Étude expérimentale et numérique du fretting-fatigue d’assemblages frettés en flexion rotative sous faible pression de contact

Fetting-fatigue, assemblages frettés, arbre de propulsion.

Résumé

Ce travail de recherche porte sur la prédiction de la durée de vie d’assemblages frettés présents sur des axes de transmission. Situés au niveau des paliers, ces assemblages subissent les déformations cycliques des arbres lors de leur fonctionnement, ce qui entraine un glissement de faible amplitude entre les deux pièces frettées. L’endommagement associé, dit de fretting-fatigue, peut mettre en danger l’intégrité de l’assemblage et nécessite d’être quantifié et prédit : c’est ce que propose ce travail de thèse. L’assemblage étudié est constitué d’une chemise en bronze frettée sur un axe en acier. Il est principalement soumis à une sollicitation de flexion rotative.

La stratégie adoptée consiste à mener des essais expérimentaux à échelle réduite, afin de décrire et quantifier l’endommagement, pour ensuite être en mesure de le modéliser à l’aide d’un outil numérique et être capable de prédire la durée de vie d’un tel assemblage. Un banc de flexion rotative a été mise en place afin de solliciter les éprouvettes réduites de manière représentative de l’application industrielle visée. Différentes géométries d’éprouvettes ont étés testées, dans le but de faire émerger les paramètres influant sur l’endommagement de fretting-fatigue. La description détaillée de l’endommagement, principalement obtenue à l’aide d’analyses optiques et ultrasonores, peut ensuite être corrélée aux résultats issus d’une modélisation numérique du phénomène. Un modèle utilisant la méthode des éléments finis a donc été bâti pour pouvoir accéder aux grandeurs physiques au niveau du contact. Ces grandeurs calculées sont ensuite mises en regard des expertises, afin de proposer une méthode permettant de prédire par le calcul l’endommagement survenant dans des conditions réelles.

L’influence prépondérante de la géométrie de bord de chemise et de l’interférence de frettage sur la durée de vie des assemblages a été mise en évidence. Ces variations géométriques ont été corrélées à l’apparition et l’extension de différentes zones, caractérisées par l’existence d’un glissement ou d’un décollement du contact. Les répartitions de ces zones ont pu être associées à la présence ou l’absence de fissurations, ainsi qu’à la création d’un troisième corps constitué de débris. Pour prédire la durée de vie des assemblages, une méthode séquentielle été adoptée, d’appuyant sur la modélisation par éléments finis. L’emplacement des fissurations a été déterminé à l’aide d’un indicateur énergétique, puis la durée de vie estimée à l’aide d’un critère de fatigue calculé à ce même emplacement. L’application de cette méthode montre l’importance de la prise en compte du lit de débris dans la configuration étudiée.

Experimental and numerical study of fretting-fatigue within shrink-fitted assemblies with low contact pressure under rotating bending

Fetting-fatigue, Shrink-fitted assemblies, engine shaft.

Abstract

This research work deals with lifetime prediction of shrink fitted assemblies used on engine shafts. Located at bearings axial position, these assemblies undergo the shaft cyclic strain, which induces a small amplitude oscillatory slip between the two fitted parts. The associated damage, called fretting-fatigue, may jeopardize the integrity of the assembly and has to be quantified. This PhD works aims to do so. The studied assembly is constituted of a bronze sleeve shrink-fitted on a steel shaft. It is mainly submited to rotating bending.

The chosen method consists in carrying experimental tests with small scale specimens, to describe and quantify damage, and then model it with a numerical tool to predict the lifespan of such an assembly. A rotating bending bench has been used to test the specimen in a representative manner, regarding the industrial use case considered. Several specimen geometries have been tested, in order to highlight the main parameters inducing fretting-fatigue. A detailed description of the damage, obtained with optical and acoustical means, may be correlated with results provided by a numerical model. This model, using the finite element method, was built to grant access to stresses and slips at the contact interface. These values are then compared to the experimental observations, in order to predict the damage that may occur in real condition.

The major influence of the sleeve edge geometry and the fitting interference on the lifespan of the assembly has been stressed. These geometrical variations have been correlated with the appearance and disappearance of various zones, characterised by the existence of sliding or opening of the contact. The distribution of these zones has been associated with the presence or absence of cracks, and the creation of a third body, formed of debris. To predict the lifetime of the assemblies through finite element method computations, a sequential method has been used. The location of cracks has been determined thanks to an energetic indicator, then the lifespan has been estimated thanks to a fatigue criteria, computed at the same location. The method showed the importance of considering the third body layer in the studied configuration.