirkungen in Schraubenmaschinen sein.
- Title: **Experimental and numerical investigation of the gas flow using a plane model of male rotor-housing gap in a screw-type machine**
- Abstract: The entire energy conversion as well as the operating reliability of positive displacement rotary machines is highly affected by leakage mass flows. Both computational fluid dynamics (CFD) and experimental flow visualisation are applied to investigate the gas flow in screw-type machines. The flow visualisation gives a qualitative overview about the

gas flow behaviour and it is useful in its characterisation. First numerical analyses using a planar model of gas flow in a male rotor-housing gap of a screw-type machine are presented. As those complex and unsteady clearance flows are not sufficiently described yet, it is important to validate the results with experimental data. It can be shown by the agreement with measurements that CFD is an effective tool to investigate clearance flows in screw-type machines. The present work shall be another step of a longer term aim to understand the fluid mechanical effects in screw-type machines.

Einführungsstudie zur mathematischen Modellierung der Strömungen in Schraubenkompressoren

- Autor(en): Doz. Dr. Dipl.-Ing. Jaromir Svigler, Dipl.-Ing. Jan Vimmr;
Lehrstuhl für Mechanik, Westböhmisches Universität Pilsen
- erschienen: 2000
- in: Schraubenmaschinen Nr. 8 , Forschungsberichte des
Fachgebiets Fluidenergiemaschinen, ISSN 0945-1870, S.17-
26, Universität Dortmund, 2000
- Zusammenfassung: Die schnelle Entwicklung der Schraubenmaschinen führt zur
Notwendigkeit einer Untersuchung der physikalischen
Vorgänge, die im Arbeitsraum und in den
arbeitsraumbegrenzenden Spalten der Schraubenmaschine
ablaufen. Diese Vorgänge beeinflussen nachhaltig das
Betriebsverhalten sowie die Energiewandlungsgüte, womit
deren Kenntnis und der Information über die Details eine
außerordentliche Bedeutung zukommt.
Einen Ausgangspunkt für die Analyse stellen die Kenntnisse
im Bereich der kompressiblen Fluide dar. Der Zustand kann
vor allem durch das Geschwindigkeits-, Druck-, und
Temperaturfeld beurteilt werden. Der Beitrag beschäftigt
sich mit der Problematik der Strömungsuntersuchungen des
Gases im Arbeitsraum der Schraubenmaschine und im
Gehäusespalt. Die Aufgabe wird dreidimensional behandelt
und auf eine Art und Weise formuliert, daß sie die
Voraussetzung für die Erstellung eines räumlichen Modells
und der damit gekoppelten mathematischen Lösung schafft.
Die Verfasser präsentieren eine geeignete, mathematische
Methode zur Lösung dieser komplizierten Probleme und
weisen ihre Anwendbarkeit auf den ebenen und auch auf den
räumlichen Fall nach. Die vorliegende Arbeit stellt eine
Einleitung in die äußerst komplizierte Problematik der
mathematischen Lösung der Fluidströmung in
Schraubenmaschinen dar.
- Title: **Introductory study to mathematics modelling of fluid flow in
the screw compressors**
- Abstract: A fast development of the screw machines leads to the
investigation of the physical processes, which take place in
the work space of the screw machine and in the gaps on its
boundary. These processes have a great influence on the
performance of the screw machine especially with regard its
efficiency, therefore its knowledge is very important.
It is necessary to turn our attention to the fluid dynamics of
the screw machines.

This paper deals with the preliminary analysis of the fluid flow in the screw machines. In this paper numerical computation of the compressible inviscid fluid flow in the work space of the screw machines and through the sealing gaps which are situated between the stator and the head of the female rotor tooth, is presented the mathematical model of two- and three dimensional inviscid compressible flow is described by the conservative system of the Euler equations. This problem was solved by the cell - centred finite volume method on a structured quadrilateral mesh.

Ähnlichkeitsbetrachtung für Spaltströmungen im Vakuum

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. D. Wenderott
erschienen: 2000
in: Schraubenmaschinen Nr. 8, Forschungsberichte des Fachgebiets Fluidenergiemaschinen, ISSN 0945-1870, S. 27-34, Universität Dortmund, 2000

Zusammenfassung: Die qualitativen Strömungsformen durch Spalte im Vakuum reichen von der viskosen bis zur molekularen Strömung. Die Art der Strömungsform stellt sich dabei stets als eine Funktion des Zusammenspiels von physikalischen Fluidparametern und geometrischen Parametern des Spaltes ein.

Die Charakteristiken dieser Strömungsformen sind gänzlich unterschiedlich. Für die Ähnlichkeitsbetrachtungen in den jeweiligen Strömungsformen ergeben sich somit auch verschiedene Kennzahlen zur Beschreibung ähnlicher Strömungszustände.

