



Book of Abstracts

Recueil des résumés



<http://edf-pprime-2013.sciencesconf.org/>

Table of Contents

Tuesday, September 17, 2013 - 09:00 - 09:50

Amphi IFMI: Keynote

Should we seek further improvement of fluid film bearings - what for and how?, M. Wasilczuk.....	1
--	---

Tuesday, September 17, 2013 - 10:45 - 12:15

Amphi IFMI: Journal Bearings - I

Decrease axial vibration generator with balancing, G. Christin [et al.]	3
Experimental study of improved fluid-film bearing design for a high-speed turbocharger, G. Kirk.....	5
Reduction of hot oil carry over in high speed running turbo application bearings, T. Koch [et al.]	6

Tuesday, September 17, 2013 - 14:30 - 16:00

Amphi IFMI: Journal Bearings - II

Highly Loaded Bearings Equipping Gears of Turbo-compressors: Behavior in Oil & Gas Operation Through Different Applications and Different Designs. Does the Smart Bearing Design Answer the Production Requirement at Stake?, D. Orhon.....	7
Performance Characteristics of Artificially Textured Water Lubricated Journal Bearings, D. Bompos [et al.]	8
Effect of Oil-Circuit Contamination on the Functioning of Surface-Textured Journal Bearings - An Experimental Investigation, A. Dadouche [et al.]	9

Tuesday, September 17, 2013 - 16:45 - 18:15

Amphi IFMI: Journal and thrust bearings

Simplified approach to predict sensitivity factors for small end conrod of sport car engines, A. Stievenard [et al.]	10
Computational Investigation of Thermoelastohydrodynamic (TEHD) Lubrication in a Textured Sector-Pad Thrust Bearing, A. Charitopoulos [et al.]	12
Effect of Coating Material Properties on Tilting-pad Thrust Bearing Performance, M. Wodtke [et al.]	14

Wednesday, September 18, 2013 - 08:00 - 10:00

Amphi IFMI: Journal Bearings - III

Adjustable ETHD lubrication applied to the improvement of dynamic performance of flexible rotors supported by TPJB, J. Gonzalez [et al.]	16
Measured Displacement Coefficients of an Adjustable Hydrodynamic Journal Rotor Bearing, K. Martin.....	18
Application of large hydrodynamic RIT pocket bearings Ø 900 mm in a large half-speed steam turbine generator, J. Huster [et al.]	19
A parametric study of a porous self-circulating hydrodynamic bearing, M. Braun.....	20

Wednesday, September 18, 2013 - 10:30 - 12:30

Amphi IFMI: Thrust bearings

Implementation of the tapered tilting pad thrust bearing design in a high speed PSP hydro generator, P. Pajaczkowski [et al.]	22
Mass-conserving simulation of friction reduction in a hydrodynamic textured thrust bearing, H. M. Checo [et al.]	23
Contribution of textures to the hydrodynamic effect on parallel surface thrust bearings during the start-up period, Y. Henry [et al.]	24
Solutions for increasing the bearing capacity of thrust bearings, V.S. Martsynkovskyy [et al.]	25

Wednesday, September 18, 2013 - 14:30 - 16:00

Amphi IFMI: Journal bearings - IV

Investigation of unusual performance fluctuations in a tilting pad journal bearing application, S. Decamillo.....	27
Categories of Impact of Bearing Damage on Hydrodynamic Film Operation, L. Branagan.....	29
Impact of scratches in tilting pad journal bearings – Influence of the geometrical characteristics of scratches, M. Hélène [et al.]	30

Tuesday, September 17, 2013 - 10:15 - 10:45

Tuesday, September 17, 2013 - 16:00 - 16:45

Wednesday, September 18, 2013 - 10:00 - 10:30

Hall IFMI: Posters

Analysis of the risk of thermally induced seizure in narrow circumferential groove journal bearings using a robust simple theoretical approach, A. Cristea [et al.]	32
Compressor rub verified by rotating phase symptoms, N. Péton [et al.]	33
Improvement of dynamics performance of hybrid gas bearings via adjustable lubrication, F.G. Pierart [et al.]	35
Influence of temperature and semi cone angle on the performance of conical hydrodynamic journal bearing, A.K. Gangrade [et al.]	36
Instrumentation Routing Design on Journal Bearings & Thrust Bearings, A.K. Chippa [et al.]	37
Numerical modeling of dynamic behavior of a tilting pads thrust bearing and a journal bearing with helical grooves, S. Denis [et al.]	39
On the incipience of cavitation and its inherent time dependence, B. Kachhia [et al.]	40
Testing of Bearing Materials for Large Two-stroke Marine Diesel Engines, P. Klit [et al.]	42
The role of lubricant feeding conditions on the performance improvement and friction reduction of journal bearings, F. Brito [et al.]	44

Should we seek further improvement of fluid film bearings - what for and how? Faut-il encore chercher à améliorer les paliers à film fluide - pourquoi et comment ?

Wasilczuk M

Faculty of Mechanical Engineering, Gdańsk University of Technology, Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Poland.

Keywords: fluid film bearings, machines efficiency, machines reliability, large thrust bearings, bearing losses.

Mots clés : paliers à film fluide, efficacité des machines, fiabilité des machines, butées de grandes dimensions, pertes.

Fluid film bearings have been extensively used in the industry because of their unbeatable durability and extremely low friction coefficient. Large bearings supporting shafts of huge and important rotating machines constitute a special group of fluid film bearings since the reliability of crucial systems, like for example electro-energetic system, rely on their trouble-free operation. Large thrust bearings, apart from enormous consequences of failures, can also be characterized by severe conditions of operation. Despite very low coefficient of friction, due to large diameters dissipation of energy in such bearings is noticeable.

In the contemporary economy with ever growing demands for increased efficiency there is always a need for improving performance of the machines. Two main aspects of increasing the efficiency can be distinguished - one is literal - the machines have to be more efficient so the losses, including friction in the bearings, have to be minimized. For example in case of hydroelectric generators part of the hydraulic energy dissipated in the bearings is not converted to electric energy. In this way the attempts to decrease losses in the bearings have the same importance as the attempts to improve the geometry of the rotors of the water turbines. It seems that much effort has been put into direct methods of increasing the efficiency while the attempts to decrease the bearing losses have been neglected in the past. Looking at the components of losses in fluid film bearings, one can notice that apart from unavoidable losses in the film, there are losses generated outside the film which can possibly be avoided or decreased by bearing modifications, such as special systems of lubrication which do not require fully flooded bearing housings. Some other possibilities of decreasing energy losses in the fluid film bearings will also be discussed in the paper.

Another aspect of increasing overall efficiency of the machines is decreasing their downtime and limiting the number and consequences of failures. Unfortunately in the hydrodynamic bearing there is a contradiction between energy efficiency and margin of safety, very well shown by the Hersey curve. Therefore in order to allow more efficient, and in the same time more risky, bearing operation it is necessary to predict bearing performance using more accurate bearing models, but since the bearing failures can be caused by a variety of reasons it is also important to improve bearing diagnostic tools to be able to prevent their failures. This requires the development of measurement and diagnostic methods, as condition monitoring based only on direct temperature measurement proved to be ineffective in numerous cases. The idea of active bearings is probably one of the solutions combining both aspects of efficiency - they can be energy-efficient and reliable in the same time.

Les paliers à film fluide ont été largement utilisés dans l'industrie en raison de leur durabilité inégalable et d'un coefficient de frottement extrêmement faible. Les paliers de grandes dimensions supportant les arbres d'énormes machines tournantes constituent un groupe spécial de paliers à film fluide puisque la fiabilité des systèmes cruciaux, comme par exemple les systèmes électro-énergétiques, repose sur leur fonctionnement sans

problème. Les butées de grandes dimensions, en dehors des conséquences désastreuses de pannes importantes, peuvent également être caractérisées par des conditions de fonctionnement sévères. Malgré un coefficient de friction très bas en raison de grands diamètres, la dissipation d'énergie dans ces paliers est non négligeable.

Dans l'économie contemporaine aux demandes toujours croissantes pour une efficacité accrue, il y a toujours un besoin pour améliorer les performances des machines. Deux aspects principaux concernant l'amélioration de l'efficacité peuvent être distingués – l'un est littéral - les machines doivent être plus efficaces, et ainsi, les pertes, y compris le frottement dans les paliers, doivent être minimisées. Par exemple, dans le cas de générateurs hydroélectriques, une partie de l'énergie hydraulique qui est dissipée dans les paliers n'est pas convertie en énergie électrique. Ainsi, les tentatives pour diminuer les pertes dans les paliers ont la même importance que les tentatives d'amélioration de la géométrie des rotors des turbines hydrauliques. Il semble que beaucoup d'efforts aient été mis dans les méthodes directes d'amélioration de l'efficacité, tandis que les tentatives pour diminuer les pertes des paliers ont été négligées dans le passé. En regardant les composantes de pertes dans les paliers à film fluide, on peut remarquer que, hormis les inévitables pertes dans le film, des pertes sont générées en dehors du film, qui pourraient éventuellement être évitées ou diminuées par des modifications, telles que des systèmes de lubrification spéciaux qui ne nécessitent pas de recourir à des paliers entièrement immergés. D'autres possibilités pour réduire les pertes d'énergie dans les paliers à film fluide seront également examinées dans le document.

Un autre aspect de l'amélioration de l'efficacité globale des machines est la diminution de leur temps d'arrêt et la limitation du nombre et des conséquences des avaries. Malheureusement, dans les paliers hydrodynamiques, il existe une contradiction entre efficacité énergétique et marge de sécurité, très bien représentée par la courbe d'Hersey. Par conséquent, afin de permettre un fonctionnement des paliers plus efficace, et en même temps plus risqué, il est nécessaire de prédire leurs performances en utilisant des modèles plus précis, mais étant donné que les défaillances de paliers peuvent être causées par diverses raisons, il est également important d'améliorer des outils de diagnostic pour être en mesure de prévenir les avaries. Cela nécessite le développement de méthodes de mesure et de diagnostic comme la surveillance du fonctionnement des paliers, fondée uniquement sur la mesure directe de la température, qui s'est avérée inefficace dans de nombreux cas. L'idée de paliers actifs est probablement l'une des solutions combinant les deux aspects de l'efficacité - ils peuvent être à la fois économes en énergie et fiables.

Decrease axial vibration generator with balancing Diminuer les vibrations axiales d'un alternateur par équilibrage

Christin G^a and Péton N^b

a GE Energy Measurement & Control Solutions, 68 chemin des Ormeaux, 69760 Limonest, France.

b GE Energy Measurement & Control Solutions, 14 rue de la Haltinère, 44000 Nantes, France.

Keywords: balancing, generator, axial vibration, structural, nonlinear behavior.

Mots clés : équilibrage, alternateur, vibration axiale, structure, comportement non linéaire.

GE's Machinery Diagnostic Services team was invited to investigate vibration issue on generator installed on a power plant. Machine train consists of a generator and a gas turbine. The unit was under commissioning since 2 years and there was not any vibration issue until axial vibration was measured with a temporary accelerometer at NDE generator bearing. The axial vibrations at the bearing location were not monitored for this machine. Vibration testing was carried out using ADRE 408 DSPi (Dynamic Signal Processing Instrument) to hook up vibration data from the existing Bently Nevada's 3500 Series vibration monitor system. Relative vibration data were collected from the Bently Nevada's Rack 3500 monitor buffered outputs. Each of the Machine Train's bearings is monitored by Bently Nevada XY proximity probe pair and one vertical absolute velocity transducer fixed on the bearing housing. Absolute vibration data were collected from the velocity transducer buffered outputs in the Mark VI cabinet. Moreover, a temporary axial accelerometer was installed on the NDE generator bearing housing. The shaft rotates counter clockwise, when viewed from the driver (Gas Turbine) to the driven (Generator).

A periodic vibration measurement, on a route based monitoring schedule, allowed the customer to observe an increasing trend of casing vibration in the radial and axial directions on both of generator bearings. There was a significant increase in vibration amplitudes in the axial direction of generator NDE bearing in situations similar to a full load conditions (i.e. base load of 75 MW) during the months of July, August and September. A first axial vibration analysis was carried out in order to characterize the phenomenon. An axial structural resonance of the NDE generator bearing housing was highlighted. An inspection of the NDE generator bearing support and pedestal inspection was done. Everything was correct and respects the specifications. From experience, the fact to balance a unit with radial vibration measurement can decrease the axial vibration because of the cross effect between radial and axial dynamic stiffness. The generator disposed of two balancing planes. First, the balance trim was carried out following the method of the influence vectors. In order to optimize the balancing and since the vibration were mainly out of phase between both bearings, the influence vector method was linked to the couple-static method. The axial vibrations were decreased by more than 60%.

L'équipe de service diagnostic des machines de GE a été invitée pour étudier un problème de vibration sur un alternateur installé sur un site de production d'électricité. Le train de machines comprend une turbine à gaz et un alternateur. La machine était en service depuis 2 ans et aucun problème de vibration n'était signalé jusqu'à la mesure avec un accéléromètre temporaire des vibrations axiales du palier arrière de l'alternateur. Les vibrations axiales des paliers du train de machine n'étaient pas surveillées. Un test des vibrations a été effectué en utilisant l'ADRE 408 DSPi pour récupérer les données vibratoires à partir du moniteur 3500 de vibration Bently Nevada. Les données de vibrations relatives ont été collectées à partir des sorties-tampons du rack 3500. Chacun des paliers du train de machine est surveillé par une paire de capteurs de proximité XY Bently Nevada et un capteur de mesure de vibration absolue installé sur le corps de

palier à la verticale. Les valeurs des vibrations absolues ont été enregistrées via les sorties-tampon de l'armoire de contrôle MARK VI. De plus, un accéléromètre temporaire a été installé en position axiale sur le palier arrière de l'alternateur. L'arbre tourne dans le sens antihoraire quand on regarde de l'élément moteur (Turbine à gaz) vers l'élément entraîné.

