

Analyse des conditions de frottement et de lubrification à l'aide d'acides alkylphosphoniques fortement dilués dans une solution hydro-alcoolique.

X. Roizard¹, M. Borgeot^{1,2,3}, A. Buteri², J. Heinrichs⁴, S. Jacobson⁴, J.M. Melot³, F. Lallemand³

1. Institut FEMTO-ST, DMA, UMR 6174, CNRS UBFC ENSMM UTBM, F-25 000 Besançon, France

2. APERAM Isbergues, Research Center, BP 15 F-62330 Isbergues, France

3. Institut UTINAM, UMR 6213, CNRS UBFC, F-25 009 Besançon cedex, France

4. Tribomaterials Group, The Ångström Laboratory, Uppsala University, SE-751 21 Uppsala

MOTS CLES

Lubrification, Acides alkylphosphoniques, Emboutissage, Tribofilm

INTRODUCTION

Par expérience, certains matériaux sont délicats à mettre en forme par déformation plastique du fait de leur forte propension à engendrer un transfert de matière de la pièce vers l'outil, menant ainsi très vite au phénomène catastrophique de grippage. On peut citer comme exemple les aciers inoxydables, les alliages d'aluminium, les alliages de cuivre ou encore de titane. Ainsi, une excellente lubrification est souvent requise pour mener à bien cette opération. Hélas, les lubrifiants les plus efficaces sont aussi les plus nocifs vis-à-vis de l'environnement puisque contenant des sulfures ou des chlorures qui réagissent chimiquement avec la surface afin de créer des tribofilms performants jusqu'à très faible contrainte limite de cisaillement.

C'est pourquoi de nos jours il est primordial de développer une nouvelle génération de lubrifiants, basé sur des traitements de surface - suivant une voie plus écologique, afin d'éviter l'utilisation des lubrifiants additivés, écotoxiques, faiblement biodégradables, suspectés de provoquer des cancers et difficiles à enlever des surfaces des pièces embouties.

Une des voies possibles est de fonctionnaliser les surfaces par greffage de molécules organiques via des techniques d'auto-assemblage qui ont été fortement développées ces dernières années. A titre d'exemple, la surface d'un alliage de cuivre peut être modifiée par des organo-thiols, par des organo-sélénols. ou des organo-phosphoniques. Ces dernières s'avèrent très intéressantes car ayant la capacité de s'auto-assembler spontanément sur les oxydes présents en surface, formant ainsi des liaisons chimiques fortes avec le substrat.

RESULTATS

L'originalité de cette étude est d'utiliser ces molécules organiques en tant que nanoparticules présentes dans un solvant approprié et anodin vis-à-vis de l'environnement (solution hydro-alcoolique). Ainsi, lorsqu'un métal est plongé dans cette solution, un tribofilm se forme rapidement sur les surfaces sollicitées en frottement, conduisant à une réduction importante des efforts de frottement.

Tout d'abord, une étude exploratoire a été réalisée sur un substrat modèle de cuivre pur, réduit puis ré-oxydé de manière contrôlée. Différentes concentrations en molécules d'acides d'organo-phosphoniques, de différentes longueurs de chaîne alkyle ont été testées dans le but de quantifier d'une part l'effet des molécules et, d'autre part de connaître la cinétique de formation des tribofilms. Pour cette étude a été principalement utilisé un tribomètre de type pion-plan circulaire pour lesquels les essais ont été réalisés dans le solvant pur, dans le solvant contenant des molécules actives dissoutes ou encore avec une incorporation différée des molécules.

En guise d'exemple, la figure 1 présente les résultats d'une fonctionnalisation d'un substrat cuivreux par des acides butyl-phosphoniques. Une gamme de concentration particulière a conduit à la fois à des efforts de frottement faible mais également à très peu de transfert sur le frotteur.

