

Schraubenmaschinen Nr. 13/2005

KaSim - Simulationen Temperaturdeformationen

Vakuumpumpen

Energiewandler im BHKW

SCREW

Prof. Dr.-Ing. Knut Kauder

Inhalt

Berechnung von Lagerkräften und Antriebsmoment von Rotationsverdrängermaschinen	2
Temperaturdeformation der Rotoren bei nasslaufenden Schraubenkompressoren	4
Energetische Auslegung von Rotationsverdränger-Vakuumpumpen - Teil 1	6
Experimentelle Untersuchung und Simulation der Ladungswechsel einer Schraubenspindel-Vakuumpumpe - Teil 1	7
Vergleichende Bewertung von Energiewandlern in dampfbetriebenen Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK).....	9
Optimierung von Schraubenladern für den kombinierten Verdichtungs- und Expansionsbetrieb (SCREW).....	11
Anhang	13

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

ISSN 0945-1870

Berechnung von Lagerkräften und Antriebsmoment von Rotationsverdrängermaschinen

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. J. Temming
erschienen: 2005
in: Schraubenmaschinen Nr. 13, S. 5 - 16, ISSN 0945-1870,
Universität Dortmund, 2005

Zusammenfassung: Die thermodynamische Simulation von Rotationsverdrängermaschinen auf der Basis eines Kammermodells ist seit vielen Jahren eine bewährte Methode bei der Entwicklung und Simulation dieser Maschinen. Das Softwaresystem KaSim, entwickelt am Fachgebiet Fluidenergiemaschinen, erlaubt die Simulation des Betriebsverhaltens für den stationären und instationären Betrieb. Nachfolgend wird eine Erweiterung von KaSim beschrieben, welche es dem Nutzer erlaubt Lagerkräfte und Antriebsmoment von Rotationsverdrängermaschinen zu berechnen. Die Kenntnis der Lagerkräfte ermöglicht eine Lagerberechnung und die korrekte Lagerdimensionierung. Die Information über das Antriebsmoment ist notwendig, auch um das instationäre Beschleunigungsverhalten zu analysieren, insbesondere für Anwendung des Schraubenladers in der Automobilindustrie. Ebenso kann der Einfluss verschiedener geometrischer Parameter, speziell der Rotoren, auf das thermodynamische und transiente Verhalten berechnet werden. Zunächst werden die Grundlagen der Methode erläutert und ein einfaches Modell einer rotierenden Scheibe analysiert. Weiterhin wird das Modell eines trockenlaufenden Schraubenladers ohne Synchronisationsgetriebe entwickelt und mit der neuen Methode untersucht. Dabei steht insbesondere die transiente Simulation im Vordergrund. Ein Ausblick auf zukünftige Aktivitäten schließt den Beitrag ab.

Title: **Calculation of Bearing Forces and Drive Torque of Rotary Displacements Machines**

Abstract: The thermodynamic simulation of rotary displacement machines by means of a chamber model is an accepted method for the development and analysis of these machines. The software system KaSim, developed at the University of Dortmund, allows the simulation of constant and variable speed operation of these machines by calculating the thermodynamic behaviour of the working fluid.

This paper presents a new enhancement of KaSim, which enables the user to calculate bearing forces and driving torque of rotary displacement machines. Information about bearing forces makes it easier to select the correct bearings and optimise the design, including durability calculations. Information about the driving torque is necessary to analyse the transient operating behaviour, for example of screw-type superchargers in automotive applications. Also the influence of different geometric machine parameters on the thermodynamic behaviour and the acceleration performance of rotary displacement machines can be analysed.

First this paper describes the method for calculating forces and torques with KaSim on a simple model of a rotating disc. Furthermore a model based on a dry-running screw-type supercharger without timing gear is generated and analysed with this method. The main focus is here on the variable speed simulation. An outlook on further activities finishes the article.

