

Betriebsverhalten und Simulation

Prof. Dr.-Ing. Knut Kauder

Inhalt

Vergleichsmessung an einem trockenlaufenden Schraubenkompressor zur Verifizierung eines Simulationssystems Ein Beitrag zur Betriebssicherheit - Teil 3	2
Verifikation der instationären Temperaturverteilung in Schraubenmotoren	4
Schwingungsverhalten von Schraubenmaschinen - Teil 2	8
Zur Dynamik des Füllvorgangs von Schraubenmotoren	10
Laststeuerkonzept für Ottomotoren bei mechanischer Aufladung durch eine Hybrid-Schraubenmaschine (SCREW).....	12
Die Heißgasschraubenmaschine - Wärmeübergang und Kühlmechanismen im Motorteil -Teil 2.....	13
Berechnung der Temperatur in den Rotoren von Schraubenkompressoren	15
Gasspaltströmungen in einem ebenen Schraubenmaschinenmodell - Teil 1	16
Anhang	19

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

ISSN 0945-1870

Vergleichsmessung an einem trockenlaufenden Schraubenkompressor zur Verifizierung eines Simulationssystems

Ein Beitrag zur Betriebssicherheit - Teil 3

- Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. Klaus Rofall
erschienen: 1997
in: Schraubenmaschinen Nr. 5 , S. 5-25, ISSN 0945-1870, Universität Dortmund
- Zusammenfassung: Der Beitrag faßt die Ergebnisse eines Vergleiches zwischen Rechnung und Messung zusammen, der im Rahmen einer Verifizierung eines Programmsystems zur Simulation des Betriebsverhaltens trockenlaufender Schraubenkompressoren durchgeführt wurde. Der für verschiedene stationäre Betriebspunkte vorgenommene Vergleich umfaßt neben den thermodynamischen Maschinendaten die Kammerdruckverläufe, die Gehäuseoberflächentemperaturen sowie die Spalthöhenänderungen an bestimmten Positionen der Gehäuse- und Stirnspalte. Die Simulationsrechnungen erfolgen ausgehend von den Kaltspaltdaten des Schraubenkompressoren mit einer iterativen Warmspalthöhenberechnung der verformten Maschine. Die Rechnungen geben die qualitativen Einflüsse der variierten Parameter von Drehzahl und Verdichtungsverhältnis sowohl für die thermodynamischen Daten als auch für die Gehäusetemperaturen und die Spalthöhenänderungen richtig wieder. Die qualitativen Abweichungen zwischen Rechen- und Meßergebnissen betragen bei der thermodynamischen Simulation bis zu 7.5%; die berechneten Gehäusetemperaturen differieren z.T. lokal um mehr als 35% von den Meßwerten. Die prozentualen Unterschiede der errechneten und gemessenen Spalthöhenänderungen liegen im Bereich von 2.5 bis 55% der jeweiligen Kaltspalthöhe.
- Title: **Comparison measuring at a dry running screw compressor to verify a simulation system concerning working reliability - Part 3**
- Abstract: This paper presents the results of a comparison between calculated and measured values, which are part of a study in order to verify the fidelity of a computer programm system for the simulation of dry running screw compressors in regard to real machine behaviour. The comparison includes

the steady behaviour of thermodynamical machine data, of casing surface temperatures and of the relative change of clearance heights at different positions of housing gap and front clearance.

Starting with the data of the cold machine the simulation goes on with calculated clearance heights of the deformed machine. The simulation represents the qualitative influence of the varied parameters - rotation speed and pressure ratio - in regard to thermodynamical data, temperature distribution and change of clearances correctly.

The differences between calculated and measured thermodynamical data are lower than 7.5%; the calculated surface temperatures differ local more than 35% from the measured values. The tolerances between the clearance results of calculation and measurement lie between 2.5 and 55% of the clearance heights of the undeformed machine.