Die hier vorgestellte Untersuchung bezieht sich auf den Arbeitsbereich von trockenlaufenden Rotationsverdrängermaschinen. Für die hier üblichen Spalthöhen werden die Kennzahlen Reynoldszahl Re (viskose Strömung) und die Knudsenzahl Kn (molekulare Strömung) auf ihre Eignung zur Betrachtung der Ähnlichkeit von Strömungen durch Spalte im Vakuum untersucht. Das Ergebnis ist, die Charakterisierung des Übergangs der Kontinuumsströmung zur Molekularströmung kann sowohl durch die Knudsen- wie auch durch die Reynoldszahl als geeignete Ordnungszahlen für die physikalische Ähnlichkeit erfolgen.

Title: **Contemplation of similarity for flows through clearances in vacuum**

Abstract: The qualitative types of flow cover the viscous state of flow and the molecular state of flow. The type of flow depends on the cooperation of the physical variables of state of the fluid and the geometrical parameters of the clearance. The characteristics of these types of flow are entirely different. For the contemplation of similarity in the different types of flow you can find different classification numbers in order to describe similar conditions of flow. This research refers to the area of operations of dry-running rotary positiv-displacement pumps. For the ordinary heights of clearances the classification-numbers Knudsen number Kn and Reynolds number Re are proofed on their

qualification in order to contemplate the similarity of flows through the clearances in vacuum.

The result of this research is, that the characterization of the transition from the viscous to the molecular flow can be done both with the Knudsen and the Reynolds number as a proper ordinal number.

Temperaturverteilung in Rotoren von Schraubenkompressoren - Experimentelle Ergebnisse

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. M. Janicki
erschienen: 2000
in: Schraubenmaschinen Nr.8, Forschungsberichte des Fachgebiets Fluidenergiemaschinen, ISSN 0945-1870, S. 35-46, Universität Dortmund, 2000

Zusammenfassung: Das thermische Verhalten der Schraubenrotoren beeinflusst signifikant die Energiewandlungsgüte und die Betriebssicherheit von Schraubenkompressoren. Eine genauere Kenntnis der Temperaturverteilung in Abhängigkeit von den Betriebsparametern ermöglicht die energetisch optimale Auslegung der arbeitsraumbegrenzenden Spalte unter Berücksichtigung der Betriebssicherheit.

Am Beispiel eines trockenlaufenden Schraubenkompressors werden mit Hilfe einer Rotortelemetrie an jeweils acht Punkten innerhalb der Rotoren die Bauteiltemperaturen während des Betriebs gemessen. Dies ermöglicht die Beurteilung des stationären Betriebsverhalten bei Variation des Druckverhältnisses und der Drehzahl.

Die örtliche Temperaturverteilung liefert spezifische Ergebnisse für den Haupt- und Nebenrotor. Diese sind abhängig vom Druck und der Drehzahl bei gegebener Maschinengeometrie. Eine Untersuchung der Temperaturverhältnisse zwischen Gasaustritt und Rotor in Abhängigkeit vom Druckverhältnis bietet einen weiteren Ansatz für die sichere Auslegung der Maschine.

Title: **Temperature distribution in rotors of screw compressors - Experimental results**

Abstract: The thermal behaviour of the screw rotors significantly influences significantly the efficiency and the working reliability of screw compressors. An exact knowledge of the temperature distribution depending on the working conditions facilitates an energetic optimum design of the clearances between the machine components with respect to the working reliability.

Inside each rotor the rotor-temperatures of an exemplary dry-running screw compressor are measured under working conditions at eight points inside each rotor by a telemetric system. This allows the estimation of the steady behaviour of the machine at different variations on rotation speed and pressure ratio.

The local temperature distributions provide specific results for both, the male and the female rotor, both depending on the pressure and the rotation speed of a given machine geometry. An analysis of the ratio between outlet-temperature and rotor-temperature related to the pressure ratio provides an additional approach to the save design of screw machines.

Nasslaufende Schraubenkompressoren mit Saugrohreinspritzung - Zustandsänderung und Wärmeübergang

