

Schraubenmaschinen Nr. 7/1999

Mechanik, Verbundwerkstoffe und Betriebsverhalten

Prof. Dr.-Ing. Knut Kauder

Inhalt

Verbundwerkstoffe im Schraubenmaschinenbau	2
Einlaufschichten in Schraubenmaschinen	4
Öl als Konstruktionselement in Schraubenmaschinen - Teil 2 - Verifikation des Modells	6
Druckgrenzen bei ölgekühlten Schraubenkompressoren für Luft	8
Verzahnungsgeometrie und möglicher Vorzeichenwechsel beim Drehmoment und Achsschub am Nebenrotor von Schraubenmaschinen	10
Empfindlichkeitsanalyse der Eigenfrequenz und Trimmung von Schraubenkompressoren	12
Gasspaltströmungen an einem ebenen Schraubenmaschinenmodell - Teil 3	13
Anhang	14

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

ISSN 0945-1870

Verbundwerkstoffe im Schraubenmaschinenbau

- Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. M. Helpertz
erschienen: 1999
in: Schraubenmaschinen Nr. 7, S. 5-21, ISSN 0945-1870, Universität Dortmund, 1999
- Zusammenfassung: Durch die Beschichtung des Arbeitsraums von Schraubenmaschinen mit den Verfahren des atmosphärischen Plasmaspritzens (APS) und des physical vapour deposition (PVD) werden zwei Ziele verfolgt. Zum einen ist dies der Verzicht auf das Synchronisationsgetriebe bei Trockenlauf und bei Wassereinspritzung, indem die auftretenden Drehmomente durch verschleißbeständige Schichten direkt von den Rotorflanken übertragen werden. Zum anderen lassen sich durch kontrolliert abtragbare Einlaufschichten die Spalte in Schraubenmaschinen reduzieren und die Betriebssicherheit erhöhen, da Berührungen bewegter Maschinenelemente nicht zwangsläufig zum Versagen der Maschine führen. Der Schwerpunkt dieses Beitrages liegt auf der Darstellung der Verschleißschutzproblematik und zwar ausgehend von theoretischen Berechnungen zur Werkstoffbeanspruchung über vereinfachte Modellversuche bis hin zu realen Maschinenversuchen mit beschichteten Rotoren aus CrxN, WC/C und Cr2O3, die günstige Teilergebnisse liefern. Die Verschleißmechanismen des Systems APS-Cr2O3 auf Stahl werden vergleichend für Trockenlauf und Wasserbenetzung diskutiert.
- Title: **Composites for the construction of twin-screw machines**
Abstract: By the coating of twin-screw machines with the procedures of atmospheric plasmaspraying (APS) and physical vapour deposition (PVD) two targets are pursued. On the one hand this is the renouncement of the synchronizing gear during unlubricated operation and during water injection, as the occurring torques will be transferred directly by the rotor flanks coated with wear-resistant layers. On the other hand the clearances in twin-screw machines can be reduced by abradable coatings and the working reliability increases, since contacts of moved mechanical components do not lead inevitably to the failure of the machine. The emphasis of this article is situated on the representation of problems on the basis of theoretical calculations to the tribological demand over simplified samples up to realistic machine tests with rotors coated by

Cr_xN, WC/C and Cr₂O₃, which supply favorable results. The wear mechanisms of the system APS-Cr₂O₃ on steel is comparatively discussed for dry operation and for water lubricated operation.