La planification de mesures de vibration périodiques sur les différents paliers de la ligne d'arbre, a mis en évidence l'augmentation des vibrations absolues dans les directions radiale et axiale pour les deux paliers de l'alternateur. Une augmentation significative de l'amplitude des vibrations axiales fut mise en évidence dans des conditions similaires à pleine charge (75MW) entre les mois de juillet, août et septembre. Une première analyse vibratoire a été menée dans l'objectif de caractériser ce phénomène. Une résonance de structure axiale fut mise en évidence pour le palier arrière de l'alternateur. Une inspection du palier arrière et de ces fondations fut réalisée. Aucune anomalie ne fut détectée et les spécifications de montage furent respectées. D'après notre expérience, équilibrer une unité avec les mesures de vibration radiale peut diminuer les vibrations axiales du fait des « facteurs croisés » entre la raideur dynamique axiale et radiale. L'alternateur dispose de deux plans d'équilibrages. Dans un premier temps, l'équilibrage de l'alternateur fut réalisé en suivant la méthode des vecteurs d'influences. Dans l'objectif d'optimiser l'équilibrage et sachant que les vibrations étaient principalement en opposition de phase entre chaque palier, la méthode des vecteurs d'influence a été utilisée en association de la méthode Couple-Statique. Les vibrations axiales ont diminué de plus de 60%.

Experimental study of improved fluid-film bearing design for a high-speed turbocharger Analyse expérimentale d'un palier d'une conception améliorée pour les turbocompresseurs de grandes vitesses

Kirk RG

Dept of Mechanical Engineering, Virginia Tech, Randolph Hall 0238, Blacksburg, Virginia 24061, USA.

Keywords: Turbocharger, Fluid-film bearings, Stability, Experimental testing.

Mots clés : Hydrodynamique, paliers, Expérimental, Stabilité, Turbocompresseur.

High speed turbochargers often operate with limit cycle vibration as a result of fluid-film instability. One major goal of this research was to have a stable synchronous response with a reduced self-excited contribution to the overall vibration signal. Vibration components excited by the engine crankshaft harmonics or cylinder pressure pulsations were not of interest for this research. This paper briefly reviews the experimental results of fluid-film bearing designs selected to replace the standard stock floating-ring design. The paper presents a novel radial tilting pad bearing concept that has been designed for the small high-speed turbocharger. A brief discussion of the on-engine testing is documented in this paper. The new design has a higher operating speed than the former floating bush design, indicating less effective friction drag.

Les turbocompresseurs de grandes vitesses fonctionnent souvent avec des cycles limites à cause des instabilités dans le film fluide. Un des buts principal de ces recherches a été d'avoir une réponse synchrone stable avec des contributions sous-synchrones limitées. Les vibrations excitées par les harmoniques des vilebrequins ou par les pulsations des pressions dans les cylindres n'ont pas été pris en compte. Ce papier décrit rapidement les résultats expérimentaux des conceptions de paliers fluides sélectionnés pour remplacer le palier à bague flottante traditionnel. Le papier présente une nouvelle conception à patin oscillants qui a été conçu pour des turbocompresseurs opérant à hautes vitesses et de petite dimension. Une discussion brève des tests sur la machine est donnée dans ce papier. La nouvelle conception a une vitesse de rotation plus élevée que l'ancien palier à bague flottante, indiquant ainsi moins de résistance due aux frottements.

Reduction of hot oil carry over in high speed running turbo application bearings Réduction de la température d'huile dans les paliers de turbomachines opérant à grandes vitesses

Koch T ^a and Laabid A ^b

a Dipl.-Ing. (TU), Head of Dept of R&D and Engineering Service, Zollern BHW, 37520-Osterode, Germany.

b Dr.-Ing. (TU), Dept of R&D and Plain Bearing Calculation, Zollern BHW, 37520-Osterode, Germany.

Keywords: Sliding Bearing, Tribology, Hydrodynamic, Lubrication, Oil Temperature

Mots clés : Palier lisse, Tribologie, Hydrodynamique, Lubrification, Température d'huile

Tilting pad journal bearings are being used in turbo machines like turbo compressors, turbo gears, gas turbines and steam turbines. By increasing the power density, the applied loads and velocities have been increased simultaneously over the last decades.

To overcome conservative operation limits it is helpful to reduce the oil film temperatures by certain design modifications. Especially, the hot oil carry over may be reduced when design measures being taken to prevent the majority of the hot oil coming out of one pad and reaching the next pad. Beside this measure, fresh oil should as less as possible being mixed with hot oil.

The software program package "ZOLLERN GL" in relating to the ANSYS CFX software shows how effective design measures can influence temperature rising within the lubricating film. A fluid simulation visualizes three-dimensional the effect of oil flux controlling in a tilting pad journal bearing by design elements including flow guide functions. It is shown that an effective way of reducing the oil temperature on the rotating shaft surface is the use of oil drainage channels and oil jet streams. Hence higher power transmission could be realized without changing the total size or design or even taking higher risks regarding availability of the whole power train.

Les paliers lisses à patins oscillants sont utilisés dans les turbomachines comme les turbocompresseurs, boîtes de vitesse turbo, turbines à gaz et turbines à vapeur.

Au cours de ces dernières années, l'augmentation continue de la puissance de ces machines a entraîné une augmentation simultanée des charges appliquées et des vitesses de rotation.

Une des méthodes permettant de réduire les températures élevées dans le film d'huile consiste à modifier la conception du palier étendant ainsi sa plage de fonctionnement. De telles modifications visent à empêcher que la majeure partie du fluide chaud sortant d'un patin n'atteigne le patin suivant. De la même manière, la proportion du mélange huile froide/huile chaude doit être restreinte, autant que possible, à des proportions faibles.

L'utilisation conjointe du code «ZOLLERN GL » et du logiciel « ANSYS CFX » montre l'efficacité des modifications géométriques apportées au palier quant à la réduction de la température du film d'huile. Les calculs de dynamique de fluides permettent de visualiser en 3D l'effet du contrôle du flux d'huile via la mise en place d'éléments permettant le guidage de l'écoulement. Ceci étant réalisé à l'aide de canaux de drainage ainsi que de jets visant à réduire la quantité d'huile chaude colportée par la surface du rotor. De fait, il est possible de transmettre plus de puissance sans modifier la taille totale ou la conception dans son ensemble; voire même ne plus prendre de risques en allongeant la disponibilité du groupe motopropulseur.

Highly Loaded Bearings Equipping Gears of Turbo-compressors: Behavior in Oil & Gas Operation Through Different Applications and Different Designs. Does the Smart Bearing Design Answer the Production Requirement at Stake?
Paliers fortement chargés montés dans des boîtiers d'engrenages de turbocompresseurs : comportement dans les opérations pétrolières à travers différentes applications et différents design. Est-ce que des paliers pourvus d'un design élaboré aux enjeux de production ?

Orhon'F^a

a TOTAL Exploration & Production, Technology Division, Machinery Department, 64000 Pau, France

Keywords: tilting pad bearings, lobes bearings, gear, compression, availability, reliability.

Mots-clés : paliers à patins oscillants, paliers à lobes, boîtier d'engrenages, compression, disponibilité, fiabilité.

Generally for the oil and gas operations, gas turbines from 13000 Hp up to 40000 Hp drive centrifugal compressors which deliver a gas pressure from 2000 Psia to 4400 Psia through a speed increaser gear box. The new oil and gas developments, on-shore or off-shore use more and more powerful gas compression trains (up to 67000 Hp) which raises the difficulty to achieve reliable and performing gear boxes. What is at stake is the parallel trains gear box bearing design for a part. The bearings equipping these gear boxes exhibit high speeds of about 300 fts and high pressures of about 500 Psi. This paper discusses the difficulty relative to the compression application, what is at stake for an oil and gas Company, the performance of the current bearings and the technologies in used like the lobes bearings, tilting pad bearings and the more advanced bearings as such the cooled tilting pad smart design bearings. For different applications, the troubles discovered during a full load, full speed and full pressure test at the manufacturing stage and the troubles encountered in operation at site are analyzed. The midterm development at stake will be considered. To conclude, we try to state the expected performances and the associated necessary technologies for the compression application.

Généralement, dans les opérations pétrolières, des turbines à gaz de 10 à 30 Mw entraînent des compresseurs centrifuges délivrant des pressions de gaz de 150 à 300 bara à travers des trains d'engrenages. Les nouveaux développements pétroliers, on-shore ou off-shore emploient des trains de compression de plus en plus puissants (jusqu'à 50 Mw) ce qui accroît la difficulté d'obtenir des boîtiers d'engrenages fiables et performants. L'enjeu porte pour partie sur la conception des paliers qui équipent ces boîtiers d'engrenages à trains parallèles. Les paliers montés sur ces trains d'engrenages sont sollicités en vitesse (100 m/s) et en pression (3.4 MPa). Cet article aborde les contraintes de l'application de compression, les enjeux pour un opérateur pétrolier, les performances des paliers actuellement en opération et les technologies utilisées que sont les paliers à lobes, les paliers à patins oscillants et les paliers les plus avancés comme ceux à patins oscillants refroidis. Pour différentes applications, les problèmes rencontrés lors d'essais en usine et lors d'opérations sur site seront traités. Les paramètres de fonctionnement mesurés pour différentes technologies de paliers seront analysés. Les enjeux de développement à moyen terme seront abordés. Pour finir, nous essaieront de conclure sur les performances attendues et les besoins en technologie nécessaires à cette application de compression.

Performance Characteristics of Artificial Textured Water Lubricated Journal Bearings Caractéristiques des paliers artificiellement texturés lubrifiés à l'eau

Bompos DA^a and Nikolakopoulos PG^b

^{a,b} University of Patras, Department of Mechanical Engineering & Aeronautics, Machine Design Laboratory,
Patras-26504-Greece

Keywords: journal bearing, multiphysics simulation, texture.

Mots clés : palier lisse, simulation multi-physique, palier texturé.

Water lubricated journal bearings have a wide range of applications. From marine rotor bearing systems to hydro power plants, bearings lubricated with water are a crucial component, the performance of which is important. On the other hand, it is becoming gradually common knowledge that journal bearing performances can be improved on certain configuration with artificial texturing on the surface of the bearing. In other words, a suitable pattern in the bearing surface is capable of load capacity or friction coefficient improvement.

The analysis of a water lubricated bearing is a difficult task on itself because of the low viscosity of water and the resulting high Reynolds number values.

It is evident that under certain operational conditions turbulent flow is likely to occur. The use of artificial texturing on the other hand can significantly alter the performance of the water lubricated bearing.

In this work we investigate the use of water lubricated bearings with the use of Navier-Stokes equations for a range of journal rotational velocities up to 360 rpm's. Load carrying capacity friction coefficient and the attitude locus are investigated and presented either for smooth or for textured bearing surface for several Reynolds numbers and textured configurations. All the aforementioned performance characteristics are presented in non dimensionless form including all the necessary parameters for the practical bearing design, in order to accommodate the accurate prediction for the bearing behaviour.

Since in many applications of water lubricated journal bearings the length to diameter ratio is high, we focus our interest in a slenderness ratio of 1.5. Les paliers lisses lubrifiés à l'eau ont un large éventail d'applications.

Des systèmes de paliers de rotors marins jusqu' à ceux des centrales hydro-électriques, les paliers lubrifiés à l'eau sont une composante essentielle, dont la performance est importante. D'autre part, il devient communément admis que les performances des paliers peuvent être améliorées sur certaines configurations par une texturation artificielle sur la surface du palier. En d'autres termes, un motif de texture approprié à la surface du palier est capable d'améliorer la capacité de charge ou le coefficient de frottement. L'analyse d'un palier lubrifié à l'eau est une tâche difficile en elle-même en raison de la faible viscosité de l'eau et des valeurs élevées du nombre de Reynolds qui en résultent. Il est évident que dans certaines conditions opérationnelles l'écoulement turbulent est susceptible de se produire. D'autre part, l'utilisation de texturation artificielle peut modifier de manière significative les performances du palier lubrifié à l'eau.

Dans ce travail, nous étudions des paliers lubrifiés à l'eau en utilisant les équations Navier-Stokes pour un éventail de vitesses de rotation jusqu'à 360 rpm. La capacité de charge, le coefficient de frottement, et la localisation de l'arbre sont étudiés et présentés soit pour une surface lisse soit pour une surface texturée, pour différentes valeurs du nombre de Reynolds et différentes configurations texturées. Toutes les caractéristiques de performance citées ci-dessus sont présentées, sous forme non dimensionnelle, ainsi que tous les paramètres nécessaires pour la conception pratique du palier, afin de permettre la prédiction précise de son comportement.

Effect of Oil-Circuit Contamination on the Functioning of Surface-Textured Journal Bearings – An Experimental Investigation

Effets de la Contamination du Circuit de Lubrification sur le Fonctionnement des paliers Lisses à Surface Texturée – Étude Expérimentale

Dadouche A and Conlon M J

Gas Turbines – Aerospace, National Research Council Canada, 1200 Montreal Road M17, Ottawa, Ontario, K1A 0R6, Canada.

Keywords: Textured-surface, Journal bearings, Contamination.

Mots-clés : Surfaces texturées, Paliers lisses, Contamination.