Verifikation der instationären Temperaturverteilung in Schraubenmotoren

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. Ulrich Dämgen, Dipl.-Ing. Guido Keller

erschienen: 1997

in: Schraubenmaschinen Nr. 5 , S.26-36, ISSN 0945-1870, Universität Dortmund

Zusammenfassung: Um die Abbildungsgüte des Schraubenmaschinen-Simulationssystems zur Berechnung der Thermodynamik, der Temperaturverteilung und des Verformungsverhaltens von Schraubenmaschinen zu verbessern, ist die Berechnung des Wärmeübergangs im Arbeitsraum der Maschine von signifikanter Bedeutung. Aus diesem Grund wurden instationäre Temperaturmessungen an einem trockenlaufenden Schraubenkompressor durchgeführt und mit den Simulationsergebnissen verglichen. Der Vergleich erstreckt sich auf ausgewählte Betriebspunkte des Rotorbereiches.

Durch die Korrelation der gemessenen Rotortemperaturen mit den berechneten Werten konnte das bestehende Wärmeübergangsmodell verbessert werden. Hierbei zeigt sich insbesondere ein nicht zu vernachlässigender Einfluß der Profileingriffsspaltströmung auf die instationäre Temperaturverteilung in der Schraubenmaschine.

Title: **Verification of the transient temperature distribution in screw-type machines**

Abstract: The intention of measurement calculation of transient temperature distributions in dry-running screw-type machine, operating in defined conditions, is, to improve the definition of image of the simulation system. This program system is able to calculate the thermodynamic, temperature distributions and mechanical behaviour of the screw-type machine. It is essential to calculate the heat transfer conditions in the working chamber, containing the local heat transfer coefficient and the surrounding temperature. Even the Value of the heat transfer coefficient allows the verification of the temperature distribution as a result of the simulation, with measured temperatures in defined positions as a function of the time. For this reasons, transient temperatures were measured using thermocouple elements, accelerating a dry-running screw-type compressor in a few seconds to its operating mode.

The correlation of the measured and calculated temperatures allows to improve to improve the heat transfer modell. The results show a significant influence of the rotor clearance even the profile clearance to the transient temperature distribution.

Geräuschverhalten von einspritzölgekühlten Schraubenkompressoren

Autor(en): o. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Laurenz Rinder, Dipl.-Ing. Dr. techn. M. Degn, Technische Universität Wien

erschienen: 1997

in: Schraubenmaschinen Nr. 5, S. 37-49, ISSN 0945-1870, Universitätsdruckerei Dortmund

Zusammenfassung: Naßlaufende Schraubenverdichter wurden bisher nur in geringem Maße umfassenden Geräuschuntersuchungen unterzogen, da sie im Vergleich zu trockenlaufenden Schraubenmaschinen nur mäßige Geräuschemission zeigen. Mit steigenden Ansprüchen an das maschinenakustische Verhalten von Kompressoranlagen wird es notwendig das Geräuschverhalten und die Geräuschquellen von öleingespritzten Schraubenverdichtern zu erforschen. Das Geräuschverhalten von Versuchsverdichtern wird mittels Schalleistungsmessung nach der Intensitätsmeßmethode erfaßt. Es wird der Einfluß der Betriebsparameter Druck, Drehzahl, Ölmenge auf die Schallemission gemessen. Die Auswirkung verschiedener Ansaugregler und die Auswirkung verschieden genauer Läuferverzahnungen auf die Luftschallemission wird festgestellt. Beim öleingespritzten Verdichter kommt zusätzlich zu den Strömungsgeräuschen die Läuferverzahnung als Geräuschquelle hinzu. Eine Frequenzanalyse zeigt, daß die Zahneingriffs-frequenz und deren Vielfache pegelbestimmend sind. Es zeigt sich, daß Verzahnungsgeräusche eine dominierende Rolle bei der Geräuschenstehung in naßlaufende Schraubenverdichtern spielen.

Title: **Acoustic properties of oil injected screw-compressors**

Abstract: Until now noise in oil injected screw-compressors has hardly been inspected extensively because of the lower acoustic emission in comparison with dry screw-compressors with similar power density. Due to stricter standards concerning acoustic properties of compressor units the interest in systematic studies of acoustic emission and of the noise sources of oil injected screw-compressors awakes. The acoustic emission of test compressors is measured by determination of sound power levels using sound intensity. Measurements are taken by changing operating conditions of the compressor such as rotational speed of male rotor, discharge pressure, injected oil volume etc. The effect of different inlet-governors and of the accuracy of the screw-

rotors on the noise power level is studied for four test compressors of the same type. In addition to the noise of the gas flow, the noise in oil-injected screw compressors caused by the rotor-teeth has to be considered. The analysis of the measured frequencies shows that the tooth-frequency and its multiples determine the noise level. It can be shown that the noise caused by the rotor gearing is essential for the acoustic emission of oil injected screw-compressors.

