



Book of abstracts

Recueil des résumés



<http://edf-pprime-2016.sciencesconf.org/>

Table of contents

abstracts_proc.pdf	1
Heat Transfer Augmentation Techniques to Improve Seal Life, Khonsari Michael	1
Theoretical analysis of the wear of floating ring and segmented annular seals, Arghir Mihai [et al.]	3
Free Edge Effect on Normal Surface Elastic Deformation, Wang Wen	4
Numerical study of a mechanical face seal subject to pressure pulses, Cochain Jeremy [et al.]	5
Design of the end impulse seal for carbon-dioxide gas compressor, Danyleiko Olga [et al.]	6
Improving tribological performance of mechanical seals by DLC coating, Adjemout Mohand [et al.]	7
Latest developments in coating solutions designed to extend the lifetime of wet and dry gas mechanical seal faces in challenging environments., Walker Chris H	8
Relubricating of Grease filled Labyrinth Seals, Bosch Florian [et al.]	9
Optimizing a Helical Groove Seal using Computational Fluid Dynamics, Watson Cori [et al.]	10

Design methodology of an elastomeric reciprocating sealing system: Case of quasi static operating conditions, Serge Tsala Moto [et al.]	12
Theoretical and experimental analysis of small diameter brush seals operating with air, Arghir Mihai [et al.]	13
Study and Development of Shaft Seal for Turbopump of Rocket Engine in Japan, Kojima Makoto [et al.]	14
Performance Evaluation of Labyrinth Seals, Pai Raghuvir [et al.]	15
Author Index	16

Heat Transfer Augmentation Techniques to Improve Seal Life Techniques d'augmentation des transferts de chaleur pour améliorer la durée de vie des étanchéités

Michael Khonsari

Dept of Mechanical and Industrial Engineering, Centre for Rotating Machinery, Louisiana State University, Patrick Taylor Hall, Baton Rouge, LA 70803, USA

Keywords: Mechanical face seals; surface texturing; thermoelastic instability; internal heat exchanger; non-uniform wear

Mots clés: Garnitures mécaniques; texturation de surface; instabilités thermoélastiques; échangeur de chaleur interne; usure non-uniforme

Industry spends huge sums of money on pump repair every year. It is estimated that 80% of the repair costs is due to seals and bearings. The most influential factors identified to be responsible for seal failure are: high interfacial temperature and associated thermal distortion between the rotating and mating seal rings, thermoelastic instability, and excessive non-uniform wear. The process is governed by viscous heating of the fluid as it is sheared between ring faces and cooling provided by the flush fluid. Water can easily reach its boiling point and cause damage by flashing across the faces. When low-viscosity hydrocarbon liquids such as liquid butane are used, the heat generation is also affected by the rubbing friction between. Further, if the operating speed exceeds a certain critical value, then thermoelastic instability leading to formation of macroscopic hot spots on the seal faces can occur depending on the contact pressure, surface finish and material properties. Thus, the reduction of interface temperature to prolong the seals life calls for implementation of appropriate heat transfer augmentation techniques. In this lecture, I present several recent heat transfer augmentation technologies developed at LSU Center for Rotating Machinery designed to reduce interfacial heat in mechanical seals. They include the design of seal rings with an internal heat exchanger, surface texturing techniques to improve heat transfer, and the design of a new generation of seals with a heat pipe.

L'industrie dépense chaque année des sommes d'argent colossales pour réparer les pompes. Environ 80% de ces coûts seraient dus aux paliers et aux joints. Les facteurs identifiés comme les plus influents sur la défaillance des joints seraient : une température interfaciale trop élevée et les déformations des faces associés, des instabilités thermoélastiques et une usure non-uniforme excessive. Le processus est contrôlé par l'échauffement dû au cisaillement visqueux du fluide entre les faces et le refroidissement assuré par le fluide environnant. L'eau peut facilement atteindre son point d'ébullition et causer des dommages suite à son évaporation entre les surfaces. Quand des hydrocarbures à faible viscosité, comme du butane liquide, sont utilisés, la génération de chaleur est également affectée par le frottement solide des surfaces. De plus, si la vitesse dépasse une certaine valeur limite, des instabilités thermoélastiques conduisant à la formation de points chauds sur les surfaces, peuvent apparaître, suivant la pression de contact, l'état de surface et les propriétés des matériaux. Donc, la réduction de la température interfaciale nécessite des méthodes d'augmentation des transferts de chaleur afin de prolonger la durée de vie des étanchéités. Dans cet article, je vais présenter différentes technologies permettant d'augmenter les échanges de chaleur qui sont développés au Centre des Machines Tournantes de LSU (Louisiana State University) afin de réduire la température des surfaces de frottement des garnitures mécaniques. Ceci comprend des anneaux avec des échangeurs de chaleur internes, des surfaces texturées permettant de meilleure échanges et la conception d'une nouvelle génération de joints avec des caloducs.

Theoretical analysis of the wear of floating ring and segmented annular seals Analyse théorique de l'usure des joints annulaires à bague flottante et segmentés

Arghir M ^a and Mariot A ^b

a Institut PPRIME, UPR CNRS 3346, Université de Poitiers, ISAE ENSMA, France.

b SNECMA Moteurs, SAFRAN Group, Villaroche, France.

