



HAL
open science

Etude de la formation de tribofilm dans un contact électrique métallographitique glissant par spectroscopie Raman

Timothée Doutriaux, Siegfried Fouvry, Maria-Isabel De Barros Bouchet, Sébastien Larousse, Manon Isard

► To cite this version:

Timothée Doutriaux, Siegfried Fouvry, Maria-Isabel De Barros Bouchet, Sébastien Larousse, Manon Isard. Etude de la formation de tribofilm dans un contact électrique métallographitique glissant par spectroscopie Raman. Journées Internationales Francophones de Tribologie (JIFT) 2023, May 2023, Lille, France. hal-04138748

HAL Id: hal-04138748

<https://hal.science/hal-04138748>

Submitted on 23 Jun 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude de la formation de tribofilm dans un contact électrique métallographitique glissant par spectroscopie Raman

T. Doutriaux^{1,2}, S. Fouvry¹, M. de Barros¹, S. Larousse² et M. Isard³

1. LTDS, CNRS UMR 5513, Ecole Centrale de Lyon, 36 av Guy de Collongue, 69134 Ecully Cedex, France

2. Everaxis Industries, 18 Rue de Montréal, BP 439, Ville la Grand, ANNEMASSE, 74108, France

3. Everaxis Aerospace & Defence, 5 Avenue Denis Papin, BP36, LE PLESSIS-ROBINSON, 92350, France

MOTS CLES

Collecteur électrique ; patine, tribofilm, spectroscopie Raman, usure, graphite

INTRODUCTION

Dans un contexte d'urgence climatique et de crise énergétique, l'intérêt croissant pour les énergies renouvelables, et en particulier l'éolien, amène à des besoins de plus en plus poussés en termes de performance et de durée de vie. La compréhension et l'optimisation des mécanismes d'usure des contacts glissants, utilisés notamment pour les collecteurs électriques, deviennent ainsi nécessaires. Les collecteurs « à contact » utilisant des balais métallographitiques glissant sur des bagues métalliques ont déjà fait l'objet d'études, et la création d'une « patine » – lit de débris transférés sur la surface de la bague – y a notamment été mise en évidence [1], [2]. Cependant, les mécanismes tribologiques amenant à la formation de cette patine ainsi que son influence sur la qualité du signal électrique transmis sont des sujets encore peu consensuels.

Dans cette optique, l'étude tribologique d'un contact électrique métallographitique glissant a été réalisée, à l'aide de moyens de caractérisation de surface tels que la microscopie optique, la Microscopie Electronique à Balayage (MEB), la spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX) ou la spectroscopie Raman. Ces analyses physico-chimiques de surface permettent de mieux comprendre les mécanismes tribologiques de transfert à l'échelle micrométrique, et de quantifier l'arrangement cristallin du graphite transféré.

MATERIEL ET METHODES

L'étude du contact électrique glissant a été réalisée sur un banc de test d'une structure proche de l'application industrielle (Figure 1). Le banc permet d'étudier 12 contacts en simultanément. Des bagues en bronze sont empilées le long de l'axe de rotation, isolées électriquement les unes des autres. Sur chacune d'entre elles glissent deux balais, composés d'argent (majoritairement) et de graphite, montés sur l'ensemble stator. Les conditions de l'essai sont parfaitement identiques pour chacun des 12 contacts.

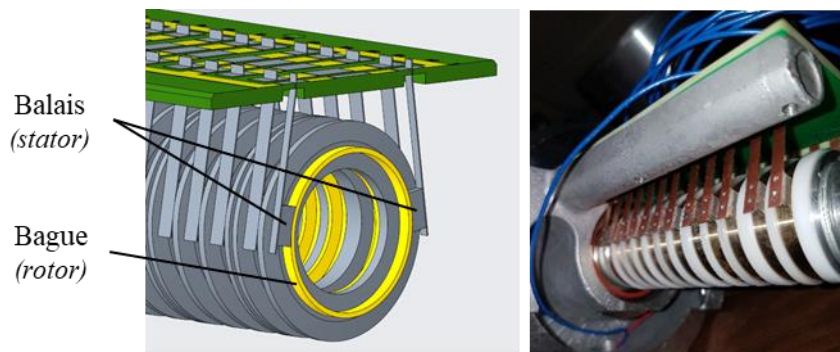


Figure 1. Vue 3D (à gauche) et photo (à droite) du banc de test

Le prélèvement d'une bague après un certain nombre de rotations permet d'obtenir un état arrêté du contact à cette durée de vie. En prélevant successivement les différentes bagues après des durées de vie croissantes, il est possible d'établir une évolution du contact, tant en termes de mécanismes de transfert que de structure et de composition de la patine.