Schwingungsverhalten von Schraubenmaschinen - Teil 2

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. J. Rosenberg, Prof. Dr.-Ing. V. Zeman, Ing. L. Kovar, Ing. M. Pasek und Dr.-Ing. P. Markov, Westböhmisches Universität Pilsen

erschienen: 1997

in: Schraubenmaschinen Nr. 5, S. 50-58, ISSN 0945-1870, Universitätsdruckerei Dortmund

Zusammenfassung: Der vorgelegte Beitrag, der die Ergebnisse des gemeinsamen Projektes zwischen der Westböhmisches Universität Pilsen und der Universität Dortmund vorstellt, knüpft an die frühere Veröffentlichung an. Dort wurden zwei angewendete Modelle -1D-FEM- und 3DFEM eingeführt. Mit Hilfe des 1D-FEM-Modells konnten die durch Druckpulsationen erregten Schwingungen für das Wellensystem analysiert werden. Im vorgelegten Beitrag wird die Nachgiebigkeit des Gehäuses mit betrachtet. Der Modalanalyse des Wellensystems mit Einbeziehung der Gehäusesteifigkeit folgt der Vergleich mit bestehenden Ergebnissen und erregten Schwingungen.

Um das Gesamtsystem, Rotoren und Gehäuse, zu untersuchen, wird ein Gesamtmodell (mit niedrigerer Freiheitsgradanzahl) entwickelt, und mit diesem die Modalanalyse und Analyse der erregten Schwingungen durchgeführt.

Title: **Analysis of vibrations of screw-machines - Part 2**

Abstract: In the contribution the results of the joint project collaboration between the University of West Bohemia in Pilsen and the University Dortmund are introduced. In the first part the two models employed, in particular the 1D-FEM and the 3D-FEM models, were described. By using these models the modal analysis of both the shaft system and the whole compressor system was carried out and the results computed for the above models were compared. In order to analyse the vibrations excited by pressure pulsation the 1D-FEM model was used only.

In the second part the finite stiffness of the compressor casing was treated. The influence of the compliant casing was studied in both the modal analysis problems and the excited vibrations formulated for the shaft system. The results of these computations are compared to the results previously obtained for the rigid-casing problems.

The analysis of the whole system which comprises the casing assembled with the shaft system required to develop a special model with the reduced number of degrees of freedom. This special model was employed again to proceed the modal analysis and to obtain the excited vibrations responses as well.

Zur Dynamik des Füllvorgangs von Schraubenmotoren

- Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. A. Huster
erschienen: 1997
in: Schraubenmaschinen Nr. 5, S. 59-71, ISSN 0945-1870, Universitätsdruckerei Dortmund
- Zusammenfassung: Im Zuge knapper werdender Energieressourcen gilt es, Energiewandler mit möglichst hohem Wirkungsgrad wirtschaftlich zu betreiben. Im unteren Leistungsbereich bis etwa 2 MW stellt der Schraubenmotor eine Alternative zur konventionellen Dampfturbine und zum Hubkolbendampfmotor dar. Während Dampfturbinen theoretisch und auch messtechnisch recht weit erforscht sind, weist der Schraubenmotor, als relativ junger Maschinentyp, eine weniger tiefe wissenschaftliche Durchdringung auf. Speziell der Einströmvorgang in den Arbeitsraum ist von großem Interesse, da das Maß der Motorfüllung direkt die Güte der Energiewandlung beeinflusst. Während bisherige Modelle von stationären Eintrittsbedingungen ausgehen, ist dieser Ansatz für das Auffinden von Grenzzuständen fragwürdig. Daher sollen mit einem erweiterten gasdynamischen Modell des Füllvorgangs verbesserte Aussagen zur Energiewandlungsgüte bei großen Volumenverhältnissen und vor allem hohen Drehzahlen möglich sein. Dazu wird ein eindimensionales gasdynamisches Schraubenmotormodell vorgestellt und mit einem partiellen, nichtlinearen Differentialgleichungssystem berechnet.
- Title: **The dynamic of filling screw-type-engines**
- Abstract: As part of the process of tight going energy-resources, engines need to be driven with maximum efficiency. In little power-range up to 2 MW, the screw-type-engine might be an alternative in relation to conventional steam-turbines and steam-piston-engines. As steam-turbines are well known theoretically and practically, the screw-type-engine, as a young kind of machine, is not very well known. Especially the flow into the expansion-chamber is very interesting, because the size of filling impresses the efficiency very strong. Meanwhile the modelling is strictly stationary. This kind of modelling will not be able to find boundary states. The gas-dynamic modelling should allow better results concerning screw-type-engines especially with large volumes-ratios and high speed rotation. Therefore a one-dimensional gas-dynamic screw-engine-model is presented,

