

19th ISC

Stuttgart, Germany
Oct. 12 – 13, 2016



International Sealing Conference *Internationale Dichtungstagung*

Eine Kooperation von



Fluidtechnik

19th ISC

International Sealing Conference
Internationale Dichtungstagung

Stuttgart, Germany
Oct. 12 – 13, 2016

Sealing Technology –
Indispensable

Dichtungstechnik –
Unverzichtbar

© 2016 VDMA Fluidtechnik

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in retrieval systems or transmitted in any form by any means without the prior permission of the publisher.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung sind vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

ISBN 978-3-8163-0684-9

Fachverband Fluidtechnik im VDMA e. V.

Lyoner Str. 18

50628 Frankfurt am Main

Germany

Phone +49 69 6603-1318

Fax +49 69 6603-2318

E-Mail christian.geis@vdma.org

Internet www.vdma.org/fluid

Ladies and Gentlemen,

We are delighted to be able to welcome you to attend the **19th ISC in October 2016** in Stuttgart. It is the eighth time that this International Sealing Conference takes place at the University of Stuttgart.

This conference is organised again by the Fluid Power Association of VDMA e. V. and beard by the Fluid Power Sealing Group of VDMA and the Institute of Machine Components of the University of Stuttgart.

In compliance with the motto "**Sealing Technology – Indispensable**" lectures will show the latest results of research and development and the experiences of applications in practice.

The lectures will be presented in English or German. A simultaneous translation of all lectures will be provided.

Sehr geehrte Damen und Herren,

*wir freuen uns, Sie zur **19. ISC im Oktober 2016** in Stuttgart begrüßen zu dürfen. Inzwischen ist es das achte Mal, dass die Internationale Dichtungstagung an der Universität Stuttgart stattfindet.*

Diese Tagung wird wieder gemeinsam durch den VDMA und das Institut für Maschinenelemente der Universität Stuttgart organisiert.

*Unter dem Leitgedanken „**Dichtungstechnik – Unverzichtbar**“ werden Vorträge gehalten, die neueste Erkenntnisse aus Forschung und Entwicklung, aber auch Erfahrungen aus der Praxis vermitteln.*

Die Vorträge werden in englischer oder deutscher Sprache gehalten und in die jeweils andere Sprache simultan übersetzt.



Lic. oec. HSG Ingrid Hunger
Chairwoman of the Fluid Power
Sealing Group of VDMA
*Vorsitzende des Arbeitskreises
Fluiddichtungen im VDMA*



Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas
Director Sealing Technology, IMA,
University of Stuttgart
*Leiter Dichtungstechnik, IMA,
Universität Stuttgart*

Programme Committee / Programmausschuss

Dr. Manfred Achenbach	Ingenieur- und Sachverständigenbüro Achenbach
Dr. Andreas Bischoff	LANXESS Deutschland GmbH
Prof. Dr. Eberhard Bock	Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG
Stefan Brödner	Bosch Rexroth AG
Dr. Christian Geis	Fachverband Fluidtechnik im VDMA e. V.
Martin Goerres	Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG
Prof. Dr. Werner Haas	Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA)
Rolf Hahn	Universität Stuttgart, Materialprüfungsanstalt (MPA)
Andreas Hübner-Hecker	HECKER WERKE GmbH
Ingrid Hunger	Hunger DFE GmbH
Holger Jordan	Trelleborg Sealing Solutions Germany GmbH
Klaus Müller-Lohmeier	FESTO AG & Co. KG
Prof. Dr. Hubertus Murrenhoff	RWTH Aachen, Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen (IFAS)
Dr. Nick Peppiatt	Hallite Seals International Ltd.
Prof. Dr. Alexander Riedl	Fachhochschule Münster, FB Physikalische Technik
Dr. Heinz Christian Rost	Parker Hannifin GmbH, Engineered Materials Group Europe
Dr. Thomas Schwarz	SKF Sealing Solutions Austria GmbH
Martin Steuler	Garlock GmbH
Klaus G. Wagner	Herbert Hänchen GmbH & Co. KG
Prof. Dr. Peter Waidner	Hochschule München, Fakultät für Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
Dr. Volkert Wollesen	Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Modellierung und Berechnung

Contents / Inhaltsverzeichnis

				Page Seite
Summaries / Zusammenfassungen				11
I - Session 1: Introduction Lectures / Einführungsvorträge				54
I 01	EN	M. Achenbach	Thermally Coupled Numerical Analyses of Polymeric Sealing Materials - a Road Map for Modelling Sealing Problems <i>Thermisch gekoppelte Analysen von polymeren Dichtungen - eine Wegweisung zur Modellbildung</i>	55
I 02	DE	P. Waidner	Impact of Speed Control for Pumps on the Operation of Mechanical Seals - a Challenge for the Future <i>Auswirkung von drehzahleregelten Antrieben für Pumpen auf das Betriebsverhalten von Gleitringdichtungen - eine Herausforderung für die Zukunft</i>	68
A- Session 2: Rotary Shaft Seals / Wellendichtungen				109
A 01	DE	M. Baumann F. Bauer W. Haas	Empirical Modeling of the Lead-induced Fluidpumping Action of Sealing Counterfaces - Is it Possible to Define Limits? <i>Empirische Modellierung der Drall-induzierten Fluidförderung von Dichtungsgegenläufigkeiten – Sind Grenzwerte möglich?</i>	110
A 02	DE	S. Feldmeth F. Bauer W. Haas	Estimation Methods for the Contact Temperature of Radial Lip Seals <i>Abschätzverfahren für die Kontakttemperatur bei Radial-Wellendichtungen</i>	122
A 03	EN	D. Weyrich C. Kaiser B. Sauer	Systematic Investigation of Dust Charged Radial Shaft Seals <i>Systematische Untersuchung von schmutzbeaufschlagten Wellenabdichtungen</i>	138
A - Session 3: Rotary Shaft Seals / Wellendichtungen				159
A 04	DE	R. Sonnemann	Rotary Shaft Seal Correlation between Test Bench and Real Field Situation <i>RWDR-Korrelationsbetrachtung zwischen Komponententest und realer Feldsituation</i>	160
A 05	DE	C. Hoffmann	Different Wear of Rotary Shaft Seals in the Vehicle and on the Rig <i>Unterschiedliches Verschleißverhalten von RWDR im Fahrzeug und auf dem Prüfstand</i>	164

A 06	DE	A. Eipper F. Bauer W. Haas	Changes of Circumferential Speed in Load Spectra - Influence on Radial Lip Seals <i>Einfluss von Drehzahlwechseln in Lastkollektiven auf das System Radial-Wellendichtung</i>	174
A 07	EN	C. Berndt M. Kröger	Radial Shaft Seals on Unsteady Operating Conditions <i>Radial-Wellendichtringe bei instationären Betriebsbedingungen</i>	187
A - Session 4: Materials and Surfaces / Werkstoffe und Oberflächen				192
A 08	EN	A. Gropp S. Möller G. Barillas	Simulation of Surface Topography in Sealing Systems for Reciprocating Rods <i>Simulation von Oberflächentopographien von Stangendichtsystemen</i>	193
A 09	DE	M. Stoll L. Hörl W. Haas	Influence of Different Rod Surfaces on PU-U-Cups and PTFE-Step Seals <i>Einfluss verschiedener Stangenoberflächen auf PU-Nutringe und PTFE-Stufendichtringe</i>	204
A 10	EN	K. Watanabe K. Seki H. Tadano F. Kaiser	A Study on the Friction Reduction of Seal Rings for Automatic Transmission by Applying Surface Texture <i>Untersuchung der Reibungsreduzierung an Rechteckdichtringen für Automatikgetriebe durch Einbringen von Oberflächenstrukturen</i>	219
A 11	DE	M. Schulz F. Bauer W. Haas	Influence of Superfinished Shafts on the Function of Lip Seals <i>Einfluss supergefinishter Dichtungsgegenläufflächen auf die Funktion von Radial-Wellendichtungen</i>	228
A - Session 5: Simulation / Simulation				246
A 12	DE	F. Albrecht T. Klitschkowski	Simulation of Rotary Shaft Seals with Multiple Mass Points <i>Simulation von Wellendichtringen mit einer Vielteilchenmethode</i>	247
A 13	DE	N. Dakov F. Bauer W. Haas	A Better Understanding of Shaft Seals Made of PTFE-Compound Through Elasto-hydrodynamic Analysis <i>Wellendichtungen aus PTFE-Compound mittels elasto-hydrodynamischer Simulation besser verstehen</i>	264
A 14	EN	M. Achenbach	Self-Heating in Sealing Material Caused by Dynamic Loading <i>Eigenerwärmung in Dichtungen infolge dynamischer Beanspruchungen</i>	280

A 15	EN	C. Wehmann O. R. Nielsen	Simulation of the Buckling Behaviour of Extruded Rotary Seals <i>Simulation des Beulverhaltens von extrudierten Rotationsdichtungen</i>	290
A - Session 6: Rotary Shaft Seals / Wellendichtungen				305
A 16	DE	A. Hüttinger J. Hermes M. Wöppermann E. Prem R. Vogt	Highest Dynamic? Or high Durability? Why not have Both? The next Generation of Sealings for Gearmotors! <i>Höchste Dynamik? Oder hohe Lebensdauer? Warum oder? Getriebedichtung der nächsten Generation!</i>	306
A 17	EN	D. Coblas C. Blouin J. Lor G. Pinneau, R. Bellanger A. Maoui	Experimental Investigation of Grease Lubricated Double Lip Seals <i>Experimentelle Untersuchung von fettgeschmierten Lippendichtungen</i>	318
A 18	EN	G. Iversen B. A. Bøgelund	New Rotary Seal with Bi-directional Pressure Relief <i>Neue Rotationsdichtung mit beidseitiger Druckentlastung</i>	333
A 19	EN	B. v. d. Vorst M. Organisciak M. Schweig	Fast Analytical Model for Followability Prediction of Rotary Shaft Seals <i>Ein schnelles analytisches Model zur Vorhersage der Nachführung von Radialwellendichtungen</i>	342
A - Session 7: Application in Practice / Anwendungsthemen				357
A 20	EN	L. Dupuis L. Caspers	An Integral Approach to the Development of Reciprocating Sealing Systems <i>Ein ganzheitlicher Ansatz für die Entwicklung translatorischer Dichtsysteme</i>	358
A 21	DE	T. Arnold H. Neukirchner	Sealing Study on Reciprocating Piston Expander Machines <i>Untersuchung von Abdichtungen an Hubkolben Dampferweiterungsmaschinen</i>	380
A 22	EN	T. Papatheodorou W. Igers M. Schimmel	Tribology of Piston Rod Seals on New Global Shield™ Coated Piston Rod Surface <i>Tribologisches Verhalten von Hydraulik-Kolbenstangenabdichtungen auf einer neuartigen „Global Shield“-Beschichtung</i>	404

B - Session 2: Static Seals / Statische Dichtungen			415	
B 01	DE	R. Hahn A. Walter	Investigation of Varied Conditioned Flat Gaskets Concerning Storage Time, Leakage Rate and Increase in Mass <i>Untersuchung von unterschiedlich konditionierten Flachdichtungen hinsichtlich Lagerungsdauer, Leckagerate und Massenzunahme</i>	416
B 02	EN	M. Schaaf	Advanced Approach for the Reduction of Fugitive Emissions <i>Erweiterter Ansatz zur Reduzierung von flüchtigen Emissionen</i>	430
B 03	DE	B. Stiegler S. Bader V. Schweizer	Improving Robustness with Respect to Creep Corrosion: an Example from Automobile Electronics <i>Erhöhung der Robustheit gegen korrosive Dichtungsunterwanderung: ein Beispiel aus der Automobilelektronik</i>	446
B - Session 3: Basics of Sealing Technology / Grundlagen der Dichtungstechnik			461	
B 04	EN	P. Schuler W. Haas	Wetting - a Hydrodynamic Approach <i>Benetzung – eine hydrodynamische Betrachtung</i>	462
B 05	EN	T. Corneli P. Pelz G. Ludwig	Influence of Temperature and Shear Rate on the Slip Length in the Hydrodynamic Lubrication for a Polyalphaolefin <i>Einfluss von Temperatur und Scherrate auf die Gleitlänge in der hydrodynamischen Schmierung für ein Polyalphaolefin</i>	478
B 06	DE	F. Fischer H. Murrenhoff O. Reinertz	Influence of Additives on the Friction Behaviour of Hydraulic Rod Seals <i>Additiveinfluss auf das Reibverhalten von hydraulischen Stangendichtungen</i>	487
B 07	DE	M. Wilke H. Jordan	Friction Behaviour of Contact Seals in the Boundary Condition (Stick Slip) <i>Zum Verhalten von berührenden Dichtungen im Wechsel von Haft- zu Gleitreibung (Stick Slip)</i>	500

B - Session 4: Standardization/Patents/Laws/Test Procedures /			506	
Normung/Patentwesen/gesetzliche Vorgaben / Prüfverfahren				
B 08	DE	U. Blobner B. Richter	Indispensable Rubber Tests Yesterday and Today - Looking back on more than 100 Years of History of Rubber Testing from the Perspective of the New O-Ring Standard ISO 3601-5 <i>Unverzichtbare Gummiprüfungen damals und heute – Ein Rückblick auf über 100 Jahre Prüfgeschichte aus Sicht der neuen O-Ring Norm ISO 3601-5</i>	507
B 09	EN	R. Kulesa	Effects of VDI 2290 regarding Fugitive Emissions within the Chemical/Petrochemical and Gas Sector <i>Auswirkungen der VDI 2290 für diffuse Emissionen innerhalb der Chemie/Petrochemie und Gasbranche</i>	525
B 10	EN	F. Sonnenschein	ATEX for PTFE Based Radial Lip Seals <i>ATEX für PTFE basierte Radialwellendichtringe</i>	529
B 11	EN	O. Devlen D. Edwin-Scott J. Kerwin	Operating Limits of Elastomeric Seals at Low Temperatures <i>Einsatzgrenzen von Elastomer-Dichtungen bei niedrigen Temperaturen</i>	535
B - Session 5: Materials and Surfaces / Werkstoffe und Oberflächen			550	
B 12	EN	A. Kömmling, M. Jaunich D. Wolff	Influence of Ageing on Sealability of HNBR, EPDM and FKM O-Rings <i>Einfluss von Alterung auf die Dichtheit von HNBR-, EPDM- und FKM-O-Ringen</i>	551
B 13	EN	L. Huang X. Jia F. Guo X. Huang F. Tan	A Prediction Method of Rubber Seals' Ageing Performance Based on the Numerical Simulation <i>Eine auf numerischer Simulation beruhende alternsbasierte Vorhersagemethode der Leistung von Gummidichtungen</i>	564
B 14	EN	H.-C. Rost T. Klett	Balancing Biofuel Compatibility: Great at Freezing Temperatures <i>Biokraftstoffkompatibilität in der Balance: Großartig bei tiefen Temperaturen</i>	578
B 15	EN	J. Geng J. Mokros	Plasma Surface Modification – Optimized Sealing Surfaces <i>Plasma-Oberflächenbehandlung - optimierte Dichtflächen</i>	583

B - Session 6: Reciprocating Seals / <i>Translat. Dichtungen</i>			589	
B 16	DE	T. Schwarz S. Schreymayer	Rapid Prototyping and Product Development of Hydraulic Seals <i>Rapid Prototyping und Produktentwicklung am Beispiel von Hydraulikdichtungen</i>	590
B 17	EN	J. Angerhausen H. Murrenhoff	Influence of Anisotropic Surfaces on the Friction Behaviour in Hard/Soft Line Contacts <i>Einfluss anisotroper Oberflächen auf das Reibverhalten im hart/weich Linienkontakt</i>	603
B 18	EN	F. Kaiser S. Möller G. Barillas E. Bock	Simulation of Sealing Systems for Reciprocating Rods with Multiple Contacts <i>Simulation von Stangendichtsystemen mit mehreren Dichtkontakten</i>	616
B 19	DE	H. Jordan M. Wilke	Improved Performance on Reciprocating Seals due to Optimized Lubrication in the Sealing System <i>Zur Leistungssteigerung von translatorischen Dichtungen durch Schmierfilmoptimierung im Verband des Dichtsystems</i>	633
B - Session 7: Mechanical Seals / <i>Gleitringdichtungen</i>			640	
B 20	EN	N. Hoehle H. Hagedorn	Effective Utilization of Air as a Product Seal for Rotating Shafts <i>Effektive Nutzung von Luft als Produktdichtung für rotierende Wellen</i>	641
B 21	EN	X. Wang X. Wang W. Huang	Surface Texture Design for Mechanical Seals <i>Oberflächenstruktur-Design für Gleitringdichtungen</i>	649
B 22	DE	A. Gütlein F. Weber A. Thiele M. Merkel M. Sedlmaier D. Vogt	Cartridge Seals with Parts Produced with Laser Beam Melting <i>Gleitringdichtung in Patronenbauweise mit generativ hergestellten Bauteilen</i>	660
C - Session 8: Closing Lectures / <i>Abschlussvorträge</i>			674	
C 01	EN	F. Schönberg K. Müller-Niehuus	Simulation-based Robust Design for Wind-Turbine Sealing Solutions <i>Simulationsbasiertes Robust Design für Dichtungen in Windkraftanlagen</i>	675
C 02	DE	T. Leichner E. Bock T. Herweck	Change of CO ₂ -Emission Level by Optimizing the Sealing Systems in the Drive Chain of Modern Passenger Cars <i>Auswirkungen von Dichtsystemoptimierung auf den Gesamt-CO₂-Ausstoß eines Automobils mit Verbrennungsmotor</i>	693

Summaries
Zusammenfassungen

I- Session 1: Introduction Lectures
I- Session 1: Einführungsvorträge

I 01

Dr.-Ing. Manfred Achenbach, Ingenieur- und Sachverständigenbüro Achenbach, Bietigheim-Bissingen

Thermally Coupled Numerical Analyses of Polymeric Sealing Materials - a Road Map for Modelling Sealing Problems
Thermisch gekoppelte Analysen von polymeren Dichtungen - eine Wegweisung zur Modellbildung
EN

Commercial FEM packages typically provide a capability to model non-linear elastic as well as viscoelastic properties in order to analyze sealing problems appropriately. However it is often not clear whether these constitutive models conform to the fundamental theorems of thermodynamics. In particular with regards to coupled thermo-mechanical modelling of sealing problems this may be an important item. In this paper we indicate how one can proceed to choose a suitable material model for polymer-based seals compatible with the principles of thermodynamics. First we introduce the scheme of general thermodynamic material theory and provide useful advice for the construction of appropriate material modelling in sealing technology.

Kommerzielle FEM-Programme bieten für gewöhnlich nichtlineare Materialmodelle für Anwendungen in der Dichtungstechnik an. Jedoch ist häufig nicht klar, wie diese sich in die thermodynamischen Hauptsätze einfügen und ob sie mit diesen verträglich sind. Insbesondere wenn man an gekoppelten thermo-mechanischen Simulationen interessiert ist, werden solche Fragen nach der Stimmigkeit wichtig. Im vorliegenden Aufsatz soll gezeigt werden wie man dabei vorgehen kann. Wir stellen das Programm der allgemeinen thermodynamischen Materialtheorie vor und geben Hinweise auf den Aufbau von konsistenten Materialmodellen, die für die Dichtungstechnik wichtig sind.

I 02

Prof. Dr.-Ing. Peter Waidner, Fakultät für angewandte Naturwissenschaften und Mechatronik, Hochschule für angewandte Wissenschaften München

Impact of Speed Control for Pumps on the Operation of Mechanical Seals - a Challenge for the Future
Auswirkung von drehzahlgeregelten Antrieben für Pumpen auf das Betriebsverhalten von Gleitringdichtungen - eine Herausforderung für die Zukunft
DE

Variable speed of centrifugal pumps with the focus on increasing efficiency and power saving is today's state of the art. Not only small sized heating circulating pumps but also process pumps for industrial application and boiler feed pumps in power stations with power consumption of up to several MW are speed controlled nowadays. The impact of such random

Drehzahlregelungen zur Wirkungsgradsteigerung und Energieeinsparung von Zentrifugalpumpen entsprechen heute dem Stand der Technik. Nicht nur kleine Heizungsumwälzpumpen sondern industrielle Prozesspumpen bis hin zu Kessel-speisepumpen mit Anschlussleistungen im MW Bereich werden geregelt. Die Auswirkungen solch stochastischer Prozesse auf Gleitringdichtungen wurden

processes on mechanical seals has never been considered yet. The presented article shows an estimation of the considerable deviation from the regular stationary operation under invariable sliding speed and constant pressure on the friction condition and thus the expected live time, the power loss and the leakage behavior. The results were discussed and evaluated.

bisher nicht betrachtet. Im Beitrag werden Abschätzungen der erheblichen Abweichungen vom stationären Betriebszustand mit unveränderlicher Gleitgeschwindigkeit und konstantem Druck auf den Reibungszustand und damit auf die Lebensdauererwartung, die Reibleistungsverluste und das Leckageverhalten vorgestellt und bewertet.

