

FROTTEMENT SUR SURFACE DE POLYMERES VITREUX : ROLE DE PARAMETRES THERMOMECHANIQUES ET TOPOLOGIQUES

C. Gauthier, A. Rubin

Université de Strasbourg, Institut Charles Sadron, CNRS UPR 22, 23 rue du Loess, 67034 Strasbourg

MOTS CLES

Frottement, Polymère, Vieillissement, Rugosité

INTRODUCTION

Le coefficient de frottement apparent est le rapport entre la force tangentielle et la force normale imposée à l'objet qui se déplace et si l'aire vraie de contact est connue dans sa forme et étendue, le coefficient de frottement vrai local peut être estimé. Les polymères vitreux sont des matériaux hors équilibre dont les propriétés mécaniques évoluent avec leurs âges, ayant une affinité à l'humidité, dont les surfaces ne sont pas nettoyables sans risquer d'en modifier les propriétés de plasticité ou d'adhésion, ayant des réponses mécaniques fortement non linéaires et dépendant de la température et de la vitesse, et pouvant avoir subi au cours du procédé d'élaboration une orientation structurale qui engendre une orthotropie ou anisotropie de leurs comportements mécaniques. Il est donc illusoire de vouloir prédire un coefficient de frottement. Par contre l'influence de ces paramètres pris un à un sur le coefficient de frottement peut être étudiée. Au cours de ces 20 dernières années, nous avons développé un ensemble d'études portant sur le frottement sur surfaces de polymères amorphes vitreux (PMMA et PC notamment) sur des échantillons rajeunis et vieillis, avec différentes conditions de pression de contact, de température et de vitesse, des frotteurs de rayons et de rugosités contrôlés, un modèle d'analyse de la déconvolution du frottement apparent en une composante d'obstacle et de scission interfaciale, et pu analyser des résultats expérimentaux sans être modèle dépendant grâce à l'instrumentation développée qui permet d'accéder in situ à l'aire de contact.

PREPARATION DES ECHANTILLONS ET DES BILLES

Les échantillons utilisés sont du PMMA coulé industriel (ATUGLAS, très haute masse) et du PC commercial. Le nettoyage s'est effectué sans solvant, par un ponçage aux papiers abrasifs (jusqu'au grade 12000) afin d'éliminer les couches contaminées présentes sur la surface. Afin d'obtenir un échantillon rajeuni et une surface d'étude de bonne qualité optique (lisse), ils ont été comprimés sous presse, entre deux plaques de verre à une température supérieure de 50°C à leur température de transition vitreuse pendant 2h et en les écrasant d'environ 30%. Après refroidissement, les échantillons sont stockés à une température constante de 30°C et un taux d'humidité inférieur à 5%, jusqu'au moment de l'essai. Le temps écoulé entre le passage sous la T_g lors de la préparation de l'échantillon et l'instant de l'essai représente le temps de vieillissement de l'échantillon.

Différents profils de topographie nanométrique ont été réalisés sur des billes rigides sphériques de différents rayons, en cherchant des profils plutôt coniques à extrémités sphériques pour analyser leurs effets sur la rhéologie interfaciale. La texturation de billes en verre borosilicaté est obtenue par attaque chimique. Différentes valeurs de Rugosité rms des pointes sphériques ont ainsi pu être estimées dans une gamme (0.7nm - 110 nm), après mesure de la topographie par AFM en mode contact.

VIEILLISSEMENT STRUCTURAL ET RAJEUNISSEMENT DU FROTTEMENT

Le frottement vrai local μ est estimé à partir des mesures des forces normales et tangentielles et des informations géométriques en utilisant un modèle de déconvolution du frottement qui sera présenté [1]. Les résultats montrent, que pour un PMMA jeune, la contrainte de cisaillement en fonction de la pression de contact évolue linéairement pour les pressions de contact élevée (de l'ordre de la contrainte d'écoulement plastique). Plus le vieillissement augmente, moins cette linéarité est évidente et pour un échantillon très vieux, elle disparaît. On remarque que pour l'échantillon très vieux, la contrainte de cisaillement tend à retrouver la valeur obtenue pour un échantillon jeune, lorsque le contact devient complètement plastique. La figure 1 représente le coefficient de frottement vrai en fonction de la pression de contact normée [2]. Trois domaines de pression sont visibles : pour des pressions de contact normées faibles, le coefficient de frottement local tend vers des valeurs élevées supérieures à 1. Pour des valeurs moyennes de pression de contact normée, une diminution de la valeur du coefficient de frottement vrai

est observée avec le temps de vieillissement. Finalement, pour des pressions de contact très élevées, où le contact est totalement plastique, le coefficient de frottement vrai tend vers une unique valeur d'environ 0.45, quel que soit l'âge de l'échantillon. Le rajeunissement physique du frottement est étroitement lié à l'apparition de la plasticité dans la surface de contact.