Keywords: theoretical modeling, wear, floating ring, segmented annular seals.

Mots clés : modélisation théorique, usure, joints à bague flottante, joint rainuré segmenté.

Annular seals consist of a small radial clearance between the stator and the rotor. The leakage flow progresses axially into the seal. The displacements of the rotor inside the seal are limited by the radial clearance. This means that the clearance must be large enough, for avoiding contacts. A solution for keeping the clearance small is the floating ring seal. It consists of a carbon ring floating on the rotor with a very small clearance. The segmented seal is a more advanced technological solution where the ring is made of three or more overlapping parts. A garter spring presses these segments against the rotor. The segments are provided with pads that create an aerodynamic lift opposed to the garter spring and able to open the seal. The balance between the lift and the elastic force gives the segmented seal a kind of compliance. Under certain operating conditions, these two type of seals are able to follow the displacements of the rotor. This additional mobility imposes a secondary seal between the floating ring and the stator. The floating ring is therefore provided with a circumferential "nose" on its downstream face. This nose acts as a radial seal: due to the difference between the upstream and the downstream pressures, it is continuously pressed against the stator. However, by following the dynamic displacements of the rotor, the nose must slide against the stator. This sliding motion is accompanied by the wear of the nose. The present work introduces a theoretical model for evaluating it. The model is based on Archard's law where the distance travelled by the contact is estimated from a non-linear dynamic analysis of the floating ring seal. The estimation of the wear rate is then obtained for different pressure differences, rotation speeds and dynamic amplitudes.

Dans les joints d'étanchéité annulaires la fuite entre les zones haute et basse pression est limitée par le très faible jeu radial entre le rotor et le stator. La fuite a lieu dans la direction axiale. Les déplacements du rotor dans le joint sont limités par le jeu radial. Ceci suppose que le jeu radial doit être assez large pour éviter les contacts. Une solution pour est le joint à bague flottante. Il est constitué d'une bague en carbone qui flotte sur le rotor. Le joint segmenté est une solution plus avancée où la bague est réalisée à partir de trois ou plusieurs segments superposés. Un ressort circonférentiel plaque les segments sur le rotor. Les segments sont prévus avec des patins qui créent une portance aérodynamique opposé au ressort circonférentiel et capable d'ouvrir le joint. L'équilibre entre la portance aérodynamique et la force de fermeture élastique confère au joint une compliance. Sous certaines conditions de fonctionnement, ces deux joints peuvent suivre le déplacement radial du rotor. Cette mobilité additionnelle impose l'existence d'une étanchéité secondaire entre la bague et le stator. La bague est ainsi prévue avec un « nez » sr la face aval. A cause de la différence de pression amont-aval le nez agit comme un joint radial. Toutefois, en suivant les déplacements dynamiques du rotor le nez doit glisser sur le stator. Ce glissement est accompagné de l'usure du nez et ce papier présente un modèle théorique pour son évaluation. Le modèle est basé sur la loi d'Archard où la distance parcourue par le contact est déduite à l'issue d'une analyse dynamique non-linéaire de la bague flottante. L'estimation de la vitesse d'usure est alors obtenue pour différents pressions, vitesses de rotation et amplitudes dynamiques.

Free Edge Effect on Normal Surface Elastic Deformation Effet de bord sur la déformation normale de surface élastique

W. Wang^a L. Guo^b P.L. Wong^b Z. Zhang^a

a Dept of Mechanical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai, China.

b Dept of Mechanical and Biomedical Engineering, City University of Hong Kong, Hong Kong, China.

Keywords: Contact mechanics, Elastic quarter space, Normal elastic deformation, Flexibility matrix.

Mots clés : Mécanique des contacts, Quart-espace élastique, Déformation élastique normale, Matrice de compliance.

Fast, convenient and accurate algorithm for the solution to normal contact elastic deformation of quarter space is very important to the engineering problem. The contact calculation of gear, roller bearing, cam-follower and seal, especially the EHL analysis in these contacts for the deformation calculation require to be repeated many times. An explicit matrix solution to the elastic quarter space was developed by the authors [1] recently. This new matrix method was further expended to calculate the normal surface elastic deformation with quarter space model in this paper. The theoretical derivation of the matrix solution to the elastic deformation under quarter space model was introduced. The proposed matrix method was verified by comparing the calculated deformation with FEM results. Besides, the different results calculated from half space model and quarter space model was compared and discussed and then the effect of the free edge on the normal surface deformation was investigated. The proposed matrix method of calculating the normal surface deformation in quarter space provides an explicit and accurate solution to the practical engineering problems.