Einlaufschichten in Schraubenmaschinen

- Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Prof. Dr.-Ing. F.-W. Bach, Dipl.-Ing. W. Unterberg
- erschienen: 1999
- in: Schraubenmaschinen Nr. 7, Forschungsberichte des Fachgebiets Fluidenergiemaschinen, ISSN 0945-1870, S. 22-28, Universität Dortmund, 1999
- Zusammenfassung: Im vorliegenden Beitrag wird über neue Forschungsergebnisse im Hinblick auf Einlauf- bzw. Korrosionsschutzschichten für den Einsatz in Rotationsverdrängermaschinen berichtet, wobei das Ziel der hier beschriebenen Untersuchungen in der Herstellung und Prüfung des hergestellten Werkstoffverbundes liegt. Um das Betriebsverhalten und die Betriebssicherheit von Schraubenmaschinen weiter verbessern zu können, als auch geometrieerhaltende Reparaturbeschichtungen an Schraubenmaschinengehäusen durchzuführen, werden in einem ersten Schritt mit Hilfe des atmosphärischen Plasmaspritzens (APS) verschiedenartige Schichtsysteme auf Probekörper aufgebracht. Dabei kommen ein konventioneller APS-Brenner für die Rotorbeschichtung und ein Innenbrenner für das Beschichten der Gehäuse zur Anwendung. Als Werkstoff für die Einlaufbeschichtungen wird ZrO₂Y₂O₃ verwendet, als Haftvermittler- bzw. Korrosionsschutzschicht dient NiCrAl. Ausgehend von umfangreichen Parameterstudien für die Verarbeitbarkeit der eingesetzten Pulver beschäftigt sich ein weiterer Schwerpunkt mit den Spritzabstandsuntersuchungen, um die gewünschte Schichtporosität einzustellen und damit verbunden die Einlauffähigkeit der Schicht zu gewährleisten. Zudem werden an hergestellten Werkstoffverbunden anwendungsangepaßte Korrosionsuntersuchungen an Probekörpern durchgeführt.
- Title: **Run-in coatings for twin-screw machines**
- Abstract: In this paper new results of research regarding the efforts of run-in-coatings and corrosion resistant coatings for machines of the displacement type are described. The aim of the investigations are the development and testing of the new coating systems. In order to improve the reliability and operational behaviour of screw-type machines and to repair their machine's casing the procedure of atmospheric plasma spraying was used.

The coatings developed for the rotors were deposited by a conventional plasma torch, while the coatings provided for the inside of the casing were deposited by the additional use of an internal torch. In both cases coating systems were manufactured, which consist of a NiCrAl bond coat and a ceramic top coat (7% yttria stabilized zirconia).

In a first step parameter investigations concerning different powders were carried out. After this the coatings were applied to various substrate materials with different spraying distances in order to achieve a porous structure of the top coating. This porous structure turned out to be necessary for good run-in-properties. Furthermore corrosion testings of these coating systems were made.

Öl als Konstruktionselement in Schraubenmaschinen - Teil 2 - Verifikation des Modells

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. R. Deipenwisch
erschienen: 1999
in: Schraubenmaschinen, Forschungsberichte des Fachgebiets Fluidenergiemaschinen Nr. 7, ISSN 0945-1870, S. 29-38, Universität Dortmund, 1999

Zusammenfassung: Das in dem ersten Teil dieses Beitrags in Heft 6 beschriebene Modell zur Berechnung der hydraulischen Verluste in der nasslaufenden Schraubenmaschine liefert Ansätze, um das Öl schon bei der Auslegung der Schraubenkompressoren als Konstruktionselement mit einzubeziehen.
Mit einem verbesserten Rechenmodell soll die Voraussetzung geschaffen werden, die Ölwirkung auf die Energiewandlungsgüte zu beschreiben und Auslegungskriterien für das einzusetzende Öl in flüssigkeitseingespritzten Schraubenkompressoren zu formulieren. Zur Verifikation des Modells dienen auch Messungen der Verlustleistungen an einem Modellrotorversuchsstand, in dem die hydraulischen Verluste speziell im Gehäusespalt und in den Stirnspalten ohne Druckeinfluss gemessen werden können. Einen weiteren Ansatzpunkt zur Verbesserung der Modellierung bilden die Spalthöhen. Bisher wurden Kaltspalthöhen in die Berechnung eingesetzt. Spalthöhenmessungen der Gehäusespalte während des Betriebs verbessern die Ergebnisse der Modellrechnungen. Die Abhängigkeiten der Gehäusespalthöhen an Haupt- und Nebenrotor von den Betriebsparametern Drehzahl, Druck und Ölvolumenstrom sind dargestellt.

Title: **Oil as a design parameter in screw-type engines - Part 2 - Verification of the model**

Abstract: The effects of oil in the working chamber of screw compressors, especially the oil distribution and the power losses are the subject of this paper. Results of the determination of power losses from two different test stands and a model for the calculation of the power losses caused by the oil in the working chamber are presented. This model includes a theoretical analysis of the different mechanisms of the oil on the power losses. Experiments using a model rotor test stand lead to a determination of the friction losses and losses associated with the acceleration

of the oil in the clearances. Investigations with different oils and operating conditions deliver a further verification of the calculation model. To improve the quality of the model, the clearances of a running screw compressor were measured.