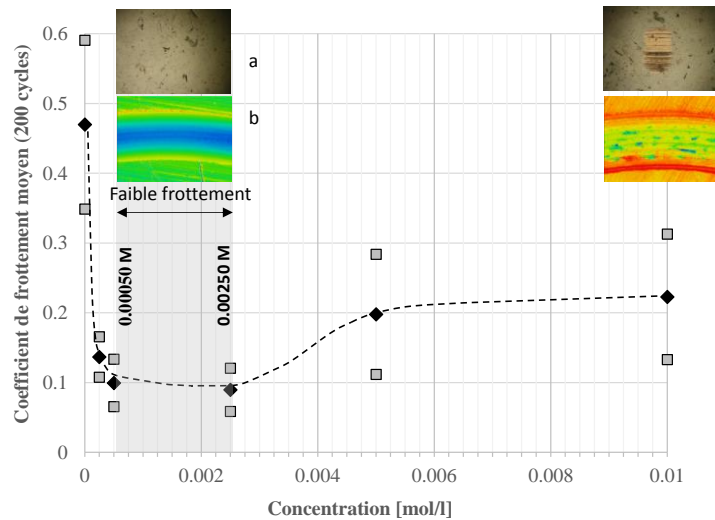


Figure 1: Cuivre pur ; évolution du coefficient de frottement moyen (200 cycles, $V=0.01ms^{-1}$, $P=10N$) en fonction de la concentration en molécules actives (C4P ici). Les carrés représentent l'incertitude des mesures. Les billes en 100Cr6 utilisées comme frotteur (images optiques a) et les traces (images optiques b) correspondent aux concentrations de [0.001M] et [0.01M].

Nous avons exploré dans un second temps la réponse en frottement d'un acier inoxydable ferritique (1.4509) dans les mêmes conditions expérimentales que précédemment, afin d'apprécier au mieux les cinétiques de greffage ainsi que les différents mécanismes permettant d'expliquer les bons comportements tribologiques observés. La formation d'un tribofilm en surface a ainsi été mise en évidence avec certitude. Un réel effet cicatrisant du point de vue frottement a également été observé lors de l'incorporation de molécules actives en cours d'essais (figure 2).

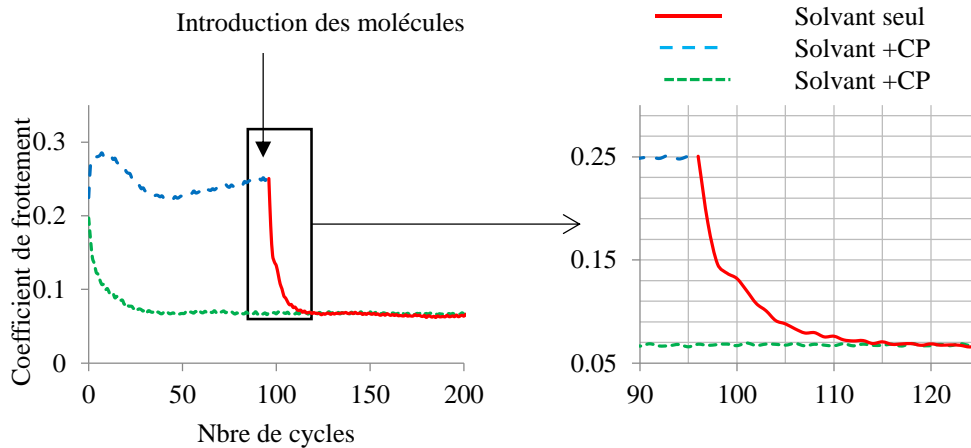


Figure 2: Acier ferritique inoxydable ; évolution du coefficient de frottement moyen (200 cycles, $V=0.01ms^{-1}$, $P=10N$) en fonction du nombre de cycles. La courbe bleue correspond à des conditions de frottement lubrifié dans le solvant pur durant 100 cycles, puis sont introduites les molécules (courbe rouge). Par comparaison un essai a été effectué avec des molécules présentes dans le solvant dès le début de l'essai (courbe verte).

CONCLUSION

Ces résultats permettent de conclure quant au fort potentiel de ce type de lubrification écologique pour la mise en forme de divers métaux oxydables, en lieu et place des huiles minérales usuelles souvent additivées.