which is calculated with a partial non-linear differential-equitation system.

Laststeuerkonzept für Ottomotoren bei mechanischer Aufladung durch eine Hybrid-Schraubenmaschine (SCREW)

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Prof. Dr.-Ing. Helmut Pucher, Dipl.-Ing. M. Romba und Dipl.-Ing. Klaus v. Rüden

erschienen: 1997

in: Schraubenmaschinen Nr. 5 , S. 72-81, ISSN 0945-1870, Universität Dortmund

Zusammenfassung: In letzter Zeit hat die mechanische Aufladung von Verbrennungsmotoren durch Verdrängerlader wieder verstärkt Interesse gefunden, welches sich auch in einer Anzahl neuer serienmäßig gefertigter Motoren ausdrückt. Der vorgelegte Bericht stellt mögliche Varianten der Laststeuerung für ein System aus Ottomotor und Schraubenlader vor. Der Schwerpunkt wird hierbei auf Konzepte gelegt, die einen Verzicht auf eine Drosselklappe ermöglichen und stattdessen das Lieferverhalten des Laders durch laderinterne Steuereinrichtungen wie etwa Schieber beeinflussen. Hierdurch kann bei Teillast der Lader Nutzarbeit an den Verbrennungsmotor übertragen. Ergänzend wird das Schluckverhalten des Motors durch frühes Schließen des Einlassventils variiert (Miller-Verfahren), um den Regelbereich der Laststeuerung zu erweitern.

Title: **Load-control-concept for Otto-engines supercharged by hybrid twin-screw-machines (SCREW)**

Abstract: In the last years the use of mechanical driven displacement superchargers has met increased interest, resulting in several new mass-produced engines.

This paper sketches possible load-control concepts for an Otto-cycle engine-supercharger system, putting emphasis on systems that allow to avoid throttling by adapting the superchargers delivery using internal means like inlet slides. This allows the supercharger to deliver usable work to the system at part-load conditions.

Furthermore the engines breathing is altered by using variable inlet timing, closing the inlet valves early (Miller-concept) to broaden the range of realisable load conditions.

Die Heißgasschraubenmaschine - Wärmeübergang und Kühlmechanismen im Motorteil -Teil 2

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. Guido Keller
erschiene(n): 1997
in: Schraubenmaschinen Nr. 5 , S.82-98, ISSN 0945-1870,
Universität Dortmund

Zusammenfassung: Im vorliegenden Beitrag wird über neue Forschungsergebnisse im Hinblick auf die konstruktive Realisierung des thermisch sehr hoch belasteten Motors der Heißgasschraubenmaschine berichtet. Ziel der Untersuchungen ist der Einsatz eines Stahlgusses mit ferritischen Werkstoffgefüge. Als besonders günstig haben sich Rotoren mit einem Umschlingungswinkel von 150 Grad, einer Innenkühlung mit einem Wasser/Glycol-Gemisch sowie einer beschichteten Oberfläche erwiesen. Das Gehäuse sollte über geeignete Kühlbohrungen in der Nähe der hochdruckseitigen Steuerkante verfügen. Verglichen mit einem zwangsgekühlten Gehäuse weist eine Verrippung keine Vorteile auf. Infolge der relative großen und warmen Oberfläche ist der Wärmeverlust hierbei am größten. Zur Berechnung des Profileingriffspaltes im betriebswarmen Zustand ist es unumgänglich, die Verschiebung in den gehäuseseitigen Lagerstellen mit zu berücksichtigen. Für den hier beispielhaft dokumentierten Betriebszustand mit einer Motoreintrittstemperatur von 950 Grad, einem Druckverhältnis von fünf und einer Hauptrotorumfangsgeschwindigkeit von 140 m/s sind flächennormale Profilverkleinerungen von ca. 0.2 mm bei der Konstruktion der Rotoren vorzusehen.