- Autor(en): Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Laurenz Rinder, Technische Universität Wien, Univ. Ass. Dipl. Ing. Klaus Hammerl, Technische Universität Wien
- erschienen: 2000
- in: Schraubenmaschinen Nr. 8, Forschungsberichte des Fachgebiets Fluidenergiemaschinen, ISSN 0945-1870, S. 47-57, Universität Dortmund, 2000
- Zusammenfassung: Es wird über Forschungsergebnisse im Hinblick auf die konstruktiv veränderte Öleinspritzung bei naßlaufenden Schraubenkompressoren berichtet. Hintergrund der Untersuchungen ist die Tatsache, daß der Wärmetransport als wichtige thermodynamische Funktion des Einspritzöles im Schraubenverdichter bei herkömmlicher Einspritzung nur sehr unvollkommen erreicht wird. Die hier erprobte Zuführung des Kühlöles erfolgt mittels Einspritzdüsen in den Ansaugtrakt des Verdichters. Ziel der ausgeführten Untersuchungen ist die theoretische und experimentelle Verifizierung wichtiger Verdichterkenngrößen im Vergleich zur konventionellen Einspritzung. Die Art und Weise der modifizierten Kühlöleinbringung bewirkt folgende zwei Effekte: Einerseits die Verlängerung der Kontaktzeit und andererseits die Vergrößerung der Kühlmitteloberfläche. Die daraus resultierenden Vor- und Nachteile werden eingehend betrachtet und diskutiert.
- Title: Wet running screw compressors with suction port injection - change of state and heat transfer
- Abstract: The paper presents recent research results with a modified oil injection system for wet running screw compressors. Background of the investigations is the fact, that the heat transfer as an important thermodynamic function of the injected oil is only achieved imperfectly in the screw compressor working process. The modified supply of cooling oil is given through injection nozzles into the suction port of the compressor. Aim of the performed studies is theoretical and experimental verification of main compressor characteristics in comparison to the conventional injection. Type and manner of the modified kind of injection causes the following two effects: On one hand the extension of contact time between the two media and on the other hand

the enlargement of the surface of the coolant. The resulting advantages and disadvantages are being considered and discussed in detail.

Experimentelle Untersuchung des Füllungsvorganges von Zweiphasen-Schraubenmotoren

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. B. Kliem
erschienen: 2000
in: Schraubenmaschinen Nr. 8, Forschungsberichte des Fachgebiets Fluidenergiemaschinen, ISSN 0945-1870, S. 58-68, Universität Dortmund, 2000

Zusammenfassung: Der Zweiphasen-Schraubenmotor besitzt als Expansionsmaschine in Trilateral-Flash-Cycle-Prozessen zur Nutzung von Abwärme mit niedriger Temperatur deutliche Vorteile, da dieser Maschinentyp in der Lage ist, Arbeitsfluide mit einem hohen Flüssigkeitsanteil zu expandieren. Die Zweiphasenströmung im Einlaßbereich des Schraubenmotors hat aufgrund ihrer geringen kritischen Geschwindigkeit und der damit verbundenen blockierten Strömung einen signifikanten Einfluß auf die Füllung der Arbeitskammer und die Energiewandlungsgüte des Motors. Ein Füllungssystem mit rotierenden Kurzdüsen läßt eine verbesserte Füllung des Zweiphasen-Schraubenmotors erwarten, da es erst in den Arbeitskammern zur Flashverdampfung kommt. Die Flashverdampfung des überhitzten Flüssigkeitsfreistrahles wird mit Hilfe eines Versuchsstandes zur Visualisierung unabhängig vom Schraubenmotor untersucht. Der Kegelwinkel des zerstäubenden Freistrahls wird zur Beurteilung der Flashverdampfungsintensität herangezogen. Ab einer Überhitzung von ca. 10 K setzt die Zerstäubung des Freistrahles unmittelbar am Düsenaustritt ein. Oberhalb einer Überhitzung von 27 K ist eine "explosionsartige" Zerstäubung zu beobachten. Basierend auf diesen Untersuchungen kann ein angepasstes Füllungssystem ausgelegt werden.

Title: **Experimental investigation of the filling process of a two-phase screw-type engine**

Abstract: The two-phase screw-type engine presents itself as a expansion engine in a trilateral-flash-cycle to use waste heat in the lower temperature range, because this displacement engine is able to expand working fluids with a high proportion of liquid. Due to the low critical velocity and the blocking flow, the two-phase flow in the inlet port of the screw-type engine has a great influence on the quality of energy transformation. A novel filling system with rotating

short nozzels is presented. Less dissipation during the filling process is expected by this system, because the flash evaporation of the fluid will occur in the working chamber and not in the inlet port of the screw-type engine.

A flash evaporation test rig was installed. The evaporation of the unsteady liquid jet is recorded by a video camera and a Xenon flash lamp. The cone angle of the atomized liquid jet is a gauge for the intensity of the flash evaporation. Attains the superheat 10 K, flash evaporation emerges. Above 27 K superheat the out-flow occurs in a "explosion-like" regime. Based on this investigations it is possible to design an adapted inlet system.

Anhang

- Energiewandlungsprinzip der Schraubenmaschine (Screw type machine working principle)
- Sachindex Schraubenmaschinen Heft 1/1993 bis Heft 8/2000