

Investigation of the overbased detergent impact in a fully formulated lubricant for DLC-involving contact: Control of friction by load-induced structure modification

Abstract

For over a decade now, Diamond-Like Carbon (DLC) coatings have been applied to sliding components within internal combustion engines, such as cam lobes, tappets, finger followers, and piston rings. The purpose of using DLC coating is to decrease energy losses attributed to friction that has been estimated around ~23% of the world's total energy consumption. These coatings are lubricated using traditional engine oils initially designed for steel components. However, few studies have been carried out to understand the tribological properties of DLC involved tribo-pair with a fully formulated oil. However, few studies have been carried out to understand the tribological properties of DLC involved tribo-pair with a fully formulated oil.

In this work, different tribological experiments were performed by using a commercially available fully formulated lubricant for a-C:H DLC involved tribo-pair. Steel/steel contact was used as the reference. A focus was made on the influence of the contact pressure on the tribological performance of the tribo-systems.

A bench test with a ring-on-disk configuration was first used to simulate the piston-ring-cylinder liner of internal combustion engine in the more severe tribological conditions. Surprisingly, it was found that the friction coefficient decreases as the function of contact pressure in boundary/mixed lubrication regime for steel/a-C:H mixed contact. The surface analyses showed that the tribofilm was rich in calcium carbonate and its structure was found to be load-dependent. Vaterite was found at low load, aragonite at medium load and calcite at high load. Interestingly, this crystal transformation was not observed for the steel/steel tribo-pair as function of load, for which the

friction increased as the function of pressure and a-C:H/a-C:H tribopair shows an intermediate change.

To have a better understanding on the effect of contact pressure on the observed tribological behaviors, additional friction tests were carried out using a standard reciprocating ball-on-disk tribometer and with the same tribopairs. A friction reduction at high pressure was obtained in a-C:H self-mated contact when the fully formulated oil was used. Similarly, the tribofilm is rich in calcium carbonate. Moreover, the amorphous calcium carbonate crystallizes to calcite at high pressure. Friction tests were also conducted with the corresponding base oil blending with 1wt% of the detergent additive to elucidate if potential interactions with other lubricant additives like ZDDP compound play a significant role. Interestingly, the friction reduction at high contact load was observed for each tribo-pair and the tribofilms were found again to be rich in calcium carbonate. The amorphous calcium carbonate crystallizes to calcite at high contact pressure. These findings revealed that the friction coefficient of an interface lubricated in the presence of calcium carbonate detergent can decreased with the applied load. Such anomalous behavior is accompanied by a structural change among the crystalline polymorphs, calcite, aragonite and vaterite.

Keywords: Diamond-Like Carbon (DLC) coatings, fully formulated oil, contact pressure effect, overbased detergent additive, calcium carbonate crystal allotropes

Etude de l'impact du détergent surbasé dans un lubrifiant formulé pour un contact impliquant du DLC : Contrôle du frottement par la modification de la structure induite par la charge

Résumé

Depuis plus d'une décennie, les revêtements en carbone de type diamant (DLC) sont appliqués sur des composants coulissants à l'intérieur des moteurs à combustion interne, tels que les cames, les poussoirs, les galets et les segments de piston. L'objectif de l'utilisation de tels revêtements est de réduire les pertes d'énergie dues au frottement dans les moteurs. Ces revêtements sont lubrifiés à l'aide d'huiles moteur traditionnelles initialement conçues pour les composants en acier. Cependant, peu d'études ont été réalisées pour comprendre les propriétés tribologiques de contacts impliquant des revêtements en DLC en présence d'huiles entièrement formulées.

Dans ce travail, des essais tribologiques ont été réalisés en utilisant des contacts impliquant un DLC de type a-C:H et un lubrifiant commercial entièrement formulé, le contact acier/acier ayant été utilisé comme référence. Les essais ont mis en évidence un effet particulier de la pression de contact sur les performances tribologiques des tribo-systèmes étudiés. Avec configuration bague-sur-disque utilisée pour simuler le piston-segment-cylindre d'un moteur à combustion, il a été mis en évidence que le coefficient de frottement diminuait étrangement en fonction de la pression de contact en régime de lubrification mixte/ limite pour le contact mixte acier/a-C:H. Les analyses de surface ont montré que le tribofilm était riche en carbonate de calcium et que sa structure cristallographique s'est avérée dépendre de la charge. La vaterite a été trouvée à faible charge, l'aragonite à charge moyenne et la calcite à charge élevée. Cette transformation cristalline n'a pas été observée pour le contact acier/acier, pour lequel le niveau de frottement augmente en fonction de la pression de contact et le contact a-C :H/a-C:H présente un comportement intermédiaire.

Afin de mieux comprendre l'effet de la pression de contact sur le comportement en frottement des différents tribo-systèmes, des essais de frottement complémentaires ont été réalisés en utilisant un tribomètre réciproque avec une configuration bille-sur-disque standard. Une réduction du frottement a été observée sous forte charge pour le couple a-C:H/a-C:H en présence de l'huile entièrement formulée. Une fois encore, le tribofilm obtenu s'est avéré être riche en carbonate de calcium et être sous la forme de calcite. Afin d'étudier les potentielles interactions entre le détergent et les autres additifs de lubrification de l'huile formulée, tels que le ZDDP, qui peuvent intervenir sur la structure du carbonate de calcium, des essais de frottement ont également été effectués avec l'huile de base avec 1% en poids de détergent. Dans ce cas, une réduction de frottement a été observée à haute pression pour tous les contacts étudiés. Le tribofilm s'est révélé très riche en carbonate de calcium et, une nouvelle fois sous forme calcite à haute pression de contact. Ces résultats révèlent que le coefficient de frottement d'une interface lubrifiée en présence d'un détergent à base de carbonate de calcium peut être piloté avec l'augmentation de la charge appliquée. Ce comportement particulier s'accompagne d'un changement structural des polymorphes cristallins, la calcite, l'aragonite et la vaterite.

Mots-clés : Revêtements Diamond-Like Carbon (DLC), huile formulée, effet de la pression de contact, additif surbasé détergent, allotropes du carbonate de calcium.