Nowadays rotating machines are required to operate at higher speeds and under more demanding conditions such as high-temperature or contaminated environments. Such situations affect the proper operation of rotor support systems and may reduce their service life. For instance, hydrodynamic journal bearings may suffer serious performance issues due to contamination from moisture, dust, foreign particles and wear debris. Oil cleanliness, periodic controls and fine lubricant filtration are often adopted to reduce the harmfulness of these various contaminants. However, excessive filtration affects the lubricant's life as some of the key additives could be filtered out during that process.

Surface texturing represents one of the emerging surface engineering technologies that result in improved tribological properties such as a reduced friction coefficient and increased wear resistance. It has also been suggested in the literature that the dimples could serve as micro traps and capture any foreign particles present in the lubricant.

This experimental study investigates the effect of surface texturing on the overall performance characteristics of journal bearings lubricated with a hard particle-contaminated lubricant. Rig tests have been performed at selected speeds and loads on plain smooth and surface-textured journal bearings. Variable-size test dust was introduced into the lubrication system (at different rates) upstream of the test bearing while bearing characteristics were measured. Conclusions are then drawn on the effectiveness of the dimples in capturing contaminant particles and reducing the possibility of bearing failure.

De nos jours les machines tournantes doivent fonctionner à des vitesses plus élevées et dans des conditions plus exigeantes comme à haute température ou dans un environnement contaminé. De telles situations affectent le bon fonctionnement des systèmes de support du rotor et peuvent réduire leur durée de vie. Par exemple, les paliers lisses hydrodynamiques peuvent souffrir de graves problèmes de performance dus à la contamination par l'humidité, la poussière, les particules étrangères et les débris d'usure. La propreté de l'huile, les contrôles périodiques et la filtration fine du lubrifiant sont des moyens souvent adoptés pour réduire la nocivité de ces divers contaminants. Cependant, la filtration excessive affecte la vie du lubrifiant puisque certains des additifs clés pourraient être filtrés pendant ce processus.

La texturation des surfaces représente une des nouvelles technologies d'ingénierie des surfaces qui ont permis d'améliorer les performances tribologiques telles que la réduction du coefficient de frottement ainsi que l'augmentation de la résistance à l'usure. Il a également été suggéré dans la littérature que les cavités pourraient servir de micro-pièges et capturer toutes les particules étrangères présentes dans le lubrifiant. Cette étude expérimentale étudie l'effet de la texturation des surfaces sur les caractéristiques de performance générales de paliers lisses lubrifiés avec une huile contaminée par des particules dures. Des essais au banc ont été effectués à des vitesses et charges sélectionnées sur paliers à surfaces lisses et à surfaces texturées. De la poussière expérimentale de taille variable a été introduite dans le système de lubrification (à des taux différents), en amont du palier d'essai au fur et à mesure que les caractéristiques du palier ont été mesurées. Des conclusions sont ensuite tirées sur l'efficacité des cavités dans la capture des particules contaminantes et dans la réduction de la possibilité de défaillance des paliers.

Simplified approach to predict sensitivity factors for small end conrod of sport car engines

Approche d'ordre un pour estimer les facteurs de sensibilité d'un pied de bielle de moteurs sportifs

Stievenard A^a and Ligier J-L^b

a EPFL, Dept of Mechanics, CP 119, 1015 Lausanne, Suisse.

b HEIG-VD, Comatec-co, 1 route de cheseaux, 1400 Yverdon Suisse.

Keywords: Small end conrod, non hertzian contact, oil filling, lubrication, piston pin rotation.

Mots-clés : Pied de bielle, contact non hertzien, remplissage d'huile, lubrification, rotation d'axe.

In racing engines or Formula I engines, it is not uncommon to see damages done by the piston pin rotation in small end bushes, or in piston bosses, such as circumferential microgrooves or axial wear done by snap rings. To understand the potential risks and quantify the improvement factors by an efficient fast engineering approach, a new process of analysis is proposed for the first step of the design process. This analysis must occur in anticipation to more accurate simulations such as thermo-elasto-hydrodynamic analysis. This type of approach is complementary to a complex and refined simulation to highlight the critical aspects that need to be analysed carefully.

This analysis is built from simple models based on the results of elastic contact solution, dedicated to theory of small end conrod for racing engines. Lubrication is taken into account in order to:

- Understand the filling of the conrod bearing oil film during its various "breaths" or inversion efforts,
- Estimate the minimal film thickness in the bush and in the piston bosses during the squeezing periods.

From these models, the mean and instantaneous piston pin rotation speed, the lubricant film thickness and the friction torque of the bearings along the piston pin are evaluated. These parameters are used to compile running maps in synthesis plans.

Restricting the analysis to sports engines operating at high speed allows to ignore the hypothesis of mixed lubrication due to edge loading. This results from the great attention paid by racing engine design engineers to get suitable compliance between piston articulations. If it was not the case and mixed lubrication occurred, the high rotational speed of these engines will inevitably cause the conrod seizure.

Dans les moteurs dits « sportifs », rallye ou formule I, il n'est pas rare de constater des dommages réalisés par l'axe de piston dans les bagues de pied ou les bossages de piston comme par exemple des stries ou des usures axiales des joncs d'arrêt. Afin d'appréhender les risques potentiels et quantifier les facteurs d'amélioration de façon peu coûteuse en temps de calculs et en préparation de donnée, une démarche d'analyse est proposée en avance de phase dans le processus de conception. Cette démarche se situe en anticipation à des simulations plus exactes telle que celles mettant en œuvre la thermo-élasto-hydrodynamique. Ce type de démarche vient en complément aux démarches de simulation lourdes en permettant

notamment de confirmer l'intérêt de recourir à celles-ci et en mettant en exergue les aspects critiques qui devront faire l'objet d'attention.

Cette analyse est construite à partir de modélisations simples basées sur des résultats de calculs de champs de contrainte radiale de contact non hertzien axe/logement épais ou souple spécifiques à des pieds de bielle de moteurs sportifs. La prise en compte de la lubrification est faite en vue :

- d'appréhender les remplissages du film d'huile du palier de pied de bielle au cours de ses différentes « respirations » ou inversions d'effort dans le pied de bielle,
- d'estimer les épaisseurs de film lors des écrasements du film.

De ces différentes modélisations, la vitesse de rotation de l'axe moyenne et instantanée, les épaisseurs de film de lubrifiant et les couples de frottement des paliers le long de l'axe de piston sont évalués. Ces différents paramètres permettent de dresser des cartographies de bon fonctionnement dans des plans de synthèse. La restriction de l'analyse à des moteurs sportifs fonctionnant à haut régime permet de ne pas avoir à considérer l'hypothèse de cas de lubrification mixte du fait de charge d'angle importante. La grande attention portée aux souplesses des différents constituants des articulations de moteurs rapides permet de négliger ce risque. Si tel n'était pas le cas et que la lubrification mixte perdure quelque peu dans le temps, le haut régime de ces moteurs provoquera inévitablement le grippage du pied de bielle.

Computational Investigation of Thermoelastohydrodynamic (TEHD) Lubrication in a Textured Sector-Pad Thrust Bearing

Analyse numérique de la lubrification thermoélastohydrodynamique (TEHD) d'une butée à patins fixes texturés

Charitopoulos A^a, Fouflias D^a, Papadopoulos CI^a, Kaiktsis L^a, Fillon M^b

^a School of Naval Architecture and Marine Engineering, National Technical University of Athens, Zografos, Greece

^b Institut Pprime, CNRS – University of Poitiers – ENSMA, Dpt GMSC, Futuroscope Chasseneuil, France

Keywords: thrust bearings, thermoelastohydrodynamic lubrication, artificial surface texturing.

Mots-clés : butées, lubrification thermoélastohydrodynamique, texturation artificielle de surface.

In this paper, a computational and experimental investigation of thermoelastohydrodynamic (TEHD) lubrication in a fixed-geometry thrust bearing with artificial surface texturing is presented. A parallel eight-pad bearing is considered; the surface of each pad is partially textured with rectangular dimples. First, a CFD-based thermohydrodynamic modeling approach, recently introduced by the authors, is extended to account for deformations of the bearing mechanical parts, and used to quantify bearing performance. Here, the bearings are modeled as sector-shaped channels, consisting of a smooth rotating wall (thrust collar) and a partially textured stationary wall (bearing pad). Elastic deformations of the collar and pad, due to the resulting pressure distribution within the lubricant film, as well as thermal deformations of the pad due to temperature increase are taken into account. The bearing tribological characteristics are computed by means of CFD simulations, based on the numerical solution of the Navier-Stokes and energy equations for incompressible flow, coupled with the elasticity equations for the solid bearing parts. The proposed TEHD modeling approach has already been validated against both experimental data and numerical results, for a tapered-land bearing geometry. For the bearing of the present study, a reference texture geometry is considered, while realistic thermal and structural boundary conditions are implemented. The effect of collar thickness and pad modulus of elasticity on the bearing performance is investigated, at different bearing operating conditions. In particular, the effects of pad and rotor deformations on pressure and temperature distribution are quantified, at different loads and rotational speeds. TEHD results are compared to those of THD and isothermal analyses; threshold loading levels are identified, beyond which the results of TEHD analysis correspond to non-negligible deviations, making its utilization imperative.

Dans cet article, une analyse numérique et expérimentale de la lubrification thermoélastohydrodynamique (TEHD) dans une butée à géométrie fixe avec des patins texturés artificiellement est présentée. Une butée à huit patins à surfaces parallèles est considérée; la surface de chaque patin est partiellement texturée avec des cavités rectangulaires. Une modélisation CFD thermohydrodynamique a été récemment mise en place par les auteurs et celle-ci est prolongée pour tenir compte des déformations des éléments mécaniques de la butée et utilisée pour quantifier les performances de la butée. Dans cette étude, les butées sont modélisées en tant que des canaux en forme de secteurs, constitués par une paroi lisse en rotation (collet ou grain mobile) et une paroi fixe partiellement texturée (grain fixe). Les déformations élastiques du grain fixe et du collet, induites par la distribution de pression dans le film de lubrifiant, ainsi que des déformations thermiques des patins dues à l'augmentation de la température sont prises en compte. Les caractéristiques de la butée sont calculées au moyen de simulations CFD, sur la base de la résolution numérique de l'équation de Navier-Stokes et de l'énergie pour un écoulement incompressible, couplée avec les équations de l'élasticité pour les éléments solides. La modélisation TEHD a déjà été validée à l'aide de données expérimentales et des résultats numériques, pour une géométrie patins à plan incliné. Pour la butée de la présente étude, une géométrie de texture de référence est

considérée et les conditions aux limites thermiques et structurelles réalistes sont mises en œuvre. L'effet de l'épaisseur du collet et du module d'élasticité de patin sur la performance de la butée est étudié pour différentes conditions de fonctionnement. En particulier, les effets des déformations du grain fixe et du collet sur la distribution de la pression et de la température sont quantifiés, sous différentes conditions de chargement et de vitesses de rotation. Les résultats TEHD sont comparés à ceux obtenus en régime THD et en régime isotherme; des seuils du chargement sont identifiées, au-delà de desquels les résultats de l'analyse TEHD correspondent à des écarts non négligeables, rendant ainsi son utilisation impérative.

Effect of Coating Material Properties on Tilting-pad Thrust Bearing Performance. Effet des Propriétés du Matériau de revêtement sur les Performances d'une Butée à Patins Oscillants.

Wodtke M^a and Wasilczuk M^a

a Faculty of Mechanical Engineering, Gdańsk University of Technology, Narutowicza 11/12 St., 80-233 Gdańsk, Poland.

Keywords: Polymer coating, tilting-pad thrust bearing, TEHD analysis.

Mots-clés : revêtement polymère, butée à patins oscillants, analyse TEHD.

Polymer lined tilting-pad bearings demonstrate many advantages over traditional bearing systems. Bearings with polymer layer in comparison with the babbitted ones show, for example: lower value of friction coefficient (important during start/stops), higher fatigue strength of the coating, better distribution of the load on individual pads due to lower elasticity of the polymers, wider range of operational temperatures or the ability to carry higher specific loads. The polymer lined bearings are, of course, not free from some disadvantages, as for example some problems with reliable temperature monitoring of the bearing surface due to low thermal conductance of the polymer or necessity of a special additional intermediate layer to fix polymer to steel pad body. PTFE and PEEK based composites are most often used in bearing engineering practise. Both materials have low value of thermal conductance, but differ from the each other in mechanical properties. Stiffness (Young modulus) of the PEEK is about an order of magnitude higher than that of PTFE. The influence of polymer lining mechanical properties on the bearing performance has not been systematically studied for thrust bearing so far.

In this paper, the effect of mechanical properties of the coating material on a tilting-pad thrust bearing performance was investigated. Three coating material properties were considered: Babbitt, PEEK and PTFE. Analysis was carried out with the use of an experimentally verified TEHD model of the bearing pad, which utilized FEM and CFD in one task. The results of calculations (temperature, pressure and oil film thickness profiles) were compared. The results show significant differences in bearing performance depending on coating properties. More general, this analysis allowed the authors to show and assess the changes in flow phenomena caused by changes in coating material properties.

