

Schraubenmaschinen Nr. 3/1995

Finite-Elemente-Anwendungen und Konstruktionsparameter

Prof. Dr.-Ing. Knut Kauder

Inhalt

Wärmeübergangsrandbedingungen für Schraubenmaschinen	2
Vergleich von gerechneten und gemessenen Gehäusetemperaturen von trockenlaufenden Schraubenkompressoren - Ein Beitrag zur Betriebssicherheit-Teil 2.....	4
Profileingriffspaltberechnung für betriebswarme Schraubenkompressoren.....	5
Dynamische Analyse und Optimierung von Schraubenkompressoren - Teil 1	6
Untersuchung zur konstruktiven Verbesserung der Öleinspritzung in Schraubenkompressoren	7
Verformungsverhalten von Wälzlagern in Schraubenmaschinen	9
Anhang	10

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

ISSN 0945-1870

Wärmeübergangsrandbedingungen für Schraubenmaschinen

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. G. Keller
erschienen: 1995
in: Schraubenmaschinen Nr.3, S. 5 bis 19, Universitätsdruckerei Dortmund

Zusammenfassung: Die realitätsnahe Berechnung der Bauteilverformungen von Schraubenmaschinen setzt die Kenntniss der mechanischen und thermischen Maschinenbelastungen voraus. Nachfolgend werden Wärmeübergangsrandbedingungen für die Finite-Elemente Temperaturfeldrechnungen formuliert, die neben den Betriebsparametern alle wesentlichen geometrischen und thermodynamischen Maschineneinflüsse einbeziehen. Für den Wärmeübergang wird berücksichtigt:

- die Konvektion im Arbeitsraum,
- der Wärmeübergang in der Spaltströmung,
- frei wählbare Stoffwerte, temperatur- und druckabhängig,
- der Einfluß der Wärmestrahlung,
- die natürliche und die erzwungene Gehäusekonvektion,
- die Verwendung von Kühlrippen, Kühlbohrungen sowie
- die Wirkung von Wärmedämmschichten auf den Schraubenrotoren der Heißgasschraubenmaschine.

Vereinfachungen sind überall da zu finden, wo entweder die Fehler akzeptabel erscheinen, oder, wie bei der Formulierung der Nußelt-Zahl, die Strömungsverhältnisse im Arbeitsraum der Schraubenmaschine noch weitgehend ungeklärt sind.

Title: **Heat transfer boundary conditions for screw-type machines**

Abstract: To calculate nearly realistic displacement-fields of machine parts of a screw-type machine, it is important to know the mechanical and thermal loading very well.

This paper describes thermal boundary conditions needed for computing temperature distribution using the finite-element method. Besides the operating parameters, all

essential geometrical and thermodynamical influences are considered, for instance:

- forced convection in the working chamber,
- heat transfer in the clearance flow,
- eligible physical properties of the fluid, as a function of temperature and pressure,
- influence of heat radiation,
- natural and forced convection of the screw-type casing
- simplified calculation of heat transfer over cooling ribs and bores,
- influence of thermal barrier coatings put on the rotor of a hot-gas screw-type engine.

The reader will find simplifications either if the inaccuracies seem to accept or, like at the calculation of the Nußelt-number, the flow conditions in the working chamber of the screw-type machine are far-reaching unclear.

Vergleich von gerechneten und gemessenen Gehäusetemperaturen von trockenlaufenden Schraubenkompressoren - Ein Beitrag zur Betriebssicherheit-Teil 2

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. K. Rofall
in: Schraubenmaschinen Nr.3, S. 20 bis 35,
Universitätsdruckerei Dortmund

Zusammenfassung: Der Einsatz eines Programmsystems zur Simulation des Betriebsverhaltens trockenlaufender Schraubenmaschinen, insbesondere die Anwendung zur Untersuchung der Betriebssicherheit, ist entscheidend von seiner Abbildungsgüte abhängig. Diese läßt sich nur durch den Vergleich von errechneten und gemessenen Daten überprüfen. Hierzu werden experimentelle Untersuchungen an einem Schraubenkompressorversuchsstand durchgeführt. Erste Ergebnisse dieser Arbeiten werden vorgestellt. Sie betreffen den Vergleich einer gemessenen mit einer berechneten Oberflächentemperaturverteilung des Gehäuses. Die untersuchten Abweichungen der mit dem Simulationssystem berechneten von den mit einem Thermografiesystem sowie Messwiderständen erfaßten Oberflächentemperaturen sind akzeptabel. Die Übereinstimmung der Temperaturverteilung hinsichtlich der qualitativen Verläufe ist als gut zu bezeichnen.

