



**HAL**  
open science

## **Influence des carbures intergranulaires induits par la nitruration sur la propagation de fissures de fatigue de contact d'acier allié pour engrenage**

Marion Le, Fabrice Ville, Xavier Kleber, Jean-Yves Buffière, Jérôme Cavoret, Marie-Christine Sainte-Catherine, Laurence Briancon

► **To cite this version:**

Marion Le, Fabrice Ville, Xavier Kleber, Jean-Yves Buffière, Jérôme Cavoret, et al.. Influence des carbures intergranulaires induits par la nitruration sur la propagation de fissures de fatigue de contact d'acier allié pour engrenage. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03444923

**HAL Id: hal-03444923**

**<https://hal.science/hal-03444923v1>**

Submitted on 23 Nov 2021

**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.

# Influence des carbures intergranulaires induits par la nitruration sur la propagation de fissures de fatigue de contact d'acier allié pour engrenage

M. Le<sup>a,b,d</sup>, F. Ville<sup>a</sup>, X. Kleber<sup>b</sup>, J-Y. Buffière<sup>b</sup>, J. Cavolet<sup>a</sup>, M-C. Sainte-Catherine<sup>c</sup>, L.Briancon<sup>d</sup>

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

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

c. DGA - 92220 Bagneux Cedex

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

## Résumé :

*La nitruration gazeuse est une technologie utilisée par les fabricants d'engrenages pour traiter la surface des dentures dans le but d'en améliorer les propriétés mécaniques et d'augmenter la longévité des composants face, entre autre, à la fatigue de contact avec roulement. Certains aciers alliés présentent cependant des réseaux de carbures dans la couche nitrurée. Ces précipités ont la particularité de se retrouver aux joints de grain relativement parallèles à la surface, dont les coupes métallographiques perpendiculaires à la surface leur ont attribué les surnoms de « liserés de carbures » ou de « cheveux d'anges ». De plus, ils constituent des zones d'hétérogénéités à prévenir lors de la nitruration des pièces selon certains auteurs. De par le manque de travaux sur l'impact réel de ces précipités sur la fatigue, la présente étude propose des analyses de résultats d'expériences en fatigue de contact avec roulement. Des observations de réseaux de fissures en 2D et en 3D mettent en évidence l'influence des précipités sur la propagation des fissures. Ces constats permettent de mieux comprendre la divergence des comportements en fatigue de couches nitrurées de propriétés mécaniques équivalentes mais de microstructures différentes en termes de morphologies des liserés de carbures qui dépendent de la taille de grain de l'acier de base. Cela remet en question les modèles de durée de vie en fatigue ne prenant pas en compte les caractéristiques microstructurales du matériau.*

## Abstract

*Gas nitriding is a thermochemical treatment widely used by gear manufacturers to enhance the mechanical properties of the components in order to improve their Rolling Contact Fatigue (RCF) resistance. Nitriding some alloyed steels however induces the precipitation of carbides at grain boundaries, specifically flat compared with the treated surfaces, which are often considered as defects although there is no evidence of this in the literature. This study therefore consists in experimentally investigating the RCF resistance of various nitrided layers with similar mechanical properties but different intergranular carbide network morphologies. 2D and 3D analysis of the RCF crack networks within the nitrided layers reveal that the precipitates affect the crack growth. These observations finally allow to better understand the number of cycle difference before failure of the tested nitrided layers, and call into question the RCF life prediction models which do not take into account the microstructural properties of the material.*

## **Mots clés : Fatigue de contact avec roulement, Acier allié, Nitruration gazeuse, Liserés de carbures intergranulaires, Engrenages**

### **1 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.

### **2 Etudes expérimentales**

#### **2.1 Machine Bi-Disques de fatigue**

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.

#### **2.2 Procédure d'analyses**

Des interruptions au cours des essais permettent d'observer l'évolution des défauts de fatigue en surface des galets nitrurés.

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 découper.

### **3 Résultats**

#### **3.2 Résistance à l'écaillage initié en surface**

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 (Figure 1). Les micrographies 2D attestent que la propagation des fissures est plus rapide dans ce cas [6].

#### **3.2 Influence des liserés de carbures intergranulaires**

Les micrographies 2D mettent en valeur deux mécanismes de propagation au sein d'un réseau de fissures pour les microstructures 1 et 2. A plus fort grossissement, des liserés de carbures longent

certaines portions de fissures pour l'un des deux mécanismes de propagation. Pour la microstructure 3 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 (Figure 1). 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. De plus, elles dévoilent l'influence combinée de ces précipités, de la dimension du réseau de fissure, et du champ de contraintes de contact sur la propagation. Ainsi 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'élargissent, les précipités affectent le trajet des fissures seulement si les contraintes induites par le contact sont faibles.