Title: **Heat transfer and cooling methods for the engine of a hot-gas screw-type machine - Part 2**

Abstract: In this paper new results of the research regarding the design of the engine part of a hot-gas screw-type engine are described. This screw engine is operating with a high inlet temperature and is thermally high loaded. Target of the development is the use of a ferritic cast steel, because this structure contains several opportunities compared to an austenitic steel. The rotor should be designed with a wrap angle of 150 degree, cooled through a bore in the rotor axis by a water/glycol-mixture with a low mean flow velocity. The surface in the screwed part of the rotors has to be coated

by a ceramic thermal insulation. It is sufficient to place two cooling jackets in the engine casing, one near and parallel to the inlet guiding edges, the other in the middle of the casing at the low pressure side near to the working chamber. There is no opportunity using a finned casing compared to a water-cooled casing. The disadvantage is a result of the increasing casing surface and the high temperature on the surface which leads to large heat flux losses.

It is important to take into account the displacements of the bearings to calculate the profile and front clearances. Each rotor should be decreased about 0.2 mm orthogonal to the local surface. In addition to the right cooling method, it is possible, to get a safe running engine with a engine inlet temperature of 950 degrees, a pressure ratio of five and a male rotor speed of 140 m/s.

Berechnung der Temperatur in den Rotoren von Schraubenkompressoren

- Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dr.-Ing. T. Dreifert
erschienen: 1997
in: Schraubenmaschinen Nr. 5, S. 99 bis 112, ISSN 0945-1870, Universitätsdruckerei Dortmund
- Zusammenfassung: Der Beitrag stellt ein einfach zu handhabendes eindimensionales Modell vor, mit dem die Temperaturverteilung in den Rotoren trockenlaufender Schraubenrotoren bestimmt und erklärt werden kann. Das Modell wird beispielhaft angewendet und mit dreidimensionalen Simulationsrechnungen verglichen. Es kann gezeigt werden, daß für niedrige Temperaturen und kleine Temperaturgradienten der Umschlingungswinkel und das Längen-Durchmesser Verhältnis der Rotoren möglichst klein gewählt werden sollten.
- Title: **Calculation of temperatures in the rotors of screw-compressors**
- Abstract: This report describes a simply to handle onedimensional modell to calculate the temperature-distribution in the rotors of dryrunning screw-compressors. Some examples demonstrate the application of the modell and compare it to a threedimensional approach. It can be shown, that in order to achiev low temperatures and gradients in the rotors wrap-angle and length-diameter-ratio should be kept as low as possible.

Gasspaltströmungen in einem ebenen Schraubenmaschinenmodell - Teil 1

Autor(en): Prof. Dr.-Ing. K. Kauder, Dipl.-Ing. R. Sachs
erschienen: 1997
1997 Schraubenmaschinen Nr. 5 , S.113-134, ISSN 0945-1870,
Universität Dortmund