A- Session 2: Rotary Shaft Seals

A- Session 2: Wellendichtungen

A 01

Dipl.-Ing. Matthias Baumann, Dr.-Ing. Frank Bauer, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart

Empirical Modeling of the Lead-induced Fluidpumping Action of Sealing Counterfaces - Is it Possible to Define Limits?

Empirische Modellierung der Drall-induzierten Fluidförderwirkung von Dichtungsgegenaufläachen – Sind Grenzwerte möglich?

DE

Shaft lead is a long known problem in sealing technology. As part of the tribological system of a radial lip seal, the shaft counterface determines significantly the functional behavior of the entire sealing system. Emerging from poorly controlled manufacturing processes, lead structures (oriented surface structures deviating from the circumferential direction) can cause a fluid pumping effect which superimposes with the naturally pumping effect of the radial lip seal and therefore outbalances the sealing system.

Whereas the radial lip seal is purchased and the fluid to be used is mostly given through the intended application, the shaft counterface is produced by the product manufacturer itself or is provided from suppliers with self-determined specifications. From the user's point of view, the shaft counterface remains the sealing component with the highest degree of freedom. The lack of expert knowledge, changes in the production process or the out-sourcing of the production abroad, are causing increasingly problems in terms of fluid tightness.

In recent years, considerably scientific progress was made in matters of metrological evaluation of macro and micro lead. Optical topography measuring instruments with sophisticated algorithms allow accurate and repeatable measurement of critical surface properties. Nevertheless, the question arises up to what limits a potential lead is still tolerable for a given sealing system.

Based on a high number of experimental studies, big progress was made during the last years in understanding how lead structures are pumping fluid

Drall auf Dichtungsgegenaufläachen ist ein Problem, welches die Dichtungstechnik seit vielen Jahren beschäftigt. Als Teil des tribologischen Systems Radial-Wellendichtung bestimmt die Dichtungsgegenaufläache maßgeblich über die Funktion des Dichtsystems. Bei der Fertigung der Dichtungsgegenaufläache entstehende, von der Wellenumfangsrichtung abweichend orientierte Drallstrukturen, führen zu einer von der Dichtungsgegenaufläache ausgelösten Fluidförderung. Diese bringt das fein austarierte Dichtsystem aus dem Gleichgewicht und führt zum Versagen.

Während der Radial-Wellendichtring gekauft wird und das abdichtende Fluid durch die vorgesehene Anwendung meist vorgegeben ist, wird die Dichtungsgegenaufläache vom Produkthersteller selbst gefertigt oder nach eigenen Vorgaben vom Zulieferer bezogen. Die Dichtungsgegenaufläache ist somit aus Sicht des Anwenders die Komponente des Dichtsystems mit dem höchsten verbleibenden Freiheitsgrad. Mangelndes Fachwissen, Änderungen im Fertigungsablauf oder die Auslagerung der Fertigung ins Ausland führen wieder zunehmend zu Problemen bei der Abdichtung mit Radial-Wellendichtringen.

In den letzten Jahren wurden seitens der Wissenschaft deutliche Fortschritte in Bezug auf die messtechnische Erfassung von Makro- und Mikrodrall erzielt. Optische Topographiemessgeräte mit ausgefeilter Algorithmen erlauben eine präzise und wiederholgenaue Messung der entscheidenden Oberflächeneigenschaften. Dennoch stellt sich

through the sealing contact. This article deals with the question of how these findings can be used to ensure a safe and reliable sealing with respect to the shaft counterface. The decisive parameters are transferred in an empirical model, which allows to decide, whether a shaft counterface is suitable for sealing application

nach wie vor die Frage bis zu welchen Grenzen ein Drall noch abdichtbar ist.

Anhand einer hohen Anzahl verschiedener experimenteller Untersuchungen wurde das Verständnis um die Wirkungsweise von Drallstrukturen in den letzten Jahren erheblich verbessert. Dieser Beitrag setzt sich mit der Frage auseinander wie diese Erkenntnisse dazu genutzt werden können ein sicheres und zuverlässiges Abdichten in Bezug auf die Dichtungsgegenlaufläche sicherzustellen. Die für die Funktion entscheidenden Parameter werden anhand eines Beispielsystems in ein empirisches Modell überführt, mit dem die Eignung einer Dichtungsgegenlaufläche für das gegebene Dichtsystem abgeschätzt werden kann. Dem Anwender bietet sich somit eine praktikable Möglichkeit eine Unterscheidung in geeignete und ungeeignete Wellen vorzunehmen.

A 02

Dipl.-Ing. Simon Feldmeth, Dr.-Ing. Frank Bauer, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart

Estimation Methods for the Contact Temperature of Radial Lip Seals

Abschätzverfahren für die Kontakttemperatur bei Radial-Wellendichtungen

DE

During the operation of radial lip seals, frictional heat is generated that heats up the contact area between the radial lip seal and the shaft. A high contact temperature accelerates the aging of the sealing system and can lead to its failure.

In order to rate the risk of thermally caused failures, the contact temperature of the sealing system should be known as precisely as possible. However, determining the contact temperature by measurements or simulation is very expensive. Therefore, methods have been developed for estimating the contact temperature in a fast and simple manner.

In this paper, several estimation methods are presented and compared. For a first rough estimation, the speed rule of thumb is recommended that only uses the shaft speed for calculating the temperature rise in the contact area. For a more detailed estimation, physically motivated approaches are recommended. These advanced estimation methods, like the ExACT method, take more influencing factors into account and thus offer a higher prediction accuracy. However, the accuracy strongly depends on the uncertainty of the frictional heat that is required as an input parameter.

Aufgrund von Reibwärme steigt die Temperatur im Kontaktbereich von Radial-Wellendichtungen über die Temperatur im Dichtungsumfeld und kann zum Ausfall des Dichtsystems führen. Um die Gefahr eines thermisch bedingten Ausfalls besser einschätzen zu können, muss die im Betrieb zu erwartende Kontakttemperatur möglichst genau bekannt sein.

Da Messungen und Simulationen sowohl zeit- als auch kostenaufwändig sind, werden häufig Abschätzverfahren verwendet, mit denen die zu erwartenden Kontakttemperaturen überschlägig ermittelt werden.

In diesem Beitrag werden mehrere gängige Abschätzverfahren vorgestellt und verglichen. Für eine allererste Abschätzung empfiehlt sich die vufastformel, bei der die Temperaturüberhöhung lediglich auf Basis der Umfangsgeschwindigkeit ermittelt wird. Für eine detaillierte Abschätzung in einem zweiten Schritt eignen sich physikalisch motivierte Ansätze. Hierzu zählt beispielsweise das am Institut für Maschinenelemente (IMA) der Universität Stuttgart entwickelte ExACT-Verfahren, mit dem deutlich mehr Einflussfaktoren auf die

In order to provide a comfortable, fast and faultless use of the most common estimation methods for the contact temperature of radial lip seals, a software tool called "InsECT" is developed at the Institute of Machine Components at the University of Stuttgart.

Kontakttemperatur berücksichtigt werden können. Dabei hängt die Vorhersagegenauigkeit stark davon ab, mit welcher Unsicherheit die angenommene oder ermittelte Reibleistung behaftet ist. Um die gängigen Abschätzverfahren möglichst komfortabel, schnell und fehlerfrei anwenden zu können, wird am IMA das Abschätzprogramm In-SECT entwickelt.

A 03

Dominik Weyrich, M.Sc., Dipl.-Ing. Christian Kaiser, Prof. Dr.-Ing. Bernd Sauer, Lehrstuhl für Maschinenelemente und Getriebetechnik (MEGT), TU Kaiserslautern

Systematic Investigation of Dust Charged Radial Shaft Seals

Systematische Untersuchung von schmutzbeaufschlagten Wellenabdichtungen

EN

Radial shaft seal rings made from elastomer are used for sealing the interface between housings and rotating shafts. The main purpose of these seals is to prevent leakage of lubricant like oil and to exclude dirt and dust from entering into the housing. Impurities that get into the oil chamber lead to an increase in the wear rate of for example slide bearings, gears and ball bearings compared to "clean" oil. There are many applications where seals are subject to a large quantity of dust, e.g. machinery in the mining industry or machines used in the building and construction industry. Still today no official guidelines are available that provide a definition of a standardized dust test for sealing systems exposed to these harsh environmental conditions. In this paper a test rig specifically designed for examining radial shaft seal rings in dust applications is presented. With the help of this test rig, experimental results for seal rings exposed to dust-enriched air and water are obtained. In addition to the experimental studies a simulation model of a radial shaft seal ring was built up. With the simulation, the amount of wear on both the sealing lips, the progression of the contact temperature, the distribution of temperature across the sealing ring cross-section and the friction torque is available. The simulation results are compared to the results of the experimental studies and validated.

Radial-Wellendichtringe aus Elastomer dienen dazu Maschinen zur Umwelt hin abzudichten und sollen gleichzeitig dafür zu sorgen, dass von außen keine Substanzen (Partikel, Wasser, etc.) in den Ölraum gelangen. Verunreinigungen, die in den Ölraum gelangen können dazu führen, dass beispielsweise Gleitlager, Zahnräder, Wälzlager usw. deutlich stärker verschleifen, als in „sauberem“ Öl. Aus diesem Grund müssen Dichtringe, die neben mechanischen (Wellen- und Gehäusevibrationen), thermischen und chemischen Belastungen auch einer extremen Schmutzbeaufschlagung ausgesetzt sind, besonders ausgelegt und untersucht werden. Aktuell kann jedoch weder auf eine Norm, noch auf eine Richtlinie zurückgegriffen werden, die einen einheitlichen Schmutztest für Radial-Wellendichtringe vorgibt. In diesem Beitrag wird ein Prüfstand vorgestellt, mit dem die definierte Schmutzbeaufschlagung von Radial-Wellendichtringen möglich ist. Zur Beaufschlagung kann hierbei sowohl Wasser, als auch Luft als Trägermedium eingesetzt werden. Es werden erste, experimentelle ermittelte Ergebnisse zu dem Verschleißverhalten von Radial-Wellendichtringen unter Schmutzbeaufschlagung präsentiert. Ergänzend zu den experimentellen Untersuchungen wird auf ein FE-Simulations-Modell eines Radial-Wellendichtringes eingegangen. Dieses Modell bietet über einen inkrementellen Ansatz die Möglichkeit den Verschleiß, das Reibmoment und die Kontakttemperatur an den beiden Dichtkanten zu berechnen. Die gewonnenen Simulationsergebnisse werden mit den Ergebnissen aus den experimentellen Untersuchungen abgeglichen und validiert.

A- Session 3: Rotary Shaft Seals**A- Session 3: Wellendichtungen****A 04**

Dipl.-Ing. Rainer Sonnemann, Volkswagen AG, Baunatal

Rotary Shaft Seal Correlation between Test Bench and Real Field Situation***RWDR-Korrelationsbetrachtung zwischen Komponententest und realer Feldsituation*****DE**

To minimise the test times of radial shaft seals, special functional tests on component test benches are carried out. The results achieved on the test bench should reflect as far as possible the real field situation concerning functional security and robustness without deductions. At the Volkswagen plant in Kassel correlation investigations became carried out with dynamic seal at the output shaft of a direct shift gearbox. The concerning ACM sealing disposes of a micro-lip with mainspring. The check bases on the specification VW 011 50 for RWDR.

Um die Erprobungszeiten von Radial-Wellendichtungen (RWDR) zu minimieren, werden zeitraufende Funktionsprüfungen u.a. auf Komponententestständen durchgeführt. Die auf dem RWDR – Komponententeststand erzielten Ergebnisse sollen nach Möglichkeit die reale Feldsituation in Bezug auf Funktionssicherheit und Robustheit ohne Abstriche widerspiegeln. Bei Volkswagen in Kassel wurden Korrelationsuntersuchungen u.a. am RWDR – Endwelle eines Direktschaltgetriebes durchgeführt. Der betreffende RWDR verfügt über eine Mikrolippe mit Zugfeder und ist aus dem Werkstoff ACM gefertigt. Die Komponententests basieren auf der Konzernnorm VW 011 50 für RWDR.

A 05

Dr.-Ing. Christian Hoffmann, GETRAG Getriebe- und Zahnradfabrik GmbH & Cie KG, Untergruppenbach

Different Wear of Rotary Shaft Seals in the Vehicle and on the Rig***Unterschiedliches Verschleißverhalten von RWDR im Fahrzeug und auf dem Prüfstand*****DE**

Vehicle transmissions are sealed to prevent oil leakage at the input and output shafts using rotary shaft seals. During the development rotary shaft seals are validated on a component test rig as well as in transmissions. In the transmissions the seals are tested on the test rig and in the vehicle. In the present case the input shaft seal showed a high amount of wear after only a short time in the vehicle, which does not correlate to the results from component testing on the rig. The heavy wear of the seal in the vehicle caused oil to leak into the clutch compartment, coating the clutch with oil and therefore to slip the clutch. The result was a failure of the car. Extensive investigations were done at the University of Stuttgart to reproduce the wear on the component test rig. The report demonstrates how a wear pattern

Fahrzeuggetriebe werden an der Antriebs- und Abtriebswelle mit Radialwellendichtungen gegen Ölaustritt abgedichtet. Während der Entwicklung erfolgt die Erprobung der Dichtringe auf Komponentenebene auf dem Prüfstand und im Getriebe. Im Getriebe werden die Dichtringe sowohl auf dem Prüfstand als auch im Fahrzeug miterprobt. Im vorliegenden Fall trat im Fahrzeug schon nach kurzer Laufzeit starker Verschleiß am Antriebswellen RWDR auf, der mit den Ergebnissen aus der Komponentenerprobung am Prüfstand nicht korrelierte. Der starke Verschleiß im Fahrzeug führte teilweise schon nach kurzer Zeit zu Leckage, was wiederum zum Verölen der Kupplung und damit zu deren Durchrutschen führte. Ein Ausfall des Fahrzeugs war die Folge.

of the seal, similar as in the vehicle, was reproduced on the test rig, using appropriate speed collectives and lubrication conditions

Es wurden daraufhin umfangreiche Untersuchungen an der Universität Stuttgart durchgeführt, um das Verschleißbild auch am Komponentenprüfstand nachvollziehen zu können. Es wird aufgezeigt, wie es schließlich gelang, durch geeignete Drehzahlkollektive und Beölungszustände, am Prüfstand ein ähnliches Verschleißbild wie im Fahrzeug zu erzeugen.

A 06

Dipl.-Ing. Axel Eipper, Dr.-Ing. Frank Bauer, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart

Changes of Circumferential Speed in Load Spectra - Influence on Radial Lip Seals

In the development process of oil-lubricated applications suitability testing of radial lip seals plays an important role. This is based on the fact that a mathematical estimation of the durability is not possible until now due to many influencing factors. To show the suitability of the sealing system, test runs with defined testing conditions are carried out. This is to ensure that operating conditions and the components involved in the sealing system do not have a damaging influence on each other.

Although there are hints about testing with load spectra in DIN 3761, those do not reflect real applications. Therefore, it is common practice to individually coordinate test runs on their own requirements and in addition to quantify failure criteria. However, these are mostly influenced by experience and subjective impressions and not based on scientific evidence.

Based on images of failure modes at constant speeds, developed in the research project "Lastkollektive 1" of the Forschungsvereinigung Antriebstechnik first attempts at varying speeds were realized. In this case, significant differences in wear characteristics occurred, which proved to be dependent on the selected load factors. In order to rate their influence, load factors and the related duration were varied systematically.

This paper deals with simple configurations of load spectra which have a regular load-course. Meanwhile effects on the damage behavior were determined. Besides run-time and circumferential speed, more loading factors created by the switch over to multi-stage loads were varied.

With this knowledge, users are allowed to choose the essential load factors for type approval tests close to real applications. These test conditions correlate

Einfluss von Drehzahlwechseln in Lastkollektiven auf das System Radial-Wellendichtung

DE

Im Entwicklungsprozess ölgeschmierter Anwendungen spielt die Eignungsprüfung von Radial-Wellendichtungen eine wichtige Rolle. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass eine rechnerische Abschätzung der Lebensdauer auf Grund der vielen Einflussfaktoren bis heute nicht möglich ist. Mittels vorher definierter Prüfbedingungen werden daher Versuchsläufe durchgeführt, um die Eignung des Dichtsystems nach zu weisen. So soll sichergestellt werden, dass Betriebsbedingungen und die am Dichtsystem beteiligten Komponenten keinen schädigenden Einfluss aufeinander haben. Zwar existieren in DIN 3761 Vorgaben zur Erstellung von Prüfkollektiven, die darin enthaltenen Angaben spiegeln reale Anwendungen jedoch nur in Ausnahmefällen wieder. Daher ist es gängige Praxis, Prüfläufe individuell auf die eigenen Anforderungen abzustimmen und zusätzlich Ausfallkriterien zu quantifizieren. Diese sind jedoch meist von Erfahrungswerten und subjektiven Eindrücken geprägt und basieren nicht auf wissenschaftlichen Erkenntnissen.

Auf Grundlage der im Forschungsprojekt Lastkollektive I der Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA, Mitglied im VDMA) erarbeiteten Schädigungsbilder bei Versuchen mit konstanter Drehzahl wurden erste Versuche zu variierenden Drehzahlen gefahren. Dabei zeigten sich deutliche Unterschiede im Verschleißverhalten, welches sich als von den gewählten Belastungsfaktoren abhängig zeigte. Um den Einfluss der Faktoren bewerten zu können, wurden systematisch Belastungen und deren zeitlicher Verlauf variiert. Der Beitrag befasst sich mit einfachen Formen von Lastkollektiven die einen regelmäßigen Belas-

much better with the real application loads than single stage test runs.

tungs-Zeit-Verlauf aufweisen. Dabei wurden Einflüsse auf das Schädigungsverhalten ermittelt. Neben Einlaufzeit und Umfangsgeschwindigkeit wurden weitere, durch die Umstellung auf mehrstufige Belastungen entstehende Parameter variiert. Dem Anwender ermöglicht dies, die zur Durchführung von Zulassungsversuchen unverzichtbaren Belastungen realitätsnah zu wählen. Dadurch lassen sich Prüfbedingungen generieren, die im Vergleich zu einstufigen Versuchsläufen der Anwendung wesentlich besser entsprechen.

A 07

Dipl.-Ing. Christian Berndt, Prof. Dr.-Ing. Matthias Kröger, Institut für Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung (IMKF), TU Bergakademie Freiberg

Radial Shaft Seals on Unsteady Operating Conditions

EN

There are several experimental and simulative approaches for the description of the tribological behavior of radial lip seals. The GUEBMBEL-diagram summarizes several influences and can be determined from experiments. After calculating the GUEBMBEL-number with the oil viscosity, the contact pressure and the angular frequency, the friction coefficient can be extracted from the diagram. Several more bounding conditions are included there implicitly. Therefore, such a diagram has to be determined for every seal and shaft combination individually.

In contrast to these investigations with steady operating conditions in reality unsteady conditions can be observed. Therefore a test rig for the tribological characterization of radial lip seals has been developed, which allows both – steady and unsteady operating conditions. Experimental results of a radial lip seal, type B1oF 45x52x4 are shown and discussed. Further the effects which occur at unsteady operating conditions are investigated. It could be observed that on unsteady operating conditions the range of the GUMBEL-number and the friction coefficient is larger than on stationary operating conditions.

Radial-Wellendichtringe bei instationären Betriebsbedingungen

Für die Beschreibung des tribologischen Verhaltens von Radial-Wellendichtringen unter stationären Randbedingungen gibt es verschiedene experimentelle und auch simulative Ansätze. Das experimentell gewonnene Gümbelzahldiagramm fasst verschiedene Einflüsse zusammen. Nach der Berechnung der Gümbelzahl für die anliegenden Randbedingungen aus Ölviskosität, Kontaktdruck und Winkelgeschwindigkeit kann direkt auf den Reibwert geschlossen werden. Weitere (konstante) Randbedingungen sind implizit versteckt. Aus diesem Grund muss ein solches Diagramm für jede Kombination von Dichtung und Lauffläche aufwendig ermittelt werden. Zudem enthält es nur Ergebnisse aus stationären Messpunkten.