Tout particulièrement, la spectroscopie Raman est une méthode de caractérisation qui permet d'estimer le degré d'organisation cristalline d'un graphite. Le rapport des intensités I_D/I_G des pics D et G sur le spectre d'un graphite est inversement proportionnel à l'arrangement cristallin de ce dernier. La Figure 2 montre le spectre d'un graphite HOPG (*Highly Oriented Pyrolytic Graphite*), connu pour avoir une structure graphitique très pure et très peu fautée. Le spectre présente donc un pic D très faible et donc un rapport I_D/I_G proche de 0, caractéristique de ce type de matériau. Pour des graphites moins purs et plus fautés on peut observer différentes évolutions sur le spectre, dont la plus remarquable est l'augmentation de l'intensité du pic D. Cet indicateur est l'un de ceux qui permet de quantifier l'évolution de la structure de la patine au cours de la vie du contact.

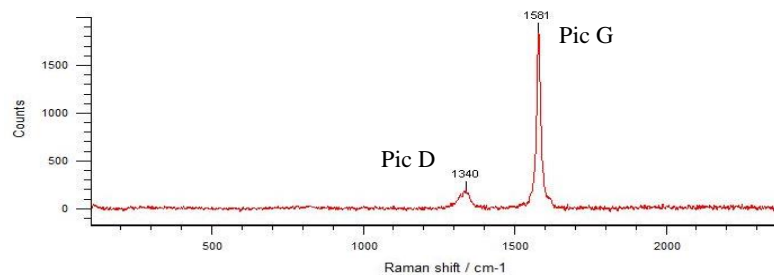


Figure 2. Spectre Raman d'un échantillon de HOPG (*Highly Oriented Pyrolytic Graphite*). Sa structure graphitique très peu fautée est caractéristique d'un rapport I_D/I_G proche de 0.

RESULTATS

La Figure 3 présente l'évolution du rapport I_D/I_G calculé à partir des spectres obtenus sur la surface des bagues après différentes durées de vie. Deux tendances claires ressortent de cette évolution :

- Entre 0 et 30 000 tours, il semble que le transfert à la surface de la bague soit dans un régime d'organisation cristalline progressive, comme le suggère la diminution du rapport I_D/I_G ;
- Après 30 000 tours, le rapport devient globalement constant et suit une asymptote jusqu'à la durée de vie maximale atteinte par nos essais (6 millions de tours).

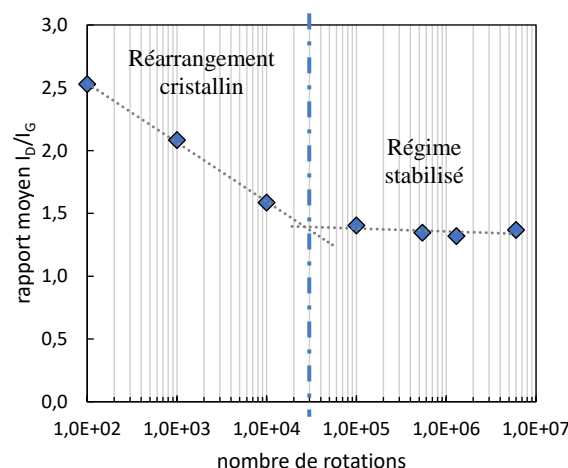


Figure 3. Evolution du rapport des intensités I_D/I_G du signal Raman du graphite sur la surface de la bague en fonction du nombre de rotations effectuées

Malgré la stabilité cristalline du graphite passés 30 000 tours, les analyses en microscopie optique montrent que les transferts continuent d'évoluer même après 5 000 000 de rotations. Sur la Figure 4 on

peut voir l'homogénéité des transferts évoluer, ainsi que leur épaisseur moyenne, qui croît jusqu'à 100 000 tours puis diminue à nouveau jusqu'à 5 000 000 de tours (confirmé par des mesures en profilométrie interférométrique).