Druckgrenzen bei ölgekühlten Schraubenkompressoren für Luft

- Autor(en): o. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Laurenz Rinder, Technische Universität Wien
- erschienen: 1999
- in: Schraubenmaschinen Nr. 7, S. 39-48, ISSN 0945-1870, Universität Dortmund, 1999
- Zusammenfassung: Die Druckgrenzen von einstufigen einspritz-ölgekühlten Schraubenkompressoren werden in erster Linie durch die Druckdifferenz zwischen Ansaug- und Verdichtungsenddruck bestimmt. Beim Kolbenkompressor bestimmt das Druckverhältnis den Enddruck einer Stufe. Aus diesem Grund sind vielstufige HD-Schraubenkompressoren vielstufigen Kolbenkompressoren für Drücke über 40bar unterlegen. Nur ein- und zweistufige Schraubenkompressoren mit Öleinspritzung sind für Drücke bis etwa 30 bar vorteilhaft einsetzbar. Für höhere Drücke bieten sich Verbundanlagen aus Schrauben- und Kolbenkompressoren an.
- Der Stufenenddruck einer Schraubenstufe wird im allgemeinen nicht durch die Rotordurchbiegung sondern durch die Lagerbeanspruchung der Wälzlager, aber auch auf Grund des unvollkommenen Kühleffekts des Einspritzöls und eines möglichen Kondensatausfalls im Abscheider begrenzt.
- Title: **Pressure limits of oil-injected screw compressors for air**
- Abstract: For single stage oil-injected screw compressors the pressure difference between inlet pressure and discharge pressure determines the discharge-pressure-limit. For piston compressors the pressure ratio determines the maximum discharge pressure. For this reason high pressure multistage reciprocating compressors are superior to multistage screw compressors. Only single stage or two stage screw compressors with oil injection in the pressure range up to 30 bar can be used with benefit. For higher pressures a combination consisting of a screw compressor and a multistage piston compressor is suitable.
- The maximum discharge pressure of a screw compressor usually is not limited by the bending deformation of the rotors but by the load and the bearing life of the roller- or ball bearings for the axial rotor-forces and by the incomplete

cooling effect of the oil and by the possibility of drop out of condensate in the oil separator.

Verzahnungsgeometrie und möglicher Vorzeichenwechsel beim Drehmoment und Achsschub am Nebenrotor von Schraubenmaschinen

- Autor(en): o. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Laurenz Rinder, Technische Universität Wien, Dipl.-Ing. Dr. techn. Manfred Grafinger, Technische Universität Wien
- erschienen: 1999
- in: Schraubenmaschinen Nr. 7, S. 49-60, ISSN 0945-1870, Universität Dortmund, 1999
- Zusammenfassung: Bei Schraubenkompressoren mit Antrieb am Hauptrotor (HR) ist eine Beurteilung des Drehmomentenverlaufes am Nebenrotor (NR) bereits in der Entwurfsphase besonders wichtig. Wenn das NR-Drehmoment im Laufe einer Umdrehung das Vorzeichen wechselt, so entsteht ein unerwünschtes Klappern des Nebenrotors, was zu einer erhöhten Lärmentwicklung und Materialbelastung führen kann.
Es wurde ein allgemeines Scheibenmodell für das Rotorpaar von Schraubenkompressoren aufgestellt und dieses mit dem polytrop errechneten oder einem vorgegebenen Druck in den Zahnlücken belastet. Dazu wurde ein Computerprogramm entwickelt, welches in Abhängigkeit des HR-Drehwinkels aus dem Zahnlückenvolumen den Druck in den Zahnlücken errechnet, das Scheibenmodell mit diesem Druck beaufschlagt, die Scheiben und Zahnlücken einander überlagert und daraus die Auflagerkräfte und Rotordrehmomente errechnet.
Die Berechnungen mit diesem Programm haben gezeigt, daß bereits sehr geringe Änderungen in der Stirngeometrie der Rotoren einen sehr großen Einfluß auf den Verlauf des Drehmomentes am NR haben. Änderungen am Verschraubungsparameter wirken sich nicht so stark auf das NR-Moment aus. Die Axialkräfte entstehen hauptsächlich durch den Druck auf die Rotorstirnflächen und werden nur zu einem geringen Teil von der Verschraubung verursacht. Die Gefahr eines Vorzeichenwechsels bei der Axialkraft am NR ist demnach nicht so groß wie beim Drehmoment.
- Title: **Gear tooth geometry and possibility of sign changes of the rotor torque and axial force at the female rotor of screw compressors**
- Abstract: For male rotor driven screw compressors it is very important to know about the graph of the torque at the female rotor

just in the design phase. If the female rotor torque changes the sign during one revolution a rattling of the female rotor is actuated which causes higher acoustic emissions and material stress.

