

INFLUENCE DES CARBURES INTERGRANULAIRES INDUITS PAR LA NITRURATION SUR LA PROPAGATION DE FISSURES DE FATIGUE DE CONTACT D'ACIER ALLIE POUR ENGRENAGE

Marion LE¹, Fabrice VILLE¹, Xavier KLEBER², Jean-Yves BUFFIERE², Jérôme CAVORET¹, Marie-Christine SAINTE-CATHERINE³, Laurence BRIANCON⁴

1. LaMCoS, INSA de Lyon - 69621 Villeurbanne, France

2. Mateis, INSA de Lyon - 69621 Villeurbanne, France

3. DGA - 92220 Bagneux Cedex

4. DCNS Research. Indret - 44620 La Montagne, France

MOTS CLES

Fatigue de contact avec roulement, Acier allié, Nitruration gazeuse, Liserés de carbures intergranulaires, Engrenages

INTRODUCTION

La nitruration gazeuse est un traitement thermo-chimique permettant d'améliorer les propriétés mécaniques des surfaces des composants. En effet, les phénomènes métallurgiques provoqués par la diffusion de l'azote vers le cœur des pièces, induisent une augmentation de la dureté superficielle et introduisent des contraintes résiduelles de compression, dont les effets sont reconnus pour retarder l'initiation de fissures et ralentir leur propagation. Par ailleurs, la norme ISO 6336-5 [1] autorise une large gamme de taille de grain de l'acier avant traitements thermiques. Cependant la nitruration de certains aciers alliés, comme la nuance 33CrMoV12-9 pour engrenage, génère dans la couche nitrurée un réseau de liserés de carbures intergranulaires parallèles à la surface [2] dont la densité des précipités et leurs longueurs dépendent de la taille de grain. Bien que les propriétés mécaniques de couches nitrurées ayant différentes tailles de grain et de précipités soient identiques [3], il semble intéressant d'étudier l'influence de ces liserés de carbures aux joints de grain sur les mécanismes de propagation des fissures.

ETUDES EXPERIMENTALES

La Machine Bi-Disques de fatigue est utilisée dans le cadre de cette étude pour simuler le contact entre les dentures d'engrenages [4]. Plus précisément, les conditions de contact ont été calculées de manière à reproduire une défaillance d'engrenage : l'écaillage initié en surface. Les essais se limitent à trois couches nitrurées dont les propriétés mécaniques sont les mêmes, mais dont les caractéristiques microstructurales diffèrent. Après essais les galets sont démontés de la machine. Des échantillons contenant des réseaux de fissures sont extraits, polis et attaqués chimiquement pour permettre les observations de coupes 2D aux microscopes. La tomographie à rayons X [5] a aussi été employée pour observer le réseau de fissures en 3D dans l'échantillon sans le détruire.

RESULTATS

L'ensemble des galets nitrurés présentent sur leurs pourtours un seul écaillage initié en surface avec propagation de fissures en sous-couche. Les résultats montrent que le nombre de cycles avant l'apparition de cette défaillance en surface diminue lorsque la taille de grain et donc la taille des liserés de carbures augmentent. Les micrographies 2D attestent que la propagation des fissures est plus rapide

dans ce cas [6]. Ces micrographies 2D mettent également en valeur deux mécanismes de propagation au sein d'un réseau de fissures pour les microstructures nitrurées. Pour l'un des deux mécanismes de propagation, des liserés de carbures longent certaines portions de fissures. Pour les microstructures grossières dont les carbures sont en faible densité dans la couche nitrurée et sont non continus dans la direction de la profondeur, la propagation des fissures reste superficielle. Ces précipités semblent alors avoir un impact sur le comportement des fissures en fatigue de contact. Les analyses menées sur le réseau de fissure en 3D apportées par la tomographie valident ces constats. Il apparaît que proche du site d'initiation, c'est-à-dire au centre du contact, les fissures de faibles longueurs propagent le long des carbures intergranulaires dans la couche nitrurée. Lorsque les dimensions du réseau de fissures s'étendent, les précipités affectent le trajet des fissures seulement si les contraintes induites par le contact sont faibles.

CONCLUSION

Les résultats d'essais testant trois couches nitrurées ayant les mêmes propriétés mécaniques mais différentes microstructures ont démontré l'influence des liserés de carbures intergranulaires générés par le traitement thermo-chimique. En effet, lorsque ces précipités sont en forte densité, ils facilitent la propagation des réseaux de fissures de faibles dimensions, sous condition que ces fissures propagent dans un volume du matériau où les contraintes induites par le contact sont faibles. Ainsi, les couches nitrurées ayant de courts liserés de carbures résistent mieux à l'apparition d'écaillage initiée en surface avec propagation profonde de fissures, comparées aux couches présentant des longs précipités. Dans le cas des couches nitrurées dont les précipités sont très longs mais en très faible densité, la résistance à l'écaillage est davantage faible car la propagation des fissures est d'autant plus rapide, mais ces dernières restent en proche surface.

Références

- [1] Iso 6336 - 5 : Calculation of load capacity of spur and helical gears - part 5: Strength and quality of materials, 2003.
- [2] L. Barrallier, V. Traskine, and S. Botchenkov. Morphology of intergranular cementite arrays in nitrided chromium-alloyed steels. *Materials Science and Engineering: A*, 393(1–2):247–253, 2005.
- [3] S. Jegou. *Influence des éléments d'alliage sur la genèse des contraintes résiduelles d'aciers nitrurés*. PhD thesis, Arts et Métiers ParisTech, 2009.
- [4] F. Ville, D. Nélias, G. Tournalias, L. Flamand, and P. Sainsot. On the two-disc machine: A polyvalent and powerful tool to study fundamental and industrial problems related to elastohydrodynamic lubrication. In *Tribology Series*, volume 39, pages 393–402. Elsevier, 2001.
- [5] J.Y. Buffiere, E. Maire, J. Adrien, J.-P. Masse, and E. Boller. In situ experiments with x-ray tomography: an attractive tool for experimental mechanics. *Experimental Mechanics*, 50(3):289–305, 2010.
- [6] M. Le, F. Ville, X. Kleber, J. Cavoret, M.C. Sainte-Catherine, and L. Briancon. Influence of grain boundary cementite induced by gas nitriding on the rolling contact fatigue of alloyed steels for gears. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 2015.