Un algorithme rapide, pratique et précis pour la résolution de la déformation d'un contact normal élastique de quart-espace est très important pour les problèmes d'ingénierie. Le calcul de contacts d'engrenages, de roulement à billes, de cames ou de joints, en particulier pour les analyses EHL liées à ces contacts, nécessitent un calcul de déformation répétitif. Une solution matricielle explicite au quart-espace élastique a été développée par les auteurs [1]. Cette nouvelle méthode matricielle a été étendue au calcul de la déformation normale de surface élastique avec un modèle quart-espace dans le présent document. La dérivation théorique de la nouvelle solution matricielle est introduite. Cette méthode a été validée par comparaison avec les résultats de calcul éléments finis. Les différences entre les résultats du modèle quart-espace et demi-espace sont également discutés. L'effet du bord libre sur la déformation normale de surface élastique est investigué. La méthode matricielle proposée pour calculer la déformation normale d'un quart-espace fournit une solution explicite et précise à es problèmes pratiques d'ingénierie.

[1] Zhang Z.M., Wang W., Wong P.L., "An explicit solution for the elastic quarter-space problem in matrix formulation", International Journal of Solids and Structures, No.50, pp. 976–980, 2013.

Numerical study of a mechanical face seal subject to pressure pulses Étude numérique d'une garniture mécanique soumise à des pulsations de pression

Cochain J.^a, Brunetiere N.^a

a Département Génie Mécanique et Système Complexes, Institut Pprime, CNRS-Université de Poitiers-ENSMA, UPR 3346, 86962 Futuroscope Chasseneuil, France.

Keywords: Face seal, pressure pulses, numerical study, leakage

Mots clés: Garniture mécaniques, pulsations de pression, étude numérique, fuite

This paper studies the impact of sine-varying outer pressure on a coned, non-contacting, inside mounted mechanical face seal. The numerical model used in this work solves iteratively the transient Reynolds equation and the axial force-balance of the floating stator.

A reference face seal is simulated to illustrate the various effects resulting from varying outer pressure: pressure increase in the interface due to squeeze effect, periodic variations of film thickness and inner radius and outer radius flow. These effects affect the performance – leakage, net mass flow, fluid ingression – of the face seal. The impact of the pressure variation amplitude, frequency and coning of the film on these performance is presented in a parametric study.

An increase of leakage on sufficiently coned face seal subject to pressure variation is observed.

Cet article étudie l'impact d'une variation sinusoïdale de la pression extérieure sur une garniture mécanique conique, sans contact, à montage interne. Le modèle numérique utilisé résout de manière itérative l'équation de Reynolds instationnaire et l'équilibre axiale des forces du stator flottant.

Une garniture conique de référence est simulée afin d'illustrer les différents effets induits par les variations de pression : augmentation de pression dans l'interface due à l'écrasement du film, variation d'épaisseur de film, variation de débit aux rayons intérieur et extérieur. Ces différents effets affectent les performances – débit, fuite nette, ingestion de fluide extérieur – de la garniture mécanique. L'impact de l'amplitude et de la fréquence des variations de pression et de l'angle de conicité de la garniture sur ces performances est présenté dans une étude paramétrique.

Pour des garnitures avec conicité suffisamment importante et sujettes à des variations de pression, une augmentation de la fuite nette est observée.

Design of the end impulse seal for carbon-dioxide gas compressor Développement des joints d'étanchéité à impulsion pour les compresseurs à gaz carbonique

Danyleiko O.V.^a, Martsynkovskyy V.S.^a, Tarelnyk V.B.^b, Yurko V.I.^a

a TRIZ Ltd, Mashynobudivnykiv Str.1, Sumy, 40020, Ukraine.

b Sumy National Agrarian University, Gerasim Kondratyev Str. 160, Sumy, 40021, Ukraine.

Keywords: End impulse seal, reliability, wear resistance, seal calculation, test bed.

Mots clés : Joint d'étanchéité à impulsion, fiabilité, durabilité, calcul de joint, banc d'essais.

End gas seal failure is a typical problem occurring in the course of carbon-dioxide gas compressor operation of urea production plant “Cherkasy Azot”. Impulse end gas seals, outperforming the standard ones, have been designed by TRIZ Ltd for compressor operational reliability. The main advantage of the impulse end gas seal is the absence of severe requirements to physical properties of the operating environment. As a matter of operation experience the main reason of standard seal failure is liquid in the operating environment, which is considerably excluded in a new seal design. Besides, the radial dimensions of the impulse end gas seals are less in the comparison with the standard ones providing not only modernization of the compressor unit without change of mounting dimensions in the compressor casing but also less deformation in the course of operation which is one of essential advantages in micron clearances.

It should be noted that reliability and life duration of the proposed seals are provided not only due to their design properties but a range of technological solutions, intended to increase wear resistance of the operating surfaces of their elements.

Today numerical simulation of the impulse end gas seals operation has been performed, including preparation for tests at “Cherkassy Azot” with operating parameters of the compressor unit at the test bed, designed by the engineers of TRIZ Ltd. Test results provide confirmation of specifications stated and methods of seals calculation.