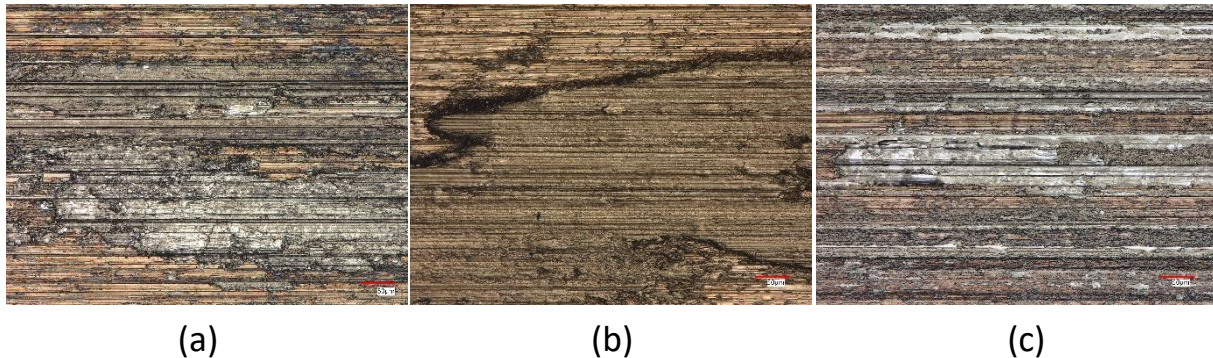


Figure 4. Images en microscopie optique de transferts sur bagues après 10 000 tours (a), 100 000 tours (b) et 5 000 000 de tours (c)

CONCLUSION

Les analyses en spectroscopie Raman de l'état de la patine à différentes durées de vies ont permis une meilleure compréhension de l'état cristallin de cette dernière au cours de la rotation. Il semble que le comportement se divise en deux phases : une étape de transfert de débris graphitiques et de réarrangement cristallin progressif entre 0 et 30 000 tours, puis une seconde phase stabilisée où la patine semble avoir atteint sa structure finale. Le passage successif des balais sur les transferts joue probablement un rôle dans le réarrangement cristallin du graphite, en compactant les débris d'usure pulvérulents déposés à la surface. Cependant l'homogénéité des transferts et leur épaisseur continuent clairement d'évoluer, même après 5 000 000 de tours. Le comportement de la patine semble donc plus complexe, et un comportement cyclique de construction-destruction est probable [3].

L'évolution microstructurale de la patine, qui est localisée au sein du contact électrique, joue probablement un rôle dans la qualité et la stabilité de ce dernier. Le suivi de la résistance de contact au cours de la rotation fait l'objet d'une étude actuellement et permettra de corréler l'état de la patine à l'échelle microscopique, détaillée ici, avec la performance électrique, macroscopique, du contact. Des mesures de conductivité électrique à l'échelle nanométrique par C-AFM (Conductive-Atomic Force Microscopy), sont aussi prévues pour estimer les caractéristiques électriques intrinsèques de cette patine.

Références

- [1] S. Dillich et D. Kuhlmann-Wilsdorf, « Effects of Surface Films on the Performance of Silver-Graphite (75 wt% Ag, 25 wt% C) Electric Brushes », *IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manufact. Technol.*, vol. 3, n° 1, p. 37-41, mars 1980, doi: 10.1109/TCHMT.1980.1135600.
- [2] J. Johnson, « Sliding Monolithic Brush Systems for Large Currents », *IEEE Trans. Comp., Hybrids, Manufact. Technol.*, vol. 10, n° 1, p. 3-17, mars 1987, doi: 10.1109/TCHMT.1987.1134711.
- [3] M. V. R. Skov Jensen, « Long-term high resolution wear studies of high current density electrical brushes », in *Proceedings of the Fifty-First IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, 2005.*, Chicago, IL, USA: IEEE, 2005, p. 304-311. doi: 10.1109/HOLM.2005.1518261.