Im Gegensatz zu derartigen Untersuchungen ist der Radialwellendichtring in der Praxis meist veränderlichen, instationären Randbedingungen ausgesetzt. Nur sehr wenige Maschinen laufen mit konstanter Drehzahl – viel häufiger ist ein regelmäßiger Wechsel. Unklar ist daher ob und wie diese dynamischen Betriebszustände mit den klassischen Methoden abgebildet werden können. Aus diesem Grund wurde ein Prüfstand entwickelt mit dem die Untersuchung von Radialwellendichtringen unter instationären Betriebsbedingungen möglich ist. Insbesondere sind schnelle Wechsel der Temperatur und sprunghafte Drehzahländerungen möglich. Spezielle Messanordnungen erlauben es die tribologischen Kenngrößen wie Drehmoment und Temperatur hochfrequent während der Wechsel der Betriebsbedingungen aufzunehmen. Die Ergebnisse zeigen die wesentlichen

Einflussfaktoren, welche bei instationären Betriebsbedingungen beachtet werden müssen und wie sich diese auf das tribologische Verhalten auswirken.

A- Session 4 : Materials and Surfaces
A- Session 4 : Werkstoffe und Oberflächen

A 08

Dipl.-Ing. Andreas Gropp, Dipl.-Ing. Sascha Möller, Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG, Weinheim

Dipl.-Ing. Gonzalo Barillas, Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG, Schwalmstadt

Simulation of Surface Topography in Sealing Systems for Reciprocating Rods
Simulation von Oberflächentopographien von Stangendichtsystemen
EN

Simulation methods for the oil film thickness of reciprocating seals are state of the art considering some boundaries restrictions. The models differ from reality as they do not take into consideration the amount of oil around the sealing area (starved conditions) and surface roughness and surface energy effects of the parts in motion.

In this work, a method to consider surface topography into the elastohydrodynamic simulation of the oil film is presented. Using the homogenization theory, relevant surface parameters have been identified and used to adapt the Reynolds differential equation describing the fluid dynamics in small circumferential gaps. With this tool, the seal behavior depending on different rod topographies in terms of friction force and leakage can be predicted. Using a standard test rig and different rods, the simulation prediction was compared with test measurements on polyurethane U-cup rod seals. These comparisons show that the behavior of the seals in reality and in the simulations is in very good agreement.

Rechnerische Methoden zur Bestimmung der Schmierfilmhöhe von Stangendichtungen sind Stand der Technik. Die geeignete Wahl der Randbedingungen ist für das Ergebnis jedoch entscheidend. Die Berechnungsmodelle weichen von der Realität dadurch ab, dass die Ölmenge im Bereich der Dichtzone (Mangelschmierung), Oberflächenrauheiten der Bauteile und Grenzflächeneffekte nicht berücksichtigt werden.

In diesem Beitrag wird eine Methode vorgestellt, die die Oberflächenrauheit in der elastohydrodynamischen Simulation des Schmierfilms berücksichtigt. Auf Grundlage der Homogenisierungstheorie wurden relevante Rauheitskenngrößen ermittelt und zur Anpassung der Reynolds-Differentialgleichung verwendet um Strömungsvorgänge in engen Ringspalten zu beschreiben. Mit diesem Werkzeug kann das Reibungs- und Leckageverhalten von Dichtungen in Abhängigkeit unterschiedlicher Stangentopographien vorhergesagt werden. Mit einem Standardprüfstand und unterschiedlichen Stangen wurden die Simulationsergebnisse mit Versuchsergebnissen von Polyurethan-Nutringen verglichen. Die Vergleiche zeigten eine sehr gute Übereinstimmung von Simulation und Dichtungsverhalten in der Realität.

A 09

Mario Stoll, M.Sc., Dipl.-Ing. Lothar Hörl, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart

Influence of Different Rod Surfaces on PU-U-Cups and PTFE-Step Seals

Einfluss verschiedener Stangenoberflächen auf PU-Nutringe und PTFE-Stufendichtringe

DE

Since the 1960's, hydraulic rod seals are developed using the Inverse Reynolds Equation. The surface structure of the rod is not taken into account in this calculation, for which reason a discrepancy between the calculated and the real application friction occurs. The usual 2D surface specifications characterise the surface structure of the rod insufficiently. Based on experiments, this paper demonstrates the negative effect of some surface structures on the sealing system. In addition it shows, whether the 3D surface specifications according to DIN EN ISO 25178 have advantages in predicting leakage and friction over the well-known 2D surface specifications.

Seit den 60er Jahren werden Leckagen von Hydraulikdichtungen mit Hilfe der inversen Reynolds-Gleichung berechnet. Dabei wird mit der Topographie der Stange-Oberfläche ein entscheidender Aspekt bei der Berechnung nicht berücksichtigt, weshalb es zu Abweichungen zwischen den berechneten Werten und der Praxis kommt. Stand der Technik sind Oberflächenangaben mit Hilfe von zweidimensionalen Rauheitskennwerten, welche die Oberfläche nur unzureichend klassifizieren können. Anhand von experimentellen Untersuchungen wird in diesem Paper gezeigt, welche Oberflächenstrukturen einen negativen Einfluss auf das Dichtsystem haben. Des Weiteren wird erörtert, ob die dreidimensionalen Kennwerte nach DIN EN ISO 25178 Vorteile bei der Vorhersage von Leckage und Reibung gegenüber den bekannten 2D Rauheitskennwerten haben.

A 10

Koji Watanabe, Kazunari Seki, NOK corporation, Kitaibaraki, Japan
Hikaru Tadano, Dr.-Ing. Fabian Kaiser, Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG, Weinheim

A Study on the Friction Reduction of Seal Rings for Automatic Transmission by Applying Surface Texture

Untersuchung der Reibungsreduzierung an Rechteckdichtringen für Automatikgetriebe durch Einbringen von Oberflächenstrukturen

EN

This paper describes the influence of surface textures on PEEK seal rings. The lubrication conditions of such rings are studied numerically and experimentally. Seal rings are mainly used for transferring hydraulic pressure to rotating shafts in Automatic Transmissions (AT) and Continuously Variable Transmissions (CVT) of passenger cars. Seal rings are installed in shaft grooves and seal the hydraulic fluid by being pressed radially to the bore in the housing and axially to the groove side wall of the shaft by the hydraulic pressure. The rings slide against

Dieser Beitrag beschreibt den Einfluss von Oberflächenstrukturen auf Rechteckringen aus PEEK. Die Schmierungsverhältnisse solcher Dichtringe wurden numerisch und experimentell untersucht. Rechteckringe werden hauptsächlich in Automatikgetrieben und CVT-Getrieben von PKW verwendet um Hydraulikflüssigkeit unter Druck in rotierende Wellen zu übertragen. Rechteckringe werden in wellenseitigen Nuten montiert. Sie dichten die Hydraulikflüssigkeit durch druckaktivierte Anpressung an die Nabe (radial) und die Stirnseite

the groove side wall which causes torque losses due to the friction between the ring and the shaft.

Therefore friction reduction of seal rings is necessary in order to improve fuel efficiency in passenger cars. The conventional method to reduce friction torque is to reduce the sliding surface area together with the normal load. This study, however, analyses the effect of surface texturing on the sliding surface in order to reduce friction by improving the lubrication conditions.

Frictional torque was measured at various sliding speeds and pressures and the oil film thickness was measured using LIF (laser-induced fluorescent) technique. Theoretical and experimental results are discussed and compared. The results show that the developed textured seal ring can be used at higher pressures and sliding velocities compared to a standard design thanks to the better lubrication that results from the hydrodynamic structures. Moreover, the textured seal rings show remarkably low frictional torque. Compared to conventional rings, friction is reduced by up to 70% with optimized texture dimensions.

der Nut (axial) ab. Die Dichtringe gleiten entlang der Stirnseite der Nut und erzeugen durch die Reibung einen Drehmomentverlust. Für verbrauchsärmere PKW ist deshalb eine Verringerung der Dichtungsreibung erforderlich. Die übliche Vorgehensweise um das Reibmoment von Dichtungen zu verringern ist eine Verringerung von Gleitfläche und Anpresskraft. Diese Studie untersucht hingegen den Einfluss von Oberflächenstrukturierungen mit dem Ziel, die Schmierungsverhältnisse zu verbessern. Dafür wurden das Reibmoment und die Schmierfilmhöhe bei verschiedenen Gleitgeschwindigkeiten und Drücken gemessen. Die Schmierfilmhöhe wurde mit Hilfe der LIF-Methode (laserinduzierte Fluoreszenz) gemessen. Simulations- und Versuchsergebnisse werden einander gegenübergestellt und diskutiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass der daraus entwickelte Rechteckring durch die hydrodynamisch wirksamen Strukturen besser geschmiert ist und deshalb bei höheren Drücken und höheren Gleitgeschwindigkeiten verwendet werden kann als herkömmliche Rechteckringe. Die strukturierten Rechteckringe weisen zudem ein wesentlich geringeres Reibmoment auf. Durch optimierte Strukturen kann die Reibung gegenüber herkömmlichen Rechteckringen um bis zu 70% verringert werden.

A 11

Markus Schulz, M.Sc., Dr.-Ing. Frank Bauer, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart

Influence of Superfinished Shafts on the Function of Lip Seals

The counterface is, besides the elastomer, geometry of the radial lip seal, operating conditions and the fluid, the part of the tribological system, which is most influencing the function and behaviour of a radial lip seal. To reduce costs and time in the shaft production, more and more frequently new, faster and cheaper manufacturing techniques are used. In this paper, the influence of superfinished shafts on the function and wear of a radial lip seal is analysed. The research includes surface analyses and endurance tests. Within the endurance tests, the wear behaviour of the radial lip seals was analysed. All performed endurance tests showed no leakage. However, the sealing edges of the radial lip seals exhibit more signs of wear than with the use of a ground counterface.

Einfluss supergefinishter Dichtungsgegenläufigen auf die Funktion von Radial-Wellendichtungen

DE

Die Dichtungsgegenläufige beeinflusst, neben dem Elastomer sowie der Geometrie von Radial-Wellendichtungen (RWDR), den Betriebsbedingungen und dem abzudichtenden Fluid, maßgeblich die Funktion und das Verhalten des tribologischen Systems Radial-Wellendichtung. Aufgrund von Kosten- und Zeitersparnissen werden in der Wellenproduktion an Stelle von Standardverfahren (Einstechschleifen mit rotierender Schleifscheibe) neuere, schnellere und kostengünstigere Fertigungsverfahren eingesetzt. Diese Fertigungsverfahren werden damit beworben drallfreie Oberflächen zu erzeugen und sollten somit in der Lage sein die in den Normen geforderten Standardverfahren zu ersetzen. Allerdings kommt es

mit Dichtungsgegenläufigkeiten, die so bearbeitet wurden, öfters zu Problemen mit Leckage oder erhöhtem Verschleiß.

Im Rahmen dieses Papers werden die Auswirkungen von supergefinishten (bandgeschliffenen) Dichtungsgegenläufigkeiten, welche umlaufende Strukturen aufweisen, auf die Funktion und den Verschleiß von RWDR dargestellt. Außerdem wird erklärt welche Untersuchungsmethoden und Rauheitskenngrößen geeignet sind um supergefinishte Wellen als Dichtungsgegenläufigkeit zu bewerten.

A- Session 5 : Simulation

A- Session 5 : Simulation

A 12

Florian Albrecht, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Kletschkowski, Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau, HAW Hamburg

Simulation of Rotary Shaft Seals with Multiple Mass Points

Simulation von Wellendichtringen mit einer Vielteilchenmethode

DE

Rotary shaft seals are sealing elements which prevent a loss of lubricant and keep out dust particles at rotary shafts. To analyze their dynamical behavior, finite element methods (FEM) as well as simplified substitutional mechanical systems are state of the art. The FEM requires high performance computers and a simplified substitutional system like a mass oscillator might give results with a very limited accuracy. In this work a method will be presented, that is in between these two other methods and that is already successfully tested with view to the dynamical behavior of tyres. The three-dimensional continuum is therefore structured with mass points which are connected to each other via jointed, longitudinally deformable bars. For the spatial case a system of $3n$ (n is the number of mass points) coupled ordinary differential equations (not partial differential equations like usually in continuum mechanics) is gained. In the present case this is solved with numerical integration in the time domain. The locally one-dimensional approach is useful to transfer nonlinearities in the material into rheological material models. First of all, the method of multiple mass points is introduced for a bending beam with nonlinear material behavior and subsequently transferred to a rotary shaft seal. Unlike FEM it is not the highly precise resolution of internal stress levels but the external dynamic which is the focus of interest. In the long term there will be elaborated a method for the numerical analysis of dynamical sealing processes. For instance, operational oscillations

Wellendichtringe sind Dichtelemente, die an rotierenden Wellen das Austreten von Schmiermittel und das Eindringen von Schmutzpartikeln verhindern sollen. Um deren dynamisches Verhalten rechnergestützt mit Simulationen zu untersuchen, werden auf dem Stand der Technik die Methode der finiten Elemente (FEM) aber auch vereinfachte mechanische Ersatzsysteme verwendet. Die FEM erfordert eine hohe Rechenkapazität und ein vereinfachtes Ersatzsystem, wie zum Beispiel das des Ein-Massen-Schwingers, kann das Verhalten unter Umständen nur mit sehr eingeschränkter Genauigkeit wiedergeben. In dieser Arbeit wird ein Verfahren präsentiert, das zwischen beiden Methoden anzusiedeln ist und schon erfolgreich für Untersuchungen des dynamischen Verhaltens von Reifen angewendet wurde. Dabei wird das betrachtete dreidimensionale Kontinuum systematisch in Massepunkte aufgelöst, die untereinander durch gelenkig angeschlossene längsverformbare Stabelemente verknüpft sind. Dadurch wird im räumlichen Fall ein System aus $3n$ (n ist die Anzahl der Massepunkte) miteinander gekoppelten gewöhnlichen (und nicht, wie in der Kontinuumstheorie üblicherweise partiellen) Differentialgleichungen gewonnen. Dieses wird im vorliegenden Fall mit einem Integrationsverfahren numerisch im Zeitbereich gelöst. Vorteilhaft ist auch, dass durch die lokal eindimensionale Betrachtung materielle

of rotary shaft seals and their dynamical interaction with the counterface can be analyzed and used for the design of sealing systems.

Nichtlinearitäten direkt mit rheologischen Materialmodellen umgesetzt werden können. Zunächst wird das Verfahren der Vielteilchenmethode an einem Biegebalken mit nichtlinearem Materialverhalten vorgestellt und anschließend auf eine Manschettendichtung übertragen. Im Unterschied zur FEM steht hierbei nicht die hochpräzise Auflösung innerer Spannungszustände, sondern die äußere Dynamik im Fokus des Interesses. Langfristig wird somit ein Verfahren zur numerischen Analyse dynamischer Dichtprozesse erarbeitet, mit dem Betriebsschwingungen von Wellendichtringen und deren dynamische Interaktion mit der Gegenlauf- fläche untersucht und bei der Auslegung von Dichtsystemen eingesetzt werden können.

A 13

Nino Dakov, M.Sc., Dr.-Ing. Frank Bauer, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart

A Better Understanding of Shaft Seals Made of PTFE-Compound Through Elastohydrodynamic Analysis

Shaft seals made of polytetrafluorethylene (PTFE) compound offer high thermal and chemical stability. In contrast to elastomeric radial lip seals, PTFE lip seals show no active reverse pumping mechanism. In order to provide a seal effect, additional sealing aids are used on the PTFE lip seal. For the design of suitable sealing aids an understanding of the underlying tribological processes between PTFE lip seal, shaft and lubricant is needed. A suitable approach for the investigation of the hydrodynamic fluid flow in the sealing zone is the elastohydrodynamic lubrication (EHL) simulation. The following article studies the seal effect of PTFE lip seals with bi-directional sealing aids through EHL simulation considering mixed-lubrication effects. The flexibility of the PTFE lip seal is modelled by an elastic half space model. The contact and hydrodynamic pressure distribution from the EHL simulation is presented and analysed. Furthermore, the characteristic gap height profile is studied. The minimal gap height profile is compared for different rotational speeds of the shaft. The gap height results enable the analysis of the pumping effect of the bi-directional sealing aids. Through the improved understanding of the processes in the sealing zone of PTFE lip seals with bi-directional sealing aids, the sealing effect can be further optimised.

Wellendichtungen aus PTFE-Compound mittels elastohydrodynamischer Simulation besser verstehen

DE

Manschettendichtungen aus PTFE-Compound, auch PTFE-Manschetten genannt, zeichnen sich durch eine hohe thermische und chemische Beständigkeit aus. Im Gegensatz zu Radialwellendichtringen aus Elastomer haben glatte PTFE-Manschetten jedoch keinen aktiven Rückfördermechanismus. Um ein dynamisches Rückfördervermögen zu gewährleisten, sind zusätzliche Rückförderstrukturen erforderlich. Für die Dichtheit im statischen und dynamischen Betrieb spielen die tribologischen Wechselwirkungen zwischen den Rückförderstrukturen der Manschette, der Welle und dem abzudichtenden Fluid eine wichtige Rolle. Diese sind noch nicht ausreichend bekannt. Eine Möglichkeit zur Untersuchung der Strömungsverhältnisse im Dichtspalt ist die elastohydrodynamische (EHD) Simulation. Im vorliegenden Beitrag wird die Dichtwirkung einer PTFE-Manschette mit bidirektionalen Rückförderstrukturen mit Hilfe der EHD-Simulation untersucht. Die Nachgiebigkeit der PTFE-Manschette wird über ein elastisches Halbraummodell abgebildet. Der Simulationsablauf wird in zwei Schritte unterteilt. Im ersten Schritt wird eine FEM-Montagesimulation an einem dreidimensionalen Ausschnitt der Manschette durchgeführt. Das Ergebnis ist die Kontaktpressung zwischen Dichtring und Welle im eingebauten Zustand. Im zweiten Schritt wird eine

Strömungssimulation basierend auf der diskretisierten REYNOLDS-Differentialgleichung durchgeführt und analysiert. In der Strömungssimulation wird die makroskopische Oberfläche von Dichtring und Welle berücksichtigt. Die Schmierfilmdicke wird iterativ angepasst, bis die Kontaktpressung aus der FEM-Berechnung und der hydrodynamische Druck aus der CFD-Simulation innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereiches übereinstimmen.

Anhand des Spalthöhenverlaufs wird das Rückfördern von Leckage bei PTFE-Manschetten mit bidirektionalen Rückförderstrukturen untersucht. Dabei wird die Spaltöffnung am geschlossenen ölseitigen Ring infolge Strömungsumlenkung und Staudruck an den Rückförderstrukturen analysiert.

Durch das verbesserte Verständnis der Vorgänge im Dichtspalt von Manschettendichtungen aus PTFE-Compound mit bidirektionalen Rückförderstrukturen kann deren Dichtwirkung gezielt optimiert werden.

A 14

Dr.-Ing. Manfred Achenbach, Ingenieur- und Sachverständigenbüro Achenbach, Bietigheim-Bissingen

Self-Heating in Sealing Material Caused by Dynamic Loading

EN

Dynamical loaded seals sometimes change temperature not only by external heat fluxes but also due to sources of strain energy dissipation by internal friction. Part of the working applied to the seal by external forces is converted into heat and therefore temperature increases. For this type of heat build-up rubbers and elastomers are prone. Causes are special thermo-visco-elastic effects of this class of materials as well as their ability to undergo large deformations. In this paper we show how these effects can be interpreted in the context of thermodynamics and in addition we shall follow ideas from irreversible thermodynamics in order to derive suitable formulae for the prediction of induced heating by dynamic loaded seals.

Eigenerwärmung in Dichtungen infolge dynamischer Beanspruchungen

Dynamisch beanspruchte Dichtungen verändern ihre Temperatur nicht nur aufgrund von Wärme-Zu- oder Abflüssen aus der Umgebung, sondern können auch durch innere Reibung, sogenannte Energie – Dissipation, Temperaturänderungen erfahren. Dabei wird ein Teil der durch äußere Kräfte zugeführten Verformungsarbeit in Wärme umgewandelt und damit eine Temperaturerhöhung in der Dichtung veranlasst. Für diese Art der Erwärmung sind besonders Gummi und Elastomere empfänglich. Ursache sind spezielle thermo-viskoelastische Eigenschaften dieser Werkstoffklasse und ihre Fähigkeit zu großen Verformungen. In der Arbeit wird gezeigt wie diese Vorgänge in den Kontext der Thermodynamik eingebunden werden können und mit welchen Methoden man zu expliziten Formeln zur Vorhersage von induzierter Erwärmung in dynamisch beanspruchten Dichtungen kommen kann.