La défaillance des joints à gaz est un problème typique rencontré sur les compresseurs à gaz carbonique dans l'usine de production d'urée « Cherkasy Azot ». Des joints d'étanchéité à impulsion, présentant de meilleures performances que les systèmes standards, ont été conçus par la société TRIZ Ltd afin d'assurer la fiabilité des compresseurs. Le principal avantage des joints à impulsion est l'absence d'exigences sévères pour les propriétés physiques de l'environnement du joint. Une des principales causes de défaillances des joints standards est la présence de liquide dans l'environnement du joint, ce qui est considérablement réduit dans le nouveau design de joint. De plus, les dimensions radiales des joints à impulsions sont réduites par rapport aux joints standards permettant, d'une part, une modernisation du compresseur sans modification de l'emplacement du joint et d'autre part, des déformations plus faibles en fonctionnement ce qui est un avantage essentiel pour le maintien d'un jeu micrométrique.

Il est à noter que la fiabilité et la durée de vie des étanchéités proposées est due non seulement à leur design mais aussi à un ensemble de solutions techniques permettant d'augmenter la résistance à l'usure des surfaces opérationnelles.

Aujourd'hui, des simulations numériques de joints gaz à impulsion ont été réalisées en incluant la préparation pour les tests à l'usine « Cherkasy Azot » avec les paramètres de fonctionnement du compresseur du banc d'essais conçu par les ingénieurs de la société TRIZ Ltd. Les résultats d'essais confirment les spécifications et méthodes de calcul des joints.

Improving tribological performance of mechanical seals by DLC coating

Amélioration de la performance tribologique des garnitures mécaniques par revêtement DLC

Adjemout M^a, Ledauphin T^a, and Huard S^a

a Dept of Research and Development, Latty International, 1 rue Xavier Latty, 2860 Brou, France.

Keywords: Mechanical seal, DLC coating, Wear

Mots clés: Garniture mécanique, revêtement DLC, Usure

The ability of a mechanical seal to meet its performance depends greatly on a wide range of factors involving the operating conditions, the parts design, support systems and the most important, the selection of the materials of the sealing faces. Carbon and silicon carbide remain the most common materials used as mechanical seals faces. This is due to their superior tribological properties which allow to a mechanical seal to conserve its integrity during the duty. In the constant quest for improvements in mechanical seal performance, new face materials are regularly tested. Diamond-Like Carbone (DLC) coating is one of the well-known technologies which has recently started to receive a wide interest in several industrial applications. Indeed, DLC coating has very excellent tribological properties, including: high hardness, low friction, resistance to wear, chemical inertness and further, it can be applied almost on any material. Thus, it is possible to highly improve components which are initially made with inappropriate materials.

In this optic, an experimental study was carried out on mechanical seals having faces made with aluminum coated DLC. In the first part of this study, tribological tests were made using a special tribological test rig in order to assess the friction coefficient. In the second part, a mechanical seal was tested under real conditions on test rig during around 600 hours. The results of leakage, temperature and wear are presented and discussed.

Les performances d'une garniture mécanique dépendent de plusieurs facteurs impliquant les conditions de fonctionnement, la géométrie des pièces, les systèmes de support, et le plus important, les matériaux des faces de frottement. Le carbone et le carbure de silicium restent les matériaux les plus couramment utilisés dans les garnitures mécaniques. Cela est dû à leurs propriétés tribologiques supérieures qui permettent à une garniture mécanique de conserver son intégrité pendant le service. Dans la recherche incessante pour améliorer les performances des garnitures mécaniques, de nouveaux matériaux/technologies de faces de frottement sont régulièrement testés. Le revêtement DLC (Diamond-Like Carbone) est l'une des technologies qui a récemment commencée à recevoir un grand intérêt dans de nombreuses applications industrielles. En effet, le revêtement DLC présente d'excellentes propriétés tribologiques, notamment: une dureté élevée, un faible coefficient de frottement, une résistance à l'usure et une inertie chimique. De plus, le revêtement DLC peut pratiquement s'appliquer à tous les matériaux. Il est ainsi possible d'améliorer fortement des composants qui sont initialement fabriqués avec des matériaux inadaptes.

Dans cette optique, une étude expérimentale a été réalisée sur des garnitures mécaniques avec des faces en aluminium revêtues DLC. Dans la première partie de cette étude, des tests tribologiques ont été réalisés sur un banc d'essais tribologique spécial, afin d'évaluer le coefficient de frottement. Dans la deuxième partie, une garniture mécanique a été testée dans des conditions de fonctionnement réelles, pendant environ 600 heures. Les résultats de fuite, de température et d'usure sont présentés et discutés.

Latest developments in coating solutions designed to extend the lifetime of wet and dry gas mechanical seal faces in challenging environments.

Récents développements de revêtements destinés à prolonger la durée de vie des étanchéités à faces radiales dans des environnements complexes secs ou humides.

Chris H. Walker B.Eng Hons Mech Eng CIM AMIMEchE

Diamond Hard Surfaces Ltd, Caswell Science and Technology Park, Towcester, UK

Keywords: Friction, Bearings, Coatings, Materials, Structures

Mots-clés: Frottement, Etanchéités, Revêtements, Matériaux, Structures

In recent years many coating solutions have been offered to extend the lifetime of mechanical seal faces some of which have been more or less successful. Most of these are either beneficial in wet sealing conditions or dry gas sealing conditions but not both. Seal manufacturers face the prospect of using different material solutions for different applications and the ensuing logistics management which this entails.