Les butées à patins oscillants revêtues de polymères montrent de nombreux avantages par rapport aux butées traditionnelles. En comparaison avec les butées régulées, elles présentent, par exemple: une valeur plus basse du coefficient de frottement (important lors du démarrage / arrêt), une résistance à la fatigue du revêtement supérieure, une meilleure répartition de la charge sur les patins individuels en raison du faible module d'élasticité des polymères, une plus large gamme de températures de fonctionnement ou encore une capacité de charge spécifique plus élevée. Les butées revêtues de polymères ne sont, bien sûr, pas sans quelques inconvénients, comme par exemple des problèmes de fiabilité du contrôle de la température de surface en raison de la faible conductivité thermique du polymère ou encore la nécessité d'une couche intermédiaire supplémentaire permettant de fixer le polymère au corps en acier des patins. Les plus souvent utilisés sont, en pratique, les composites à base de PTFE et de PEEK. Les deux matériaux ont une faible valeur de la conductance thermique, mais diffèrent l'un de l'autre par leurs propriétés mécaniques. La rigidité (module d'Young) du PEEK est d'environ un ordre de grandeur supérieur à celle du PTFE. L'influence des propriétés mécaniques des

polymères sur les performances des butées n'a pas encore été systématiquement étudiée jusqu'à présent. Dans cet article, l'effet des propriétés mécaniques du matériau de revêtement sur les performances d'une butée à patins oscillants a été étudié. Trois matériaux de revêtement ont été envisagés: régule, PEEK et PTFE. L'analyse a été réalisée au moyen d'un modèle TEHD du patin validé expérimentalement, qui utilise en même temps les méthodes FEM et CFD. Les résultats des calculs (température, pression et profils d'épaisseur de film d'huile) ont été comparés. Les résultats montrent des différences significatives de performance dépendant des propriétés du revêtement. Plus généralement, cette analyse a permis aux auteurs de montrer et d'évaluer les changements dans les phénomènes d'écoulement provoqués par des changements dans les propriétés du matériau de revêtement.

Adjustable ETHD lubrication applied to the improvement of dynamic performance of flexible rotors supported by TPJB
Lubrification ETHD ajustable appliquée à l'amélioration des performances dynamiques des rotors flexibles supportés par des paliers à patins oscillants

González J^a, Cerda A^a and Santos IF^a

a Section of Solid Mechanics, Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark, 2800 Lyngby - Denmark.

Keywords: Tilting Pad Journal Bearing, Elasto-Thermo-Hydrodynamic, Adjustable lubrication, Performance improvement, Modal Analysis.

Mots-clés : Palier à Patins Oscillants, Elasto-Thermo-Hydrodynamique, Lubrification Ajustable, Amélioration des performances, Analyse Modale

Tilting pad journal bearings (TPJB) are commonly used on high-performance turbomachinery due to their excellent stability properties when compared to other designs for fluid film bearings. However, current trends demand for a better controllability of this type of bearing design, enabling to react properly to the ever changing operational conditions by modifying the dynamic properties of the rotor-bearing system.

This paper reports a theoretical and experimental modal analysis carried out on a flexible rotor test rig supported by a TPJB featuring an adjustable lubrication regime. Such regime is obtained by injecting pressurized oil directly into the bearing clearance through bores located radially across the bearing pad.

The theoretical model is based on a finite element model of a flexible rotor, where the TPJB with adjustable lubrication is included by means of its equivalent dynamic coefficients. The dynamic coefficients are obtained by means of an elasto-thermo-hydrodynamic (ETHD) model which includes the effects of the pivot flexibility, pads elastic deformations, oil film and pads temperature, fluid film pressure field and adjustable lubrication. To validate the model, the modal parameters of the test rig are experimentally obtained and compared against the results yielded by the model.

The experimental setup consists of a test rig and a full set of instrumentation. The test rig resembles a large overhung centrifugal compressor and it is composed by a flexible shaft with an overhung disc supported by two bearings, a ball bearing on its driven side and a TPJB on its non-driven side. The bearing pads feature the injection nozzle corresponding to the adjustable lubrication system, connected to a high pressure supply unit and servovalves to regulate the flow and hence pressure. The instrumentation is based on a data acquisition system which records the signal generated by the proximity probes and force transducers. The test rig also has an excitation bearing connected by a stinger to an electromagnetic shaker, which enables to perform modal testing in the system.

The main contribution of this work is to demonstrate theoretically and experimentally the feasibility of improving the dynamic properties of the rotor bearing system by means of the adjustable ETHD lubrication system. Good agreement is obtained between theoretical and experimental results and a significant improvement of the rotor bearing dynamic performance using the adjustable ETHD lubrication can be theoretically as well experimentally demonstrated. These results provide an indirect validation of the theoretical model of the TPJB with adjustable ETHD lubrication, regarding the prediction of its dynamic coefficients.

Les paliers à patins oscillants sont communément utilisés dans les turbomachines à haute-performance, du fait de leur excellente stabilité, comparée aux autres technologies de paliers. Néanmoins, les tendances actuelles vont dans le sens d'un contrôle plus prononcé de ce type de palier, permettant de réagir correctement aux conditions opérationnelles en perpétuelle évolution, en modifiant les propriétés dynamiques du système rotor-palier.

Cet article présente une analyse modale théorique et expérimentale, effectuée sur un banc d'essai de rotor flexible supporté par un palier à patin oscillant, avec lubrification ajustable. Cet ajustement est obtenu en injectant de l'huile sous pression directement dans l'espace libre entre le palier et le rotor, par des alésages situés radialement sur le patin porteur.

Le modèle théorique est basé sur un modèle élément fini d'un rotor flexible, dans lequel le palier à patin oscillant avec lubrification ajustable est modélisé par des coefficients dynamiques. Les coefficients dynamiques sont issus d'une simulation d'un modèle elasto-thermo-hydrodynamique (ETHD) qui prend en compte la flexibilité des pivots, les déformations élastiques des patins, les températures du film d'huile et des patins, le champ de pression dans le film d'huile et la lubrification ajustée. Pour valider ce modèle, les paramètres modaux du banc d'essai sont obtenus expérimentalement et comparés aux résultats prédits par la simulation.

La mise en place expérimentale comprend un banc d'essai et un ensemble complet d'instrumentation. Le banc d'essai ressemble à un grand compresseur centrifuge et est composé d'un arbre flexible avec un disque supporté par deux paliers, un palier à roulement sur son côté entraîné et un palier à patins oscillants sur son côté non entraîné. Les patins disposent d'un injecteur correspondant au système d'ajustement du système de lubrification, connecté à une unité d'alimentation à haute pression et à des électrovannes servant à réguler le débit et par conséquent la pression. L'instrumentation est basée sur un système d'acquisition de données, qui enregistre les signaux générés par des capteurs de déplacement et des capteurs de force. Le banc d'essai dispose d'un palier d'excitation, relié à un pot vibrant, permettant d'effectuer des tests modaux sur le système.

La principale contribution de ce travail est de démontrer, théoriquement et expérimentalement, la faisabilité de l'amélioration des propriétés dynamiques du système rotor-palier par simulation d'un modèle ETHD à lubrification ajustable. Une bonne corrélation est obtenue entre les résultats théoriques et expérimentaux, et une amélioration significative de la dynamique du système rotor-palier, en utilisant le modèle ETHD à lubrification ajustable, peut être démontrée aussi bien théoriquement qu'expérimentalement. Ces résultats fournissent une validation indirecte du modèle théorique de palier à patins oscillants avec modélisation ETHD à lubrification ajustable, concernant la prédiction de ses coefficients dynamiques.

"Measured displacement coefficients of an adjustable hydrodynamic journal rotor bearing Coefficients de raideur mesurés d'un palier hydrodynamique ajustable

Martin JK

Department of Design, Development, Environment and Materials, Faculty of Mathematics, Computing and Technology, The Open University, Milton Keynes, MK7 6AA, United Kingdom

Keywords: Adjustable hydrodynamic bearing stiffness coefficients.

Mots-clés : Coefficients de raideur ajustables d'un palier hydrodynamique

Dans la simulation de l'axe d'une machine de rectification, le système comporte une broche ou un rotor stationnaire avec des paliers fluides qui supportent un rotor entraîné par une courroie. Deux paliers hydrodynamiques construits dans l'arbre et fonctionnant en parallèle ont permis la modification continue de leur performance durant le fonctionnement, sans dépendre de la charge, de la vitesse de rotation ni des autres conditions de fonctionnement. Cette conception est présentée dans l'article tout comme un banc d'essais spécialement construit. Une méthode est ensuite proposée pour déterminer les coefficients de raideur en utilisant une méthode de charge incrémentale. Les caractéristiques des paliers sont ensuite données. Sont donnés les effets des modifications sur l'excentricité ainsi que la capacité de maintenir une excentricité donnée, y compris nulle, pour toute charge ou variation de la charge. Les déplacements et les raideurs mesurés sont aussi donnés et montrent que le palier a une raideur élevée pour une charge et une excentricité nulle. Ils montrent aussi que la raideur peut être modifiée à la demande, réalisant ainsi un réglage du comportement dynamique du rotor. Des comparaisons avec les raideurs mesurées par d'autres auteurs pour des paliers à patins oscillants conventionnels sont aussi données. Une approche pour estimer l'incertitude des données mesurées est également incluse.

In simulating a proposed machine tool grinding wheel design, a bearing system comprised a stationary spindle or shaft with fluid film bearings supporting a belt driven rotor. Two hydrodynamic bearings acted in parallel, and built into the shaft were the means to effect continuous pro-active adjustments to their performance characteristics during operation, irrespective of load, speed and other running conditions. The design is outlined, as is a specially constructed test rig for evaluating it. A method for determining the combined displacement coefficients is given which used an incremental load technique with dedicated axis system selection. Observations are given on the bearings' performance characteristics. The effects of the adjustments on rotor eccentricity are shown, along with the ability to maintain a given rotor eccentricity, including zero, irrespective of load and changes in load. Results of measured rotor displacements and displacement coefficients are also given showing that the bearing exhibited high stiffness at zero load and eccentricity, and that stiffness could be changed by adjustment if required, thereby "tuning" the system rotordynamics behaviour. Comparisons are made with results of others' work on the measured displacement coefficients of a conventional type of tilting pad bearing. An approach to uncertainty estimation of measured data is included.

Application of large hydrodynamic R1T pocket bearings Ø 900 mm in a large half-speed steam turbine generator
Des paliers à poches R1T de grande taille, Ø 900 mm, pour des turbo-générateurs avec turbines à vapeur tournant à mi-vitesse

Huster J^a, Peel P^b and Demailly D^a

a Dept. of Transverse Technologies, ALSTOM Power AG, 5400 Baden, Brown Boveri Str. 7, Switzerland.

b Dept. of Steam Turbine Development, ALSTOM Power AG, 5400 Baden, Brown Boveri Str. 7, Switzerland.

Keywords: Steam Turbine, Pocket Bearing, Design, Application, Field Experience.

Mots-clés : Turbine à vapeur, palier à poches, design, implémentation, opération sur site.

Since more than 25 years, R1T pocket bearings from Ø 250 mm to 670 mm are successfully used in numerous full-speed steam turbine generators with 3000 / 3600 rpm. In June 2011 three new developed large R1T pocket bearings with diameter 900 mm were installed in a large existing half-speed steam turbine generator with speed 1500 rpm and 1450 MW. The design of these high loaded pocket bearings with specific loads up to 3.2 MPa were scaled from existing pocket bearings with diameter 500 mm and speed 3000 rpm. During the design phase the oil film characteristics were analysed with the hydro-dynamic bearing code ALP3T and considering the influence of the thermo-elastic deformation iteration calculation by applying the FEA code ANSYS. Due to the large size and weight of these new bearings and the geometry of the existing bearing pedestal, special design features had to be implemented. With the dynamical characteristics of the new bearings the rotor dynamical behaviour of the shaft train was checked. The new pocket bearings showed very good operation experiences. The predicted oil flow requirements and power losses matched with the existing lubrication oil system. The measured white metal temperatures are allowable and very stable and show a good correlation with the hydro-dynamic oil film calculations. This bearing application demonstrates, that these R1T pocket bearing design is an attractive bearing design compared with traditional 3-tilting pad bearings for large half-speed steam turbine generators.

Depuis plus de 25 ans, les paliers hydrodynamiques à poches R1T, de tailles allant de 250 à 670 mm en diamètre, sont utilisés avec succès pour les turbo-générateurs tournant à pleine vitesse, 3000 ou 3600 tr/min, avec des turbines à vapeur. En juin 2011, trois nouveaux paliers R1T d'un diamètre de 900 mm ont été implémentés pour un turbo-générateur existant, tournant à mi-vitesse, 1500 tr/min, et d'une puissance de 1450 MW. Le développement de ces paliers à charges spécifiques élevées - 32 bars pour le plus chargé - a été basé sur les paliers R1T existants, d'un diamètre de 500 mm et d'une vitesse de rotation de 3000 tr/min. Durant la phase de développement, les caractéristiques du film d'huile ont été calculées avec le code ALP3T, utilisé de manière itérative avec le code de calculs par éléments finis ANSYS pour prendre en considération l'influence des déformations thermo-élastiques de l'anneau forgé du palier. Compte tenu de la taille de ces nouveaux paliers et des contraintes amenées par le fait que les supports de paliers existant ont été conservés, certaines particularités ont dû être apportées. Le comportement dynamique de la ligne d'arbre a été vérifié avec des calculs de dynamique rotor utilisant les caractéristiques dynamiques préalablement calculées des paliers. Les trois nouveaux paliers sont désormais en opération et fonctionnent parfaitement. La consommation en huile et les pertes de puissances concordent avec le système d'alimentation en huile en place. Les températures mesurées de régule sont en-deçà des limites, très stables et en bonne corrélation avec les températures calculées. La mise en service de ces trois nouveaux paliers R1T montre qu'ils représentent une alternative intéressante aux paliers à patins oscillants utilisés traditionnellement pour les turbo-générateurs avec turbines à vapeur de grandes tailles tournant à mi-vitesse.

