

Etude numérique de la lubrification et du grippage de la segmentation : Application aux groupes motopropulseurs (GMP) hybrides.

Contexte

Le contact segments/piston/chemise est le système tribologique le plus complexe dans un moteur thermique : il sert d'interface entre la combustion, d'une part, et le circuit de lubrification d'autre part. Ce contact détermine les performances moteur en terme de consommation de carburant et d'émissions de polluants.

Le grippage est une défaillance subite caractérisée par une dégradation très forte des surfaces en contact. Il est provoqué par une défaillance de la lubrification, conduisant à un échauffement catastrophique des surfaces en contact.

La multiplication des démarrages moteur, conséquence inhérente d'une utilisation d'un GMP hybride, accentue le risque de grippage. En effet, arrêtés, les segments du piston ne reçoivent plus d'alimentation en lubrifiant alors même que le moteur est chaud. Au redémarrage, ces conditions de mauvaise lubrification favorisent le grippage.

Objectif

Il existe plusieurs angles d'approche du grippage dans la littérature. Historiquement, le grippage a été abordé d'un point de vue température de surface pour des applications de type dentures d'engrenage. L'augmentation de la température de la peau, des pièces en contact, est calculée à partir de la puissance dissipée : force de frottement * coefficient de frottement * vitesse de glissement. L'amélioration des additifs et des revêtements de surface a permis des progrès significatifs de la tenue au grippage.

Il a été montré expérimentalement que le grippage n'apparaît qu'à partir d'un temps suffisamment long correspondant à l'usure (abrasion progressive) de la microgéométrie de la surface. La modélisation de cette usure est également une piste, puisque c'est a priori la modification progressive de la microgéométrie qui crée au bout d'un grand nombre de cycles des conditions favorables au grippage.

Pour décrire localement l'initiation du grippage plusieurs travaux ont tenté de modéliser les températures au niveau des rugosités. Comme les températures les plus élevées sont susceptibles d'être générées lors de contact métal-métal, cela a donné lieu aux modélisations de contacts dits mixtes. Il s'avère que ces modèles restent critiquables d'un point de vue numériques.

L'approche d'un point de vue de la sous-alimentation (quantité insuffisante de lubrifiant pour séparer les surfaces et pour nourrir le contact en additifs) est très peu utilisée. Nous pensons que deux mécanismes qui jouent à l'échelle du système entier sont des facteurs principaux du risque de grippage : le niveau de sous-alimentation imposée par la conception des différents segments, la sous-alimentation locale due à la répartition aléatoire de l'huile lors du fonctionnement. La puissance dissipée, le point de départ de tout calcul thermique, est déterminé par un physique complexe : cisaillement visqueuse et contact métal - métal local.

Organisation

Etape 1 : Mesure d'états de surfaces :

Des mesures d'états de surfaces vont être réalisées afin de disposer des données nécessaires sur l'évolution du contact, à la fois dans une utilisation normale, mais aussi en cas de début de grippage, grippage partiel et grippage total.

Cette étape est importante afin d'appréhender l'évolution des surfaces dans le temps.

Etape 2 : Analyse et compréhension des phénomènes

Il est nécessaire dans un deuxième temps, d'analyser le contact segments/piston/chemise vis-à-vis du grippage. Quels phénomènes entraînent une initialisation du grippage ? quels paramètres géométriques sont influents ? etc...

Des essais de frottement complémentaires pourront être réalisés sur des surfaces réelles.

Etape 3 : Modélisation

Une fois les phénomènes mis en jeu dans le grippage établis, un modèle de simulation pourra être créé afin de pouvoir prédire les risques. Ce modèle sera notamment basé sur la quantité de lubrifiant admise par le troisième segment et la température éclair sous le premier segment. Les deux phénomènes dépendent entièrement de la rugosité de surface.

Deux approches sont envisagées :

- Disposer d'un outil permettant de faire du prédictif vis-à-vis d'un profil donné (exemple : Utilisation d'un moteur dans un GMP hybride)
- Disposer d'un outil permettant de construire des lois d'endommagement pour coupler une étude de fiabilité prévisionnelle avec l'étude du comportement de surfaces.

Bibliographie

- NEALE, M. J. Piston ring scuffing—a broad survey of problems and practice. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 1970, vol. 185, no 1, p. 21-32.
- GALLIGAN, J., TORRANCE, A. A., et LIRAUT, G. A scuffing test for piston ring/bore combinations: Part I. Stearic acid lubrication. *Wear*, 1999, vol. 236, no 1, p. 199-209.
- GALLIGAN, J., TORRANCE, A. A., et LIRAUT, G. A scuffing test for piston ring/bore combinations:: Pt. II. Formulated motor lubrication. *Wear*, 1999, vol. 236, no 1, p. 210-220.
- SUH, Allison Y., POLYCARPOU, Andreas A., et CONRY, Thomas F. Detailed surface roughness characterization of engineering surfaces undergoing tribological testing leading to scuffing. *Wear*, 2003, vol. 255, no 1, p. 556-568.
- OBERT, Petra, MÜLLER, Torben, FÜßER, Hans-Jürgen, et al. The influence of oil supply and cylinder liner temperature on friction, wear and scuffing behavior of piston ring cylinder liner contacts—A new model test. *Tribology International*, 2016, vol. 94, p. 306-314.
- AJAYI, O. O., LORENZO-MARTIN, C., ERCK, R. A., et al. Analytical predictive modeling of scuffing initiation in metallic materials in sliding contact. *Wear*, 2013, vol. 301, no 1, p. 57-61.
- Lee SC, Cheng HS. Scuffing Theory Modeling and Experimental Correlations. *ASME. J. Tribol.* 1991;113(2):327-334
- Nelias D Étude expérimentale et théorique du microgrippage dans les contacts élastohydrodynamiques. *Revue Générale de Thermique*, Volume 36, Issue 1, 1997, Pages 26-39.
- N. Biboulet and A. A. Lubrecht. Efficient solver implementation for reynolds equation with mass-conserving cavitation. *Tribology International*, 118:295--300, 2017.
- N. Biboulet and A. A. Lubrecht. Efficient solver implementation for reynolds equation with mass-conserving cavitation. *Tribology International*, 118:295--300, 2017.

- N. Biboulet, H. Bouassida, J. Cavoret, and A. A. Lubrecht. Determination of fundamental parameters for the cross-hatched cylinder liner micro-geometry. Proc. IMechE, part J, Journal of Engineering Tribology, 23:293--301, 2017.
- M.-P. Noutary, N. Biboulet, and A. A. Lubrecht. A robust piston ring lubrication solver: Influence of liner groove shape, depth and density. Tribology International, 100:35--40, 2016.
- H. Bouassida, N. Biboulet, P. Sainsot, and A. A. Lubrecht. Piston ring load carrying capacity: Influence of cross-hatching parameters. Proc. IMechE, part J, Journal of Engineering Tribology, 231:642--648, 2014.