Diamond Hard Surfaces have developed a unique, patented PA- CVD technology that can be applied to a variety of substrate materials at low temperature and which can improve the dry running lifetime of seal faces significantly. They are continually working with customers to develop new coating solutions.

The paper will discuss the advances which have been made to develop new material variations which will enhance the operation of sealing faces in marginal conditions for both wet and dry gas sealing. The results and viability of a universal coating solution will be presented.

De nombreuses solutions de revêtements de surface ont été proposées ces dernières années afin de prolonger, avec plus ou moins de succès, la durée de vie des garnitures d'étanchéité.

La plupart d'entre elles sont bénéfiques soit dans un environnement sec, soit dans une ambiance humide mais jamais pour les deux. Les fabricants d'étanchéités à faces radiales sont alors obligés de gérer des configurations différentes pour chaque type d'application, la logistique est complexe.

Diamond Hard Surface, qui innove constamment avec ses clients, a breveté une technologie originale qui peut être utilisée à basse température sur une grande variété de substrats. Ce revêtement dédié aux conditions de fonctionnement à sec, augmente de façon significative la durée de vie des garnitures.

L'étude présentera les progrès réalisés dans le développement de nouvelles solutions qui permettent d'améliorer le fonctionnement des garnitures dans des conditions de fonctionnement marginales : ambiance aussi bien à sec qu'humide.

Les résultats mettront en évidence l'intérêt et la pertinence d'utiliser un tel revêtement universel.

Relubricating of Grease filled Labyrinth Seals Relubrification de Garniture en Labyrinthe

Dipl.-Ing. Pat.-Ing. Florian Bosch ^a and Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas ^a

a Institut of Machine Components, University of Stuttgart, Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart, Germany

Keywords: Labyrinth Seals, Lubricating Grease, Relubrication, Extension of Lifetime, Polluted Environment.
Mots clés : joints à labyrinthe, graisse lubrifiante, relubrification, extension de la durée de vie, environnement pollué

There is no wear and no friction with non-contacting sealing systems. Because of this, there is in principle no lifetime-limit. However, this does not apply for grease filled labyrinth seals. To seal against particles, the grease inside the gaps of the seal has to bind pollution particles and the grease filled gap must be opened. If the grease at the top of the grease layers is saturated with particles, newly entering particles can get through the sealing system. This must be prevented.

To relubricate the sealing system with fresh grease is the easiest way to replace the polluted grease inside the sealing system. But this is not as easy as it seems to be. The grease changes its consistency with time, it thickens. So the question is, is it possible to replace all grease in the gaps? And if it is possible, how much fresh grease is needed to replace polluted grease inside the sealing system?

Based on the basics which were presented at the EDF/Pprime Workshop in 2014, the article will show how grease filled labyrinth seals can be relubricated to extend their lifetime. Moreover, a way to reduce the complexity of the sealing systems was discovered during the evaluation of the experiments.

This important and trendsetting results will also be part of the article as a new model which describes the movement of the particles which were bound by the grease.

Les joints à labyrinthe sont des systèmes d'étanchéité sans contact qui ne provoquent ni frottement ni usure. Grâce à cela, leur durée de vie n'est en principe pas limitée. Toutefois, cela n'est plus vrai si de la graisse remplit leurs chambres. En effet, pour bloquer les particules de pollution, la graisse à l'intérieur des chambres des joints doit les piéger et pour cela l'entrefer doit être ouvert. Si la couche supérieure de la graisse est saturée de particules, alors celles nouvellement entrant peuvent passer à travers le système d'étanchéité. Ceci doit être évité.

Pour lubrifier efficacement ce système d'étanchéité, la meilleure façon est de remplacer la graisse polluée située à l'intérieur des chambres des joints à labyrinthe par de la graisse fraîche. Mais cette opération pourrait être gênée par le changement de consistance de la graisse qui s'épaissit avec le temps. La question est donc de savoir s'il est possible de remplacer toute la graisse polluée dans les chambres du système d'étanchéité et combien de graisse fraîche est nécessaire pour cela?

Fondé sur les principes de base qui ont été présentés à la EDF/Pprime Atelier en 2014, l'article va montrer comment la graisse remplit les joints à labyrinthe pour les re-graisser et ainsi prolonger leur durée de vie. De plus, un moyen de réduire la complexité des systèmes d'étanchéité a été découvert lors de l'évaluation des expériences.

Ces résultats importants et avant-gardistes feront également partie de l'article comme un nouveau modèle qui décrit le mouvement des particules qui ont été piégées par la graisse.