A parametric study of a porous self-circulating hydrodynamic bearing Une étude paramétrique d'un palier hydrodynamique poreux autolubrifié

Braun MJ^a

a University of Akron, Department of Mechanical Engineering, Akron, OH, USA.

Keywords: hydrodynamic bearing, self-circulating, porous bushing, 3D numerical simulation.

Mots-clés : palier hydrodynamique, autolubrification, coussinet poreux, simulation numérique 3D.

The study uses the complete 3D Navier-Stokes equations. The bearing operates in the fully hydrodynamic lubricating regime using oil as the working fluid. The Singhal cavitation model is utilized in the numerical simulation to account for flow and pressure characteristics in the divergent region. The results including the flow patterns, pressure maps and attitude angles, are presented on a parametric basis and confirm the viability of this self-circulating system (no pumps). This is a concept feasibility study for the actual high temperature application that will use low temperature melting earth metals (gallium, lithium) for lubrication in ultra-high temperature environments. This self-circulating system contains the working fluid that fills the bearing clearance (active space) (1), the porous matrix (2) and the wrapped-around reservoir (passive space) (3). Due to its eccentricity, the rotating shaft (4) fulfills the role of a circulating pump. The isotropic porous medium (2) separates the active space from the passive space allowing fluid circulation between (1) and (3). Due to the rotation of the eccentric shaft (4), the hydrodynamic pressure rises in the convergent region, and, while a part of the fluid travels in the circumferential and axial directions, the rest of it exits radially through the porous medium (2) entering the stationary reservoir (3). The prerequisite for such flow to occur is that the hydrodynamic pressure generated in the active space (p_{1c}) be higher than the pressure in the passive space (p_{3c}), hence providing the necessary pressure differential for the fluid motion. The functional relationships require that $p_{1c} > p_{3c}$ in the convergent, and $p_{3d} > p_{1d}$ in the divergent sections, respectively. The permeability of the porous medium is controlling the pressure in the bearing clearance, as well as in the reservoir region. Furthermore, the numerical results have illustrated the inverse interdependence between the strength of the flow circulation (between the active region and the reservoir) and the load carrying capacity.

L'étude se base sur les équations complètes de Navier-Stokes en 3D. Le palier opère en régime hydrodynamique en huile. Le modèle de cavitation de Singhal est utilisé pour le calcul du débit et de la pression dans le divergent. Les résultats, incluant les champs de vitesse et de pressions et angles de calage, sont obtenus par des calculs paramétriques et confirment la viabilité d'un système auto-lubrifié (pas de pompes). Ce travail est une étude de faisabilité pour les applications hautes-températures actuelles, utilisant des métaux à température de fusion basse (gallium, lithium) pour la lubrification dans des environnements à températures ultra-élevées. Ce système auto-lubrifié contient le fluide lubrifiant utilisé qui remplit l'espace vide du palier (zone active) (1), la matrice poreuse (2) et le réservoir l'entourant (zone passive) (3). Grâce à l'excentricité, l'arbre (4) remplit le rôle d'une pompe à circulation. Le milieu poreux isotrope (2) sépare la zone active de la zone passive permettant au fluide de circuler entre (1) et (3). Grâce à la rotation de l'arbre excentré (4), la pression hydrodynamique augmente dans la région du convergent, et, alors qu'une partie du fluide suit les directions circonférentielle et axiale, le reste sort radialement à travers le milieu poreux (2) en entrant dans le réservoir stationnaire (3). Le pré-requis pour générer un tel écoulement est d'avoir une pression hydrodynamique générée dans la zone active (p_{1c}) supérieure à la pression dans la zone passive (p_{3c}), en apportant par conséquent la différence de pression nécessaire pour l'écoulement du fluide. Les relations caractérisant le fonctionnement sont $p_{1c} > p_{3c}$ dans le convergent et $p_{3d} > p_{1d}$ dans le divergent. La perméabilité du milieu poreux contrôle la pression dans l'espace libre du palier ainsi que celle du réservoir. Par ailleurs, les résultats numériques ont montré un

antagonisme entre la force de l'écoulement (entre la zone active et le réservoir) et la capacité de charge.

Implementation of the tapered tilting pad thrust bearing design in a high speed PSP hydro generator

Mise en œuvre de patin oscillants équipés de chanfreins sur la pivoterie d'une turbine à grande vitesse d'une station de transfert d'énergie par pompage hydraulique (STEP)

Pajaczkowski P^a and Schubert A^a

a ALSTOM (Switzerland) LTD, Birr Branch, Zentralstrasse 40, 5734 Birr, Switzerland

Keywords: Hydrodynamic thrust bearings, inlet / outlet tapers, simulations, measurements

Mots clés : Palier d'effort hydrodynamique, chanfreins d'entrée / de sortie, simulations, mesures

The paper is a continuation of a tapered thrust pad design subject presented by authors at the EDF - PPRIME Workshop in 2010. This time authors would like to present such technology in a full scale application. High speed bidirectional tilting pad thrust bearings operate close to the temperature limit of the safe operation region. Since load carrying capacity is limited by sliding speed and not by the load, in such cases it cannot be improved by increasing the bearing size. One of the possible designs that can extend the operational range of the thrust bearing is the tapered sliding surface of the pad. In such way bidirectional bearing can operate with higher oil film tilt ratio (h_{inlet}/h_{min}) and consequently with lower oil film temperature.

In the paper authors show object of investigation, optimization process of tapered surface geometry and main results of the analyzed geometries. The main part contains calculations, with the use of FSI (Fluid Structure Interaction) simulations, of bearing operational parameters and the comparison between calculated and measured pad temperatures of two bearing designs (with and without tapered sliding surfaces).

Le document s'inscrit dans la continuité d'un sujet sur la conception de patin de pivoterie avec chanfreins présenté par les auteurs pendant le 9^{ème} workshop EDF - PPRIME en 2010. A l'époque, les auteurs souhaitaient présenter cette technologie dans le cadre d'une application en grandeur réelle. Les pivoteries à double sens de rotation et grande vitesse fonctionnent dans une zone proche de la limite de température pour une opération pérenne. La capacité de charge étant dans ce cas limitée par la vitesse de glissement et non par la charge, elle ne peut donc pas être améliorée en augmentant la taille de la pivoterie. L'une des solutions possibles pour étendre la capacité opérationnelle de la pivoterie est l'aménagement de chanfreins sur la surface de glissement des patins. De telle manière, une pivoterie bidirectionnelle peut fonctionner avec un rapport élevé d'inclinaison du patin (h entrée / h minimum) et par conséquent avec une température d'huile dans le film inférieure.

Dans cet article, les auteurs exposent l'objet de l'étude, le procédé d'optimisation de la géométrie des chanfreins et les principaux résultats obtenus pour les géométries analysées. La partie principale contient les calculs de simulation utilisant le concept d'interaction fluide structure (FSI), les paramètres de fonctionnement et la comparaison entre les températures calculées et mesurées des patins de deux paliers (avec et sans les chanfreins).

Mass-conserving simulation of friction reduction in a hydrodynamic textured thrust bearing

Simulation conservative de la réduction du frottement dans une butée hydrodynamique texturée

Checo H M^a, Jai M^b, Cadalen J-P^c, Choukroun F^c and Buscaglia G C^a

a Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, University of São Paulo, São Carlos, 13560-970 Brazil.

b Institut Camille Jordan, INSA de Lyon (Pôle de Mathématiques), 69621 Villeurbanne, France.

c RENAULT, 67, Rue des Bons Raisins, 92508 Rueil Malmaison, France.

Keywords: Friction reduction, textured lubricated contacts, hydrodynamic thrust bearing, Elrod-Adams model.

Mots clés : Réduction du frottement, contact lubrifié texturé, butée hydrodynamique, modèle d'Elrod-Adams.

Friction reduction in the hydrodynamic thrust bearing contact by texturing of the surface is addressed by means of numerical simulations. Salient features of our study are: (a) Mass-conserving cavitation modeling (Elrod-Adams method); (b) Fixed load on the thrust bearing sufficiently low to correspond to the hydrodynamic regime, with a Stribeck number of 10^{-3} ; (c) Fully flooded conditions; (d) The texture is on the runner surface, and thus moving through the computational domain; (e) The dynamics of the thrust bearing, which is not trivial because of the passage of textures under it, is solved simultaneously with the hydrodynamics of the film; (f) The study considers thrust bearings of cylindrical shape with curvature radius ranging from 0.2 to 800 m; (g) The study analyses pocketed textures with different sizes, aspect ratios, depths and coverage fractions, totalling more than three hundred runner topographies. The results show a clear dependence of the effect of the runner texture on the curvature radius of the thrust bearing. For low curvature radius, all textures lead to friction coefficients that are higher than that of the untextured runner surface. For high enough curvature radius, however, it is possible to identify pocketed surfaces which significantly reduce the friction (up to 80%). The reported set of results, arguably the first to deal with texture on the moving surface (which is the standard case in experimental studies), provides both an explanation for mixed experimental findings available in the literature and a guidance on surface texture selection for low-load thrust bearing contact.

Nous traitons dans ce travail, par des simulations numériques, la réduction du frottement dans le contact d'une butée cylindrique. Les éléments importants de notre étude sont : (a) Le modèle de cavitation conservatif d'Elrod-Adams ; (b) Une charge fixe appliquée à la butée suffisamment petite pour que le régime soit purement hydrodynamique ; (c) Le film d'huile est plein ; (d) La texture est présente sur le collet, ce qui entraîne un domaine de calcul en mouvement ; (e) La dynamique de la butée est résolue en couplage avec l'hydrodynamique du film ; (f) Les rayons de courbure des butées varient entre 0.2 et 800 m; (g) L'étude analyse des textures sous forme de poche en variant la taille, le rapport largeur/longueur, la profondeur et la zone de couverture des stries. La variation de tous ces paramètres totalise plus de 300 topographies du collet. Les résultats montrent une dépendance claire de l'effet de la texture du collet sur le rayon de courbure de la butée. Pour des faibles rayons de courbure, toutes les textures donnent un coefficient de frottement plus grand que celui du collet non texturé. En revanche, pour des butées avec de grands rayons de courbures il est possible d'identifier des collets admettant des textures de type poches qui réduisent significativement le frottement (jusqu'à 80 %). Les résultats présentés dans ce travail sont probablement les premiers à traiter des surfaces texturées en mouvement (qui est le cas standard dans l'expérimentation) et donnent une explication des résultats expérimentaux existant en littérature et aussi une sélection des surfaces texturées dans le cas de contact avec des petites charges appliquées

Contribution of textures to the hydrodynamic effect on parallel surface thrust bearings during the start-up period.

Contribution de la texturation de surface de butées à faces parallèles à l'effet hydrodynamique durant la phase de démarrage.

Henry Y, Bouyer J, Fillon M

Institut Pprime, CNRS – Université de Poitiers – ENSMA, UPR 3346, Dept Génie Mécanique et Systèmes Complexes, SP2MI, 11 Bd Marie & Pierre Curie, BP 30179, 86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex, France.

Keywords: start-up, texture, hydrodynamic lubrication, friction, thrust bearing,

Mots clés : démarrage, texture, lubrification hydrodynamique, frottement, butée hydrodynamique.

During the last decade, researchers have paid a great attention to the textured surfaces in many tribological applications. Studies performed on textured components (piston-rings, camshafts and hydrodynamic thrust and journal bearings...) have emphasized the interest of using textured surfaces. The behavior of textured surfaces is based on a collective effect of the dimples which provide an equivalent converging average clearance between the facing surfaces. The phenomenology of such contacts is complex and still not fully explained, but their use seems to be a good way of friction reduction. The choice of optimal topography can efficiently improve the hydrodynamic effects on parallel surfaces, entrap solid particles, change the regime of lubrication under severe operating conditions (like boundary or mixed lubrication), reduce the friction losses and reduce the contact area at start/stop. The objective of this study is to identify through an experimental study, the behavior of a textured parallel surface thrust bearing during start-up period. The experimental apparatus has permit to measure at a high data acquisition frequency the friction torque and the electrical resistance across the fluid film, which allowed detecting contact. The comparative analysis emphasizes the factors affecting the behavior of the lubricated contact. The performance of such bearings is compared to that obtained with classical geometry like flat land and taper land thrust bearings, without any texture.

Au cours de la dernière décennie, les chercheurs ont accordé une grande attention aux surfaces texturées dans de nombreuses applications tribologiques. Des études menées sur des composants texturés (segments de piston, arbres à cames, engrenages, butées et paliers hydrodynamiques etc...) ont mis en évidence l'intérêt de telles surfaces. Le fonctionnement des surfaces texturées est basé sur un effet collectif des cavités qui peut être équivalent à un coin d'huile. La phénoménologie de ces contacts est complexe et pas totalement maîtrisée, mais semble offrir des possibilités intéressantes en termes de réduction de frottement. Le choix d'une topographie optimale permet d'améliorer efficacement la portance hydrodynamique pour des surfaces parallèles, de piéger des éventuelles impuretés dans les cavités, d'améliorer la lubrification du contact dans les régimes de lubrification extrême (régime limite et mixte), de minimiser les frottements et de limiter l'aire de contact pendant les phases de démarrage. L'objectif de cette étude est d'identifier à travers une étude expérimentale le comportement d'une butée hydrodynamique texturée à faces parallèles lors de la phase de démarrage. Le dispositif expérimental a permis de mesurer à de hautes fréquences d'acquisition, le couple de frottement ainsi que la résistance électrique entre les grains (stator/rotor) qui permet de déterminer la présence de contact. L'analyse comparative met en avant les facteurs influant le comportement du contact. Les résultats sont comparés à deux butées classiques à faces parallèles et à plans inclinés, sans aucune texture.

