

Improved performance of hydrodynamic bearings by proactive adjustment. Amélioration des performances de paliers hydrodynamiques par ajustement proactif.

Martin J.K.

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

Keywords: hydrodynamic journal bearing, proactive adjustment.

Mots clés : palier hydrodynamique, ajustement proactif.

Hydrodynamic lubrication is a self sustaining form of fluid film lubrication in which two load bearing surfaces are fully separated by a thin film of lubricant. The only requirements for it to be invoked are the relative motion of the two surfaces, a convergent shape somewhere in the lubricant profile and a steady supply of lubricant of a reasonable viscosity. There are generally two types of hydrodynamic bearing – one where the surfaces are notionally flat, as in thrust bearings, and the other where they are cylindrical as in journal bearings. The work discussed in this paper relates to journal bearings but the issues can apply in principle to any form of hydrodynamic bearing, including thrust bearings.

For the simplest “plain” form of hydrodynamic journal bearing the convergent shape of the lubricant film is obtained automatically under load by a small eccentric displacement of the axis of rotation from the axis of the bearing. In this condition the bearing can generate a large load carrying pressure field in the lubricant, together with high stiffness and high damping but the precision of location has been compromised because of the eccentricity. On the other hand if the load is low or zero there will be no eccentricity, but there will also be low stiffness and damping leading to instability and possible damage owing to lack of support of the rotating member. There have been many ideas and developments in the design of journal bearings to address these points. The most significant are the idea of producing the converging shape by means other than the eccentric displacement (e.g. by special machining of the profile shape) and introducing a plurality of load bearing pressure fields. Another is the use of tilting pads where each pad or shoe is free to adopt its own convergence angle and provide a pressure field independently of the others.

One key aspect of the tilting pad bearing is that the pads do not totally embrace the full circumference of the journal. The presence of gaps has an effect on the power absorption because the lubricant film is not being sheared for the full distance around the circumference. The tilting pad bearing however shares a characteristic with the plain journal bearing in that for certain conditions of low load, i.e. when pressure fields are less developed, it can be prone to instability. Vibrations and even lubricant film breakdown can result. The profiled bearing has an advantage in this respect but again being effectively of full circumference has the higher energy loss characteristic.

All of the bearings mentioned have their advantages and disadvantages in terms of stiffness, damping, and power absorbed, but they are all reactive devices. The pressure fields are generated in response to the operating conditions (e.g. load and changes in load or other operating conditions) in order to balance or carry the applied load. What is needed is a system which combines the precision, stiffness and damping of the profiled bore bearings at lower loads, the precision, stiffness and damping of the plain and tilting pad bearings at normal loads, the reduced energy losses of the tilting pad type at normal loads, and continuing reduced energy losses at lower loads. Practical and theoretical studies done by the author and others shows promise in these respects.

A novel form of adjustable bearing is outlined which offers improved precision of location, increased stability at low loads and savings in energy. This type of bearing is adjustable and its performance characteristics can be set or controlled in a proactive manner while it continues to operate, irrespective of the loading and operating conditions acting. It offers

many potential benefits over current forms of hydrodynamic bearing in a number of fields of application. Examples given are marine gearboxes, machine tools and power generation plant.

La lubrification hydrodynamique est une forme de lubrification à film fluide avec génération de portance dans laquelle deux surfaces chargées sont séparées par une fine pellicule de lubrifiant. Les seules conditions à réunir pour ce que ce phénomène intervienne sont un mouvement relatif des surfaces, un pincement du fluide sur une portion de l'écoulement et une alimentation continue en lubrifiant, ce dernier ayant une viscosité suffisante. Il existe généralement deux types de paliers hydrodynamiques – un où les surfaces sont relativement planes, comme dans le cas des butées, et l'autre où les surfaces sont cylindriques, comme pour les paliers. Le travail présenté dans ce papier porte sur les paliers mais s'applique également aux autres formes de paliers hydrodynamiques, comme les butées.

Dans le cas d'un simple palier lisse, la forme de convergent dans le film mince est obtenue naturellement sous charge du fait d'une faible excentration de l'axe de rotation du rotor par rapport à l'axe du stator. Dans ces conditions, le palier peut générer une grande portance du fait de la création d'un champ de pression hydrodynamique dans le film mince, couplée à une grande raideur et un fort amortissement, sans toutefois assurer une précision de positionnement en raison de l'excentration. D'un autre côté, si la charge est faible voire nulle, le rotor ne sera pas excentré, les raideurs et amortissements seront faibles, conduisant à des situations d'instabilité accompagnées de possibles dégâts en raison de la perte de portance. La conception des paliers a été significativement améliorée pour résoudre ces problèmes. Parmi les solutions majeures, on peut citer la création d'un convergent par un autre moyen que l'excentration du rotor (par exemple en usinant des coussinets de section droite non circulaire) afin d'obtenir plusieurs champs de pression portant. Une autre idée est l'utilisation de patins oscillant où chaque patin est libre de créer son propre convergent et de générer ainsi un champ de pression indépendamment des autres patins.

La clé des paliers à patins oscillants réside dans le fait que les patins n'englobent pas complètement la circonférence du rotor. La présence de jeux entre les patins a un effet sur l'absorption de puissance car le film de lubrifiant n'est pas cisailé sur toute la périphérie. Le palier à patins a cependant des caractéristiques communes avec les paliers lisses : sous certaines conditions de chargement, i.e. quand les champs de pression sont moins développés, il est peut être sujet aux instabilités, synonymes de vibrations et de rupture de film. Les paliers à lobes ont un avantage à cet égard mais attendu que le fluide est cisailé sur toute la circonférence, la perte de puissance y est plus importante.

Tous les paliers cités ont leurs avantages et leurs inconvénients en terme de rigidité, amortissement et puissance dissipée, mais ce sont tous des dispositifs ????. Les champs de pression sont obtenus en réponse à des conditions de fonctionnement (e.g. charge et variation de charge ou autre conditions de fonctionnement) pour équilibrer ou supporter la charge appliquée. Ce qui est nécessaire, c'est un système qui combine la précision, la rigidité et l'amortissement des paliers à lobes à faible charge, la précision, la rigidité et l'amortissement des paliers lisses ou à patins à charge nominale, la faible dissipation de puissance des paliers à patins à charge faible ou nominale. Des études théoriques et expérimentales effectuées par les auteurs et d'autres ont montré des espoirs dans ce sens.

Une nouvelle forme de paliers ajustables, qui offrent de meilleures caractéristiques de précision de positionnement, de stabilité à faible charge et d'économie d'énergie, est présentée. Ce type de palier est évolutif et ses performances peuvent être réglées ou contrôlées de façon proactive sans perte d'efficacité, indépendamment de la charge et des conditions de fonctionnement. Il offre de nombreux gains comparativement aux formes actuelles de paliers hydrodynamiques et pour de nombreux champs d'application. Des exemples fournis concernent les boîtes de vitesses, les machines outil and les centrales électriques.