**Optimizing a Helical Groove Seal using Computational Fluid Dynamics
l'optimisation d'un joint de gorge helicoidale utilisant la dynamique des fluides
computationnelle**

Watson, C. ^a and Wood, H ^a

*a Dept of Mechanical and Aerospace Engineering, 122 Engineer's Way, Charlottesville,
Virginia, United States.*

Keywords: annular seal, helical groove seal, computational fluid dynamics, optimization,
leakage performance

Mots clés : joint annulaire, joint de gorge helicoidale , Dynamique des fluides
computationnelle, optimisation, la performance de fuite,

Annular seals are used in rotating machinery to reduce the leakage of working fluid. The selection of the geometry for these seals is enormously important in predicting the leakage performance of the seal. The seal configurations of interest here are seals with grooves cut continuously on the stator and a smooth rotor. In this study, the seals are modeled in ANSYS CFX. Here, all grooves are assumed to be oriented to pump towards the inlet because it has been shown this is better for reducing the leakage and sustaining higher pressure differentials within the seal. The design parameters studied are groove width, groove depth, groove angle and the number of separate, continuously cut grooves. The groove spacing is predetermined by the groove angle and number of grooves. A design of experiments study for the four parameters of interest is used to select designs efficiently within the sample space. From the results of these simulations, responses are plotted for leakage versus each of the design parameters to show the effect each parameter has on the leakage. Next, multifactor regression was used to derive relationships between the leakage rate and the design variables. This equation was then used to derive an optimal design and the optimal design was simulated. The result was compared with the leakage rate predicted by the equation to show agreement. The end result of the study is a seal design which minimizes leakage.

Joints annulaires sont utilisés dans les machines tournantes pour réduire les fuites de fluide de travail. Le choix de la géométrie de ces joints est extrêmement important pour prédire les performances d'étanchéité du joint. Les configurations de joint d'intérêt ici sont joints avec des rainures découpées en continu sur le stator et un rotor lisse. Dans cette étude, les phoques sont modélisés dans ANSYS CFX. Ici, toutes les rainures sont supposées être orientées vers la pompe vers l'entrée, car il a été démontré que ceci est préférable pour réduire les fuites et le maintien des différences de pression plus élevées au sein du joint. Les paramètres de conception étudiés sont la largeur rainure, profondeur de la rainure, l'angle de la gorge et le nombre de séparé, en continu coupé rainures. L'espacement de rainure est prédéterminée par l'angle de rainure et le nombre de rainures. Une conception de l'étude des expériences pour les quatre paramètres d'intérêt est utilisé pour sélectionner des dessins efficacement dans l'espace de l'échantillon. D'après les résultats de ces simulations, les réactions sont représentées graphiquement par rapport à une fuite de chacun des paramètres de conception pour montrer l'effet de chaque paramètre a de la fuite. Ensuite, multifactorielle régression a été utilisée pour obtenir des relations entre le taux de fuite et les variables de conception. Cette équation a ensuite été utilisée pour obtenir une conception optimale et la conception optimale a été simulée. Le résultat a été comparé avec le taux de fuite prédite par l'équation pour montrer l'accord. Le résultat de l'étude d'extrémité est un plan d'étanchéité qui minimise les fuites.

**Design methodology of an elastomeric reciprocating sealing system:
Case of quasi static operating conditions**
**Méthodologie de conception d'un système d'étanchéité linéaire alternative:
Cas d'un fonctionnement quasi-statique**

Serge Tsala, Yves Berthier, Guilhem Mollon

Université de Lyon, CNRS, LaMCoS, INSA Lyon, UMR 5259, F-69621 Villeurbanne Cedex,
France

Keywords: Reciprocating sealing system, design methodology, elastomeric seal, contact pressure, reliability

Mots clés : système d'étanchéité alternatif linéaire, méthodologie de conception, joint élastomère, pression de contact, fiabilité

The reliability of Reciprocating sealing systems is pivotal in many applications such as landing gear braking systems. A reciprocating sealing system is reliable when presenting a good sealing performance associated with his life expectancy. Unfortunately, the design of such systems is often based on a trial approach using the gained experience, and the cost of the design depends on it.

To overcome this problem, a design methodology of an elastomeric reciprocating system is presented here in the case of quasi static operating conditions. This methodology is based on a contact pressure criterion.

The obtained results presented here validate the methodology and demonstrate that a methodology based on a contact pressure criterion can help for a quick design of reciprocating sealing systems.

La fiabilité des systèmes d'étanchéité alternatifs linéaires est très importante dans plusieurs applications telles que les trains d'atterrissage d'avion. Un système d'étanchéité linéaire est fiable lorsqu'il présente une bonne performance en étanchéité tout au long de sa durée de vie. Malheureusement, la conception de ce type de mécanismes se fait encore sur une démarche empirique fondée sur les acquis d'expérience, ce qui affecte les couts de conception.

Pour surmonter ce problème, une méthodologie de conception de systèmes d'étanchéité alternatifs linéaires dans le cas d'un fonctionnement quasi statique est présentée ici. Le critère d'étanchéité est basé sur la pression de contact tige/joint.

Les résultats présentés dans cette étude valident la méthodologie utilisée et démontrent qu'un critère d'étanchéité en pression peut aider à la conception rapide de systèmes d'étanchéité linéaires alternatifs.

Theoretical and experimental analysis of small diameter brush seals operating with air Analyse théorique et expérimentale des joints à brosse fonctionnant avec de l'air

Deville L. and Arghir M

Institut PPRIME, UPR CNRS 3346, Université de Poitiers, ISAE ENSMA, France.