Solutions for increasing the bearing capacity of thrust bearings Comment accroître les performances des butées hydrodynamiques

Martsynkovskyy VS^a and Yurko VI^a

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

Keywords: thrust bearings, bearing capacity, oil layer thickness, oil consumption, maximum temperature of the hydrodynamic wedge

Mots clés : butées hydrodynamique, charge axiale, épaisseur de film, consommation d'huile, température du film.

Design faults, imperfect manufacturing processes, change of technological operating modes of the turbocompressors in gas, petroleum, chemical and petrochemical industry cause axial rotor shifts. Therefore, the task of manufacturing the high-efficient and reliable thrust bearings is important nowadays along with effective rotor balancing, methods of axial forces calculation considering possible operating modes, improvement of static electricity elimination system, protective and monitoring systems of the axial shift. Effective methods for increasing the bearing capacity of thrust bearings, applied by TRIZ Ltd, have been studied in the report:

1. Two paths of lubricant circulation
2. Rolling system for load leveling
3. Hydrostatic compensating suspension
4. Multi-function oil-removing scrapers
5. Individual lubrication supply
6. Individual lubrication outflow
7. Range extension of the filling efficiency factor by bearing pads
8. Electroerosion damage protectors
9. Hydrostatic off-loading of the thrust collar
10. Radial cooling of the thermally loaded area of the pad
11. Cooling of the thrust collar
12. Tangential cooling of the pad periphery area for retaining laminar flow
13. Combined thrust bearing with reversible and irreversible pads
14. Reversible bearings with irreversible properties
15. Reversible oil-removing scrapers
16. Regular profile of the bearing surface
17. Peripheral sealing band of the bearing surface
18. Technological methods of electroerosion alloying
19. Demagnetizing – technological process of the rotating equipment maintenance

The accepted and realized on the operating equipment solutions **TRIZ**[®] have enabled to increase the bearing capacity of thrust bearings significantly and to reduce oil consumption ratio, keeping down location dimensions to the equipment.

Les nombreuses évolutions technologiques dans les industries pétrolières, chimiques, pétrochimiques, les erreurs de conception ou des procédés de fabrications imparfaits, ainsi que les changements des modes de fonctionnement des turbocompresseurs à gaz, nécessitent une prise en compte de plus en plus fine des composants de reprise d'effort axial.

En conséquence, il est très important d'étudier, de concevoir et de réaliser les paliers de butées avec le plus grand soin. Une attention toute particulière doit être portée à l'équilibrage des machines, aux méthodes de détermination des charges axiales et à l'élimination des risques électrostatiques. Ceci doit être réalisé en tenant compte de toutes

les conditions d'exploitation, et en mettant en place des dispositifs de suivi et de surveillance des jeux axiaux.

Le travail présenté ici est le fruit des méthodes efficaces appliquées par TRIZ Ltd en vue d'améliorer les capacités de charges des butées et de diminuer leur consommation d'huile tout en réduisant l'encombrement de ces composants.

Investigation of unusual performance fluctuations in a tilting pad journal bearing application

Investigation des fluctuations inhabituelles de comportement d'un palier à patins oscillants

DeCamillo S

Kingsbury, Inc., 10385 Drummond Road, Philadelphia, PA 19154 US

Keywords: hydrodynamic, tilt pad journal bearing, turbulent transition, pad temperature.

Mots clés : hydrodynamique, palier à patins oscillants, transition turbulente, température du patin

Advancements in technology have extended the operational capabilities of rotating machinery. Variations in parameters such as geometry, pad material, and directed lubrication methods have been incorporated in tilting pad bearings over time to accommodate the associated demands of higher loads and speeds. More and more machines are operating now at conditions where hydrodynamic films transition between laminar and turbulent flow. Thrust bearing pad temperature and power loss through such transitions are straightforward and well documented in literature. Another level of complexity, however, is encountered in tilting pad journal bearings owing to the load variation among the journal pads and the influence of the journal bearings on the dynamic behavior of the machine.

This paper describes an unusual fluctuation in performance encountered in a tilting pad journal bearing application. Also presented are results from a series of laboratory tests conducted by Kingsbury, Inc., to investigate the behavior. The laboratory tests were performed on bearings with length-to-diameter ratios of 0.4 and 1.0, with steel and chrome-copper backed pads, and with variations in the directed lubrication design. The bearings were heavily instrumented with arrays of detectors to capture operational details of the individual pads. The tests successfully duplicated the unusual behavior, which is attributed to turbulent transition in the films. The tests further allowed a study of the influence of the above parameters and show that significant improvements in bearing performance are achievable. The author trusts this information will be of value to those involved with the application of hydrodynamic bearings in high-speed machinery.

Les avancements technologiques ont augmenté les capacités opérationnelles des machines tournantes. Les variations des paramètres tels que la géométrie, le matériel des patins et les méthodes de lubrification directe ont été incorporées, au fil du temps, dans la conception des paliers à patins oscillants, afin de satisfaire les contraintes en termes de charge et de vitesses élevées. Les machines actuelles ont de plus en plus la tendance à fonctionner dans des conditions de transition entre le régime laminaire et le régime turbulent. Les températures des patins des butées et les pertes par frottement, générées dans ces conditions de transition, sont faciles à appréhender et bien documentées dans la littérature scientifique. Cependant, un autre niveau de complexité est rencontré au niveau des paliers à patins oscillants, en raison de la variation de la charge d'un patin à un autre et, en conséquence, de l'influence des paliers sur le comportement dynamique de la machine.

Cet article décrit une fluctuation inhabituelle observée lors du fonctionnement d'un palier à patins oscillant d'une machine existante. Nous présenterons, en même temps, les résultats d'une série de tests de laboratoire réalisés par Kingsbury Inc. pour examiner ce comportement. Les essais ont été réalisés sur des coussinets dont le rapport L/D était de 0.4 et 1.0, avec des patins en acier et en cuivre chromé et avec des variations dans le

système de lubrification directe. Ces paliers ont été munis de nombreux capteurs afin d'enregistrer le fonctionnement de chaque patin. Les essais effectués ont pu reproduire avec succès le comportement inhabituel, qui est attribué à la transition entre le régime laminaire et le régime turbulent dans le film lubrifiant. De plus, ces essais ont permis la réalisation d'une étude de l'influence des paramètres ci-dessus mentionnés et ils indiquent que des améliorations significatives peuvent être réalisées. L'auteur est confiant que ces renseignements seront utiles aux responsables de l'utilisation des paliers hydrodynamiques dans les machines tournantes à haute vitesse.

Categories of Impact of Bearing Damage on Hydrodynamic Film Operation Hiérarchisation des conséquences des dommages de paliers sur la lubrification hydrodynamique

Branagan LA^a

^a *Engineering Manager, Pioneer Motor Bearing Company, Kings Mountain, NC USA.*

Keywords: Hydrodynamic bearing, damage evaluation, fatigue, scratches, wear.

Mots clés : Palier hydrodynamique, évaluation des dommages, fatigue, rayures, usure.

Damage to a fluid-film bearing can result from a wide range of causes, driven by machine loads, contaminants, stray currents and other sources. In some cases, the ability of the hydrodynamic film to support the loads is compromised, perhaps severely. Evaluating this damage currently relies on experienced observations, principally by maintenance personnel. In many industries, this experience base is eroded by retirements, turnover and a large number of new employees. An effort is underway to develop a systematic approach to bearing damage which can provide adequate guidance as to whether to repair, replace or run a particular bearing. A significant challenge to developing a systematic approach is the lack of quantified measures of bearing damage. By dividing bearing damage into simple categories, the effect on the hydrodynamic film can be more readily determined. Categories include wear, scratches, loss of material and support degradation. These categories involve consideration of the extent, depth and location of the damage. Damage maps are developed which relate these considerations to the loss of design margin in the bearing. By focusing on the impact of the damage on the operation of the hydrodynamic film, a quantified approach to bearing damage condition can be made. This further opens the possibility of bearing designs with improved robustness.

Les dommages sur un palier peuvent avoir des causes très variées comme les charges appliquées, la présence de contaminants, les arcs électriques et bien d'autres encore. Dans certains cas, la capacité du film lubrifiant à supporter la charge peut être compromise, parfois sévèrement. L'évaluation de ces dommages repose actuellement sur l'expérience, principalement, des personnels de maintenance. Dans beaucoup d'industries, cette expérience s'érode par les départs à la retraite et le turnover des employés. Une action est en cours pour développer une analyse systématique des dommages des paliers qui pourrait constituer un guide indiquant s'il faut réparer, changer ou faire fonctionner en l'état le palier considéré. La principale difficulté pour la réalisation de cette approche systématique est le manque de données chiffrées concernant les dommages de palier. En classant les dommages en catégories simples (usure, rayures, perte de matière, dégradation du support, etc), il sera plus simple d'évaluer leur effet sur le film fluide. Ces catégories prennent en compte l'étendue, la profondeur et la localisation du dommage. Des cartes de dégradation mettant en relation les paramètres précédents avec la perte de performance du palier sont développées. En se focalisant sur l'effet du dommage sur la lubrification hydrodynamique, il est possible de quantifier le niveau de dégradation du palier. Ceci offre la possibilité de concevoir des paliers plus robustes.

Impact of scratches in tilting pad journal bearings – Influence of the geometrical characteristics of scratches

Impact de la présence de rayures dans les paliers à patins oscillants - Influence des caractéristiques géométriques des rayures

Hélène M^a, Beaurain J^a, Raud X^a and Fillon M^b

a Dept AMA, EDF R&D, 1 avenue de Général de Gaulle, 92140 Clamart, France.

b Institut Pprime, CNRS - Université de Poitiers - ENSMA, UPR 3346, Département Génie Mécanique et Systèmes Complexes, SP2MI, BP 30179, F86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex.

Keywords: Tilting pad journal bearings, scratches, THD analysis

Mots clés : Paliers à patins oscillants, rayures, analyse THD

During usual maintenance operations on turbo generator sets, one can sometimes observe scratches on the journal surface of the steam turbine (or generator) rotor. These defects can cause serious troubles during start-up and steady state operations of the machine. However, the repair of the journal bearing can dramatically delay the maintenance operating. It is thus important to control the severity of these defects by numerical simulations in order to eventually decide to continue the safe running of the machine as is.

This study is first aimed at different issues associated to the presence of scratches on journal surface. Then, a Thermohydrodynamic (THD) analysis is performed to characterize the severity of such damages. All simulations are carried out using internally developed software for journal bearings, called EDYOS. The influence of different geometrical parameters of scratches (width, depth and position) on bearing performance, like the temperature, the film thickness and the maximum pressure of the bearing, is analysed.

Lors des opérations classiques de maintenance des groupes turbo alternateurs, on constate parfois la présence de rayures sur la soie des rotors des turbines (ou de l'alternateur). Ces défauts peuvent engendrer certaines difficultés lors des phases de redémarrage et d'exploitation de la machine. Toutefois, leur réparation peut entraîner de forts retards lorsqu'elle n'est pas anticipée. Il peut donc s'avérer judicieux de pouvoir statuer de la nocivité de telles rayures à l'aide de simulations numériques afin de juger de l'opportunité de redémarrer en l'état.

Ce travail présente tout d'abord les différentes problématiques associées à la présence de rayures dans les paliers, puis propose une étude numérique en régime Thermohydrodynamique (THD) de caractérisation de la nocivité d'une rayure. Cette étude, menée avec EDYOS, le code de calcul de paliers de la R&D d'EDF, s'intéresse aux différentes caractéristiques géométriques des rayures (largeur, profondeur, position) et à leurs effets respectifs sur le fonctionnement du palier en termes de température de fonctionnement, d'épaisseur minimale de film et de pression maximale.

Analysis of the risk of thermally induced seizure in narrow circumferential groove journal bearings using a robust simple theoretical approach.
Analyse du risque de serrage thermomécanique des paliers courts alimentés par une rainure circonferentielle en utilisant une modélisation théorique simple et robuste.

Cristea AF ^a, Pascovici MD ^b, Bouyer J ^c and Fillon M ^c

a Tecnicas, Engineering Department, 66 rue de Villiers, 92532 Levallois-Perret, France.

b University Politehnica Bucharest, Mechanical Engineering & Mechatronics Faculty, Machine Elements & Tribology Department, Splaiul Independentei 313, 060042 Bucharest, Romania.

c Institut Pprime, CNRS - Université de Poitiers - ENSMA, UPR 3346, Dépt Génie Mécanique et Systèmes Complexes, SP2MI, 11 Blvd. Marie et Pierre Curie, BP 30179 F86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex, France

Keywords: fluid film, journal bearing, circumferential groove, seizure.

Mots clés : Film fluide, palier, rainure circonferentielle, serrage.

The paper presents a new robust and simple theoretical model for studying thermally induced seizure, whilst correcting several drawbacks of the earlier Cristea et al. 2010 approach. For uncomplicated estimations of the risk of early seizure, the model is built on the narrow journal bearing theory with a uniform film temperature. Heat produced in the fluid film through viscous dissipation is removed through the lubricant flow, through one-dimensional radial conduction to the bearing materials, and to the environment through convection. As a first approximation, only the shaft thermal swelling is considered in the analysis, whilst the bushing's thermoelasticity is neglected. Hence, only the early seizure failures results are considered as dangerous operating conditions. Nevertheless, comparisons of transient bearing performance parameters results with safe-operation experimental measurements reveal a good agreement despite the model's apparent simplicity.

