

Résumé

Les roulements sont des composants clés dans les transmissions mécaniques. Leur fonctionnement entraîne des pertes de puissance non négligeables. La chaleur générée se dissipe dans les différents éléments du système et impacte à nouveau les pertes de puissance. Ce couplage, entre pertes et thermique, doit donc être pris en compte afin d'avoir une prédiction satisfaisante du comportement du roulement. Cette étude s'intéresse à des conditions de fonctionnement particulières : vitesse de rotation modérée (produit $N \cdot d_m < 10^6$), charge appliquée faible ($< 5\%$ de la charge statique du roulement) et lubrification par injection de faibles débits d'huile ($\leq 15L/h$). Pour ces conditions, les travaux menés dans la littérature ne permettent pas une estimation et une compréhension satisfaisante du comportement thermomécanique du roulement.

Ces travaux de thèse développent un nouveau modèle thermomécanique de roulement à billes. La thermique est modélisée à l'aide de la méthodologie des réseaux thermiques. Les pertes de puissances sont modélisées à partir de considérations tribologiques, au niveau de chaque contact dans le roulement. Les modèles développés sont comparés à des mesures expérimentales, réalisées sur un banc d'essai dédié. Ce dernier permet de mesurer le couple de pertes généré par un roulement, tout en contrôlant un certain nombre de paramètres (vitesse, débit, charge). Les températures des bagues du roulement sont également mesurées, afin de maîtriser le comportement thermique.

Il résulte de cette étude que, pour les conditions étudiées, les pertes de puissance dans les roulements à billes sont principalement dues à un phénomène de roulement hydrodynamique au niveau des contacts entre les billes et les bagues. Ce phénomène est à la fois dépendant et indépendant de la charge appliquée, en fonction des conditions de chargement sur chaque bille. La compréhension de ce phénomène permet notamment d'expliquer l'origine des pertes de puissance indépendantes de la charge, telles que définies dans le modèle de Harris. Concernant la thermique du roulement, l'étude met en avant l'importance de la température des billes (obtenues par simulation numérique), notamment sur les phases de démarrage. En conclusion, le modèle développé permet une prédiction des pertes de puissance à 5% d'erreur et une prédiction des températures des éléments du roulement à $\pm 1 - 2^\circ C$.

Mots-clés : pertes de puissance, roulement à billes, expérimental, thermique, lubrification, roulement hydrodynamique, frottement.

Abstract

Rolling element bearings (REBs) are key components in mechanical transmissions. Their operation leads to significant power losses. The heat generated is dissipated in the various elements of the system, therefore again impacting power losses. This coupling between losses and heat must therefore be taken into account in order to make a satisfactory prediction of REB behavior. This study focuses on specific operating conditions: moderate rotational speed (product $N \cdot d_m < 10^6$), low applied load ($< 5\%$ of the static load of the bearing) and lubrication by injection of low oil flow rates (≤ 15 L/h). For these conditions, the work carried out in the literature does not allow a satisfactory estimation and understanding of the REB's thermomechanical behavior.

This thesis develops a new thermomechanical model for ball bearings. Thermal behavior is modeled using thermal network methodology. Power losses are modeled on the basis of tribological considerations, at each contact in the REB. The developed model is compared with experimental measurements, carried out on a dedicated test bench. The latter enables to measure the REB torque loss, while controlling several parameters (speed, flow rate, load). REB ring temperatures are also measured, in order to control thermal behavior.

The result of this study is that, for the conditions studied, power losses in ball bearings are mainly due to a hydrodynamic rolling phenomenon at the contacts between the balls and the rings. This phenomenon is both load-dependent and load-independent, depending on the loading conditions on each ball. Understanding this phenomenon helps explain the origin of load-independent power losses, as defined in the Harris model. With regard to REB thermal performance, the study highlights the importance of ball temperature (obtained by numerical simulation), particularly during start-up phases. In conclusion, the developed model enables power losses to be predicted to within a 5% error and REB temperatures within $\pm 1-2^\circ\text{C}$.

Key words : power losses, ball bearing, experimental, thermal, lubrication, hydrodynamic rolling, friction.