A 15

Dr.-Ing. Christoph Wehmann, Trelleborg Sealing Solutions Germany GmbH, Stuttgart
 Ole Riis Nielsen, Trelleborg Sealing Solutions, Oslo, Norway

**Simulation of the Buckling Behaviour of
 Extruded Rotary Seals**

***Simulation des Beulverhaltens von
 extrudierten Rotationsdichtungen***

EN

This contribution deals with the analysis of buckling effects, which occur in extruded rotary seals. Such buckling effects are created by the manufacturing process. After extrusion, the semi-finished part is deformed into a circular ring to become a rotary seal. Then, the part is vulcanized at the interface. The manufacturing technique described previously has a significant influence on the properties of the seal, when compared to injection molding. In the injection molding process a seal maintains its shape from the beginning of the process. However, in the extrusion process this is not the case. Vulcanization takes place in a different shape for extruded rotary seals. This different shape is the profile which is the semi-finished product used to generate the seal. Due to the manufacturing process, the final circular rotary seal has residual stresses and strains. These strains can lead to buckles at the inner diameter, where the sealing lip is located. Hence, axial leakage channels can occur. Therefore, buckling of elastomers is a major concern of the sealing function. Elastomers are susceptible to buckling because of their incompressible material behavior. When compressive strains become larger, the material has to be redistributed. This explains the cause of buckling on the inner diameter of extruded rotary seals. Several factors such as cross section design, extrusion length, material parameters and process parameters can influence the buckling effects. A seal exhibiting buckling does not guarantee any sealing functions.

In order to prevent such buckling effects Finite Element Analysis (FEA) is used to simulate and understand design parameters. The modeling process is described concerning kinematics, constitutive equations and contact modeling. In addition, it is described how to reduce the computational effort for these analyses in this manuscript.

Having successfully simulated the buckling effects, design modifications in order to reduce the buckling effects will be proposed. The different design modifications will be analyzed by finite elements, too. The FEA results are used to select designs where no buckles occur anymore. Altogether, the present manuscript shows, how to use the Finite Element Method (FEM) to assure no buckling effects occur in extruded rotary seals.

Dieser Beitrag handelt von der Analyse von Beul-effekten, die bei extrudierten Rotationsdichtungen auftreten. Die Beuleffekte sind dabei auf den Fertigungsprozess zurückzuführen. Nach der Extrusion wird das Halbzeug zu der ringförmigen Dichtung umgeformt. Anschließend erfolgt eine Stoßvulkanisation, um einen geschlossenen Dicht-ring zu erhalten. Damit existiert ein grundlegender Unterschied in der Fertigung, verglichen mit dem Spritzgußverfahren. Denn die Dichtung beim Spritzguß hat während der Vulkanisation bereits ihre endgültige Form. Bei der Extrusion dagegen findet die Vulkanisation in einer anderen Form statt: Es handelt sich um ein Profil, welches das Ausgangsprodukt für die spätere Dichtung darstellt. Durch den Vorgang des Rundlegens wird das gerade Elastomerprofil zu einem Dichtring umgeformt, wobei in dem elastischen Material Eigenspannungen entstehen. Dadurch können Beulen entstehen und somit besteht die Gefahr axialer Leckagekanäle.

Je nach Design der Querschnittsgeometrie, der Extrusionslänge sowie Material- und Prozessparametern sind die Ausbeulungen mehr oder weniger stark. In diesem Beitrag wird das Rundlegens mittels FEM modelliert, um eine Vorhersage des Beulverhaltens treffen zu können. Aufgrund der großen Verschiebungen beim Rundlegen ist eine Erfassung geometrischer Nichtlinearitäten zwingend erforderlich und auch die Verzerrungen sind so groß, dass nichtlineares Materialverhalten auftritt. Im vorliegenden Beitrag wird die Simulation des Beulverhaltens verschiedener Varianten einer extrudierten Rotationsdichtung behandelt. Schließlich wird ein analytischer Ansatz zur Beurteilung der Beulneigung vorgestellt, der eine schnelle Überprüfung bei zukünftigen Neuentwicklungen ermöglichen soll.

Finally, an analytical procedure to analyze extruded rotary seals concerning buckling is proposed and discussed. Its advantage is the highly reduced computational time.

A- Session 6 : Rotary Shaft Seals

A- Session 6 : Wellendichtungen

A 16

Dipl.-Ing. Alexander Hüttinger, Dr.-Ing. Jörg Hermes, Dr.-Ing. Markus Wöppermann, SEW-Eurodrive GmbH & Co KG, Bruchsal
Erich Prem, Dipl.-Ing. Rolf Vogt, Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG, Weinheim

Highest Dynamic? Or high Durability? Why not have Both? The next Generation of Sealings for Gearmotors!

Höchste Dynamik? Oder hohe Lebensdauer? Warum oder? Getriebedichtung der nächsten Generation!

DE

Rotary elastomeric lip-seal systems performance is influenced by a great number of internal and external parameters. Even though an impressive number of numerical and experimental data concerning their behavior is currently available, there are still some aspects lacking a very good understanding and hence, a very good control: film formation within the contact regions, lubricant physicochemical properties influence, protection against contaminants, etc.

This paper focuses on the study of grease-lubricated double-lip seals performance throughout different operating conditions. The elastomeric seals are designed for ball-bearings and have two lips, a radial and an axial one, each with a precise role, running against a flinger surface. The axial lip is designed to protect the seal from external contaminants (water, solid particles) while the radial lip seals the grease inside the pocket and prevents leakage towards the bearing chamber.

Following an exhaustive state of art on rotary lip seals behavior, three essential regions were identified: the friction regions of frontal and radial lips and the partially-filled grease pocket formed between the two lips.

Authors have identified several aspects of seal contamination, grease distribution within the chamber and abrasive wear of contact surfaces. Moreover, this work highlights a number of requirements and difficulties that one may front when trying to perform flow visualizations of a real scale lip seal-shaft-flinger system.

Antriebe in industriellen Anwendungen werden immer häufiger 24 Stunden am Tag, 7 Tage die Woche mit hoher Dynamik in wechselnden Drehrichtungen betrieben. Bis zu 8.000 Betriebsstunden pro Jahr sind inzwischen häufig die Regel. Unter diesen Belastungen ist ein Radialwellendichterring (RWDR), in Bezug auf die Lebensdauer, oft das schwächste Glied in einem Getriebemotor.

RWDR aus Elastomer sind nach wie vor die erste Wahl, wenn es darum geht ein Getriebe in beide Drehrichtungen wirtschaftlich und zuverlässig gegen anstehendes Öl abzudichten. Eine Berechnung der RWDR-Lebensdauer ist nach dem Stand der Technik nicht möglich. Häufig können die heutigen extrem hohen Lebensdauernforderungen einer Anlage nur erreicht werden, wenn gewisse Wartungsintervalle für den RWDR und den Schmierstoff berücksichtigt werden. Typische Langzeitausfallursachen bei RWDR sind Elastomeralterung, Elastomerverschleiß und Welleneinlauf an der Dichtstelle (die Verträglichkeit von Elastomer und Schmierstoff vorausgesetzt). Die Möglichkeiten diesen Mechanismen entgegenzuwirken, sind sehr begrenzt. Grundsätzlich gilt jedoch, je weniger Reibung und Temperatur, desto länger ist die zu erwartende Lebensdauer eines RWDR, insbesondere auf der schnell drehenden, hoch dynamischen Motorseite.

Die SEW-EURODRIVE GmbH & Co. KG (im Folgenden SEW) hat in den vergangenen Jahren mit der Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG (im Folgenden FST) dieses Grundprinzip in die Entwicklung der neusten Generation von RWDR für

die motorseitige Getriebeabdichtung, mit bereits bekannten Elastomeren, einfließen lassen. Die Testergebnisse mit dieser RWDR-Generation gemäß SEW070040312 zeigen wesentliche Vorteile im Vergleich zu diversen, bereits existierenden RWDR-Ausführungen, die heute zur Abdichtung der Motorseite Anwendung finden. Lebensdauererwartungen um mehr als den Faktor 2 zu marktüblichen Systemen wurden unter Testfeldbedingungen bestätigt. Weiterhin stellt die Neuentwicklung einen Meilenstein bezüglich Energieeffizienz dar, was in Bezug auf das Gesamtsystem einen weiteren Baustein für ein energieeffizientes Antriebssystem darstellt.

A 17

Dr. Daniela G. Coblas, Cetim, Nantes, France
 Christophe Blouin, Jean Lor, Hutchinson, Segré, France
 Prof. Dr. Gérard Pinneau, Romain Bellanger, Département Fluides, Thermique, Combustion, Université de Poitiers, France
 Dr. Abdelghani Maoui, Dr. Daniela G. Coblas, Cetim, Nantes, France

Experimental Investigation of Grease Lubricated Double Lip Seals

EN

Rotary slipper seals are subjected to very demanding conditions. High PV values and limited lubrication create high friction loss and the potential for high contact temperature, and high torque can induce seals rotation causing wear of the supposedly static contact area.

With unidirectional seals the influence of torque and temperature can be significantly reduced by extensive pressure balancing of the seal and/or by preventing seals rotation by securing the seal in the hardware. With bidirectional seals these possibilities are less easily incorporated and a significant amount of work has enjoyed only limited or conditional success. Specifically much attention has been applied to ensure pressure balancing in either direction e.g. by external valves, or by allowing the seal to tilt around its circumferential axis.

In the present article a new seal design with an internal valve function is described, and the performance is illustrated by test results. A patent application has been submitted, and seals are supplied to pilot customers

Experimentelle Untersuchung von fettgeschmierten Lippendichtungen

An Rotordichtungen werden hohe Anforderungen gestellt. Hohe PV-Werte und eingeschränkte Schmierung erzeugen eine hohe Reibung und dadurch die Gefahr hoher Temperaturen im Reibkontakt. Bei hoher Reibung kann außerdem der Dichtring mitrotieren, was zu Verschleiß an der eigentlich statischen Nebenabdichtung führt. Bei einseitig wirkenden Dichtungen kann der Einfluss von Reibung und Temperatur deutlich verringert werden, indem die Dichtung stark druckausgeglichen wird und/ oder die Dichtung verdrehsicher im Gehäuse montiert wird. Bei beidseitig wirkenden Dichtungen sind diese Möglichkeiten nur eingeschränkt anwendbar und trotz vieler Anstrengungen wurden bislang nur wenige Erfolge erzielt. Insbesondere die Möglichkeit des Druckausgleichs in beide Richtungen, z.B. durch externe Ventile oder ein Verkippen des Dichtrings um seine Umfangsachse, erfuhr viel Aufmerksamkeit. Im vorliegenden Artikel wird ein neues Dichtungskonzept mit interner Ventilfunktion beschrieben und seine Leistungsfähigkeit anhand von Versuchsergebnissen veranschaulicht. Eine Patentanmeldung wurde bereits eingereicht und erste Dichtungen wurden an ausgewählte Kunden geliefert.

A 18

Gert Iversen, M.Sc., Bo Aage Bøgelund, Trelleborg Sealing Solutions, Helsingør, Denmark

New Rotary Seal with Bi-directional Pressure Relief

Neue Rotationsdichtung mit beidseitiger Druckentlastung

EN

Plastic-faced elastomer- or spring energized seals, Slipper Seals for short, are used as general-purpose rotary seals working with practically any medium which will flow, in the most varying applications, and typically at high pressure. The applications for Rotary Slipper Seals may be defined through the boundaries with alternative solutions, that is they are used for service conditions which are beyond the capability of Radial Oilseals, and in constructions where mechanical shaft seals, rotary piston rings or hydrostatic journals are impractical, unacceptable or impossible. Ever increasing service requirements and the interaction with alternative solutions yields a constant drive to expand the service limits of Rotary Slipper Seals, and this paper describes one resulting development.

Dichtungen mit Kunststoffgleitfläche, die durch ein Elastomerelement oder eine Feder vorgespannt werden, kurz: Rotordichtungen, sind Allzweck-Wellendichtungen für praktisch alle flüssigen Medien in unterschiedlichsten Anwendungen, meist für hohe Drücke. Die Anwendungen für Rotordichtungen können durch die Grenzen für andere Dichtungslösungen definiert werden. Sie werden bei Betriebsbedingungen eingesetzt, die die Einsatzgrenzen von Radial-Wellendichtungen übersteigen oder wo Gleitringdichtungen, Kolbenringe oder hydrostatische Lager unpraktisch, inakzeptabel oder nicht anwendbar sind. Ständig steigende Betriebsanforderungen und das Zusammenspiel mit anderen Dichtungs-lösungen sind ein andauernder Ansporn die Betriebsgrenzen von Rotordichtungen zu erweitern. Dieser Beitrag beschreibt eine daraus entstandene Entwicklung.

A 19

Dr. Bas van der Vorst, Dr. Michel Organisciak, SKF Engineering & Research Centre, Nieuwegein, The Netherlands
Matthew Schweig, SKF Sealing Solutions, Elgin, USA

Fast Analytical Model for Followability Prediction of Rotary Shaft Seals

Ein schnelles analytisches Model zur Vorhersage der Nachführung von Radialwellendichtungen

EN

In many applications, the primary task of the seal is to retain the lubricant inside the system. In these cases, a so-called 'seal life' ends when the seal starts to leak. In order to retain the lubricant, the seal is designed such that it remains in contact with the shaft over the full circumference, i.e. there is no gap between the shaft and the seal [1]. This is accomplished by means of interference fit between seal and shaft, the seal lip deformation resulting in a sealing contact force pressing against the shaft.

When the shaft is out of roundness, decentered or misaligned leading to e.g. dynamic run-out (DRO), the seal is dynamically deformed during shaft rotation. Under certain conditions, such as low temperature, high shaft speed and high shaft eccentricity (DRO),

In vielen Anwendungen ist die wichtigste Aufgabe einer Dichtung den Schmierstoff im System zu halten. In solchen Fällen endet die sogenannte „Dichtungslebensdauer“ dann, wenn Leckage auftritt. Um den Schmierstoff zurückzuhalten sind die Dichtringe so ausgelegt, dass sie die Welle am ganzen Umfang berühren, das heißt, es gibt an keiner Stelle einen Spalt zwischen der Welle und dem Dichtring. Dies wird erreicht durch eine Überdeckung von Dichtring und Welle, wobei die Verformung der Dichtlippe die dichtungstechnisch wirksame Flächenpressung zwischen Dichtring und Welle ergibt.

Falls die Welle unrund ist, exzentrisch eingebaut oder falsch ausgerichtet ist, was zu Wellenschlag führt, wird der Dichtring durch die Wellenrotation

the seal will not be able to follow the shaft movements and loses contact with the shaft over a part of its circumference. Consequently, under such conditions, a gap occurs between the seal and the shaft which increases the risk of lubricant leakage. Thus, ensuring that the seal will follow the shaft reduces the risk of leakage. Here the 'risk of leakage' is mentioned since, apart from seal followability, leakage also depends on other application-specific factors, such as availability of lubricant near the seal lip, lubricant type (oil or grease) and viscosity, pressure drop over the seal and shaft position (e.g. vertical, horizontal). Currently, seal followability is often analyzed using advanced numerical techniques [2, 3] which are usually more demanding and time-consuming. Prerequisites are then material models describing the viscoelastic behavior as a function of frequency and temperature, i.e. parallel rheological system of spring and dampers and functions describing the time-temperature shift (TTS).

In this paper, a fast analytical followability model is presented. Viscoelastic material models parameters are determined from experimental data using DynaMat [4] which is a tool that automates the data analysis. Using this viscoelastic response of the sealing material, the model takes into account effects due to design parameters such as seal-to-shaft interference, basic seal lip shape and garter-spring. Application conditions such as range of the dynamic deformation, temperature and rotation speed are also considered. The quick analytical model is then compared to followability test results. It is shown that this analytical model allows to quickly and effectively assess seal followability and its sensitivity with respect to the application operating conditions and design parameters.

In addition, the analytical model allows accounting for the effect of rubber ageing on seal followability. The time at which seal followability is lost predicted in this way strongly correlates with seal life tests based on oil leakage. This result provides a first promising building block towards seal life prediction.

dynamisch verformt. Bei bestimmten Bedingungen, wie zum Beispiel niedrigen Temperaturen, hohen Drehzahlen und starkem Wellenschlag, ist der Dichtring nicht mehr in der Lage, der Wellenbewegung zu folgen und berührt die Welle nicht mehr vollständig am Umfang. Folglich kann bei solchen Bedingungen ein Spalt zwischen Dichtring und Welle auftreten, was die Gefahr von Schmierstoffleckage erhöht. Deshalb wird durch Dichtringe, die der Wellenbewegung stets folgen können die Gefahr von Leckage verringert. Hier wird von einer „Gefahr von Leckage“ gesprochen, da neben der Dichtring-Folgefähigkeit das Auftreten von Leckage auch von anwendungsabhängigen Einflussgrößen abhängt, wie der Verfügbarkeit von Schmierstoff in Dichtlippennähe, der Art und Viskosität des Schmierstoffs (Öl oder Fett), der abzudichtenden Druckdifferenz und der Wellenausrichtung (waagrecht oder senkrecht). Zur Zeit wird die Dichtring-Folgefähigkeit oft mit fortschrittlichen numerischen Verfahren analysiert, welche üblicherweise anspruchsvoll und zeitaufwändig sind. Voraussetzungen dafür sind Materialmodelle, die das viskoelastische Verhalten in Abhängigkeit von Frequenz und Temperatur beschreiben, das heißt ein paralleles rheologisches System aus Feder- und Dämpferelementen und Funktionen, die die Zeit-Temperaturverschiebung (time-temperature shift, TTS) beschreiben.

In diesem Beitrag wird ein schnelles, analytisches Modell für die Folgefähigkeit vorgestellt. Die Parameter viskoelastischer Materialmodelle werden mit Hilfe von DynaMat aus Versuchsdaten bestimmt; DynaMat ist ein Hilfsprogramm, das die Datenauswertung automatisiert. Bei Verwendung von diesem viskoelastischen Antwortverhalten des Dichtungswerkstoffes berücksichtigt das Modell Einflüsse durch Gestaltungsparameter wie die Überdeckung von Welle und Dichtring, die Form der Dichtlippe im Ausgangszustand sowie die Schlauchfeder. Betriebsbedingungen wie den Bereich der dynamischen Verformung, Temperatur und Drehzahl werden ebenfalls berücksichtigt. Das schnelle analytische Modell wird Ergebnissen von Folgefähigkeitsversuchen gegenübergestellt. Es wird gezeigt, dass das analytische Modell eine schnelle und effektive Abschätzung der Dichtring-Folgefähigkeit und ihrer Empfindlichkeit gegenüber Betriebsbedingungen und den Gestaltungsparametern erlaubt. Zusätzlich erlaubt das analytische Modell den Einfluss der Elastomeralterung auf die Dichtring-Folgefähigkeit zu erklären. Der vorhergesagte Zeitpunkt ab dem die Dichtring-Folgefähigkeit nicht mehr gewährleistet ist, stimmt gut überein mit den Ergebnissen von Dichtungs-Lebensdauerprüfungen hinsichtlich dem

Auftreten von Leckage. Dieses Ergebnis bildet einen ersten erfolgversprechenden Baustein auf dem Weg zu einer Lebensdauervorhersage für Dichtungen.

A- Session 7 : Application in Practice

A- Session 7 : Anwendungsthemen

A 20

Leo Dupuis, Leo Caspers, Ph.D., Bosch Rexroth B.V., Boxtel, The Netherlands

An Integral Approach to the Development of Reciprocating Sealing Systems

Ein ganzheitlicher Ansatz für die Entwicklung translatorischer Dichtsysteme

EN

There are extreme applications where the requirements of a seal system are so demanding that the currently available systems don't provide a satisfactory technical solution. Product development of individual seal elements will not always provide a solution either. Demands on stability and lifetime in applications are rising such that this calls for a different development approach for reciprocating seal systems. An often seen approach when developing seal elements is the use of standard hardware such as chromium rod coatings with an undefined surface structure, and a standard mineral oil as test fluid. The resulting seals are not always suitable in other tribological systems. Development of the entire tribological system as a whole, provides of course one way to obtain an optimal solution. In the event that the specific counter surface material at hand, with its surface structure, and the hydraulic medium used are already defined, an optimal solution is only possible if the reciprocating seal elements are designed for these specific tribological elements.

Bosch Rexroth has developed, together with their suppliers, seals and seal systems for large hydraulic cylinders as part of the integral tribological system. This paper contains three examples of reciprocating seal system developments where the complete tribological system was taken into account.