Le papier présente un modèle théorique simple et robuste qui permet d'étudier les serrages dus à des effets thermiques ; il est basé sur l'approche précédente présentée en 2010 par Cristea et al. et pour lequel certaines imperfections ont été corrigées. Afin d'obtenir des estimations simples du risque de serrage précoce, le modèle est basé sur la théorie du palier court en supposant une température de film uniforme. La chaleur produite dans le film par les effets visqueux est évacuée par l'écoulement du lubrifiant, par la conduction radiale unidimensionnelle à travers les matériaux du palier et par la convection avec l'environnement. En première approximation, seule la dilatation thermique de l'arbre est considérée dans l'analyse alors que les déformations thermoélastiques du coussinet sont négligées. Par conséquent, seuls les résultats de défaillances précoces sont considérés comme des conditions de fonctionnement dangereuses. Néanmoins, malgré l'apparente simplicité du modèle, les comparaisons des performances des paliers en régime transitoire avec des résultats expérimentaux de palier fonctionnant en conditions nominales ont montré une bonne concordance.

Compressor rub verified by rotating phase symptoms Détection de frottement sur un compresseur par le phénomène de phase tournante

Péton N^a, Christin G^b and Grislin C^c

a GE Energy Measurement & Control, 14 rue de la Haltinère, 44000 Nantes, France.

b GE Energy Measurement & Control, 68 chemin des Ormeaux, 69760 Limonest, France.

c GE Energy Measurement & Control, 14 rue de la Haltinère, 44000 Nantes, France.

Keywords: compressor, rub, rotating phase.

Mots clés : compresseur, frottement, phase tournante.

This case history describes an example of how 1X rotating phase angle was corroborated with other symptoms to identify a rub on a turbo-compressor. The customer had noticed an increasing vibration trend and requested GE to collect data while the machine was operating at nominal speed. Vibration data was collected using an ADRE 408 unit. GE's Machinery Diagnostic Services team was invited to perform vibration measurement on a compressor to investigate reasons of high vibrations.

The hydrogen compressor described in these events is a 3-stage centrifugal unit manufactured in 1972. It is coupled directly to its driver, a steam turbine with a normal operating speed between 9500 and 10 000 rpm. The machine is monitored with a Bently Nevada 3300 system using XY proximity probe pairs on each fluid-film bearing. As shown in the instrumentation diagram (Figure 1) two axial probes and a Keyphasor transducer are also installed on the machine.

Ce cas historique décrit un exemple de la façon dont une phase tournante du vecteur 1X associée avec d'autres symptômes a permis d'identifier un frottement sur un turbocompresseur. Le client avait noté une augmentation progressive au cours du temps des vibrations de la machine et souhaitait que GE collecte des données à vitesse nominale. Ces vibrations ont été enregistrées à l'aide d'un analyseur ADRE 408 par le service diagnostic des machines tournantes de GE. Le compresseur hydrogène décrit dans cet événement est un compresseur à trois étages de 1972. Il est couplé directement à une turbine vapeur et fonctionne à une vitesse entre 9500 tr/mn et 10 000 tr/mn. La machine est surveillée par un système Bently Nevada 3300 en utilisant des capteurs X/Y sur chaque palier. Il existe également une mesure de phase et deux capteurs axiaux.

Improvement of Dynamics Performance of Hybrid Gas Bearings via Adjustable Lubrication

Amélioration des Performances Dynamiques de Paliers Hybrides à Gaz par Lubrification Ajustable

Pierart FG and Santos IF

Department of Mechanical Engineering Technical University of Denmark, 2800 Lyngby, Denmark.

Keywords: Gas bearings, Dynamics performance, Damping factor, Pressure adjustment, Modal analysis.

Mots clés : Paliers à gaz, performances dynamiques, facteur d'amortissement, ajustement de pression, analyse modale.

In modern turbo-machinery, gas journal bearings have been increasingly adopted, because they can operate at higher speed than most bearing designs. The main disadvantage of gas bearings is their low dynamic stability range. One solution to improve this and its performance is to combine the aerodynamic effect with the addition of external pressurization in a hybrid gas bearing.

This study presents a mathematical model for hybrid lubrication of a compressible fluid film journal bearing with adjustable control of the external pressure. The model is based in a compressible form of Reynolds Equation. To include the effect of the injection, an extra term is added to the Reynolds Equation, considering the fully developed Hagen-Poiseuille flow in the injection pipeline.

In order to verify this assumption, a CFD model is developed and the pressure and velocity fields in the injection nozzle are compared. The theoretical model was validated experimentally using a test rig. The test rig consists of a flexible rotor supported by a ball bearing and a controllable hybrid gas bearing.

The results show that the level of pressure has a strong influence in the dynamical behaviour of the system and with the correct level of pressure it is possible to improve the dynamical performance of the system.

Dans les turbomachines modernes, les paliers lisses gaz sont de plus en plus choisis, parce qu'ils peuvent fonctionner à une vitesse plus élevée que la plupart des autres conceptions de palier. Le principal inconvénient des paliers à gaz est leurs faibles performances dynamiques de stabilité. Une solution pour les améliorer est d'associer l'effet aérodynamique avec une source externe de pression dans un palier à gaz hybride.

Cette étude présente un modèle mathématique pour la lubrification hybride d'un palier avec un fluide compressible et une commande de réglage de la pression externe. Le modèle est basé sur une forme compressible de Reynolds équation. Pour comprendre l'effet de l'injection, un terme supplémentaire est ajouté à l'équation de Reynolds, compte tenu du flux Hagen-Poiseuille entièrement développé dans circuit d'injection.

Afin de vérifier cette hypothèse, un modèle CFD est développé et les champs de pression et de vitesses dans la buse d'injection sont comparés. Le modèle théorique a été validé expérimentalement en utilisant un banc d'essai. Le dispositif d'essai se compose d'un rotor flexible supporté par un roulement à billes et un palier à gaz hybride contrôlable.

Les résultats montrent que le niveau de pression a une forte influence sur le comportement dynamique du système et, avec le bon niveau de pression, il est possible d'améliorer les performances dynamiques du système.

Influence of temperature and semi cone angle on the performance of conical hydrodynamic journal bearing

Influence de la température et de la conicité sur les performances d'un palier hydrodynamique conique

Gangrade AK^a and M. Phalle V^b

^a *Research Scholar,*

^b *Associate Professor & Head, Department of Mechanical Engineering, VJTI, Mumbai 400 019 India*

Keywords: conical Journal bearing, eccentricity ratio, temperature effect, semi cone angle, speed.

Mots clés : palier conique, excentricité, effet de la température, angle de demi-cône, vitesse.

The conical hydrodynamic journal bearing offers excellent performance characteristics for axial and radial external load application, conical magnetic bearing is widely used in axial blood pump. Conical hydrodynamic journal bearings have been receiving wide importance in order to overcome the adverse effect such as temperature affects the performance of conical hydrodynamic journal bearing. This paper is aimed to study the thermo hydrodynamic effect on a bearing using a numerical tool such as Computational Fluid Dynamics (CFD) package to predict accurately the performance characteristics of a conical hydrodynamic journal bearing. The static performance characteristics have been presented for the various values of eccentricity ratio ($\epsilon = 0.1$ to 0.9), external load, temperature (T), speed (N) and for the various values of semi-cone angle ($\gamma = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 20^\circ$). The numerically simulated results suggest that, the performance of the conical bearing is greatly affected by the temperature effect along with various semi cone angle of conical bearing.

Les paliers coniques connaissent un essor croissant dû au fait qu'ils permettent de maîtriser les aspects négatifs des paliers cylindriques, comme de supporter une charge axiale aussi bien que radiale, avec l'avantage de remplacer deux paliers par un seul dont le jeu est facilement ajustable sur le dispositif. Les recherches présentées dans ce papier ont pour but d'analyser l'influence de la température du lubrifiant sur les performances du palier à l'aide d'un outil numérique CFD. Les caractéristiques statiques sont présentées en fonction de l'excentricité ($\epsilon = 0.1$ to 0.9), de la température (T), de la vitesse (N) ainsi que pour plusieurs valeurs de l'angle de demi-cône ($\gamma = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 20^\circ$). Les résultats des simulations numériques suggèrent que les performances sont significativement modifiées par la température ou l'angle de demi-cône.

Instrumentation Routing Design on Journal Bearings & Thrust Bearings Conception des passages de capteurs pour les paliers et butées hydrodynamiques

Chippa AK^a, Costagliola S^b and Kammalapalli R^c

a Lead Engineer, GE India Technology Center, Bangalore, GEJFWTC, Plot#122, EPIP Phase2, Whitefield road, Bangalore 560066, Karnataka, India

b Senior Engineer, GE Oil&Gas, Nuovo Pignone, Florence 50127, Italy

c Senior Engineer, GE India Technology Center, Bangalore, GEJFWTC, Plot#122, EPIP Phase2, Whitefield road, Bangalore 560066, Karnataka, India

Keywords: Bearings, Thrust, Journal, Temperature detection, Instrumentation, Gas Turbine.

Mots clés : Palier, Butée, Mesure de Température, Instrumentation, Turbine à Gaz.

Gas Turbine's availability and reliability at field are a paramount importance factor for a customer. One of the main ways to reach it is to allow the installation of suitable instrumentation on various stationary and rotating components. Bearing temperature is one of the most important parameters to be measured as it's one of the few links between stationary and rotating components. The installation of temperature detectors on such a complicated bearing and taking the cables out through various channels right from the Gas Turbine centreline to the Instrumentation Junction box placed outside the machine without affecting Gas Turbine functionality is a real challenge. Frame 32F of GE Gas turbine family is one of the first double shaft engine with 5 bearings. A recent service request for thermal sensors installation on Journal bearings, Active Thrust bearings & In-Active Thrust bearings has been made. The present paper discusses general design guidelines, methodologies and challenges that were faced during the routing design of these instrumentation cables from all the bearings. Some of the methodologies on the above subject would throw light on the estimation of RTD location on all the bearings. The paper intent is to highlight design constraints addressed avoiding leakage path from the oil inlet cavities, design challenges due the small size of bearings and how the designers overcame them optimizing RTD installation, routing and designing the effective fixtures on the bearings to keep the wirings intact during engine operation. References for routing design are taken from routing strategies applied on existing bearings. Considering the design space, conflicts with neighbourhood features/components the routing methodology is varied. The risks that are present in the existing designs were estimated and mitigated through an alternative routing strategy has been discussed and assessed.

La disponibilité et la fiabilité des turbines à gaz sont des facteurs d'importance majeure pour les clients. Une des solutions principales pour l'améliorer est d'installer une instrumentation adaptée sur différents composants tournants et stationnaires. La température des paliers est l'un des paramètres les plus importants car c'est l'un des rares liens entre les parties fixes et tournantes. L'installation des capteurs de température sur les paliers et le passage des câbles au travers de la turbine jusqu'au boîtier de connexion sans affecter les performances et le fonctionnement de la turbine est un réel challenge. Les turbines à gaz GE 32F sont parmi les premières à avoir un double arbre sur cinq paliers. Une demande récente d'installation de capteurs de température sur les paliers et butées hydrodynamiques (actives ou non) a été formulée. Le présent article discute des méthodes, des règles générales de conception des challenges qui ont été rencontrées lors de la conception des passages de câble de capteurs depuis les paliers. Certaines des méthodes concernent l'estimation de la position adaptée pour les capteurs dans les paliers. L'objectif de l'article est de montrer les contraintes de conception afin

d'éviter les fuites d'huile depuis les zones d'alimentation, les difficultés liées à la petite taille des paliers et comment les concepteurs ont réussi à contourner ces problèmes en optimisant le placement des capteurs et leurs fixations sur les paliers pour préserver les câbles de liaison durant le fonctionnement. Les règles pour le passage des capteurs sont issues de stratégies précédemment appliquées à des paliers. Suivant l'espace de conception, les interférences avec les composants voisins, la méthode de passage a été adaptée après une estimation des risques.

Numerical modelling of dynamic behavior of a tilting pads thrust bearing and a journal bearing with helical grooves
Modélisation numérique du comportement dynamique d'une butée hydrodynamique à patins oscillants et d'un palier hydrodynamique à rainures hélicoïdales

Denis S^{a,b} and Arghir A^a

a Institut Pprime, CNRS – Université de Poitiers – ENSMA, UPR 3346, Dépt Génie Mécanique et Systèmes Complexes, SP2MI, 11 Bd Marie & Pierre Curie, BP 30179, 86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex, France.

b Electricite de France, General Technical Division, Mechanical Behavior of Systems Branch, Grenoble Cedex, France.

Keywords: hydrodynamic lubrication, thrust bearing, tilting pad, helical groove, dynamic behavior.

Mots clés : lubrification hydrodynamique, butée, patin oscillant, rainure hélicoïdale, comportement dynamique.

The faults of a rotating machine can often be diagnosed by analyzing its vibratory state. For this reason and in order to prevent some costly maintenance, many studies have been performed to understand, provide and correct these phenomena.

Turbines installed in the French hydroelectric power plants are no exception. They have mostly the characteristic of being vertical. Guidance is performed by hydrodynamic journal bearings and the vertical load is supported by a tilting pad thrust bearing. Furthermore, the journal bearings can be supplied by helical grooves.

A numerical model of these journal bearings will be presented in the first part of this paper. It is based on the finite volume method and a change of variables enables its application on a regular mesh. The influence of the angle of the supply grooves on the dynamic behavior will then be studied.

The second part will be about the numerical modeling of the thrust bearing. Its dynamic behavior (linear and non-linear) and its effect on a flexible shaft will also be studied through a simple example.