Title: **Comparison of calculated and measured casing temperatures of dry running screw-type-compressors concerning working reliability-Part 2**

Abstract: The applicability of a computer program system for the simulation of dry running screw -type- compressors, especially its use for examination of working reliability, extensively depends on its fidelity in regard to real machine behaviour. To prove this, calculated values have to be compared with measured values. Experimental investigations at a screw-type test equipment are made. First research results are shown here. They concern a comparison of a measured and a calculated temperature field of the surface of the casing. For investigations, precision resistances for measurement purposes and an infrared scanner are used. The tolerances between calculated and measured temperatures are acceptable. Correlation regarding the shape of temperature fields can be judged as good.

Profileingriffspaltberechnung für betriebswarme Schraubenkompressoren

- Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. T. Dreifert
erschienen: 1995
in: Schraubenmaschinen Nr. 3, S. 36-50, ISSN 0945-1870, Universitätsdruckerei Dortmund
- Zusammenfassung: Der vorgelegte Beitrag zeigt für zwei unterschiedliche Rotorpaare, wie die Geometrie des Profileingriffsspaltess trockenlaufender Schraubenkompressoren in einem stationären Betriebspunkt berechnet werden kann. Dabei werden alle wesentlichen thermischen- und mechanischen Einflußgrößen berücksichtigt. Aus den Ergebnissen werden erste konstruktive Überlegungen abgeleitet.
- Title: **Calculation of rotor clearance for operating screw-compressors**
- Abstract: This report describes for two different pairs of rotors, how the rotor clearance of dry-running screw-compressors in steady state operation can be calculated. For this calculation all significant thermal and mechanical loads are taken into account. The results lead to some design considerations.

Dynamische Analyse und Optimierung von Schraubenkompressoren - Teil 1

- Autor(en): Prof. Dr.-Ing. Josef Rosenberg, Prof. Dr.-Ing. Vladimir Zeman, Dr.-Ing. Petr Markov, Dr.-Ing. Jan Dupal, Faculty of Applied Science, University of West Bohemia in Pilsen
- erschienen: 1995
- in: Schraubenmaschinen Nr.3, S. 51 bis 64, Universitätsdruckerei Dortmund
- Zusammenfassung: Der Beitrag gibt eine Zusammenfassung der ersten Ergebnisse, die auf dem Gebiet der dynamischen Analyse und Optimierung der Schraubenmaschinen mit Hilfe der Finite Elemente Methode (FEM) im Rahmen des gemeinsamen Forschungsprojekts zwischen der Westböhmisches Universität Pilsen und der Universität Dortmund erzielt wurden, vor. Verglichen wird die Standard 3D-FEM, für die das Programmpaket SYSTUS verwendet wurde, mit der speziell im Rahmen dieses Projekts entwickelten 1D-FEM. Es wird zuerst die Modalanalyse für die einzelnen Glieder und dann für das Gesamtsystem durchgeführt. Als Ergebnis erhält man die erregten Schwingungen des Systems, die von den Druckpulsationen verursacht werden. Es wird gezeigt, wie die entsprechenden Profilverschiebungen in einem beliebigen Stirnschnitt entstehen. Die Optimierung wird im 2. Teil des Beitrages erscheinen.
- Title: **Dynamical Analysis and Optimisation of Screw-type compressor - Part 1**
- Abstract: The paper presents the first results of the co-operation between the University of West Bohemia Pilsen and the University of Dortmund in the field of the FEM-Analysis and optimisation of the screw-type compressor. The standard 3D-FEM using SYSTUS-package is compared to the 1D-FEM, which was specially developed in this project. Both methods were used for the modal analysis of rotors at first and then for the whole system. The main result are the excited vibrations of the system, where the excitation is caused by the pulsation of the compression pressure. The authors show how to get the corresponding profile displacement in the arbitrary cross section. The optimisation will be dealt with in part 2 of this paper.