INFLUENCE DE LA RUGOSITE DU FROTTEUR SUR LE FROTTEMENT

Su PC, un jeu de pointe lisse de rayon compris entre 51mm et 1,5 mm (témoin – $R_{rms} = 0,7nm$) a permis de mettre en évidence une évolution remarquable avec une courbe maîtresse de frottement indépendante des rayons des billes. Dans ce cas, le frottement diminue avec l'augmentation de la pression de jusqu'à une valeur seuil pour les contacts plastiques de 0.45. Cette valeur est comparable à celle mesurée pour le PMMA pour des conditions comparables. Lorsque la rugosité de la bille augmente faiblement (bille de $R_{rms} = 5nm$), on observe une faible diminution du coefficient de frottement dans le domaine des contacts élastiques. Au-delà de ce seuil, l'augmentation de la rugosité diminue le coefficient de frottement et l'explication est que les nanorugosités participent activement à la portance des billes : il règne localement une pression supérieure à la valeur moyenne mesurée, et les scissions locales modifient la valeur moyenne du frottement. Si ces points de nanocontacts sont plastiques, la valeur locale de la contrainte interfaciale « moyenne » est celle obtenue pour les hautes pressions mesurées pour la bille lisse (coefficient de frottement de 0,45). Les pics locaux de pression à faible scission interfaciale permettent de faire baisser la valeur moyenne de la contrainte de scission interfaciale et donc le coefficient de frottement. Un modèle micromécanique a été développé pour expliquer ceci [3].

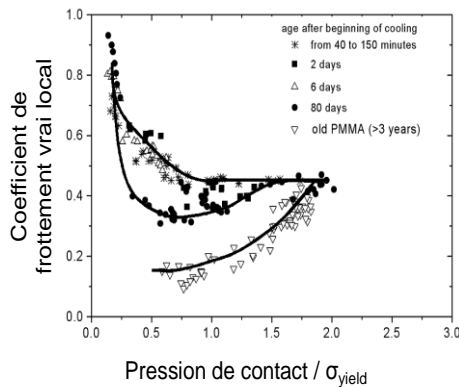


Figure 1 : Frottement vrai en fonction de la pression de contact normée pour différents temps de vieillissement du polymère.

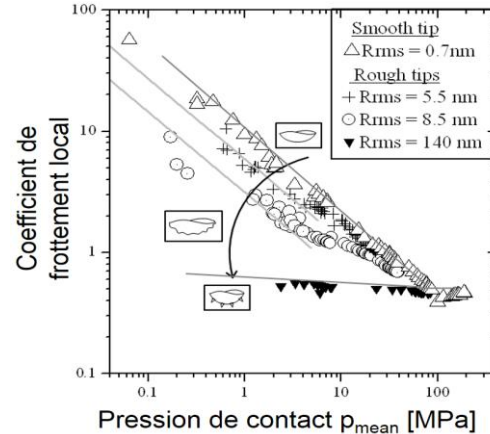


Figure 2 : Coefficient de frottement en fonction de la force normale pour les différentes billes.

CONCLUSIONS

Les résultats majeurs sont que le coefficient de frottement vrai peut vieillir, que l'évolution de la scission interfaciale en fonction de la pression de contact n'est pas linéaire, ce qui pose le problème de la définition du coefficient de frottement telle qu'elle est habituellement établie, et qu'il existe un domaine de pression locale élevée où le coefficient de frottement est bien coulombien. Quel que soit l'âge du polymère, aux très grandes déformations plastiques, lorsque le contact est totalement plastique, le coefficient de frottement vrai tend vers une valeur unique pour le PMMA et le PC $\mu = 0.45$. Un rajeunissement physique de la surface de polymère peut être obtenu durant l'essai si la plasticité apparaît à la surface. Un protocole de préparation a été développé pour obtenir des jeux de billes de différents rayons et de différentes rugosités, ces rugosités devant avoir entre quelques nanomètres et une centaine de nanomètres. Sur des surfaces de PC nettoyées et rajeunies physiquement, il a été montré :

- l'existence d'une courbe maîtresse du frottement quelle que soit le rayon du frotteur pour les billes lisses,
- qu'aux faibles pressions de contact, le coefficient de frottement peut prendre des valeurs importantes,
- que ces essais confirment qu'une rugosité nanométrique peut modifier les valeurs du coefficient de frottement local même pour une très faible pression de contact,
- et que dans le domaine des pressions moyennes de contact élastiques, les nanorugosités diminuent le coefficient de frottement.

Références

- [1] C. GAUTHIER, S. LAFAYE, R. SCHIRRER, "A Surface Flow Lines Models of a Scratching Tip: apparent and true local friction coefficients." Tribology International, Vol. 38, (2005) 113-127
- [2] E. CHARRAULT, C. GAUTHIER, P. MARIE and R. SCHIRRER, "Structural recovery (physical ageing) of the friction coefficient of polymers", Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics 2008 46 (13), pp. 1337-1347
- [3] A. RUBIN, C. GAUTHIER, R. SCHIRRER "Analysis of the effect of nano-roughness on the friction of a vitreous polymer", Wear (2013) 303 (1-2) pp. 40-48.