

Comportement en usure de deux polymères thermoplastiques semi-cristallins le PET et le PTFE

S. TOUMI^a, M. SALVIA^a, S. FOUVRY^a

a. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes Ecole Centrale de Lyon

sana.toumi@doctorant.ec-lyon.fr

Résumé :

L'utilisation de polymères thermoplastiques ne cesse de s'accroître dans le domaine des contacts dans différents secteurs d'activité tels que l'aéronautique, l'automobile, l'offshore et les applications biomédicales. Ceci est notamment dû à leur légèreté, leur non-corrodabilité par rapport aux métaux et à la réduction du coefficient de frottement. [1_2]

Dans ce travail, le comportement au frottement de deux polymères thermoplastiques semi-cristallins, le poly-téréphtalate d'éthylène (PET) et le polytétrafluoroéthylène (PTFE), en contact avec un alliage de titane (TA6V) est étudié à l'aide de la configuration cylindre-plan. Un plan en alliage de titane de rugosité initiale de $0.8\mu\text{m}$ se déplace horizontalement sur des poinçons cylindriques en polymère avec une charge normale (200N) et un débattement ($\pm 500\mu\text{m}$) fixes à température ambiante et en contact sec. L'influence de différents paramètres a été étudiée : nombre de cycles (20 000-1 000 000), rugosité du corps antagoniste ($0.3\text{-}2\mu\text{m}$) et fréquence (0.5-5Hz).

Après frottement, les mécanismes d'usure sont analysés par interférométrie (figure1), FTIR (spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier), EDXA (analyse élémentaire aux rayons X), MEB (microscopie électronique à balayage), puis analysés, quantifiés et interprétés en se basant sur une approche énergétique.

Les comportements physicochimiques et thermomécaniques des polymères sont aussi analysés (DSC : Calorimétrie différentielle à balayage, DMA : Analyse mécanique différentielle). Ces essais ont mis en évidence en particulier une transition cristalline du PTFE au voisinage de $19\text{-}30^\circ\text{C}$ ainsi que le phénomène de cristallisation froide du PET. En outre, les essais DMA ont montré qu'à température ambiante et la fréquence de 1 Hz le PET présente un comportement plus rigide que le PTFE avec un module de Young de 3500MPa alors que le PTFE a un module de Young de 400MPa .

Les essais menés à nombre de cycles croissants, toutes choses étant égales par ailleurs ($f=1\text{Hz}$, $P=200\text{N}$, $\delta=\pm 500\mu\text{m}$, $R_{a\text{-TA6V}}=0.8\mu\text{m}$) ont permis d'établir le caractère linéaire de l'évolution de la cinétique d'usure (variation du volume d'usure en fonction du nombre de cycles) pour les deux matériaux. Le PTFE présente une usure plus importante que le PET (coefficient énergétique d'usure $\alpha_{\text{PET}}=10^{-6}\text{mm}^3/\text{J}$ et $\alpha_{\text{PTFE}}=10^{-4}\text{mm}^3/\text{J}$). En outre, le coefficient du frottement stabilisé du PTFE est nettement plus faible que celui du PET ($\mu_{\text{PTFE}}=0.1$; $\mu_{\text{PET}}=0.35$). Ceci peut s'expliquer par la différence de la morphologie cristalline de ces deux polymères étudiés [3-4]. En effet, l'observation microscopique des traces d'usure du PTFE a mis en évidence une structure lamellaire avec formation d'un tribofilm du polymère sur le TA6V par juxtaposition de copeaux d'usure dans la direction du glissement. En ce qui concerne le PET, qui se caractérise par une structure sphérolitique, l'observation microscopique montre la présence d'une couche de transfert granuleuse formée sur le plan en TA6V

avec la présence de débris éjectés de part et d'autre de la trace d'usure. Ce mécanisme de transfert caractéristique des polymères thermoplastiques à structure sphérolitique est communément appelé « lumpy transfer » dans la littérature [5]. Les analyses FTIR et EDXA réalisées pour les deux systèmes ont confirmé la formation de la couche de transfert de polymère sur le corps antagoniste.

Ainsi, l'ensemble de ces résultats permet de conclure que les deux matériaux étudiés, qui ont des structures morphologiques différentes, présentent deux types d'usure bien distincts: une usure adhésive pour le PET et une usure abrasive pour le PTFE.

Les modes d'usure ne sont pas affectés par une modification de fréquence dans la gamme (0.5-5 Hz). Cependant on note que l'usure et le transfert augmentent avec la fréquence .

Afin d'étudier l'effet de la rugosité (R_a) du corps antagoniste (TA6V), des traitements de polissage (poli-miroir) et de sablage (particules de corindon de taille 50, 100 et 250 μ m) ont été réalisés. La gamme de rugosité obtenue varie entre 0.3 et 2 μ m. Les essais menés ($f=5$ Hz, $P=200$ N, $\delta=\pm 500$ μ m) ont montré que l'augmentation de la rugosité du contre-corps s'accompagne pour le PTFE d'une augmentation du transfert conduisant à une réduction de l'usure. L'augmentation de la rugosité diminue l'éjection des débris d'usure en dehors de la trace et favorise l'usure pour le PET. Des essais complémentaires à différentes fréquences dans la gamme d'étude sont en cours pour confirmer cette tendance.

