

Une nouvelle approche du comportement du lubrifiant dans un contact fortement chargé

Gonon Marjolaine

LaMCoS – Laboratory of Contacts and Structures Mechanics, INSA de Lyon,
France - ED MEGA

Supervisor: Martinie Laetitia, Philippon David and Vergne Philippe

Résumé : Cette recherche doctorale porte sur le comportement des lubrifiants dans les contacts lubrifiés fortement chargés (pression > 1 GPa), ou contacts EHD (élastohydrodynamiques), un aspect vital de l'ingénierie et de l'industrie. Sous une charge aussi élevée, le coefficient de frottement (= force tangentielle/charge normale) mesuré dans ces contacts peut présenter un régime de plateau à des vitesses de glissement moyennes ou élevées des surfaces solides. Cela signifie que la contrainte de cisaillement moyenne macroscopique devient indépendante de la vitesse de cisaillement, associée dans la littérature à la contrainte de cisaillement limite du lubrifiant (LSS). Cependant, les mécanismes physiques qui régissent le frottement restent aujourd'hui en cours de recherche. Les travaux antérieurs suggèrent que le plateau de frottement pourrait résulter soit du glissement du lubrifiant à l'interface de la paroi, soit de la formation de bandes de cisaillement dans le film de lubrifiant ou bien encore de la transition vitreuse du lubrifiant. Des simulations récentes de dynamique moléculaire ont révélé des profils de vitesse du lubrifiant homogènes et linéaires sur toute l'épaisseur du film de lubrifiant, même dans le régime de plateau de frottement, sans glissement au niveau des parois. Cela implique que le plateau de frottement devrait résulter d'une propriété intrinsèque du lubrifiant, rappelant le scénario de la transition vitreuse du lubrifiant.

La présente étude porte sur trois fluides modèles : le squalane, le benzoate de benzyle et le glycérol. Ces fluides ont été caractérisés dans une cellule à enclume de diamant à haute pression et un rhéomètre. Deux installations de spectroscopie de diffusion de la lumière Brillouin ont été utilisées : TFP-1 (ILM, Villeurbanne) et le spectromètre VIPA installé pendant la thèse à l'INSA de Lyon à Villeurbanne. Les résultats obtenus avec le nouvel appareil VIPA ont été comparés à ceux du TFP-1 et à ceux de la littérature. Les résultats des expériences à haute pression ont été comparés aux mesures de friction effectuées précédemment sur le squalane et le benzoate de benzyle. L'étude montre une corrélation entre la transition vitreuse de ces fluides et l'apparition du plateau de frottement dans les contacts EHD.

Cette recherche fait progresser notre compréhension du frottement dans les contacts lubrifiés fortement sollicités et souligne l'importance de prendre en compte la dynamique locale lors de l'étude de fluides complexes dans des conditions extrêmes. Ces connaissances pourraient permettre d'améliorer le développement des lubrifiants et de relever les défis liés au frottement dans les domaines de l'ingénierie et de l'industrie.

Mots clés : Contrainte limite de cisaillement, contacts lubrifiés fortement chargés, cellule à enclume de diamants, transition vitreuse, mesure in situ.

A new approach of lubricant behavior in highly loaded contact

Abstract: This doctoral research focuses on lubricants behavior in highly loaded lubricated contacts (pressure > 1 GPa), or EHD (elastohydrodynamic) contacts, a vital aspect of engineering and industry. Under such high load, the friction coefficient (= tangential force/normal load) measured in these contacts may display a plateau regime at medium to high sliding velocities of the solid surfaces. It means that the macroscopic average shear stress becomes shear rate independent, associated in the literature to the lubricant Limiting Shear Stress (LSS). Yet, the physical mechanisms governing friction remain poorly understood. Previous work provided by the literature suggested that the friction plateau could result from either the lubricant sliding at the wall interface, shear bands forming in the lubricant film, or the lubricant glass transition. Recent molecular dynamic simulations revealed homogeneous and linear lubricant velocity profiles across the lubricant film thickness, even in the friction plateau regime, with no sliding at the walls. This implies that the friction plateau should result from an intrinsic property of the lubricant, reminiscent of the lubricant glass transition scenario.

The present study investigates three model fluids: squalane, benzyl benzoate, and glycerol. Those fluids have been characterized in a high-pressure diamond anvil cell—and a rheometer, both combined to two Brillouin light scattering spectroscopy set-ups: TFP-1 (ILM, Villeurbanne) and VIPA spectrometer installed during the PhD at INSA de Lyon, Villeurbanne. The results obtained from the new VIPA rig have been compared to those from TFP-1 and the literature. The results from high-pressure experiments have been compared to friction measurements previously conducted on squalane and benzyl benzoate. The study shows a correlation between the glass transition of these fluids and the onset of the friction plateau in EHD contacts.

This research advances our understanding on friction in highly loaded lubricated contacts and highlights the importance of considering local dynamics when studying complex fluids under extreme conditions. These insights have the potential to improve lubricant development and to address friction-related challenges in engineering and industry.

Keywords: Shear stress, highly loaded lubricated contacts, diamond anvil cell, glass transition, in situ measurement.