Keywords: theoretical and experimental modeling, brush seals

Mots clés : modélisation théorique et expérimentale, joints à brosse.

Nowadays brush seals are the most successful and widely used compliant seal for rotating machinery. They consist of a brush made of closely packed bristles mounted on the inner circumference of a support ring. Brush seals are known since almost three decades but theoretical models for predicting their characteristics are still under development. The reason is that the bristle pack represents a deformable porous media that interact with the leakage flow engendered by the sealed pressure difference. The present paper introduces the general lines of the theoretical model developed at the PPRIME Institute. The model analysis a limited number of bristle rows with periodicity boundary conditions in the circumferential direction. The bristles can deform under the pressures engendered by the leakage flow. The flow field inside the bristle pack is obtained by numerically solving Darcy's equation with spatially varying porosity and anisotropic permeability. The variations of the permeability are obtained from three different elementary flow problems solved by 2D CFD for distinct Reynolds numbers. Experimental work was performed for low diameter brush seals made of Haynes bristles. The sealed fluid was air at ambient temperature. Experimental results consisted of the leakage flow versus the feeding pressure for different rotation speeds; the temperatures were only monitored. The experimental campaign also showed the impact of the bristle run-off on the leakage rate. The theoretical and experimental leakages are compared and the results are thoroughly discussed.

Les joints à brosse sont actuellement les joints souples les plus utilisés pour les machines tournantes. Ils consistent d'une brosse réalisée à partir des fils compactés et montés sur la circonférence intérieure d'un anneau métallique. Les joints à brosse sont connus depuis presque trois décennies mais les modèles théoriques précisés pour prédire leurs caractéristiques sont toujours l'objet des développements. La raison pour cette situation est que le paquet des fils représente un milieu poreux déformable qui interagit avec l'écoulement généré par la différence de pression. Cette communication présente les lignes générales d'un modèle théorique développé à l'Institut PPRIME. Le modèle analyse un nombre limité de fils avec des conditions aux limites de périodicité dans la direction circonférentielle. Les fils se déforment sous l'effet des pressions générées par le débit de fuites. Le champ de l'écoulement dans le paquet des fils est obtenu à partir de la résolution numérique de l'équation de Darcy avec une porosité qui varie spatialement et avec une perméabilité anisotrope. Les variations de la perméabilité sont obtenues à partir de trois problèmes d'écoulement simplifiés résolus numériquement par des techniques CFD pour des nombres de Reynolds distincts. Une étude expérimentale a été effectuée pour des joints à brosse de faible diamètre réalisés avec des fils d'acier Haynes. Le fluide étanché a été l'air à la température ambiante. Les résultats expérimentaux sont la variation du débit avec la pression d'alimentation pour différentes vitesses de rotation ; les températures ont servi seulement de paramètre de contrôle des essais. La campagne d'essais a montré aussi l'effet de l'usure des fils sur le débit de fuite. Les débits de fuite théoriques et expérimentaux sont comparés et les résultats sont discutés.

Study and Development of Shaft Seal for Turbopump of Rocket Engine in Japan Etude et développement des joints mécanique pour les turbopompes des moteurs fusés au Japon

Makoto K^a, Satoshi T^a and Hidetoshi K^b

a Japan Aerospace Exploration Agency, 1Koganezawa, Kimigaya, Kakuda, Miyagi-ken, 981-1525, Japan.

b Eagle Industry co.,LTD., 1500 Katayanagi, Sakado, Saitama-ken, 350-0285, Japan.

Keywords: Mechanical seal, Turbopump, Rocket engine, Hydrogen

Mots clés : joint d'étancheité, turbopompe, moteur fusée, hydrogene

Japan Aerospace Exploration Agency(JAXA) and the predecessor of JAXA called National Space Development Agency of Japan(NASDA) and National Aerospace Laboratory of Japan(NAL) had carried out study and development of shaft seal for liquid hydrogen and oxygen turbopump of LE-7A and LE-5B engine assembled to current Japan's primary rocket called H-IIA and H-IIB. And now, JAXA has been conducting study and development of shaft seal for liquid hydrogen and oxygen turbopump of the next generation booster engine called LE-9 engine that will be assembled to next Japan's primary rocket called H3. This engine is a new cryogenic booster engine which has higher thrust, higher reliability and lower cost compared to the existing engines in Japan. The shaft seal especially for the fuel turbopump(FTP) of this engine are required high reliability despite the condition of high load. Since a rotor system of the FTP which has huge turbine causes a large overhang, a large-diameter mechanical seal are adopted to the FTP. The shaft seal was tested in LH2 to mitigate risk of failure mode such as large leakage and wear volume in KAKUDA Space Center of JAXA. Test seal was bellows mechanical seal, and the maximum rotational speed was about 46,000rpm. Some seals with different balance ratio were tested in some set length to confirm effect of contact surface pressure. Based on the test results, it was confirmed that this seal satisfied the required lifetime and performance.