Untersuchung zur konstruktiven Verbesserung der Öleinspritzung in Schraubenkompressoren

- Autor(en): o. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Laurenz Rinder, Dipl.-Ing. M. Knittl-Frank
- erschienen: 1995
- in: Schraubenmaschinen Nr. 3, S. 65-74, ISSN 0945-1870, Universitätsdruckerei Dortmund
- Zusammenfassung: Schraubenmaschinen sind heute in bezug auf Läufergeometrie und Fertigungsgenauigkeit sehr gut konzipiert. Wesentliche Verbesserungen des Wirkungsgrades der Maschinen durch weitere Optimierung der oben genannten Parameter können daher nicht mehr erwartet werden.
- Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, daß bei den einspritzgekühlten bzw. -geschmierten Schraubenmaschinen die Flüssigkeitsverteilung in der Maschine thermodynamisch nicht zufriedenstellend ist. Das heißt, eine angestrebte isotherme Zustandsänderung des Fluids wird bei weitem nicht erreicht.
- Die Einspritzung des Öles in die Arbeitsräume der Schraubenmaschine erfolgt bei den heute eingesetzten Maschinen fast ausschließlich durch wenige, meist zwei Einspritzbohrungen (eine in der Hauptläufergehäusebohrung und eine zweite in der Nebenläufergehäusebohrung) im Bereich des mittleren bis oberen Verdichtungsgebietes. Das entspricht in der Regel etwa 2/3 der Läuferlänge von der Ansaugseite aus gesehen.
- Ungünstige Ölverteilung und ein damit negativ beeinflusster Wirkungsgrad sind durch zahlreiche Untersuchungen belegt. Wegen der komplizierten Strömungsverhältnisse in den Schraubenmaschinen ist man hauptsächlich auf experimentelle Untersuchungen angewiesen, wenn man eine konstruktiv verbesserte Öleinspritzung erreichen möchte.
- Title: **Investigations for an improved design of oil injection in screw compressors**
- Abstract: Concerning the geometry of the rotors and the production accuracy screw machines are very well outlined. By further optimisation of above-mentioned parameters substantial improvements of the efficiency of the machines cannot be expected.
- Numerous scientific investigations show that injection-cooled resp. -lubricated screw machines do not have a thermodynamically satisfying liquid distribution in the

machine. That means desired isothermic changes of state of the fluid are not achieved.

The today established machines inject the oil into the working areas of the screw machines nearly exclusively through a few in most cases through two injection holes (one in the male rotor housing; and a second in the female rotor housing) in the area of the middle to the upper compression area. Usually this is equivalent to $2/3$ of the rotor length seen from the suction side.

Bad oil distribution and therefore negatively influenced efficiency are proved by numerous scientific studies. Concerning the complexity of the flow characteristics in screw machines one depends mainly on experimental investigations to achieve an improved design of oilinjection.

Verformungsverhalten von Wälzlagern in Schraubenmaschinen

Autor(en): Dirk Zimmermann

erschienen: 1995

in: Schraubenmaschinen Nr.3, S. 75 bis 79,
Universitätsdruckerei Dortmund

Zusammenfassung: Das elastische Verformungsverhalten der Wälzlager beeinflusst die in der Maschine auftretenden Spalte zwischen Rotoren und Gehäuse. In diesem Artikel werden Gleichungen zur Berechnung der radialen und axialen Verschiebung von zwei Standard-Lagertypen, den einreihigen Rillenkugel- und den Zylinderrollenlagern vorgestellt. Die Zusammenhänge zwischen Lagerbelastung und der resultierenden elastischen Verschiebung basieren auf der Hertz'schen Kontaktspannungstheorie. Es wird auf die Problematik der Bestimmung des Lagerverhaltens unter Berücksichtigung des Lagerspiels eingegangen. Beispielhaft werden zwei Wälzlagertypen, ein Rillenkugel- und ein Zylinderrollenlager, berechnet und deren Federungsweg bzw. Federsteifigkeit dargestellt. Desweiteren werden Möglichkeiten vorgestellt, die gewonnenen Ergebnisse in einer Finiten-Elemente Simulationsrechnung einzubinden.

Title: **Displacement of Rolling-Contact Bearings In Screw-Type Machines**

Abstract: The clearances between rotors and casing of a screw-type machine are influenced by the elastical displacement of the employed rolling-contact bearings. In this article equations for the calculation of the axial and radial deformations of two standard types of rolling-contact bearings, a ball and a cylindrical rolling-contact bearing, both single lined, will be presented. Dependencies of the bearing's load and the resultant elastical displacement based on the theory of Hertz will be given. The problems in calculating the behaviour of the bearings including their radial slackness will be discussed. For two examples displacement and spring stiffness versus load are calculated. Furthermore possibilities to include bearing reaction in finite-elements simulations of screw type machines are discussed.

Anhang

- Arbeitsweise der Schraubenmaschine (Screw type machine working principle)
- Funktion des Schraubenkompressors (Screw type compressor operation cycle)
- Funktion des Schraubenmotors (Screw type motor operation cycle)
- Funktion der Heißgasschraubenmaschine (Hot-gas screw type device working principle)
- Arbeitsraumbegrenzende Spalte (Clearances)