In the first case a new seal system had to be developed for existing hydraulic cylinders. More than 100 of these large hydraulic cylinders are installed in a large surge barrier. Because these cylinders suffered from extreme stick-slip behavior and consequential leakage, development of a special seal system was needed, taking into account the existing challenging cylinder rod and shell surface structure with deviating surface roughness and the existing hydraulic fluid. The situation was complicated even further as it was

Es gibt derart anspruchsvolle Anwendungen wo die Anforderungen an ein Dichtsystem so hoch sind, dass die am Markt verfügbaren Systeme keine zufriedenstellende technische Lösung bieten können. Die Entwicklung eigener, angepasster Dichtsysteme ist ebenfalls nicht immer eine geeignete Lösung. Anforderungen hinsichtlich Beständigkeit und Lebensdauer im Betrieb steigen dermaßen, dass ein grundlegend anderer Entwicklungsansatz für translatorische Dichtsysteme erforderlich ist.

Ein häufig zu beobachtender Ansatz bei der Entwicklung von Dichtelementen ist die Verwendung üblicher Komponenten, wie verchromten Stangen mit undefinierter Oberflächenstruktur und einem Standard-Mineralöl als Versuchsflüssigkeit. Die sich daraus ergebenden Dichtringe sind nicht immer geeignet für andere Tribosysteme. Das Tribosystem als Ganzes zu entwickeln bietet selbstverständlich eine Möglichkeit um zur optimalen Lösung zu gelangen. Für den Fall, dass das betreffende Material der Gegenauflfläche mit der betreffenden Oberflächenstruktur verfügbar ist und die Hydraulikflüssigkeit bereits festgelegt ist, kann eine optimale Lösung nur dann erzielt werden, wenn die translatorisch wirkenden Dichtelemente für genau dieses Tribosystem ausgelegt werden. Bosch Rexroth hat, zusammen mit seinen Zulieferern, Dichtungen und Dichtsysteme für große Hydraulikzylinder als Teil eines ganzheitlichen Tribosystems entwickelt. Dieser Beitrag enthält drei Beispiele translatorischer Dichtsysteme, bei deren Entwicklung das gesamte Tribosystem berücksichtigt wurde.

Im ersten Fall sollte ein neues Dichtsystem für bereits existierende Hydraulikzylinder entwickelt werden. Mehr als 100 Stück dieser großen Hyd-

only possible to exchange the seal system in split versions given the existing hardware.

The second case describes a tribosystem selection for very large hydraulic cylinders to be installed on large platform installation, handling and pipe laying vessels. These cylinders work as a wave compensator and therefore also contain air as a spring gas. The cylinder shells require an internal coating for corrosion protection. Because of their enormous dimensions and weight a specific nickel coating had to be chosen. The combination of hydraulic fluid and seal material / design had to work on this selected nickel coating with its designed surface structure to ensure stability and a superior (stable) lifetime.

In the last case a development of the tribological system for direct acting compensator cylinders for offshore use is explained. To create a reliable maintenance period of 20.000km instead of the commonly specified 5000km for the seals and bearings in this high demanding application, the complete tribological system had to be redeveloped, including cylinder rod coating, rod coating surface structure, hydraulic fluid, seal and bearing system.

raulikzylinder sind in einem großen Flutwehr verbaut. Da bei diesen Hydraulikzylindern starkes Ruckgleiten und dadurch schließlich Leckage auftrat, war die Entwicklung eines speziellen Dichtsystems nötig, das die Herausforderungen durch die Oberflächenstruktur von Stange und Hülse, abweichende Oberflächenrauheiten und die gegebene Hydraulikflüssigkeit bewältigt. Die Aufgabe wurde dadurch erschwert, dass das Dichtsystem nur als geteilte Ausführung bei unveränderten übrigen Komponenten eingebaut werden konnte.

Der zweite Fall beschreibt eine Tribosystem-Zusammenstellung für sehr große Hydraulikzylinder welche auf großen Schiffen zur Plattform-Installation und -bewegung sowie Kabellegern verbaut werden. Diese Hydraulikzylinder gleichen den Seegang aus und enthalten deshalb auch Luft als Federungsgas. Die Hülsen der Hydraulikzylinder erfordern eine Innenbeschichtung als Korrosionsschutz. Aufgrund ihrer gewaltigen Abmessungen und ihres Gewichts musste eine bestimmte Nickelbeschichtung gewählt werden. Die Kombination aus Hydraulikflüssigkeit und Dichtungswerkstoff /-gestaltung musste für die gewählte Nickelbeschichtung mit ihrer gezielten Oberflächenstrukturierung Funktionssicherheit und eine überragend lange Lebensdauer gewährleisten.

Im letzten Fall wird die Entwicklung eines Tribosystems für direktwirkende Kompensationszylinder für Offshoreanwendungen geschildert. Um zuverlässig ein Wartungsintervall von 20.000 km anstelle der üblicherweise geforderten 5.000 km für die Dichtungen und Lager in dieser sehr anspruchsvollen Anwendung zu erreichen, musste das ganze Tribosystem neu entwickelt werden, inklusive Stangenbeschichtung, Oberflächenstrukturierung der Stange, Hydraulikflüssigkeit, Dichtung und Lagerung.

A 21

Dipl.-Ing. Thomas Arnold, Dr.-Ing. Heiko Neukirchner, IAV GmbH Ingeniergesellschaft Auto und Verkehr, Stollberg

Sealing Study on Reciprocating Piston Expander Machines

Reducing the fuel consumption of modern combustion engines is one of the main targets of all oem's. One way to increase the efficiency of combustion engines is to use the exhaust heat in a rankine cycle.

Untersuchung von Abdichtungen an Hubkolben Dampfexpansionsmaschinen

Im Rahmen von Untersuchungen zur Funktionsabsicherung und Thermodynamik Messungen wurde die generelle mechanische Betriebssicherheit eines Hubkolben-Dampfexpanders in über 400 Betriebsstunden nachgewiesen. Entwicklungs-

DE

Considering different kinds of energy conversion machines, piston engines have been found to be an advantageous way to transform the recovered heat energy into mechanical energy.

One main task at the development of these modern steam expanders is to find proper sealing solutions. Every loss of steam during the expansion means a loss of efficiency.

To reduce these losses to a minimum, the optimisation of the contact "liner - piston ring" is most important. Beside the optimisation of leakages at the piston ring, friction and wear have to be reduced as well, to increase mechanical efficiency and the lifetime of such piston expanders. Therefore a calculation model had been created considering all relevant parameters.

For the overall optimisation of the piston ring – liner contact not only the design but also the materials and lubrication of the piston rings have been varied to find the best solution.

In addition to the mechanical problems at high pressure and high temperatures corrosive problems had to be solved. High temperature steam corrosiveness is therefore a big problem to all steam engines that has to be solved to find durable sealing solutions.

The different sealing solutions of piston rings have been analysed at a test expander in a relevant speed range of the engine. The tests have been proceeded with hot steam at different conditions. During the tests various checks of all relevant parts took place, so that the wear could be proved and related to the applied load.

The measured friction and pressure curves from cylinder and crank case were used to calibrate the calculation model.

schwerpunkt der Untersuchungen und Optimierungen war das Verschleiß- und Leckage-Verhalten der Kolbenringe. Mit Versuchen und Berechnungen konnten die physikalischen Zusammenhänge im tribologischen Kontakt zwischen Kolbenring und Laufbuchse erforscht und beschrieben werden. Als Ursache des festgestellten hohen Einlaufverschleißes konnte die thermische Ausdehnung infolge der vorliegenden Trockenreibung ermittelt werden. Zur Reduzierung von Einlaufverschleiß und Leckage wurde zum einen das Stoßspiels des Kolbenrings vergrößert, wodurch der Einlaufverschleiß deutlich reduziert und die Leckage um ca. 55 % reduziert werden konnte. Zum anderen wurde durch eine Ölbeimischung die Reibung im Kontakt von Kolbenring zu Laufbuchse stark herabgesetzt, wodurch der Einlaufverschleiß ebenfalls deutlich und die Leckage um weitere 10 % reduziert werden konnte.

A 22

Dipl.-Ing. Thomas Papatheodorou, Dipl.-Ing. Walter Igers, Matthias Schimmel, Parker Hannifin GmbH, Engineered Materials Group Europe, Bietigheim-Bissingen

Tribology of Piston Rod Seals on New Global Shield™ Coated Piston Rod Surface

Tribologisches Verhalten von Hydraulik-Kolbenstangendichtungen auf einer neuartigen „Global Shield“-Beschichtung

EN

In recent years, the Hydraulics Group of the Parker Hannifin Corporation developed a new piston rod surface treatment as an alternative to hard- chrome plating based on a chemical-physical process. This alternative treatment is intended to solve the problem of hexavalent chromium faced by a large number of users of chrome plating in industrial applications. In close cooperation between the Hydraulics Group and

Die Hydraulics Group der Parker Hannifin Corporation hat eine neue Hydraulikstangenbeschichtung als Ersatz für Hartchrom-Beschichtungen auf Basis eines chemischen-physikalischen Verfahrens entwickelt. Im Zusammenhang mit dem Einsatz von Hydraulik-Kolbenstangendichtungen (Standardgeometrien und -werkstoffe) wurde die neue Beschichtung in enger Zusammenarbeit mit der

the Parker Engineered Materials Group, the performance of this new treatment was tested with standard piston rod seals and materials as well as with newly designed seal profiles and newly developed materials. In the tests performed, friction, leakage, wear and deformation of the seals were the performance criteria on the surface treatment. In addition, changes in the piston rod surface profile and roughness were analyzed in both short-term and endurance tests. Based on the results obtained, the new treatment was released for all kinds of industrial applications. The new treatment was tested against various types of chrome plating as well as other chemical nickel treatments. In this paper, significant aspects of the test results will be presented and discussed. In addition, the new treatment and its characteristics will be presented in detail.

Parker Engineered Materials Group getestet. In den durchgeführten Untersuchungen waren neben Reibung, Leckage, Verformung und Verschleiß der Testdichtungen vor allem auch die Veränderungen an der Kolbenstangenoberfläche ein Beurteilungskriterium im Hinblick auf eine Freigabe dieser Beschichtung für die allgemeine Anwendung. Die neue Beschichtung wurde unter anderem im Vergleich zu handelsüblichen Hartchrom-Beschichtungen und verschiedenen Chemisch-Nickel-Verfahren getestet. In diesem Beitrag zur diesjährigen Internationalen Dichtungstagung wird auf einige wesentliche Aspekte der Untersuchungsergebnisse eingegangen und die neue Beschichtung ausführlich vorgestellt.

B- Session 2 : Static Seals

B- Session 2 : Statische Dichtungen

B 01

Dipl.-Ing. Rolf Hahn, Materialprüfungsanstalt (MPA), Universität Stuttgart
Alexander Walter, Universität Stuttgart

Investigation of Varied Conditioned Flat Gaskets Concerning Storage Time, Leakage Rate and Increase in Mass

After reporting about the behavior of graphite packings, stored under different humidities, at the 18th ISC, now the effect of storage time and humidity on mass increase and sealing behavior of gaskets was analyzed. Short term leakage tests according to DIN EN 13555 were carried out. The results show that a storage time of 48 hours, stated in this standard, is way too little. A considerably prolonged storage, which is permitted as well, leads to results which differ clearly from those with the minimum storage time. Therefore the minimum surface pressure, which is required to comply with certain leakage classes, changes too. This would effect the calculation of sealing joints according to DIN EN 1591-1.

Untersuchung von unterschiedlich konditionierten Flachdichtungen hinsichtlich Lagerungsdauer, Leckagerate und Massenzunahme

DE

Nachdem zur 18. ISC bereits über das Verhalten von Graphit-Packungen berichtet wurde, die bei unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit gelagert worden waren, wurden nun die Auswirkungen von Lagerungsdauer und Luftfeuchtigkeit auf die Massenzunahme und das Abdichtverhalten von Flachdichtungen untersucht. Es wurden verkürzte Leckageversuche in Anlehnung an DIN EN 13555 durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die in dieser Norm vorgeschriebene Mindest-Lagerungsdauer von 48 h deutlich zu kurz ist. Eine wesentlich längere Lagerung, die ebenfalls zulässig ist, führt zu Ergebnissen, die sich deutlich von denen mit Mindestlagerungsdauer unterscheiden. Damit ändert sich auch die Mindestflächenpressung zur Einhaltung bestimmter Leckageklassen. Das würde auf die Berechnung von Dichtverbindungen nach DIN EN 1591-1 auswirken.

B 02

Dr.-Ing. Manfred Schaaf, amtec GmbH, Lauffen

Advanced Approach for the Reduction of Fugitive Emissions**EN**

In the present paper, various developments of the testing equipment used to determine gasket characteristics are shown. These developments increase the accuracy of the determined characteristics and increase the reproducibility of the results. Using newly developed algorithms that utilize fractional rational functions, the sealing properties can be characterized by a few parameters as a function of the test parameters. Such a description of the characteristics leads to distinct advantages when used in the calculation of bolted flanged joints, since, in principle, the associated gasket characteristics can be determined from these approximate functions for any load condition. The experimental findings in the determination of the gasket characteristics have been integrated into the calculation algorithm of EN 1591-1. A verification of the new analytical calculation algorithms for determining the flange rotation, the effective compressed gasket width and the gasket surface pressure distribution over the gasket width proved to be consistent with finite element calculations. In summary, with the developed mathematical representation of the gasket characteristics and their integration into a new analytical calculation algorithm to determine the occurring deformations, the design process for bolted flanged joints with the goal of reducing emissions can be significantly improved and simplified.

Erweiterter Ansatz zur Reduzierung von flüchtigen Emissionen

Im vorliegenden Beitrag werden mehrere Entwicklungen von Prüfgeräten gezeigt, die für Ermittlung von Kennwerten statischer Dichtungen verwendet werden. Diese Entwicklungen erhöhen die Genauigkeit und die Wiederholgenauigkeit der ermittelten Kennwerte. Mit neu entwickelten Algorithmen, die gebrochenrationale Funktionen verwenden, können die Dichtungseigenschaften mit wenigen Kennwerten in Abhängigkeit von Prüfparametern beschrieben werden. Eine solche Beschreibung der Kennwerte führt zu verschiedenen Vorteilen bei der Anwendung bei verschraubten Flanschverbindungen, da grundsätzlich die damit zusammenhängenden Eigenschaften der statischen Dichtung von diesen Näherungsfunktionen für beliebige Lastzustände abgeleitet werden können. Die experimentellen Ergebnisse aus der Ermittlung der Eigenschaften statischer Dichtungen flossen in den Berechnungsalgorithmus von EN 1591-1 ein. Eine Überprüfung der neuen analytischen Berechnungsalgorithmen für die Bestimmung der Flanschverdrehung, der effektiven Dichtungshöhe im verpressten Zustand und die Presungsverteilung an der Oberfläche der Dichtung über ihre Breite zeigte eine Übereinstimmung mit den Werten, die mit der Finiten Elemente Methode berechnet wurden. Zusammengefasst kann mit der entwickelten mathematischen Beschreibung der Dichtungseigenschaften und ihrer Einbindung in einen neuen analytischen Berechnungsalgorithmus zur Bestimmung der auftretenden Verformungen der Konstruktionsprozess für verschraubte Flanschverbindungen im Hinblick auf eine Verringerung von Emissionen deutlich verbessert und vereinfacht werden.

B 03

Dr.-Ing. Bernd Stiegler, Dipl.-Ing. Sascha Bader, Dipl.-Ing. Volker Schweizer, Robert Bosch GmbH, Reutlingen

Improving Robustness with Respect to Creep Corrosion: an Example from Automobile Electronics

Electronic control units (ECUs) in automobiles are loaded, from their installation location in the vehicle to more or less strong environmental impacts. It's important that all design elements of the ECU are able to withstand these loads for the demanded life time. The mounting of sealed ECUs outside the car indicates that the static sealing system is loaded with flooding or splashing water without pressure. In winter season, when the water is enriched with salt, this load may lead to the corrosive attack of the sealing surface and result in corrosion creep. If the liquid penetrates through the sealing system, the ECU might eventually fail.

During the last years, principle investigations took place with test specimen. Derivation of design rules and guidelines to improve static sealing systems with respect to corrosion creep were published.

This particular contribution shows how this knowledge is applied for the development of new products and which methods in addition are used.

Erhöhung der Robustheit gegen korrosive Dichtungsunterwanderung: ein Beispiel aus der Automobilelektronik

DE

Elektronische Steuergeräte in Kraftfahrzeugen sind je nach Einbauort im Fahrzeug mehr oder weniger starken Umweltbelastungen ausgesetzt. Dabei gilt, dass alle Designelemente eines Steuergeräts diesen Belastungen über die geforderte Lebensdauer standhalten müssen.

Der Verbau von abgedichteten Steuergeräten im Fahrzeugaußenbereich führt zur Belastung der statischen Dichtsysteme mit drucklosem Schwall- und Spritzwasser, welches in der Winterjahreszeit durch Salze angereichert ist. Diese Belastung kann zum korrosiven Angriff der Dichtflächen und in Folge zur Unterwanderung der Dichtung führen. Dringt dann Flüssigkeit ein, kann es zum Ausfall des Steuergeräts führen.

In den letzten Jahren fanden Grundsatzuntersuchungen an Prüfkörpern statt, aus denen Konstruktions- und Gestaltungsrichtlinien für statische Dichtsysteme unter korrosiver Last abgeleitet werden konnten.

Dieser Beitrag zeigt exemplarisch, wie diese Erkenntnisse bei der Entwicklung neuer Produkte angewendet werden und welche Methoden dabei zum Einsatz kommen.

B- Session 3 : Basics of Sealing Technology

B- Session 3 : Grundlagen der Dichtungstechnik

B 04

Dr.-Ing. Peter Schuler, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas, Institut für Maschinenelemente (IMA), Universität Stuttgart

Wetting - a Hydrodynamic Approach

Benetzung – eine hydrodynamische Betrachtung

EN

The operational behaviour of rotary shaft lip seals is not only affected by hydro-dynamic effects but also by wetting effects. There is a linear relation between the work of adhesion (of shaft material and lubricant)

Das Betriebsverhalten von Radialwellendichtungen wird nicht nur von hydrodynamischen Einflüssen bestimmt, sondern auch durch Benetzungseffekte.

and the pumping rate of a lip seal for example. It would be useful to combine both effects, hydrodynamics and wetting, to get closer to a suitable calculation model of the fluid flow in the sealing zone. This paper gives a brief review of work on boundary effects by physicists. The two models boundary slip and boundary lubrication are applied to the properties of partial wetting and complete wetting. Both effects might result in a boundary viscosity that is lower (partial wetting) or higher (complete wetting) than the bulk viscosity of a liquid. In a parameter study the velocity profiles of Poiseuille and Couette flow are calculated with view to this boundary viscosity. The gap height, the boundary viscosity and the height of the boundary zone are varied systematically. With values typical for sealing gaps and lubricants, changes of the mean velocity of up to 50% of the flow were received, due to boundary effects. Based on the mean velocity, the corresponding slip length was calculated; it agreed well with literature values. An important result of the parameter study is the high mean velocity in Couette flow for liquids that completely wet the moving wall and partially wet the fixed wall. This behaviour could explain why lubricants like polyglycols have a much higher pumping rate than silicone oils (which usually completely wet both walls). Future work should be about the relation between bulk viscosity, wetting properties and the pumping rate to obtain values for a possible boundary viscosity.

fekte. Es herrscht beispielsweise ein linearer Zusammenhang zwischen der Adhäsionsarbeit (von Schmierstoff und Wellenwerkstoff) und der Förderwirkung von Radialwellendichtungen. Zur besseren rechnerischen Beschreibung der Strömung in Dichtspalten wäre eine gemeinsame Betrachtung von Hydrodynamik und Benetzung hilfreich. Dieser Beitrag gibt einen kleinen Überblick über relevante Arbeiten zu Wandeffekten aus der Physik. Die beiden Modelle Wandgleiten und Grenzreibung werden auf die Eigenschaften von teilweiser und vollständiger Benetzung angewandt. In beiden Fällen könnte es zu einer Änderung der Viskosität in einer Randschicht der Strömung kommen: Geringere Viskosität für teilweise Benetzung und höhere Viskosität für vollständige Benetzung. In einer Parameterstudie wurden die Geschwindigkeitsprofile von Druck- und Schleppestömungen unter Einbeziehung von Wandeffekten berechnet. Die Spalthöhe, die Änderung der Viskosität in der Randschicht und die Höhe der Randschicht wurden dabei systematisch variiert. Mit Werten, die für Dichtspalte zutreffen, ergaben sich Änderungen der mittleren Strömungsgeschwindigkeit von bis zu 50% aufgrund von Wandeffekten. Basierend auf diesen mittleren Strömungsgeschwindigkeiten wurde die entsprechende Gleitlänge berechnet (Vergrößerung bzw. Verkleinerung des Spalts um die gleiche mittlere Strömungsgeschwindigkeit zu erzielen); die Werte hierfür stimmen gut mit Literaturwerten überein. Ein wichtiges Ergebnis der Studie ist dasjenige für den Fall einer Flüssigkeit, die bei Schleppestömung die bewegte Wand vollständig benetzt und die stehende Wand nur teilweise benetzt. Die daraus resultierende hohe mittlere Strömungsgeschwindigkeit könnte die höheren Förderraten solcher Flüssigkeiten (z.B. Polyglykole) bei Radialwellendichtungen erklären. Flüssigkeiten, die beide Wände vollständig benetzen (z.B. Silikonöle) ergaben geringere mittlere Strömungsgeschwindigkeiten im Modell, was den geringeren Förderraten bei Dichtungen entspricht. Zukünftige Arbeiten sollten den Zusammenhang zwischen Benetzungskenngrößen (Adhäsionsarbeit), Viskosität und der Förderrate klären um Werte für die Wandviskosität zu erhalten.