A universal disc model for the rotor-pair of screw compressors was created and loaded with the polytropic calculated or with a pre-given pressure in the tooth gaps. Therefore a computer program was developed which, depending on the male rotor rotation angle, calculates the tooth gap pressure from the tooth gap volume, loads the disc model with this pressure, superposes the rotor discs and the tooth gaps and calculates the bearing forces and the rotor torques.

The calculations with this program have shown that even a very little change at the end face rotor geometry has a very high influence on the graph of the female rotor torque. Changes at the helicoid parameter do not have such a high influence on the rotor torque. The axial bearing forces are mainly caused by the pressure on the rotor end faces, only a little component comes from the helicoid. The risk of sign changes at the female rotor axial force is not so high as at the rotor torque.

Empfindlichkeitsanalyse der Eigenfrequenz und Trimmung von Schraubenkompressoren

- Autor(en): Prof. Dr.-Ing. Josef Rosenberg, Prof. Dr.-Ing. Vladimir Zeman, Ing. Ludik Kovar und Ing. Miloslav Pasek, Westböhmisches Universität Pilsen
- erschienen: 1999
- in: Schraubenmaschinen Nr. 7, S. 61-68, ISSN 0945-1870, Universität Dortmund, 1999
- Zusammenfassung: Im vorliegenden Beitrag wird eine Methode zur Verbesserung der dynamischen Eigenschaften der Schraubenrotoren dargestellt und an einem konkreten Beispiel demonstriert. Die vorhergehenden Arbeiten beschäftigen sich mit der dynamischen Analyse und ihrer Verifikation. Die Verfasser möchten in naher Zukunft die Ergebnisse der Trimmung durch eine genauere Berechnung verifizieren und die entwickelte Methode auch für andere Arten von Schraubenmaschinen wie z. B. Schraubenmotoren erweitern mit dem Ziel, die dynamischen Eigenschaften von Schraubenmaschinen zu verbessern.
- Title: **Sensitivity analysis of Eigenfrequencies and tuning of screw compressors**
- Abstract: This article describes a method for optimization of the dynamic characteristics of screw rotors which is demonstrated with a concrete example. This method is a further step in the development of screw-type machines following the steps of dynamic analysis and its verification. The authors want to verificate the results of tuning with exact calculation in the nearer future and to improve the developed method even for other kinds of screw-type machines like e.g. the screw-type motor.

Gasspaltströmungen an einem ebenen Schraubenmaschinenmodell - Teil 3

- Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. R. Sachs
erschienen: 1999
in: Schraubenmaschinen Nr. 7 , Forschungsberichte des Fachgebiets Fluidenergiemaschinen, ISSN 0945-1870, S.69-80, Universität Dortmund, 1999
- Zusammenfassung: Gasspaltströmungen in Schraubenmaschinen beeinflussen deren Energiewandlungsgüte durch Leckmassen- und Entropieströme innerhalb der Maschine. Die Komplexität der Strömungsverhältnisse in den Spalten und den Arbeitskammern legt eine experimentelle Vorgehensweise in einem 1:1 Modell mit realen Spaltabmessungen (bis herunter zu 0,1 mm Spalthöhe) zur Untersuchung der Gasströmungen nahe. An ausgesuchten Rotorzahnkopfformen wird eine qualitative Visualisierung der Gasströmung in einem zweidimensionalen Schraubenmaschinenmodell mit Hilfe der Toeplerschen Schlieren-Methode erreicht. Ziel dieser Arbeit ist die Unterstützung des Verständnisses des komplexen Strömungsverhaltens in Schraubenmaschinen und die Formulierung von Randbedingungen für die Modellierung einer strömungsmechanischen Simulation.
- Title: **Gas flow research at a plane screw type machine model - Part 3**
- Abstract: Gas flows in screw-type machines are important because of their effect on the entire energy conversion by leakage mass flows and entropy flows inside the machine. The expected complexity of the unsteady flow conditions in the clearances and in the working chamber suggests research by experiment with a full-sized model with real gap sizes ((0,1 mm). A qualitative flow visualization is achieved by applying the schlieren-technique using two-dimensional models of selected screw-type machine geometric features.
- This work is meant to provide understanding that will lead to a qualitative definition of the complex flow behaviour in screw-type machines.

Anhang

- Energiewandlungsprinzip der Schraubenmaschine (Screw type machine working principle)
- Sachindex Schraubenmaschinen Heft 1/1993 bis Heft 7/1999