L'Agence Japonaise d'Exploration Spatiale (JAXA) et son predecesseur l'Agence Nationale de Developpement Spatial du Japon (NASDA) et le Laboratoire National Aerospatial du Japon (NAL) ont effectue et developpe des joints d'étancheité dynamiques pour hydrogene liquide et pour la turbopompe d'oxygene des moteurs LE-7A et LE-5B qui equipent actuellement les lanceurs japonais H-IIA et H-IIB. Actuellement JAXA conduit des etudes et des developpements pour les joints d'étancheité de la turbopompe du moteur LE-9, le booster de la nouvelle generation qui va equiper le futur lanceur japonais H3. Ce moteur est un nouveau booster cryogenique qui a une traction plus grande, une fiabilite augmentee et des couts inferieurs compares aux moteurs existants au Japon. Les joints d'étancheité de la pompe a combustible (FTP) de ce moteur necessitent une fiabilite elevee en presence des conditions de charges importantes. A cause du fait que le rotor du FTP a un important disque de turbine en porte a faux, un joint d'étancheité de grand diametre a ete adopte. Pour minimiser les risques de defaillance comme les fuites importantes et l'usure, le joint a ete teste en LH2 au centre spatial KAKUDA de JAXA. Le joint teste etait un joint a face radial avec un soufflet et la vitesse de rotation maximale a ete de 46000 rpm. Quelques joints avec des equilibrages differents ont ete testes pour confirmer la pression de contact. Base sur ces resultats, il a ete confirme que le joint satisfaisait la duree de vie et les performances demandees.

Performance Evaluation of Labyrinth Seals Evaluation des performances des joints labyrinthes

Pai R

Dept of Mechanical and Manufacturing Engineering, Manipal Institute of Technology, Manipal University, Manipal 576104, India.

Keywords: Labyrinth seals, CFD, dynamic forces, Instability, Stiffness.

Mots clés : Joints labyrinthe, CFD, efforts dynamiques, Instabilité, Raideur.

Labyrinth seals are widely used in various turbomachinery applications to help prevent the internal leakage flow. During the passage of working fluid through the rotor shaft labyrinth seals, dynamic force components will be generated which will cause unstable vibration of the rotating shaft. Precise values of rotordynamic force components are necessary for predicting the instability of the rotor-bearing-seal system. The major objective of this research is to determine the rotordynamic forces of gas labyrinth seals by performing CFD analysis. The modelling of labyrinth seal geometry is carried out in GAMBIT software. From the CFD analysis of the model, the dynamic characteristics in terms of stiffness and damping coefficients of labyrinth seals will be evaluated for different speeds. The initial thrust will be on a rotor shaft labyrinth seal assuming an inlet swirl velocity of zero. The results of CFD analysis are compiled for different operating conditions and are compared with various standard lubrication theory numerical calculation programs. The results in comparison have shown reasonable agreement. The data obtained from the analysis can be used to include the dynamical aspects in the design and implementation of labyrinth seals.

Les joints labyrinthe sont largement utilisés dans de nombreuses applications de turbomachines afin de contenir les fuites internes. Le passage du fluide de process à travers le jeu du joint labyrinthe est à l'origine de forces dynamiques provoquant des vibrations instables de l'arbre. La connaissance précise des composantes des efforts dynamiques est nécessaire pour prédire les instabilités du système Rotor-palier-joints. L'objectif majeur de ces travaux est la détermination des efforts dynamiques d'un joint labyrinthe à gaz à l'aide d'une approche CFD. On utilise le logiciel de maillage GAMBIT pour la modélisation du joint. L'analyse CFD va évaluer les coefficients dynamiques du joint labyrinthe, en raideur et amortissement, pour différentes vitesses de rotation. On s'intéressera en premier lieu à un joint labyrinthe, avec comme hypothèse, une vitesse de pré rotation nulle en entrée. Les résultats de l'étude CFD sont synthétisés pour différentes conditions de fonctionnement, et sont comparés aux résultats de codes de calcul traditionnels basés sur la théorie de la lubrification. Les résultats de cette comparaison montrent une corrélation correcte. Les résultats de cette étude peuvent servir à intégrer les aspects dynamiques dans la conception et le développement des joints labyrinthe.

Author Index

Adjemout Mohand, 7
Arghir Mihai, 3, 13

Berthier Yves, 12
Bosch Florian, 9
Brunetiere Noël, 5

Cochain Jeremy, 5

Danyleiko Olga, 6
Deville Lilas, 13

Haas Werner, 9
Huard Stéphane, 7

Kasahara Hidetoshi, 14
Khonsari Michael, 2
Kini Vijaya, 15
Kojima Makoto, 14

Ledauphin Thierry, 7

Mariot Antoine, 3
Martsynkovskyy Vasyl, 6
Mollon Guilhem, 12

Pai Raghuvir, 15

Serge Tsala Moto, 12
Shenoy Satish, 15

Takada Satoshi, 14
Tarelyk Viacheslav, 6

Walker Chris H, 8
Wang Wen, 4
Watson Cori, 10, 11
Wood Houston, 10, 11

Yurko Volodymyr, 6