B 05

Tobias Corneli, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Peter Pelz, Dr.-Ing. Gerhard Ludwig, Institut für Fluidsystemtechnik (FST), TU Darmstadt

Influence of Temperature and Shear Rate on the Slip Length in the Hydrodynamic Lubrication for a Polyalphaolefin

EN

Generally sealing systems are designed by means of elasto-hydrodynamics. In this case, the no slip boundary condition is applied to the solid walls for solving the Reynolds equation. Observations on real sealing systems show that the leakage flow for geometrically identical systems depends on the material pairing – and hence on the surface energy. One quantity to describe this behavior is the slip length. The slip length returns back on Hermann von Helmholtz and can be interpreted as an apparent expansion of the lubricating gap. Up to now this quantity is primarily investigated in the research field of polymer chemistry for long chain silicons.

Within this paper a method as well as a tribometer to evaluate the slip length, for tribological systems that are common in hydraulic applications, is presented. Furthermore the results for the slip length measurements of the tribological system steel–polyalphaolefin–steel at two different rotational speeds are introduced.

Einfluss von Temperatur und Scherrate auf die Gleitlänge in der hydrodynamischen Schmierung für ein Polyalphaolefin

Üblicherweise werden Dichtsysteme mit den Methoden der Elastohydrodynamik ausgelegt. D.h. im Wesentlichen werden für die Berechnung der Leckageströme die Reynoldssche Schmierfilmgleichung in Kombination mit der Wandhaftbedingung genutzt. Beobachtungen an realen Dichtsystemen zeigen, dass der Leckagestrom von geometrisch identischen Dichtsystemen abhängig von den eingesetzten Materialpaarungen und damit von der Oberflächenenergie des tribologischen Systems ist. Typische Dichtsysteme der Hydraulik bestehen in der Regel aus einer Elastomerdichtung, einer mineralölbasierten Hydraulikflüssigkeit und einer metallischen Gegenauflfläche.

Eine physikalische Größe, um den erhöhten Leckagestrom zu beschreiben und zu quantifizieren stellt die von Hermann von Helmholtz eingeführte Gleitlänge dar. Die Gleitlänge lässt sich geometrisch als scheinbare Spalterweiterung interpretieren. Momentan wird diese Größe vorwiegend im Bereich der Polymerchemie für langkettige Silikonöle untersucht.

In diesem Beitrag wird zunächst die Größe Gleitlänge eingeführt. Darauf aufbauend wird ein Messsystem vorgestellt, mit dem die Größe für typische Materialpaarungen der Hydraulik bestimmt werden kann. Es werden erste Ergebnisse zur Gleitlängenmessung für die tribologische Paarung Stahl-Polyalphaolefin-Stahl gezeigt.

B 06

Felix Fischer, M.Sc., Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff, Dr.-Ing. Oliver Reinertz, Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen (IFAS), RWTH Aachen

Influence of Additives on the Friction Behaviour of Hydraulic Rod Seals

Additiveinfluss auf das Reibverhalten von hydraulischen Stangendichtungen

DE

Due to the high power density, high efficiency and the robust design, hydraulic cylinders are widely used in technical applications. Energy losses within the hy-

Aufgrund der hohen Leistungsdichte, der hohen Effizienz und des robusten Designs sind Hydraulizylinder in technischen Anwendungen weit ver-

draulic cylinder as well as dynamic losses arise primarily in the hard-soft contacts of the seals. Specifically dynamic effects, such as the stick-slip phenomenon, difficult positioning tasks with high accuracy requirements and are strongly correlated to the frictional behavior of the tribological system (TS). Methods to reduce, or even to eliminate these phenomena require further investigations to obtain a better understanding of the TS "seal-rod".

Initial experimental studies of the authors have shown that the additive package of the oil has a major impact on the friction characteristics of the rod seal, whereas the influence of the viscosity is of secondary importance. When using automatic transmission fluid as working fluid, the dynamic behavior of the system should be considered more docile than in the case of conventional hydraulic oil. Here, the friction modifiers (FM) play a special role as components of the automatic transmission fluid's additive package. Using a friction test rig it was revealed, that the addition of a model FM helps to influence the frictional behavior of the TS positively.

In this paper, the effect of a variation of the FM molecule on the frictional behavior of the TS is investigated experimentally. In order to achieve this goal, FM are added to a conventional hydraulic fluid and the impact on the TS "seal-rod" is determined and discussed. For this purpose, the system is excited with an actuator and the trajectory of the frictional force is analyzed. Furthermore, quasi-stationary Stribeck curves are recorded and compared to the results from the excitation experiments, where a causal relationship can be pointed out.

breitet. Energieverluste innerhalb des Hydraulikzylinders und Einbußen an Dynamik entstehen in erster Linie in den hart-weich Kontakten der Dichtungen. Insbesondere dynamische Effekte, wie der Stick-Slip-Effekt, erschweren Positionieraufgaben mit hohen Anforderungen an die Genauigkeit und hängen stark mit dem Reibverhalten des Tribosystems (TS) zusammen. Maßnahmen zur Minderung, oder gar zur Eliminierung dieser Phänomene erfordern zunächst eine Untersuchung, um ein besseres Verständnis des TS Dichtung-Kolbenstange zu erlangen.

Erste experimentelle Untersuchungen der Autoren haben gezeigt, dass die Additivierung des Öls einen großen Einfluss auf die Reibcharakteristik der Kolbendichtung hat, wobei der Einfluss der Viskosität von untergeordneter Bedeutung ist. Bei der Verwendung von Getriebeöl als Arbeitsfluid ist das dynamische Verhalten des Systems als deutlich gutmütiger einzustufen, als bei der Verwendung von herkömmlichen Hydrauliköl. Hier kommt dem Reibwertminderer (Friction Modifier, FM), als Bestandteil des Additivpakets in Getriebeölen, eine besondere Rolle zu. Mit Hilfe eines Prüfstands konnte nachgewiesen werden, dass die Zugabe eines modellhaften FM das Reibverhalten des TS ähnlich positiv beeinflussen kann.

In diesem Beitrag wird der Effekt einer Variation des FM Moleküls auf das Reibverhalten des TS experimentell untersucht. Ein definiertes Hydraulikfluid wird mit ausgewählten FM additiviert und die Auswirkungen auf das TS Dichtung-Kolbenstange werden experimentell ermittelt und diskutiert. Hierfür wird das System mit einem Aktor erregt und der Verlauf der Reibkraft analysiert. Weiterhin werden quasistationäre Stribeck-Kurven aufgezeichnet, mit den Ergebnissen aus den Anregungsversuchen verglichen und ein kausaler Zusammenhang aufgezeigt.

B 07

Dr.-Ing. Mandy Wilke, Holger Jordan, Trelleborg Sealing Solutions Germany GmbH, Stuttgart

Friction Behaviour of Contact Seals in the Boundary Condition (Stick Slip)

Zum Verhalten von berührenden Dichtungen im Wechsel von Haft- zu Gleitreibung (Stick Slip)

DE

Continuous trends in the hydraulic world lead to increasing power and efficiency. Weight is a driver for that and therefore hydraulic systems also are under the view of light weight constructions. The all known

Neben der immer weiter steigenden Leistungsdichte und der gleichzeitig geforderten konstruktiven Gestaltung in Applikationen (z. B. Leichtbau) ist das Auftreten von Stick-Slip in Reibkontaktstel-

Stick Slip Effect then can easier occur in terms of vibration and noise creation in such an application. With sealing elements the respective choice of different materials and or design variations the engineering normally looks into possible solutions to overcome the problem. As the tribological system is somehow sensitive and some application related variations such as speed or pressure fluid viscosity again can bring a solution to limits. The paper presents a new sealing solution, which now allows to eliminate stick slip due to an intelligent combination of materials. In the situation of stick slip at a sealing contact area some micro movements can be damped by using the dampening character of an elastomeric material to eliminate vibration and noise.

len mit Dichtungen vor Allem bei niedrigen Geschwindigkeiten ein für schwingungssensible Anwendungen kritisches Phänomen. Stick Slip oder Ruckgleiten kann in diesen Anwendungen zu störenden Vibrationen oder Geräuschbildungen führen. Durch Werkstoffauswahl oder Dichtungsdesign wird meist versucht das Phänomen zu beherrschen. Geringste Schwankungen oder auch nicht beeinflussbare Veränderungen bei Gegenlauffläche und / oder Druckmedium können aber sensible Tribosysteme leicht wieder aus dem Gleichgewicht bringen. Eine neue Dichtungslösung tilgt durch eine ausgewählte Werkstoffkombination am Dichtelement auftretende Schwingungen zum Teil oder gänzlich.

Der Dichtungswerkstoff, zum Beispiel ein Polyurethan, das an sich hochverschleißfest ist, kann aber den Anforderungen auf geringste Reibung und einem möglichst geringen Unterschied von Haft- und Gleitreibungsverhalten bei langsameren Relativbewegungen nicht immer genügen. Mikrobewegungen durch Ruckgleiten im Kontaktbereich der Dichtstelle werden jetzt aber von einem Dämpfer, bestehend aus einem elastischen Werkstoff mit entsprechenden Dämpfungseigenschaften aufgenommen. Das Resultat ist je nach Schwingungsverhalten des Gesamtsystems (Eigenfrequenz) eine teilweise oder vollständige Tilgung der im Kontaktbereich der Dichtung auftretenden Schwingungen. Der Beitrag zeigt vergleichende Versuche mit verschiedenen Dichtsystemen unter Verwendung von 3-D Frequenzmessung.

**B- Session 4:
Standardization/Patents/Laws/Test
Procedures**

***B- Session 4:
Normung/Patentwesen/gesetzliche
Vorgaben/Prüfverfahrenverfahren***

B 08

Dipl.-Ing. Ulrich Blobner, Dipl.-Ing. Bernhard Richter, O-Ring Prüflabor Richter GmbH, Großbottwar

Indispensable Rubber Tests Yesterday and Today - Looking back on more than 100 Years of History of Rubber Testing from the Perspective of the New O-Ring Standard ISO 3601-5

Unverzichtbare Gummiprüfungen damals und heute – Ein Rückblick auf über 100 Jahre Prüfgeschichte aus Sicht der neuen O-Ring Norm ISO 3601-5

DE

In the year 2015, the Shore A hardness measurement has become a 100 years old, in 1916 W.C.Geer presented the hot air ageing test to the public for the first time. The beginnings of the tensile test date back even further, whilst the measurement of the compression set is a younger test method. It is shown on the basis of the new O-ring Standard ISO 3601-5 (2015-04) that these test methods - even though in a partially modified form - are still indispensable. The first part of the presentation will focus on the history and development of these above mentioned test methods (speaker Ulrich Blobner), while the second part (speaker Bernhard Richter) explains why these tests are so important in the new O-ring standard for the practical use till this day.

Im Jahre 2015 hat sich die Einführung der Shore A-Härte zum 100. Mal gejhrt, 1916 stellte W.C.Geer die Heiluftalterung von Gummi zum ersten Mal öffentlich vor. Die Anfänge des Zugversuches gehen noch weiter zurück, während hingegen die Druckverformungsrestprüfung eine jüngere Prüfmethode ist. Anhand der neuen O-Ring Norm ISO 3601-5 (04-2015) wird aufgezeigt, dass diese Prüfverfahren - wenn auch teilweise in abgewandelter Form - immer noch unverzichtbar sind. Der erste Teil des Vortrages beleuchtet die Geschichte und Entstehung dieser oben genannten Prüfverfahren (Referent Ulrich Blobner), während der zweite Teil (Referent Bernhard Richter) erluert, warum diese Prüfungen in der neuen O-Ring Norm für die Praxis bis heute so wichtig sind.

B 09

Ralf Kulesa, Garlock GmbH, Neuss

Effects of VDI 2290 regarding Fugitive Immissions within the Chemical/Petrochemical and Gas Sector

EN

Diffuse Emissions are a very important theme, even more, if combined with in-creased Plant availability. With this technical/professional presentation the technical guideline called "VDI2290" (which already became valid in 2012 in Germany only) and its positive effects shall be introduced to the audience. This guideline called VDI2290 is reducing the allowed diffuse emissions for all kind of critical media and as such directly effecting all kind of flange connections. By calculating the whole flange connection, using material constants of flanges, bolts, gaskets, using all characteristics and elastomeric behavior of materials under temperature and pressure in order to gain a corresponding torque level for a desired leakage class, commonly unknown leakage situations can be eliminated, risk management can be reduced and the overall plant-availability can be dramatically increased. A roughly explanation on DIN EN 1591-1 with its abilities for leakage determination prior to mounting the gasket and its possibilities to verify whole piping-classes shall be explained to the audience as well. GARLOCK is a Global leader for all kind of gasketing products. If you want to have a first impression on our capabilities, please refer to our own youtube channel or review our short company presentation on www.garlock.com. Garlock now is providing sealing integrity for more than 125 years.

Auswirkungen der VDI 2290 für diffuse Immissionen innerhalb der Chemie/Petrochemie und Gasbranche

Diffuse Immissionen sind ein zunehmend wichtiges Thema, speziell, wenn deren Eingrenzung zu einer gesteigerten Anlagenverfügbarkeit führen kann. Mit dieser technischen Präsentation soll die technische Richtlinie VDI2290 (welche bereits im Jahr 2012 in Deutschland Gültigkeit erlangt hat) und deren Auswirkungen dem Publikum vorgestellt werden. Diese Richtlinie reduziert das erlaubte Maß an diffusen Immissionen für alle Arten von kritischen Medien und beeinflusst als solche alle Arten von Flanschverbindungen. Mit Berechnungen der gesamten Verbindung, unter Berücksichtigung des Werkstoffverhaltens von allen verwendeten Materialien wie Flanschen, Schrauben und Dichtung, deren Temperaturen und Drücken um ein entsprechendes Anzugsmoment zu erhalten, welches eine technische Dichtheit über die gesamte Bandbreite gewährleistet können unbekannte Problemsituationen bereits im Vorfeld analysiert und eliminiert werden um so das Risikomanagement zu senken und die Anlagenverfügbarkeit zu erhöhen. Eine grundlegende Einführung zur DIN EN 1591.1 mit den Möglichkeiten zur Leckagebetrachtung vor Montage einer Dichtung und deren Möglichkeit zur Überprüfung ganzer Rohrklassen wird ebenfalls vorgestellt. Garlock ist ein führender Anbieter für Dichtungsprodukte jeglicher Art. Mchten Sie einen ersten Eindruck von Garlock bekommen, so möchten wir Sie gerne auf

unseren eigenen Youtube-Kanal aufmerksam machen oder möchten Sie bitten, sich unseren Firmenauftritt unter www.garlock.de anzusehen. GARLOCK bietet Dichtungslösungen seit über 125 Jahren an.

B 10

Dipl.-Wirt.-Ing. Frank Sonnenschein, Garlock GmbH, Neuss

ATEX for PTFE Based Radial Lip Seals

ATEX für PTFE basierte Radialwellendichtringe

EN

This elaboration presents and breaks down the ATEX Directive to the relevant points for PTFE radial lip seals (for example Garlock PS-SEAL®). It shows what needs to be done on component manufacturer side to support the ATEX Directive. The example of company Garlock is presented stating that all necessary tests have been passed successfully, documentation of results are available and technical Statement for Garlock PS-SEAL® is available.

Dieser Beitrag zeigt die ATEX Richtlinie und erläutert sie für wesentliche Punkte für PTFE Wellendichtringe (zum Beispiel Garlock PS-SEAL®). Es wird gezeigt, was von Seite der Dichtringhersteller getan werden muss um der ATEX Richtlinie zu genügen. Das Beispiel von Firma Garlock wird vorgestellt und gezeigt, dass alle erforderlichen Prüfungen erfolgreich bestanden wurden, die Dokumentation der Ergebnisse und die technische Beschreibung für Garlock PS-SEAL® sind verfügbar.

B 11

Ozan Devlen, M.Eng., Kastas Sealing Technologies, Izmir, Turkey
David Edwin-Scott, European Sealing Association, Morzine, France
John Kerwin, M.Sc., Precision Polymer Engineering Ltd., Blackburn, UK

Operating Limits of Elastomeric Seals at Low Temperatures

Einsatzgrenzen von Elastomer-Dichtungen bei niedrigen Temperaturen

EN

Elastomer seals are being used in ever more arduous conditions in many industries, with more aggressive media, higher pressures, and wider temperature ranges being encountered. Equipment manufacturers and operators are reliant on the seal suppliers' advice on compatibility of their products with these conditions and such advice is normally based on reliable and established tests. However, when it comes to applications at low (sub-zero) temperatures the situation is not so clear. Elastomeric materials become stiffer and lose resilience as the temperature drops and, thus, their sealing ability reduces. There are numerous test methods to investigate elastomer material properties at low temperature, such as torsion modulus, brittleness, compression set and temperature retraction. But these in themselves do not give a direct indication of whether a seal will continue to function. There are

Gummidichtungen werden in vielen Industriezweigen bei zunehmend schwierigen Betriebsbedingungen, mit aggressiveren Betriebsmedien und höheren Betriebsdrücken verwendet und sind zunehmend weiten Temperaturbereichen ausgesetzt. Gerätehersteller und -betreiber müssen sich auf den Rat der Dichtungszulieferer hinsichtlich der Verwendbarkeit ihrer Produkte bei solchen Bedingungen verlassen und dieser Rat beruht zumeist auf zuverlässigen und etablierten Prüfverfahren. Allerdings ist die Ausgangslage bei Anwendungen mit Temperaturen unter dem Gefrierpunkt (0 °C) schwieriger. Elastomerwerkstoffe werden mit sinkender Temperatur steifer und verlieren an Elastizität, was ihre Eignung als Dichtungswerkstoff vermindert. Es gibt zahlreiche Prüfverfahren um die Werkstoffeigenschaften von Elastomeren bei

also proprietary sealing tests which aim to identify the minimum operating temperature capability; however all of these rely on the seal being energized by the pressure of the test media prior to being subjected to low temperature. This is not necessarily the case as in real applications; if the seal is kept at low temperature prior to being exposed to the pressurizing media it may be too stiff to energize and form a robust seal.

The members of the ESA Elastomeric and Polymeric Seals Division are therefore working together to prepare and validate a suitable test method for this common and more severe condition. An initial draft of the standard has been prepared and is currently in the process of being validated. This program takes the form of round-robin tests conducted by the members on seals obtained from a single source. Each laboratory is testing seals and the results are being compared for consistency and repeatability before refinement of the specification.

This paper will give details of the test procedure itself and results for a number of generic elastomer types will be presented and discussed.

The aim is, for the first time, to produce an industry agreed specification that all reputable seal suppliers will be able to use, to give end-users reliable guidance on the low temperature operating limits of their compounds. It is anticipated that the test procedure can subsequently be put forward to the International Organization for Standardization (ISO) for development into a truly international standard.

niedrigen Temperaturen zu bestimmen, zum Beispiel den Schubmodul, die Sprödigkeit, den Druckverformungsrest und das Rückverformungsverhalten bei Erwärmung nach vorheriger starker Abkühlung. Diese Tests können für sich alleine jedoch keine Aussage darüber liefern, ob eine Dichtung funktionsfähig bleibt. Weiterhin gibt es Sonderprüfverfahren von Herstellern und Anwendern zur Bestimmung der niedrigsten zulässigen Betriebstemperatur; doch alle diese Prüfverfahren beruhen darauf, dass die Dichtung bereits vor dem Erreichen tiefer Temperaturen durch den Betriebsdruck der Prüfflüssigkeit angepresst wird. Dies trifft jedoch nicht unbedingt auf reale Anwendungen zu; falls die Dichtung schon vor der Druckbelastung tiefen Temperaturen ausgesetzt war, könnte sie möglicherweise zu steif sein um ausreichend angepresst zu werden und damit sicher zu funktionieren.