Les défaillances d'une machine tournante peuvent très souvent être diagnostiquées grâce à l'étude de son état vibratoire. C'est pourquoi, afin de prévenir de coûteuses maintenances, de nombreuses études ont déjà été faites afin de comprendre, prévoir et corriger ces phénomènes.

Les turbines en place dans les barrages hydroélectriques français ne font pas exception. Celles-ci ont la particularité d'être, pour la plupart, verticales ; le guidage étant assuré par des paliers hydrodynamiques et la charge verticale totale supportée par une butée hydrodynamique à patins oscillants. Par ailleurs, les paliers utilisés peuvent être alimentés par des rainures hélicoïdales.

Ainsi, on se propose, dans une première partie, de présenter une modélisation numérique de ces paliers. Celle-ci est basée sur la méthode des volumes finis et un changement de variable, afin de garder un maillage régulier. L'influence de l'angle des rainures d'alimentation sur le comportement dynamique (linéaire et non linéaire) sera ensuite étudiée.

La seconde partie est consacrée à la modélisation de la butée hydrodynamique à patins oscillants. Après une explication de la méthodologie, on examinera le comportement dynamique (linéaire et non linéaire) d'une butée ; ainsi que son action sur un arbre flexible via un cas test simple.

On incipience of cavitation and its inherent time dependence Genèse de la cavitation en fonction du temps

Kachhia B ^a, Pan CHT ^b and Nélias D ^a

a INSA Lyon, LaMCoS UMR 5259 CNRS, France.

b Global Technology, USA - correspondence author.

Keywords: Cavitation, Journal Bearing, Void Flow Structure, Void boundary Motions.

Mots- clés : Cavitation, Palier Hydrodynamique, Ecoulement Diphasique, Cavités Gazeuses, Sous-Alimentation.

Incipience of cavitation is examined with the following elements:

- A new two-dimensional computation algorithm is employed to compute a contiguous fluid film of an eccentric journal bearing of finite length; computed are film pressure at grid points and mid-mesh longitudinal flux components at all internal mesh lines. This algorithm can treat either end of the bearing as a feeding manifold.
- Gumbel's hypothesis is imposed to suppress sub-ambient film pressure at all internal grid point and void boundary points are determined on circumferential mesh lines by "analytically extended interpolation". Circumferential flux components are computed in a consistent manner. Michell's short bearing approximation is adapted to construct a void side band that fits between the rupture and formation points adjacent to the feeding manifold.
- Olsson's interface condition (**OIC**) is stated for the circumferential mesh lines in conjunction with a cavitation morphology model that assigns adhered films to both stationary and moving surfaces with a free parameter to specify the thickness of the stationary attached film. This morphology model reduces to Floberg's streamer model as a special case.
- The above described morphology model requires **OIC** to describe an inherent time dependence of the void boundaries and treats both rupture and formation points simultaneous. Inherence time dependence of the void boundaries calls for time-domain stepping that requires a predictor-corrector procedure to assure numerical stability and would asymptotically lead to the Swift-Stieber final state that defines the fluid content in the bearing gap as the cavitated film completes its evolution process.

La genèse de la cavitation est examinée à la lumière des éléments suivants :

- Un algorithme 2D est proposé pour calculer l'écoulement du fluide dans un palier lisse de dimension finie ; la distribution de pression est calculée ainsi que les composantes du débit de fluide pour tous les éléments du maillage. L'algorithme permet de traiter indifféremment tous types de conditions limites aux extrémités du palier ainsi que pour l'orifice d'alimentation.
- Les hypothèses de Gumbel sont imposées pour supprimer les pressions inférieures à la pression ambiante et la zone de cavitation est déterminée par une méthode d'interpolation analytique étendue selon la direction circonférentielle. L'approximation de palier lisse infiniment court de Michell est adoptée pour reconstruire les bandes de cavitation et de reformation du film au voisinage des orifices d'alimentation en fluide.
- La condition d'interface d'Olsson (**OIC**) est utilisée pour décrire la morphologie des zones de cavitation. Cela permet de retrouver l'épaisseur du lubrifiant à la fois pour les surfaces mobiles et stationnaires. Le modèle se réduit aux écoulements de Floberg dans des cas particuliers.
- Le modèle proposé permet de retrouver la formation des bandes de cavitation au cours du temps, et la reformation du film de lubrifiant.

L'algorithme s'appuie sur un schéma type prédicteur-correcteur du domaine de cavitation au cours de temps, afin d'assurer la stabilité numérique. Il permet de retrouver la solution de Swift-Stieber dans des cas asymptotiques.

Testing of bearing materials for large two-stroke marine diesel engines Tests des matériaux de paliers pour de gros moteurs diesel deux temps de bateau

Klit P^a, Persson S^b and Anders Vølund A^b

a DTU, Department of Mechanical Engineering, Nils Koppels Alle 2800 Lyngby.

b MAN Diesel & Turbo SE, Tegholmegade 41, 2450 SV Copenhagen, Denmark.

Keywords: Fatigue, White Metal, Crack propagation, Journal bearing.

Mots clés : Fatigue, Régule, Propagation de fissure, Palier.

In large two-stroke marine diesel engines bearings are designed with the intention that these need not be replaced during the life of the engine. The design has shown very good service experiences. The design parameters of the main bearings are, among others, based on the average maximum specific load which the bearing should operate under. In general, the frictional loss is less than 1% of the nominal power of the engine but is still a target for optimization. Fatigue mechanisms of bearing lining material are not fully understood and the design limits with regards to minimum oil film thickness, max oil film pressure and oil film pressure gradient is not established. Large two-stroke journal bearings are not suitable for fatigue test due to the size, the low rotational speed and the complexity of such test-rig. The Disc Fatigue Test Rig (DFTR) was designed with the purpose to test white metal coatings under realistic bearing conditions, in a confined time-frame. The test-rig simulates a scale model of a thrust bearing, in contrary to standard design the bearing lining material is applied to the rotating collar. On each side of the disc three stationary tilting-pads applies a load to the test disc, with a rotational speed of 2000 rpm. Parameters, such as bearing load, rotational speed, oil temperature, oil contamination is controlled/monitored in order to achieve repeatability and a systematic approach to the experiments. Test performed on the test-rig shows good correlation on the fatigue cracks with those experienced on large two-stroke journal bearings.

Dans les moteurs deux-temps diesel de bateaux, les paliers sont souvent conçus afin de ne pas avoir à être remplacés pendant la durée de vie du moteur. La conception a montré sa robustesse. Les paramètres de conception des paliers principaux sont, entre autres, basés sur la charge spécifique moyenne à laquelle le palier est censé fonctionner. En général, la perte par frottement est inférieure à 1% de la puissance nominale du moteur mais reste tout de même un bon critère d'optimisation. Les mécanismes de fatigue de la couche de revêtement des paliers ne sont toujours pas bien compris et les limites de conception en ce qui concerne l'épaisseur minimale du film d'huile, la pression maximale ainsi que le gradient de pression ne sont pas encore établies. Les paliers équipant de tels moteurs que ceux présentés dans le papier ne sont pas utilisables à des fins expérimentales. En raison de leur taille, de la faible vitesse de rotation ainsi que de la complexité d'un banc de test de cette dimension. Le banc d'essai de fatigue sur disque (DFTR) a été conçu pour permettre de tester les revêtements en régule soumis à des conditions de fonctionnement réelles, en un temps relativement restreint. Le banc simule une butée à l'échelle où, contrairement au cas usuel, le régule est appliqué sur le grain mobile. Sur chacune des faces du grain mobile, trois patins oscillants fixes permettent d'appliquer une charge au disque tournant à 2000 tr/min. Plusieurs paramètres comme la charge, la vitesse de rotation, la température d'huile ou son éventuelle contamination sont

régis par un contrôle/commande afin d'obtenir une grande répétabilité ainsi qu'une approche systématique des expérimentations. Les tests réalisés ont montré une bonne corrélation entre les fissures de fatigue observées sur le banc d'essais et celles des paliers de moteurs deux temps de grandes dimensions.

The role of lubricant feeding conditions on the performance improvement and friction reduction of journal bearings

Influence des conditions d'alimentation sur l'amélioration des performances et la réduction du frottement dans les paliers

Brito FP ^{a,b}, Miranda AS ^a, Claro JCP^a, Teixeira JC ^a, Costa L ^c and Fillon M ^d

a Centre for Mechanical and Materials Technologies (CT2M), Universidade do Minho, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal.

b ISEP IPP, Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto, Portugal.

c Ministry of Energy and Water/DNAAS, Luanda, Angola.

d Institut Pprime, CNRS – Université de Poitiers – ENSMA, UPR 3346, Dept Génie Mécanique et Systèmes Complexes, SP2MI, 11 Bd Marie & Pierre Curie, BP 30179, 86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex, France.

Keywords: journal bearings, feeding conditions, thermohydrodynamic model, groove mixing, friction.

Mots-clés : paliers, conditions d'alimentation, modélisation thermohydrodynamique, recirculation, frottement.

The performance of hydrodynamic journal bearings is significantly affected by the conditions under which the lubricant is fed to the bearing. However, many conventional analyses are not prepared to suitably incorporate these parameters and their effect on bearing performance, due to the over-simplified way they treat them.

A thermohydrodynamic analysis suitable for conveniently deal with lubricant feeding conditions is now presented. It couples the numerical solution of the generalized Reynolds equation, the energy equations within the lubricant film and the heat transfer within the bush body. Special attention has been given to the treatment of the phenomena taking place within the grooves and in their vicinity, as well as to the ruptured film region.

The effect that lubricant feed pressure and temperature, groove length ratio, groove width ratio and groove position relative to the load line have on bearing performance has been analyzed for a broad range of conditions. The results were found to be in good agreement with experimental published results and the robustness of the model to suitably treat these phenomena has been confirmed. It was found that a careful tuning of the feeding conditions may indeed improve bearing performance.

Les performances des paliers lisses hydrodynamiques sont significativement affectées par les conditions dans lesquelles le lubrifiant est introduit dans le palier. Cependant, de nombreuses analyses classiques ne sont pas prêtes à intégrer convenablement ces paramètres et leurs effets sur les performances des paliers, en raison de la façon trop simplifiée avec laquelle ils les traitent.

Une analyse thermohydrodynamique appropriée pour traiter convenablement les conditions d'alimentation de lubrifiant est maintenant présenté. Elle intègre la solution numérique simultanée des équations de Reynolds généralisée, de l'énergie dans le film lubrifiant et de la de chaleur dans le coussinet. Une attention particulière a été portée pour le traitement des phénomènes se produisant dans les rainures et dans leur voisinage, ainsi que dans la région de rupture du film.

L'influence de la pression et de la température d'alimentation en lubrifiant, de la longueur et largeur de la rainure et de la configuration (simple ou double rainure, position angulaire par rapport à la direction de la charge) sur les performances du palier a été analysée pour un large éventail de conditions.

Les résultats numériques obtenus sont en bon accord avec ceux issus de la littérature expérimentale et la robustesse du modèle à traiter convenablement ces phénomènes a pu être confirmée. Il a été constaté qu'un réglage minutieux des conditions d'alimentation peut effectivement améliorer les performances.

Authors Index

Arghir, Mihai.....	39
Beaurain, Jérôme.....	30
Bompos, Dimitrios.....	8
Bouyer, Jean.....	32, 38
Branagan, Lyke.....	29
Braun, Minel Jack.....	20
Brito, Francisco P.....	44
Buscaglia, Gustavo.....	23
Cadalen, Jean-Paul.....	23
Cerda, Alejandro.....	16
Charitopoulos, Anastasios.....	12
Checo, Hugo.....	23
Chippa, Anil Kumar.....	37
Choukroun, Franck.....	23
Christin, Guillaume.....	3, 33
Claro, José Carlos P.....	44
Conlon, Martin.....	9
Costa, Lucrecio.....	44
Costaglio, Salvatore.....	37
Cristea, Alex-Florian.....	32
Dadouche, Azzedine.....	9
Decamillo, Scan.....	27
Demailly, David.....	19
Denis, Sébastien.....	39
Fillon, Michel.....	12, 24, 32, 44
Fouflias, Dimitrios.....	12
Gangrade, Ajay Kumar.....	36
Gonzalez, Jorge.....	16
Grislin, Charles.....	33
Hélène, Mathieu.....	30
Henry, Yann.....	24
Huster, Josef.....	19
Jai, Mohammed.....	23
Kachhia, Bhavesh.....	40
Kaiktsis, Lambros.....	12

Kammalapalli, Ramesh.....	37
Kirk, Gordon.....	5
Klit, Peder.....	42
Koch, Thilo.....	6
Laabid, A.	6
Ligier, Jean-Louis.....	10
Martin, Keith.....	18
Martsynkovskyy, Vasyl.....	25
Miranda, Antonio S.....	44
Nélias, Daniel.....	40
Nikolakopoulos, Pantelis.....	8
Orhon, Dominique.....	7
Pajaczkowski, Piotr.....	22
Pan, Coda.....	40
Papadopoulos, Christos.....	12
Pascovici, Mircea Dumitru.....	32
Peel, Phil.....	19
Persson, Sebastian.....	42
Péton, Nicolas.....	3, 33
Phalle, Vikas M.....	36
Pierart Vasquez, Fabian.....	35
Raud, Xavier.....	33
Santos, Ilmar.....	16, 35
Schubert, Andreas.....	22
Stievenard, Adrien.....	10
Teixeira, J.C.....	44
Vølund, Anders.....	42
Wasilczuk, Michal.....	1, 14
Wodtke, Michal.....	14
Yurko, Volodymyr.....	25