Mots clefs : Usure, polymère thermoplastique, EDAX, thermo- mécanique

Abstract:

Wear of thermoplastic polymers is one of major issues in several engineering fields. Nowadays, these materials are increasingly used, generally in contact with harder counterface, in various areas such as offshore, aeronautic, automotive as load-bearing materials [1] and biomedical applications [2] in order to reduce wear, friction and avoid lubrication. The aim of this work is the analysis of the wear and friction behavior of unfilled PET or PTFE sliding against a flat titanium alloy

The worn-out volume and the surface roughness are estimated by 3D laser profilometer. Scanning Electron Microscopy (SEM) and EDXA (Energy-Dispersive X-ray Analysis) are carried out for microstructural characterization (figure 1). In parallel, mechanical and thermal analysis, Dynamic Mechanical Analysis (DMA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC), were performed on PET and PTFE samples.

DMA tests proved the viscoelastic behavior of both PET and PTFE with a phase change detected for PTFE within a temperature of 19°C in DSC thermograms.

PTFE abrasion increases with the number of cycles of the fretting loading. It presents a high wear rate with a mechanism of wear debris thinning out. On the other hand, PET presents low wear rate abrasion with a mechanism of PET debris spraying (Lumpy transfer [5]). These differences in mechanism of film-transfer, formed by these two polymers when sliding over titanium alloy, are mainly due to their crystalline structure [3-4].

PTFE and PET wear rate rises with increasing frequency. Moreover, in case of high frequency, an outstanding rise of PTFE worn out volume was observed comparatively to PET.

Tests evaluating the effect of surface roughness on wear rate showed that increasing the roughness of the counterface for PTFE is accompanied by an increase of the transfer film leading to reduced wear. Whereas, increasing the roughness decreases the ejection of wear debris outside the track and promotes wear for PET. Additional analyses at different frequencies in the range of this study are

underway to confirm this trend and to unveil more details about surface roughness influence on wear behavior of PET and PTFE.

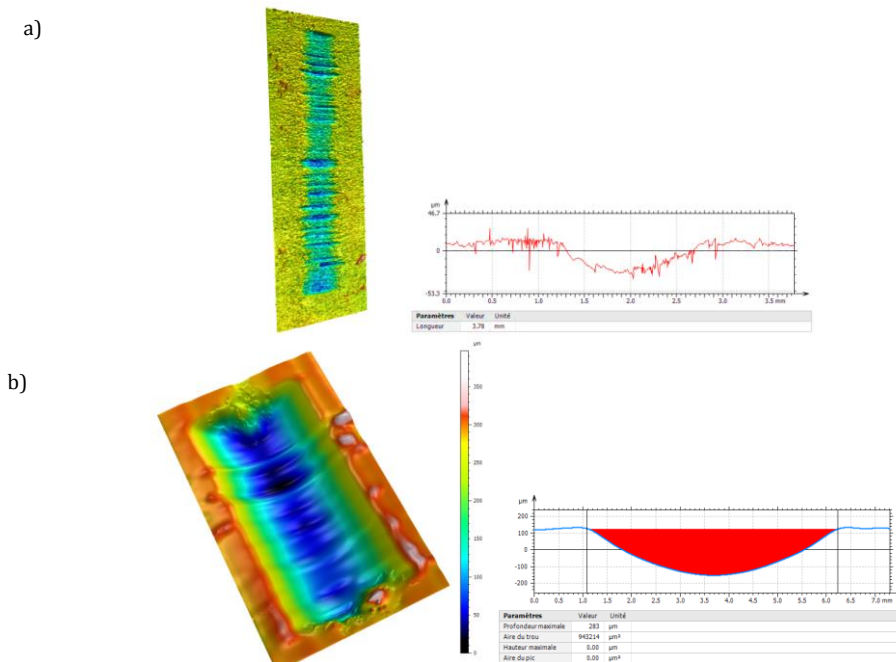


Figure 1: 3D et 2D profils du PET (a) et PTFE (b): mesure de la surface et du volume usés ($P=200\text{N}$; $\delta=\pm 500\mu\text{m}$; $f=5\text{Hz}$; $R_a(\text{TA6V})=0.8\mu\text{m}$; N1 000 000 cycles; contact sec; température ambiante)

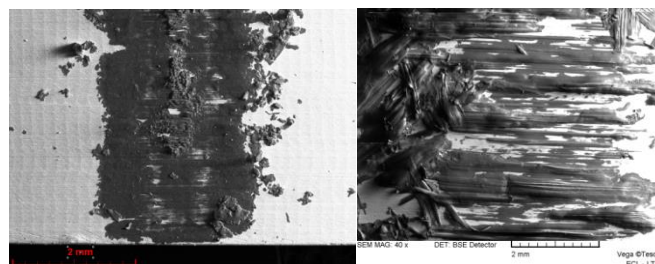


Figure 2: Images MEB du film du transfert du PET (gauche) et du PTFE (droite) ($P=200\text{N}$; $\delta=\pm 500\mu\text{m}$; $f=5\text{Hz}$; $R_a(\text{TA6V})=0.8\mu\text{m}$; N 750 000 cycles; contact sec; température ambiante)

Références

- [1] T.J. Hoskinsa, K.D. Dearn, Y.K. Chen and S. Kukureka, The wear of PEEK in rolling–sliding contact – Simulation of polymer gear applications, *Wear* (2014) 35–42.
- [2] G.W. Stachowiak and A.W. Batchelor, *Engineering Tribology*, Butterworth Heinemann, Melbourne, Australia, 2005.
- [3] KYUICHIRO TANAKA, YOSHITAKA UCHIYAMA and SATORU TOYOOKA, The mechanism of wear of polytetrafluoroethylene, *Wear*, 23 (1973) 153-172
- [4] C.W. Bunn and E.R. Howells, Structures of molecules and crystals of fluorocarbons, *Nature*, Vol. 174, 1954, pp549-551
- [5] J.M. Thorpe, tribological properties of selected polymer matrix composites against steel surfaces, *Composite Material science*, 1986, pp89-135