Die Mitglieder der ESA Abteilung für Gummi- und Kunststoffdichtungen bereiten deshalb gemeinsam ein geeignetes Prüfverfahren für solche üblichen und noch anspruchsvolleren Betriebsbedingungen vor und prüfen es auf seine Gültigkeit. Ein erster Entwurf einer Prüfnorm wurde ausgearbeitet und befindet sich momentan im Validierungsprozess. Dieser Prozess wird als Ringversuch durch die Mitglieder durchgeführt; die Dichtungen stammen einheitlich aus einer Quelle. Jedes Labor prüft die Dichtungen und vergleicht die Ergebnisse hinsichtlich Gleichmäßigkeit und Wiederholbarkeit bevor die Prüfvorschrift weiterentwickelt wird.

Dieser Beitrag zeigt Einzelheiten des Prüfverfahrens an sich und es werden Prüfergebnisse für eine Reihe entsprechender Elastomerwerkstoffe vorgestellt und besprochen. Die Zielsetzung ist es, erstmals ein von der Industrie anerkanntes Prüfverfahren zu entwickeln, das alle namhaften Dichtungszulieferer nutzen können um Anwendern einen verlässlichen Rat hinsichtlich der Betriebsgrenzen ihrer Elastomercompounds bei tiefen Temperaturen geben zu können. Es wird angenommen, dass die Prüfvorschrift im weiteren Verlauf, zur Entwicklung einer richtigen internationalen Norm, an die Internationale Organisation für Normung (ISO) geleitet wird.

B- Session 5 : Materials and Surfaces**B- Session 5 : Werkstoffe und Oberflächen****B 12**

Anja Kömmling, M.Sc., Dr.-Ing. Matthias Jaunich, Dr. rer. nat. Dietmar Wolff,
Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin

Influence of Ageing on Sealability of HNBR, EPDM and FKM O-Rings**EN**

At BAM, which is the federal institute for materials research and testing in Germany, it is one of our tasks to evaluate the safety of casks designed for transport and/or storage of radioactive material. This includes assessment of elastomeric seals applied in the containers. Besides examining the low-temperature behaviour and irradiation effects of elastomeric seals, it is our goal to evaluate the service lifetime of the seals with regard to the requirements for long-term safety (40 years and more) of the containers. Therefore, we started an accelerated ageing programme with selected rubbers often used for seals (HNBR, EPDM and FKM) which are aged at four different temperatures (75 °C, 100 °C, 125 °C and 150 °C) up to 1 year. In order to assess sealability, O-rings are aged in compression by 25 % (corresponding to the compression during service) between plates as well as in flanges that allow leakage rate measurements. For comparison, uncompressed O-rings are aged as well. Further methods characterising seal performance are compression stress relaxation (CSR) reflecting the loss of sealing force of a compressed seal over time, and compression set (CS) which represents the recovery behaviour of a seal after release from compression. Additionally, hardness is measured for information about the change of mechanical properties. The experimental results indicate that while hardness, CSR and CS show considerable degradation effects, the leakage rate stays constant or even decreases until shrinkage and the loss of resilience of the aged seal leads to the formation of a leakage path. This indicates that static leakage rate, which is the only available direct seal performance criterion, has only limited sensitivity for the degradation of the seal material.

Einfluss von Alterung auf die Dichtheit von HNBR-, EPDM- und FKM-O-Ringen

Bei der BAM, der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung in Deutschland, ist es eine unserer Aufgaben, die Sicherheit von Fässern für den Transport und/oder die Lagerung von radioaktivem Material zu bewerten. Dies beinhaltet die Bewertung von Elastomerdichtungen, die in den Behältern verwendet werden. Dies beinhaltet die Bewertung der Elastomerdichtungen. Neben der Untersuchung des Tieftemperaturverhaltens und dem Strahlungseinfluss bei Elastomerdichtungen ist es unser Ziel die Betriebslebensdauer der Dichtungen, im Hinblick auf die Anforderung von langfristiger Sicherheit (40 Jahre und mehr) der Behälter, zu bewerten. Dazu haben wir ein beschleunigtes Alterungsprogramm für ausgewählte Elastomere begonnen, die häufig für Dichtungen verwendet werden (HNBR, EPDM und FKM). Diese werden bei vier verschiedenen Temperaturen (75 °C, 100 °C, 125 °C und 150 °C) für bis zu ein Jahr gealtert. Um die Dichtfunktion zu bewerten, werden O-Ringe bei 25% Verpressung (das entspricht der Verpressung im Einsatz) zwischen Platten und Flanschen, die eine Leckagemessung ermöglichen, gealtert. Zum Vergleich werden zusätzlich unverpresste O-Ringe gealtert. Weitere Methoden zur Bestimmung der Dichtfunktion sind die Druckspannungsrelaxation (DSR), die das Nachlassen der Dichtkraft einer verpressten Dichtung über der Zeit wiedergibt und der Druckverformungsrest (DVR) welcher das Rückverformungsverhalten einer Dichtung nach Wegnahme der Anpresskraft wiedergibt. Zusätzlich wird die Härte gemessen um Informationen über die Änderung mechanischer Eigenschaften zu erhalten.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass während Härte, DSR und DVR deutliche Degradationseinflüsse zeigen, die Leckagerate konstant bleibt oder sogar sinkt, bis Schrumpfen und ein Verlust an Elastizität der gealterten Dichtung zur Bildung eines Leckagekanals führt. Dies zeigt, dass die stati-

sche Leckagerate, die das einzige direkte Dichtheitskriterium ist, nur wenig empfindlich hinsichtlich der Alterung des Dichtungswerkstoffes ist.

B 13

Le Huang, M.Sc., National Engineering Research Center of Rubber & Plastic Sealing (GMERI), Guangzhou, China

Prof. Xiaohong Jia, Tsinghua University, Beijing, China

Prof. Xing Huang, National Engineering Research Center of Rubber & Plastic Sealing (GMERI), Guangzhou, China

A Prediction Method of Rubber Seals' Ageing Performance Based on the Numerical Simulation

Eine auf numerischer Simulation beruhende alternsbasierte Vorhersagemethode der Leistung von Gummidichtungen

EN

Ageing is one of the main factors influencing rubber seals' performance and service life, the realization to predict the rubber seals' ageing performance not only guide the design of the sealing system, but also help to make more reasonable equipment maintenance plan and lower the maintenance cost. But the general prediction method of seals' ageing performance only consider the effect of ageing on the seals' material performance and not consider the effect of ageing on the seals' structure shape. This paper takes polyurethane Y seals as study object, both consider the effect of ageing on the Y seals' material performance and structure shape, and combines with a numerical simulation model to achieve Y seals' ageing performance prediction. In the process of prediction a permanent deformation simulation method is used, which can predict Y seals' structure after ageing, and the validity of this method is verified by image measurement experiment.

Alterung ist eine der Haupteinflussgrößen auf die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Gummidichtungen. Die Erkenntnis, die alterungsabhängige Leistungsfähigkeit von Dichtungen vorherzusagen beeinflusst nicht nur die Gestaltung des Dichtsystems, sondern trägt auch dazu bei einen geeigneteren Wartungsplan für Geräte zu entwickeln und damit die Wartungskosten zu senken. Bei der allgemeinen Vorhersagemethode für die alterungsabhängige Leistungsfähigkeit von Dichtungen wird nur der Alterungseinfluss auf die Werkstoffeigenschaften betrachtet und nicht der Alterungseinfluss auf die Geometrie der Dichtung. In diesem Beitrag werden Nutringe aus Polyurethan als Untersuchungsobjekt behandelt und beide Effekte, die alterungsabhängigen Werkstoffeigenschaften und die alterungsabhängige Geometrie, untersucht; beides in Kombination mit einer numerischen Simulation zur Vorhersage der alterungsabhängigen Leistungsfähigkeit von Nutringen. Für die Vorhersage wird die Simulationmethode der dauerhaften Verformung angewandt, welche die Geometrie der Nutringe nach einer Alterung vorhersagt. Die Gültigkeit der Methode wird experimentell nachgewiesen.

B 14

Dr. Heinz-Christian Rost, Thomas Klett, Parker Hannifin GmbH, Engineered Materials Group Europe, Bietigheim-Bissingen

Balancing Biofuel Compatibility: Great at Freezing Temperatures***Biokraftstoffkompatibilität in der Balance: Großartig bei tiefen Temperaturen*****EN**

Merging excellent Biofuel Compatibility of Sealing Materials with very good low temperature properties is of great importance for the automotive industry. The change of the regulatory framework as well as the penetration of new markets are pushing novel developments in this area to a major extent. Parker has developed FKM materials with a TR10-value of -30°C, -35°C, -40°C and -45°C, whose relative change of physical properties after ageing in FAM B, E85 and KGS (VW first fill fuel) are comparable. Furthermore the performance of these materials with regards to their sealing capability at very low temperatures had been analyzed via the evaluation of the compression set at -25°C down to -50°C.

Die Verbindung von sehr guter Biokraftstoffkompatibilität mit exzellenten Tieftemperatureigenschaften ist für die Automobilindustrie von großer Bedeutung. Die Änderung regulatoriver Randbedingungen sowie die Erschließung neuer Märkte stoßen Neuentwicklungen in diesem Bereich verstärkt an. Parker hat FKM Werkstoffe mit einem TR10-Wert von -30°C, -35°C, -40°C und -45°C entwickelt, deren relative Änderung der physikalischen Eigenschaften nach Lagerung in FAM B, E85 und KGS (VW Erstbefüllkraftstoff) vergleichbar sind. Weiterhin wurde die Leistungsfähigkeit dieser Werkstoffe im Hinblick auf Dichtungsfähigkeit bei sehr tiefen Temperaturen über Untersuchungen des Druckverformungsrestes bei -25°C bis zu -50°C hin untersucht.

B 15

Dr. phil. Jürgen Geng, Dipl.-Phys. Jan Mokros, Plasma Electronic GmbH, Neuenburg

Plasma Surface Modification – Optimized Sealing Surfaces***Plasma-Oberflächenbehandlung - optimierte Dichtflächen*****EN**

Plasma surface treatment has become a standard method to change the surface properties of seal surfaces during the last two decades. This holds for almost all seal materials, no matter if polymer, rubber or metal. Indeed, there is a wide field of applications already in use. Most of them were developed during troubleshooting in a trial-and-error way. Only few arise from basic engineering approaches, taking into account the surface treatment issue from the beginning. However, most applications are usually kept secret to keep the competitive advantage. In this talk, we focus on vacuum plasma surface treatment, from the underlying principles to different applications. The basic idea is to use the ability of low pressure discharges to drive chemical reactions by means of a reasonable temperature impact on the bulk. This is of course very important for polymer materials. Plasma coatings are used to reduce friction and sticking of various polymer materials. In addition, it is possible to

Die Plasma-Oberflächenbehandlung hat sich während der beiden letzten Jahrzehnte zu einer Standard-Methode entwickelt, um die Oberflächeneigenschaften von Dichtflächen anzupassen. Dies gilt für praktisch alle Dichtmaterialien, ob Polymer, Gummi oder Metall. Für alle Materialien haben sich dabei Anwendungen etabliert. Allerdings waren die Entwicklungen durch Störungssuche / Fehlerbehebung getrieben und nur in wenigen Anwendungen wurde die Oberflächenbehandlung von Beginn an in der Produktentwicklung berücksichtigt. In den meisten Fällen sind die Anwendungen überdies nicht öffentlich, um Wettbewerbsvorteile zu sichern. In diesem Vortrag beschränken wir uns auf Vakuum-Plasmaverfahren, beleuchten die Prinzipien und Anwendungsbeispiele. Die Grundidee ist, die Fähigkeit von Niederdruckplasmen zu nutzen, chemische Reaktionen anzutrei-

improve metal- or polymer-polymer junctions by introducing specially designed ultra-thin adhesion-layers directly from the plasma, thereby reducing the need of wet chemical primers. Nevertheless, plasma coatings are also used to reduce corrosion, friction and wear on steel and ceramic surfaces, using carbon based coatings.

ben, ohne dabei nennenswert die Bauteiloberfläche thermisch zu schädigen. Dies ist natürlich besonders wichtig bei polymeren / elastomeren Werkstoffen. Zudem ist es heute möglich, Polymer-Polymer oder Polymer-Metall - Verbindungen mittels ultra-dünner Haftvermittlerschichten direkt aus dem Plasma zu optimieren, wobei nass-chemische Primer ersetzt werden können. Überdies werden Kohlenstoff-haltige Plasmabeschichtungen eingesetzt, um Korrosion, Reibung und Verschleiß auf Stahl- und Keramik-Oberflächen zu minimieren.

B- Session 6 : Reciprocating Seals

B- Session 6 : Translat. Dichtungen

B 16

Dr. Thomas Schwarz, Silvio Schreymayer, M.A., SKF Sealing Solutions Austria GmbH, Judenburg, Austria

Rapid Prototyping and Product Development of Hydraulic Seals

Rapid Prototyping und Produktentwicklung am Beispiel von Hydraulikdichtungen

DE

The reduction of development time and -costs is an important element to reduce time to market and increase competitiveness in a global market environment. Since the development of the 3D printing technologies this discussion was even becoming more in the focus of the industry. Seals are an important element in various industries and critical for functionality of components or systems. However, sealing elements and especially those for dynamic applications are requiring high-class sealing materials and very close manufacturing tolerances to provide the reliable sealing function.

SKF has invented the machining technology for soft and elastic materials such as polyurethanes and elastomers ("Seal Jet® system"), which can be understood as the first rapid prototyping technology for seals. By the example of hydraulic seals the challenges for sealing materials, manufacturing technology and seal surface topography on rapid prototyping technologies will be demonstrated.

Die Verkürzung von System- und Produktentwicklungszeiten und damit die Zeit bis zur Markteinführung von neuen Produkten oder Anlagen, werden in einem globalen Markt und zunehmendem Wettbewerbsdruck immer wichtiger. Rapid Prototyping Technologien sind aufgrund neuer Konzepte wie z.B. dem 3D Druck in aller Munde und ein wesentlicher Ansatz zur Reduktion von Entwicklungszeiten und -kosten. Dies gilt natürlich auch für Dichtungen, die oft als schwächstes Glied für die einwandfreie Funktion und Lebensdauer von hochbelasteten Anlagen und Maschinen entscheidend sind. Im Falle von dynamischen und insbesondere druckbelasteten Dichtungen, können jedoch nur hochwertige Dichtungswerkstoffe, engste Toleranzen und entsprechende Oberflächen die einwandfreie Funktion des Dichtelementes über die geforderte Funktionsperiode erfüllen. SKF ist als der Erfinder des Seal Jet® Systems und damit als Begründer der zerspanenden Herstellung von elastischen Dichtelementen seit vielen Jahren mit der Herstellung von Prototypen für Dichtungsanwendungen tätig. Mit diesem System, können innerhalb kürzester Zeit, Dichtungen aus vorgefertigten Halbzeugen aus hochwertigen Dichtungswerkstoffen spanabhebend hergestellt werden. In der Kombination mit klassischen Verarbeitungsverfahren wie z.B. Spritzgießen ist auch die Serienfertigung Teil des Portfolios. Am Beispiel

von Anwendungen in der Hydraulik soll gezeigt werden, welche Herausforderung hinsichtlich „Rapid Product Development“ an die Verfahren und die Werkstoffe gestellt werden und wie sich diese auf wesentliche Dichtfunktionen auswirken können.

B 17

Julian Angerhausen. M.Sc., Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff, Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen (IFAS), RWTH Aachen

Influence of Anisotropic Surfaces on the Friction Behaviour in Hard/Soft Line Contacts

EN

When modelling leakage rate, friction force or fluid and contact pressure distribution of hydraulic seals often a perfectly smooth or randomly rough isotropic surface is assumed. But due to different surface finishing methods, like coating, grinding or polishing, rough and anisotropic surface topographies are generated. In this paper a theoretical and experimental investigation of the influence of such anisotropic surfaces on the stationary and transient friction behaviour of a hard-soft contact is described.

A test rig has been designed and set up to investigate a soft, lubricated line contact in detail. An O-ring cord is brought into contact with the lateral surface of an uniformly rotating hard cylinder. In order to simulate a cylinder-on-flat test configuration, the diameter of the hard cylinder is significantly larger than the O-ring's diameter. Three cylinders with different surfaces are used: One sandblasted, isotropic surface and two anisotropic surfaces, grooved orthogonally or longitudinally to the direction of motion. The contact pressure is adjustable by varying the applied test weights. The test chamber is temperature-controlled to address different viscosities of the fluid and the temperature-dependent material behaviour of the elastomer.

Friction force and rotational speed are measured to carry out Stribeck curves and compare the influence of anisotropic surfaces for different relative velocities and contact pressures. Very slow velocities (2.5 mm/s - 25 mm/s) are studied in particular. Additionally the effect of idle time on the breakaway force is investigated. A distinct influence of the surfaces structure is observed. The friction force decreases when the surface is grooved perpendicular to the direction of motion.

Einfluss anisotroper Oberflächen auf das Reibverhalten im hart/weich Linienkontakt

Bei der Modellierung von Leckage, Reibung oder Fluid- und Kontaktdruckverteilung hydraulischer Dichtungen wird häufig eine ideal glatte oder zufällig raue, isotrope Oberfläche angenommen. Durch verschiedene Methoden der Oberflächenbearbeitung, wie etwa Beschichten, Schleifen oder Polieren, werden jedoch raue und anisotrope Oberflächentopographien generiert. In diesem Beitrag wird der Einfluss solch anisotroper Oberflächen auf das stationäre und transiente Reibverhalten im hart-weich Kontakt theoretisch und experimentell betrachtet.

Zur detaillierten Untersuchung eines weichen, geschmierten Linearkontakts wurde ein Prüfstand entwickelt und in Betrieb genommen. Eine O-Ring-Schnur wird mit der lateralen Oberfläche eines gleichförmig rotierenden Stahlzylinders in Kontakt gebracht. Um eine Zylinder-Ebenen Paarung zu simulieren, ist der Durchmesser des Stahlzylinders deutlich größer, als der des O-Rings. Drei Zylinder mit unterschiedlichen Oberflächen werden untersucht: Eine gesandstrahlte, isotrope Oberfläche und zwei geschliffene Oberflächen, jeweils orthogonal beziehungsweise parallel zur Bewegungsrichtung. Der Kontaktdruck kann durch Variation der aufgelegten Prüfgewichte angepasst werden. Die Temperatur der Prüfkammer ist geregelt, um die Einflüsse der Viskosität des Fluids und des Materialverhaltens des Elastomers zu berücksichtigen.

Reibkraft und Rotationsgeschwindigkeit werden gemessen um Stribeck-Kurven zu generieren und den Einfluss anisotroper Oberflächen bei unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten und Kontaktdrücken zu vergleichen. Insbesondere sehr langsame Geschwindigkeiten (2.5 mm/s - 25 mm/s) werden betrachtet. Außerdem wird der

Einfluss der Wartezeit auf die Losbrechkraft untersucht. Ein deutlicher Einfluss der Oberflächenstrukturen kann beobachtet werden. Die Reibkraft sinkt, wenn die Oberfläche senkrecht zu Bewegungsrichtung geschliffen ist.

B 18

Dr.-Ing. Fabian Kaiser, Freudenberg New Technologies SE & Co. KG, Weinheim
 Dipl.-Ing. Sascha Möller, Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG, Weinheim
 Dipl.-Ing. (FH) Gonzalo A. Barillas. Freudenberg Sealing Technologies GmbH,
 Schwalmstadt
 Prof. Dr.-Ing. Eberhard Bock, Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG,
 Weinheim

Simulation of Sealing Systems for Reciprocating Rods with Multiple Contacts

EN

Sealing systems to seal axially movable rods or pistons like in hydraulic cylinders mostly consist of several seals and wipers in arranged in series. In literature about the simulation of rod seals, however, mostly one seal with a single contact is analyzed. Moreover, in the limited number of articles that deals with more than one seal / sealing lip, the gaps between the sealing contacts are assumed to be flooded with oil, which is usually not the case. Due to this situation, the method for analyzing rod seals in starved conditions developed at Freudenberg Sealing Technologies (FST) was extended to account for seals with several sealing lips and sealing systems consisting of multiple seals and wipers. By considering every sealing contact individually, it can be calculated whether a contact is starved or fully lubricated. The analysis of seals and sealing systems with this method shows that there is always one dominant contact, which determines the flow through the whole sealing system. Knowing which contact is dominant in which conditions is necessary for optimizing the whole system regarding leakage or friction. The method was validated by comparing simulations and measurements of a rod seal with three sealing lips and of a sealing system consisting of several seals. These comparisons show that the behavior of the seals in reality and in the simulations is in very good agreement.

Simulation von Stangendichtsystemen mit mehreren Dichtkontakten

Dichtsysteme zur Abdichtung von axial bewegten Stangen oder Kolben wie bspw. von Hydraulikzylindern bestehen in den meisten Fällen aus mehreren in Reihe geschalteten Einzeldichtungen und Abstreifern.