Zusammenfassung: Erkenntnisse über Gasströmungen in Schraubenmaschinen sollen Randbedingungen liefern, um über die Strömungsformen in Arbeitskammern und Spalten Maßnahmen zur Spaltströmungsbehinderung abzuleiten, sowie realitätsnahe, theoretische Ansätze zur Beschreibung des Strömungsverhaltens in Schraubenmaschinen zu finden, die durch das Experiment abgesichert sind. Wesentlichen Einfluß auf die Energiewandlungsgüte der Schraubenmaschine haben der Profileingriffs- und der Gehäusespalt. Die zu erwartende Komplexität der Strömungsverhältnisse an diesen Spalten sowie in der Arbeitskammer führt zu einer optischen, bildgebenden Strömungsuntersuchungsmethode, der Schlierentechnik. Die schwer zugängliche Geometrie des Profileingriffsspaltens in Zusammenhang mit den meßtechnischen Problemen, legt für das weitere Vorgehen Studien an einem ebenen, nicht verschraubten Profilschnitt nahe. Überlegungen zum Einfluß der Reynolds- und Machzahl der Strömung zeigen, daß es sinnvoll ist, die experimentellen Untersuchungen an einem 1:1 Modell mit realen Spalthöhen ($< 0,1$ mm) durchzuführen. Dazu ist unter Berücksichtigung der Randbedingungen ein ebenes Schraubenmaschinenmodell zum Einsatz in der Schlierenanlage entwickelt worden. Es ist erforderlich, die Strömungsuntersuchungen sowohl an einem ebenen Modell mit nicht bewegter als auch mit bewegter Spaltberandung durchzuführen. Die Gründe dafür liegen zum einen in einer notwendigen Anpassung der angewendeten Meßtechnik; zum anderen ist es sinnvoll, durch einen Vergleich der Strömungen in den Modellen mit bewegter sowie feststehender Spaltberandung, zu einer Aussage über den Einfluß der bewegten Spaltberandung auf das Strömungsverhalten zu gelangen. Auf Grund des instationären, gasdynamischen Strömungsverhaltens (z.B. Verdichtungsstöße) werden die Aufnahmen mit einer extrem kurzen Belichtungszeit von nur $0,5 \mu\text{s}$ gemacht. Zur Unterstützung bei der Interpretation der Strömungsbilder ist eine problemorientierte Bildbearbeitung

sinnvoll. So wird ein Verfahren beschrieben, mit dem ein reines (d.h. von Bildstörungen weitgehend bereinigtes) Strömungsbild erzeugt werden kann. Da die hier gewonnenen Schlierenbilder häufig einen geringen Grauwertumfang besitzen, wurden Möglichkeiten ausgearbeitet, die Aussagefähigkeit solcher Bilder mittels Falschfarbenbelegung zu steigern. Erste Strömungsaufnahmen von ausgewählten Rotorwinkelstellungen, die an dem Modell mit feststehender Spaltberandung entstanden, finden sich am Ende dieses Beitrages.

Title: **Gas flow research at a plane screw type machine model - Part 1**

Abstract: Knowledge about gas flows in screw type machines, i.e. the shape of the flow in the working chamber and the gaps, shall give limiting conditions to find steps to hinder gas flow through gaps inside the machine. Realistic, theoretical statements to describe the flow conditions shall be found and experimental covered.

The housing gap and the profile meshing clearance have an essential influence to the conversion of energy of a screw type machine. The consequence of the expected complex flow conditions at these gaps and inside the working chamber is the application of the Schlieren technique, as an optical method for visualizing this air flow. The difficult access of the profile meshing clearance in coherence to the problems of the measuring technique, suggests studies at a plane, non screwed profile. It is sensible to do the experiments with an 1:1 model and real gap sizes ($< 0,1$ mm), what is verified by reflections about the influence of the Reynolds and Mach number of the gas flow.

For that purpose a plane screw type machine has been developed, under consideration of the limiting conditions.

It is necessary to realize the gas flow research as well at a machine model with moving as with non moving gap bounds. The reason is at first an adaptation of the testing technique. Second it is sensible to find a statement about the influence of the moved gap bounds to the gas flow, by comparing the flow in the two models.

Based on the nonsteady dynamics of the gas flow, all pictures are taken with an exposure time of $0.5 \mu\text{s}$.

To support the interpretation of the gas flow pictures, an image processing is used. A method to produce a pure flow pattern (i.e. a from image disturbances nearly cleaned picture) is described. The expressiveness of black and white pictures with a small grey scale extend is increased, by substituting the grey scale through a colour imitation scale.

First Schlieren pictures of the gas flow in the model with not moving bounds and selected rotor angular positions are shown.

Anhang

- Energiewandlungsprinzip 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)
- Sachindex Schraubenmaschinen Heft 1/1993 bis Heft 5/1997