Temperaturdeformation der Rotoren bei nasslaufenden Schraubenkompressoren

- Autor(en): Laurenz Rinder, Martin Kuchler, Jaromir Svigler und L.Rehounek
- erschienen: 2005
- in: Schraubenmaschinen Nr. 13, ISSN 0945-1870, S. 17-36, Universität Dortmund, 2005
- Zusammenfassung: Diese Arbeit entstand im Rahmen eines Kooperationsprojekts von KONTAKT zwischen Österreich und der Tschechischen Republik. Für einen nasslaufenden Schraubenkompressor, der sowohl mit Öl als auch mit Wassereinspritzung betrieben werden kann, werden für drei Betriebszustände, nämlich für Öleinspritzung, für Wassereinspritzung mit kleinen Wassermengen (2,5 l/min) und für Wassereinspritzung mit großen Wassermengen (10 l/min) die Rotortemperaturen jeweils am Zahnkopf und am Rotorkern der Druckseite und der Saugseite gemessen. Aus den Messwerten wird eine angenäherte Temperaturverteilung ermittelt. Mit einem Computerprogramm werden mit den Temperaturverteilungen die Temperaturdeformationen an den Rotorflanken berechnet. Die Temperaturverschiebungen sind bei Wassereinspritzung am kleinsten. Die errechneten Flankendehformationen liegen größenordnungsmäßig im Bereich der Herstellungstoleranzen für geschliffene Rotorverzahnungen.
- Title: **Heat Displacements of the Rotors of liquid-injected Screw-Compressors**
- Abstract: For a liquid injected screw-compressor which can be used for oil-injection as well as for water injection the rotor temperatures are determined on the addendum diameter and on the root diameter on the suction side and on the discharge side of the rotors. These measurements are performed for three operating conditions, namely for oil injection, for water injection with a small quantity (2,5 l/min) and for water injection with a big quantity of water (10 l/min). Using the measured rotor temperatures approximated temperature distributions are determined. These temperature distributions serve to calculate the heat displacements on the rotor flanks with a computer-program. Using water injection the heat displacements have the smallest values. The thermal deformations of the rotor

flanks have values of the magnitude of the production tolerances for grinded rotors.

Energetische Auslegung von Rotationsverdränger- Vakuumpumpen - Teil 1

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. D. Pfaller
erschienen: 2005
in: Schraubenmaschinen Nr. 13, ISSN 0945-1870, S. 37-52,
Universität Dortmund, 2005

Zusammenfassung: Der vorliegende Beitrag zur energetisch optimierten Auslegung von trockenlaufenden Schraubenspindel - Vakuumpumpen befasst sich mit möglichen Lösungsstrategien und zeigt den für das laufende Projekt gewählten Weg auf. Es wird der sich zurzeit in der Entwicklung befindende Kammermodellgenerator für Schraubenspindel - Vakuumpumpen mit der Auswahl der Modelle zur Abbildung der Spalte für diesen Pumpentyp vorgestellt. Im Anschluss werden die ersten Simulationsergebnisse diskutiert. Variable dabei sind Kopf- und Fußkreisdurchmesser sowie die Rotorsteigung. Zum Abschluss werden die Simulationsergebnisse auf ableitbare Auslegungskriterien untersucht. Für die Variation der Kopf- und Fußkreisdurchmesser wird ein Auslegungsverfahren angegeben, dessen Ziel es ist, bei einem maximalen Arbeitskammervolumen eine möglichst geringe Spaltfläche zu erhalten.

Title: **Energetic Design of Screw-Type Vacuum Pumps - Part 1**

Abstract: This reports focuses on the energetic optimised design of machine parameters for dry-running screw-type vacuum pumps. Solutions strategies for a current research project are pointed out. The development of the chamber model generator for screw-type vacuum pumps and also the modelling of clearances inside the simulation are described for this machine type. First simulation results are presented for the variation in the rotor head and foot diameter as well as the rotor pitch. Finally derived design criteria are discussed. A method is presented to generate rotor geometries with maximum chamber volume for minimized clearance areas.

Experimentelle Untersuchung und Simulation der Ladungswechsel einer Schraubenspindel-Vakuumpumpe - Teil 1

- Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. D. Stratmann
erschieden: 2004
in: Schraubenmaschinen Nr. 12, ISSN 0945-1870, S. 37 - 50, Universität Dortmund, 2004
- Zusammenfassung: (Diese Arbeit wurde durch die freundliche Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert)
Der vorliegende Bericht stellt Ergebnisse experimenteller Untersuchungen der Ladungswechsel einer trockenlaufenden Schraubenspindel-Vakuumpumpe mit isochorer Prozessführung und die modellhafte Abbildung innerhalb der Simulation dar. Indizierungsmessungen der Ladungswechsel geben Aufschluss über die strömungsmechanischen und thermodynamischen Vorgänge während der Ansaug- und Ausschleppphase. Sowohl die Energiewandlungsgüte als auch der erreichbare Enddruck der Vakuumpumpe stellen im Ergebnis die physikalischen Vorgänge im Bereich der Ansaugphase der Pumpe dar. Es zeigt sich, dass der Einfluss rückströmender Spaltmassen in die gerade ansaugende Arbeitskammer bzw. in den Einlassbereich schon im Grobvakuum bestimmend ist für das Betriebsverhalten der Maschine. Der Ausschleppvorgang des druckseitigen Ladungswechsels wird wesentlich durch den Arbeitskammerdruck zum Zeitpunkt der Kammeröffnung bestimmt. Druckausgleichende, impulsbeladene Rückströmungen aus dem Auslassbereich in den sich öffnenden Arbeitsraum führen mit sinkendem Ansaugdruck und steigender Maschinendrehzahl zu einer signifikanten thermischen Belastung der Maschinenbauteile. Ungleichmäßige thermisch bedingte Verformungen spaltbegrenzender Maschinenbauteile können so zu einer Gefährdung der Betriebssicherheit bei Unterschreitung betriebsnotwendiger Spaltehöhen führen.
- Title: **Experimental Investigation and Simulation of the Charge Changing in a Screw-Type Vacuum Pump - Part 1**
- Abstract: The charge variation during both inlet and outlet seriously influences the operating behaviour of dry running positive displacement vacuum pumps. This report provides results for the experimental investigation of the charge variation in

a dry-running screw-type vacuum pump with isochor processing. Thermodynamic procedure and fluid mechanic conditions can be predicted by pressure indications for the charging and discharging phases.

The entire energy conversion of vacuum pumps as well as their maximum vacuum result from the physical events during the charging process. It can be shown that the influence of backflow into the currently charging (sucking) working chamber and the inlet port is decisive for the working behaviour of the test machine for rough vacuum ranges.

The discharging process is determined by the pressure in the working chamber at the time of opening to the exhaust port. Pressure-equalizing pulsing backflow from the exhaust port into the working chamber causes significant thermal load of the machine components, increasing with decreasing inlet pressure and rising rotor speed, so that operating reliability is at risk.

Vergleichende Bewertung von Energiewandlern in dampfbetriebenen Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK)

Autor(en): Dipl.-Ing. Jan Hauser

erschienen: 2005

in: Schraubenmaschinen Nr. 13, ISSN 0945-1870, S. 67- 78, Universität Dortmund, 2005

Zusammenfassung: Durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass eine Realisierung des Dampfschraubenmotors in einer dezentralen KWK-Anlage wirtschaftlich konkurrenzfähig ist. Nach vergleichender Bewertung unterschiedlicher Energiewandler im Hinblick auf technische Beurteilungskriterien, zeichnet sich der Dampfschraubenmotor im unteren Leistungsbereich durch ein gutes Teillastverhalten und hoher Energiewandlungsgüte gegenüber der Dampfturbine und dem Hubkolbendampfmotor aus. Die derzeitige Entwicklungsstufe liegt im Gegensatz zu den anderen Energiewandlern noch auf einem eher niedrigeren Niveau. Der Schraubenmotor besitzt im Bereich niedriger Massenströme hohe Energiewandlungsgüten. Es werden beispielhafte Auslegungen von Dampfschraubenmotoren ein- und zweistufig durchgeführt. Zum einen soll die spezifische Leistung möglichst groß sein, zum anderen sollen gleichzeitig möglichst hohe isentrope Wirkungsgrade und Gesamtwirkungsgrade erzielt werden. Da die Motor-Maschinentypen mit einer Vielzahl unterschiedlicher Parameter variiert werden, erfolgt eine Auswahl der geeigneten Maschinen innerhalb der Kategorien 1-stufig und 2-stufig.

Title: **Comparativ Valuation of Energy Converters in steam prosecuted combined Heat and Power-Plant (CHP)**

Abstract: Conducted studies show that a realization of steam powered screw-type engine is economically competitively feasible in decentralised CHP-plant.