In der Literatur zur Berechnung von Stangendichtungen werden jedoch meist nur Dichtungen mit einem einzigen Kontakt behandelt. Die wenigen Quellen, in denen mehrlippige Dichtungen untersucht werden, betrachten die Räume zwischen den einzelnen Kontakten als voll mit Öl geflutet.

Daher wurde die bei Freudenberg Sealing Technologies (FST) entwickelte Möglichkeit zur Simulation von Mangelschmierungsbedingungen bei Stangendichtungen auf Dichtungen mit mehreren Kontakten und Dichtsysteme aus mehreren Dichtelementen übertragen. Durch eine Betrachtung der einzelnen Dichtkontakte kann für jeden Dichtspalt ermittelt werden, ob Mangel- oder Vollschmierung vorliegt. Die Analyse von Dichtungen mit dieser Methode zeigt, dass es immer einen dominanten Dichtkontakt gibt, der den Volumenstrom durch das gesamte Dichtsystem bestimmt. Durch das Wissen, welcher Kontakt bzw. welches Dichtelement unter welchen Bedingungen dominant ist, kann das gesamte System im Hinblick auf Leckage oder Reibung optimiert werden.

Die Validierung dieser Methode erfolgt durch den Vergleich der Simulationen mit Messungen an einer mehrlippigen Stangendichtung und einem Dichtsystem aus mehreren Dichtelementen. Es zeigt sich, dass das Verhalten der Dichtungen durch die Simulation sehr gut wiedergegeben wird.

B 19

Holger Jordan, Dr.-Ing. Mandy Wilke, Trelleborg Sealing Solutions Germany GmbH, Stuttgart

Improved Performance on Reciprocating Seals due to Optimized Lubrication in the Sealing System

The performance requirements of multiple sealing systems for reciprocating movements are continuously increasing with friction, wear and service time being key performance criteria. The new concept, presented in this paper, is about adjusting lubrication conditions of all single sealing elements within a sealing system so the load on each element can be reduced and the performance in terms of friction-wear-lifetime can be optimized.

Best practice in demanding fluid power sealing applications is a primary and a secondary seal. The primary seal does the sealing job for as long as possible and the secondary seal is the redundancy, there when it is needed. The challenge for this secondary sealing element is length of life under dry running conditions. The more effective the primary seal in sealing in lubricant to the hydraulic system, the drier the running conditions of the secondary seal. Starvation of lubrication can lead to wear issues that come in to play in the case of a needed redundancy. The paper describes the dilemma in terms of optimizing the performance of the primary and secondary seal and brings up a new seal concept, where the risk of leakage of lubricant is balanced to ensuring performance of the primary seal and the extended life of the secondary seal. This is achieved by allowing a better, thicker oil film under the most pressure loaded first sealing element to reduce the load on that seal.

Zur Leistungssteigerung von translatorischen Dichtungen durch Schmierfilmoptimierung im Verband des Dichtsystems**DE**

Im Verbund eines Stangendichtsystems, beispielsweise für einen hydraulischen Aktuator, wird eine Primärdichtung immer mit dem höchsten Druck beaufschlagt und erfährt somit auch die stärkste Belastung. Wenn nun gleichzeitig extrem dünne Schmierfilme erzeugt werden, kann das System an Leistungsgrenzen gebracht werden, die für Wirkungsgrad, Lebensdauer und Effizienz limitierender Faktor sind. Ein neues Konzept denkt diese grundsätzlichen Zusammenhänge einen Schritt weiter und passt die Schmierfilmbildung im Dichtsystem an die Belastung der Einzelelemente an. Bei Einsatz des neuen Konzeptes wird die Primärdichtung besser geschmiert und zusätzlich der Sekundärdichtung ein optimierter Schmierfilm angeboten, so dass insgesamt eine Reduzierung der Belastung des gesamten Dichtsystems sogar bei gesteigerten Betriebsparametern in der Anwendung erreicht wird. Der Beitrag zeigt anhand von unterschiedlichen Versuchsreihen anschaulich die erreichbaren Verbesserungen in Bezug auf Reibung, Verschleiß, Lebensdauer und Effizienz.

B- Session 7 : Mechanical Seals**B- Session 7 : Gleitringdichtungen**

B 20

Neil Hoehle, MBA, Inpro/Seal, Rock Island, USA
Dipl.-Ing. Heinz Hagedorn, Inpro/Seal LCC, Glasgow, UK

Effective Utilization of Air as a Product Seal for Rotating Shafts**Effektive Nutzung von Luft als Produktdichtung für rotierende Wellen****EN**

While mechanical face seals have revolutionized product sealing in applications such as centrifugal pumps, the sealing of products such as slurries or dry powder bulk and solids has seen very little progress over traditional and long-used braided packing. Given the commonly encountered upset conditions of process applications; vibration, shaft-to-bore misalignment, shaft deflection and run-out, and dry, abrasive products, precise and delicate mechanical seals have failed to provide the benefits they have in centrifugal pump applications. These difficult product sealing applications simply destroy mechanical seals. This has left users with few options besides braided packing. Though far from an ideal sealing solution, braided packing is familiar to most users and they have become somewhat used to its inherent shortcomings and acclimated to its need for continued maintenance. In the past decade, however, a newer technology that utilizes air (or other gases such as nitrogen) as the sealing mechanism has arrived and provided a viable alternative. Unlike previous air-purge sealing designs that utilized air pressure essentially as a spring to augment the loading of contact seals, this latest technology is a true non-contact seal that utilizes air as the sole sealing mechanism.

Während Gleitringdichtungen die Produktabdichtung in Anwendungen wie Kreiselpumpen revolutioniert haben, wurden bei der Abdichtung von Suspensionen oder pulverigen Medien und Granulaten nur geringe Fortschritte gegenüber den herkömmlichen und lange Zeit verwendeten Flechtpackungen gemacht. Bei den üblicherweise auftretenden Störeinflüssen in Prozessanwendungen wie Schwingungen, Versatz zwischen Welle und Gehäusebohrung, Wellendurchbiegung und -schlag und trockenen, abrasiven Produkten können hochgenaue und empfindliche Gleitringdichtungen nicht dieselben Vorteile ausspielen, wie bei der Verwendung in Kreiselpumpen. Solche schwierigen Betriebsbedingungen bei der Produktabdichtung zerstören schlichtweg Gleitringdichtungen. Damit bleiben dem Anwender nur wenige Alternativen zu Flechtpackungen. Obwohl Flechtpackungen weit von einer optimalen Dichtungslösung entfernt sind, sind die meisten Anwender damit vertraut, haben sich an die entsprechenden Mängel gewöhnt und nehmen die regelmäßige Wartung solcher Dichtungen hin. Allerdings ist im letzten Jahrzehnt eine neue Technologie aufgetaucht, die Luft (oder andere Gase, wie Stickstoff) für den Dichtmechanismus nutzt und eine brauchbare Alternative darstellt. Anders als frühere Ausführungen von Sperrluftdichtungen, die Luft im Grunde zur Erhöhung der Anpressung von Berührungsdichtungen verwendeten, ist diese neue Technologie eine echte berührungsfreie Dichtung, die ausschließlich Luft zur Abdichtung nutzt.

B 21

Xiaolei Wang, Ph.D., Xiuying Wang, Wei Huang, Ph.D., Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, China

Surface Texture Design for Mechanical Seals

EN

Experiments were carried out to evaluate the effects of micro-grooves and micro-dimples on the tribological performance of mechanical seals in this study. The friction coefficient and leakage rate were investigated under the condition of oil lubrication. The results indicated that both grooves and dimples can influence the tribological performance of mechanical seals, particularly under a low-speed condition. Grooves could obtain more obvious hydrodynamic effect and have smaller friction coefficient than dimples, however, dimples could result in lower leakage rate than grooves. Furthermore, different texture

Oberflächenstruktur-Design für Gleitringdichtungen

Es wurden Experimente durchgeführt um den Einfluss mikroskopischer Riefen und Dellen auf das tribologische Verhalten von Gleitringdichtungen zu ermitteln. Die Reibzahl und die Leckrate wurden für den Fall von Ölschmierung untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass sowohl Riefen als auch Dellen das tribologische Verhalten von Gleitringdichtungen insbesondere bei niedrigen Gleitgeschwindigkeiten, beeinflussen. Riefen könnten hydrodynamisch deutlich wirksamer sein und niedrigere Reibzahlen ergeben als Dellen, wohingegen Dellen eine geringere Leckrate ergeben

patterns obtain lowest friction coefficient at different area density. The orientation of surface texture influences the hydrodynamic effect, as well as the tribological and sealing performance obviously. The surface texture design for mechanical seals should consider both the advantages and disadvantages of surface texture comprehensively.

könnten als Riefen. Darüber hinaus ergeben unterschiedliche Strukturierungen geringste Reibzahlen, je nach Flächendichte der Struktur. Die Orientierung der Oberflächenstruktur beeinflusst offensichtlich die Hydrodynamik ebenso wie das tribologische Verhalten und die Dichtfunktion. Bei der Gestaltung von Oberflächenstrukturen für Gleitringdichtungen sollten die Vor- und Nachteile der Strukturierung umfassend berücksichtigt werden.

B 22

Dipl.-Ing. André Gütlein, Dipl.-Wirt.-Chem. Frank Weber, Andreas Thiele, HECKER
WERKE GmbH, Weil im Schönbuch

Prof. Dr.-Ing. Markus Merkel, Michael Sedlmajer, M. Eng., Daniel Vogt, B. Eng.,
Hochschule Aalen, Zentrum für virtuelle Produktentwicklung

Cartridge Seals with Parts Produced with Laser Beam Melting

To seal a rotating shaft mechanical cartridge seals are often used. Some problems with the guiding of the liquid and with the deairing inside the mechanical seal will occur often.

In any case a greater amount of constructive and production engineering is necessary to find a good solution.

Often you are restricted with the standard processes in the production or with the design options.

The use of generative methods in the production helps the designer to realize functionality in another way or at another spot. The goal is to concentrate on function instead making compromises because of the production capabilities. On the example of a shaft sleeve for a double acting mechanical seal, which is made conventionally or generatively respectively, the different solutions are presented and discussed.

Gleitringdichtung in Patronenbauweise mit generativ hergestellten Bauteilen

DE

Zur Abdichtung von rotierenden Wellen werden Gleitringdichtungen in Patronenbauweise eingesetzt. Häufig treten hier Probleme mit der Flüssigkeitsführung und der Entlüftung innerhalb der horizontal eingebauten Gleitringdichtung auf. Es ist immer mit einem erhöhten konstruktiven und fertigungstechnischen Aufwand verbunden, hier eine gute Lösung zu finden. Häufig ist man durch die Standardverfahren in der Fertigung in den konstruktiven Möglichkeiten sehr eingeschränkt. Der Einsatz von generativen Verfahren bei der Fertigung erlaubt es dem Konstrukteur Funktionalitäten anders oder an anderer Stelle umzusetzen. Das Hauptaugenmerk kann auf die Funktionalität gelegt werden, anstatt Kompromisse aufgrund der Fertigungsmöglichkeiten eingehen zu müssen. Am Beispiel einer klassisch oder generativ hergestellten Wellenschutzhülse für eine doppelwirkende Gleitringdichtung werden die unterschiedlichen Lösungen gezeigt und erläutert.

C- Session 8: Closing Lectures**C- Session 8: Abschlussvorträge****C 01**

Dr.-Ing. Frank Schönberg, Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG, Weinheim
 Dr. Kristian Müller-Niehuus, Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG,
 Hamburg

**Simulation-based Robust Design for
 Wind-Turbine Sealing Solutions**

EN

In today's product development process, engineers constantly have to make a trade-off regarding time, cost and performance. Applying the robust design process can help engineers to overcome the challenge of this trade-off. The process is based on previous researches at Freudenberg. The robust design methodology aims to improve the quality of products and processes by reducing their sensitivity to uncertainty. Therefore, sensitivity is minimized while the mean of performance is targeted to specific goals with respect to boundary conditions, control and noise factors. From this point of view robust design can be seen as an optimization task. Optimizations and especially robust design optimizations need a huge amount of iterations to achieve satisfying results. An approach using physical testing would lead to increased time and cost and in consequence a loss in competitiveness. To reduce the effect of this drawback during product development finite-element-method (FEM) simulations and statistical methods can be used. The basis of statistical methods is data. Therefore, if not available, a design of experiments (DoE) is essential to ensure well suited data with a minimum amount of experiments to reduce time and costs. The specific steps of the robust design process are:

1. define requirements, find underlying assumptions and elicit uncertainties,
2. perform design of experiments and analyze data,
3. create meta-models and perform error-analysis and
4. define boundaries and targets with respect to requirement list.

The benefit of using statistical methods within the process is, that double work is reduced. If done once for a product or process, the first three process steps can be skipped, starting with the last step, as long as you stay within the specifications that are defined in the first process step. This leads to a significant reduction in time and cost for following adjustments. In addition to this advantage the usage of statistical methods and data analyzing tools hide a great potential in

**Simulationsbasiertes Robust Design
 für Dichtungen in Windkraftanlagen**

Ingenieure sind in der heutigen Zeit immer häufiger gezwungen einen Kompromiss zwischen Zeit, Kosten und Leistung zu finden. Die Anwendung des simulationsbasierten Robust Design Prozesses kann dazu führen, die Notwendigkeit eines Kompromisses zu umgehen. Dieser Prozess basiert auf vorangehenden Untersuchungen bei Freudenberg.

Robust Design zielt darauf ab die Qualität von Produkten und Prozessen zu verbessern. Dies kann durch die gezielte Reduzierung von deren Sensitivität gegenüber Unsicherheiten erreicht werden. Die Sensitivität wird dabei minimiert, während gleichzeitig die mittlere Leistung des Produktes oder Prozesses auf spezifische Zielwerte ausgelegt wird. Dies geschieht unter Berücksichtigung der definierten Randbedingungen, sogenannten Kontroll- und Störgrößen. Dahingehend kann Robust Design auch als eine Optimierung angesehen werden. Optimierungen und besonders Robust Design Optimierungen benötigen in der Regel eine große Menge an Iterationsschritten um zufriedenstellende Ergebnisse zu erreichen. Physikalische Tests sind aus diesem Grund nicht möglich. Diese würden sowohl Zeitaufwand als auch Kosten erhöhen und damit die Wettbewerbsfähigkeit schwächen. Um diesem negativen Effekt entgegen zu wirken können Finite-Element-Methode (FEM) Simulationen und statistische Methoden eingesetzt werden. Grundlage einer jeden statistischen Untersuchung sind Daten. Deshalb ist es essentiell eine ausreichende Datenmenge zur Verfügung zu stellen. Ist diese im Vorfeld nicht vorhanden kann die statistische Versuchsplanung zum Einsatz kommen. Bei dieser Vorgehensweise wird der zu untersuchende Versuchsraum auf möglichst effektive Weise mit Versuchen ausgefüllt, um den notwendigen Zeitaufwand und die damit verbundenen Kosten so gering wie möglich zu halten. Der simulationsbasierte Robust Design Prozess gliedert sich in die folgenden vier Schritte:

strengthen the actual know-how or even make new findings. The fact that using a robust design process is well-suited for industrial practice and also fosters product development efficiency by applying design of experiment and meta-modeling techniques is shown in this paper. This is done by comparing a base-line design with the new design after going through the described robust design process.

1. Definieren der Anforderungen, der zugrundeliegenden Annahmen und der vorliegenden Unsicherheiten,
2. durchführen der Versuche der statistische Versuchsplanung und der anschließenden Datenanalyse,
3. erstellen von Meta-Modellen und deren Validierung mit Hilfe einer Fehleranalyse und
4. definieren von Randbedingungen und Vorgaben für die Zielfunktion unter Berücksichtigung der Anforderungsliste.

Der Vorteil bei der Verwendung von statistischen Methoden innerhalb des simulationsbasierten Robust Design Prozesses ist, dass Mehrfacharbeit weitestgehend vermieden werden kann. Ist der Prozess einmal durchlaufen, können Folgeentwicklungen für dieses Produkt oder diesen Prozess gleich ab dem dritten Prozessschritt starten, solange deren Anforderungen innerhalb der im ersten Schritt definierten liegen. Dies führt zu einer deutlichen Reduzierung des Zeitaufwands und der Kosten für nachfolgende Anpassungen. Zusätzlich zu diesem Vorteil kann der Einsatz von statistischen Methoden einen großen Beitrag leisten das aktuelle Knowhow zu stärken und sogar zu neuen Erkenntnissen zu gelangen.

Neben der industriellen Alltagstauglichkeit und der erhöhten Effizienz der Produktentwicklung, wird im Rahmen dieses Artikels die Möglichkeit neue Lösungsansätze zu finden dargestellt. Dies geschieht durch den Vergleich eines Ausgangsdesigns mit dem Design, welches aus dem simulationsbasierten Robust Design Prozess resultiert.

C 02

Dr.-Ing. Tim Leichner, Prof. Dr.-Ing. Eberhard Bock, Tim Herweck, Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG, Weinheim

Change of CO₂-Emission Level by Optimizing the Sealing Systems in the Drive Chain of Modern Passenger Cars

Today the Original Equipment Manufacturers (OEMs) are forced by law to achieve the CO₂ fleet emission limits of about 95 g/km by 2020. The carmakers actually know that this goal cannot be achieved with only inner engine optimization, so they are intensively starting to analyze the full drive train to increase the efficiency and decrease friction losses. Freudenberg Sealing Technologies, as a seal manufacturer for sealing systems in the drive train of modern vehicles, can provide an important contribution to support the

Auswirkungen von Dichtsystemoptimierung auf den Gesamt-CO₂-Ausstoß eines Automobils mit Verbrennungsmotor

DE

Die OEMs in der Automobilindustrie geraten immer mehr unter Druck, die gesetzten Emissionsgrenzen von 95g/km CO₂-Flottenausstoß bis 2020 zu erreichen. Die Automobilhersteller wissen bereits heute, dass dieses Ziel mit rein innermotorischen Maßnahmen nicht zu erreichen ist und versuchen verstärkt, auch die Reibstellen im gesamten Antriebsstrang zu optimieren.

OEMs in reducing the total CO₂ emissions in the vehicles by optimizing the dynamic sealing systems due to low friction.

This paper shows how the CO₂ emissions of a vehicle, and so the fuel consumption, can be reduced dramatically by the right choice of the main seals in the drive train (engine, transmission), and the influence of the temperature, pressure and the driver's gear switch strategy.

In addition the impact of the change in the driving cycle from the current "New European Driving Cycle" (NEDC) to the future "Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle" (WLTC) will be discussed, and with it, the paper demonstrates why the friction reduction will be even more important in future.

Freudenberg Sealing Technologies als Dichtungshersteller und Ausstatter für Dichtsysteme im Antriebsstrang moderner Kraftfahrzeuge kann einen wichtigen Beitrag leisten, den Gesamt-CO₂-Ausstoß im Fahrzeug durch Optimierung der dynamischen Dichtsysteme zu reduzieren.

Im Folgenden wird aufgezeigt, wie sich der CO₂-Ausstoß eines Fahrzeugs durch die richtige Wahl der Hauptabdichtungen im Antriebsstrang (Motor, Getriebe) reduzieren lässt und welchen Einfluss die Temperatur, Druckverhältnisse sowie das Schaltverhalten des Fahrers auf den Treibstoffverbrauch haben.

Des Weiteren verdeutlicht der vorliegende Beitrag, welche Auswirkungen der Wechsel des Fahrzyklus vom derzeitigen „New European Driving Cycle“ (NEDC) zum zukünftigen „Worldwide harmonized Light Vehicles Test Cycle“ (WLTC) hat und warum die Reibungsreduzierung in den Dichtsystemen mit der Einführung des neuen Fahrzyklus noch mehr an Bedeutung gewinnen wird.

Fluidtechnik

20th **ISC**

International Sealing Conference
Internationale Dichtungstagung



www.sealing-conference.com

Eine Kooperation von



Fluidtechnik

VDMA

Fluidtechnik

Lyoner Str. 18
60528 Frankfurt am Main
Germany

Phone +49 69 6603-1318
Fax +49 69 6603-2318
E-Mail hartmut.rauen@vdma.org
christian.geis@vdma.org
Internet www.vdma.org/fluid

**Universität Stuttgart
Institut für Maschinenelemente (IMA)**

Pfaffenwaldring 9
70569 Stuttgart
Germany
Phone +49 711 685-66024
Fax +49 711 685-66319
E-Mail peter.schuler@ima.uni-stuttgart.de
Internet www.ima.uni-stuttgart.de

Media partner / Medienpartner

www.sealing-conference.com