After a comparative assessment of different energy converters with regard to technical appraisal factors, the steam screw-type engine stands out in lower performance area by a good partial loads behaviour and high energy conversion quality toward steam turbine and steam powered piston engine. The present stage of development lies on a rather lower standard unlike the other energy converters. The screw-type engine has high energy conversion qualities in the area of low mass currents. Exemplary layouts of

steam screw-type engines are carried out by single and double-stage. On the one hand the specific power shall be possibly great, on the other hand isentropic degrees of effectiveness and total efficiencies also as high as possible shall be achieved. Since the machine types are varied with a variety of different parameters, a choice of suitable machines is carried out within the categories single and double-stage.

Optimierung von Schraubenladern für den kombinierten Verdichtungs- und Expansionsbetrieb (SCREW)

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. M. Romba
erschieden: 2005
in: Schraubenmaschinen Nr. 13, ISSN 0945-1870, S. 79 - 94,
Universität Dortmund, 2005

Zusammenfassung: In den vergangenen Jahren hat das Interesse an mechanischer Aufladung von Verbrennungsmotoren aufgrund des Wunsches nach einer Kombination guter Emissions- und Verbrauchswerte mit hoher Fahrdynamik zugenommen.

Durch eine Analyse verfügbarer Aufladesysteme konnte die Entwicklung eines Systems zur Laststeuerung als wesentliches Entwicklungspotential von Schraubenladern identifiziert werden.

Als Lösungsansatz entstand ein System mit einlassseitigen Steuerschiebern, das eine gleichzeitige Steuerung des geförderten Massenstroms und Expansion des Kammerinhaltes bei Teillastbedingungen mit Austrittsdrücken kleiner als der Umgebungsdruck ermöglicht. Hierdurch wird der Antriebsleistungsbedarf des Laders verringert und, bei entsprechenden Betriebsbedingungen, nutzbare Wellenleistung abgegeben. Zur Unterscheidung von konventionellen Schraubenladern erhält das Gerät den Namen „SCREW“- Schraubenmaschine mit Compressions-Respektive Expansionswirkung.

Durch Simulationsrechnungen wurde der Einfluss verschiedener Geometrieparameter auf das Betriebsverhalten einer SCREW untersucht. Dabei zeigte sich, dass für eine optimierte SCREW deutliche Abweichungen von den üblichen Auslegungen für Schraubenlader erforderlich sind. Insbesondere ist noch ein deutlicher Forschungsaufwand zur Realisierung von an den speziellen Einsatzfall angepassten Rotorprofilen erforderlich, um das Potential dieses Konzeptes nutzen zu können.

Als Konzeptnachweis entstanden SCREW-Prototypen auf Basis serienmäßiger Schraubenlader. Im Rahmen der Erprobung gelang es, die grundsätzliche Eignung des Konzeptes nachzuweisen und die aufgrund der Simulationsrechnungen erwarteten Schwachstellen der Prototypen zu verifizieren.

Title: Optimization of Twin-Screw Superchargers for combined Compressor-Expander Performance (SCREW)

Abstract: During the last years the use of mechanical superchargers has gained increasing interest in a bid to combine attractive emission- and fuel consumption values with dynamic driving performance.

Based on an analysis of available supercharging systems the development potential of twin screw super-chargers is assessed.

A concept using inlet slide valves is developed which allows at the same time to control the mass flow delivered by the supercharger and achieve an expansion of the transported charge under part load conditions when the delivered pressure is lower than ambient pressure, achieving a reduction in necessary shaft power or even the delivery of shaft power. To distinguish it from conventional superchargers the new device is called "SCREW" – Screw type machine with Compressor Respectively Expander Working mode.

The effect of several design parameters on the SCREW's performance is evaluated by extensive simulation calculations, showing that a suitable design varies considerably from conventional supercharger designs and that a significant amount of further research, especially covering the development of rotor profiles suited for the specific task, is still needed to fully utilize the concept's potential.

As a proof of concept prototype SCREW's, based on a conventional twin screw supercharger, have been built and tested. The results obtained made clear the general suitability of the concept but also underlined the shortcomings of the prototype as they had already been predicted by the simulations.

Anhang

- Energiewandlungsprinzip der Schraubenmaschine (Screw type machine working principle)
- Funktion der Schraubenspindel-Vakuumpumpe (Screw-type vacuum pump working principle)
- Autorenverzeichnis