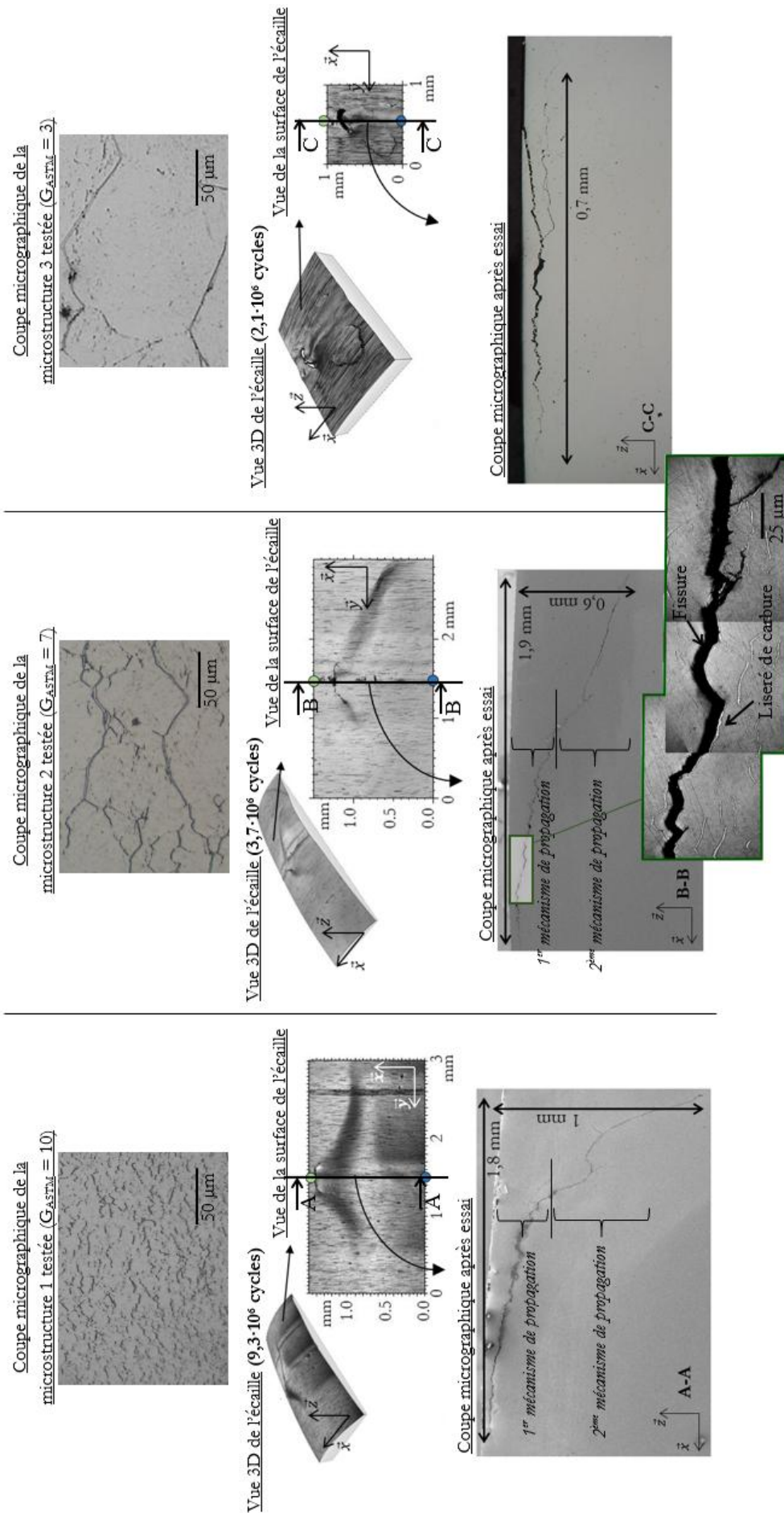


Figure 1. Résistance à l'écaillage initié en surface des trois microstructures testées ayant les mêmes profils de dureté et de contraintes résiduelles de compression

## 4 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 thermochimique. En effet, lorsque ces précipités sont en forte densité dans la couche nitrurée, ils facilitent la propagation des fissures vers le cœur lorsque celles-ci sont de petites dimensions et lorsqu'elles 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 propagation des fissures est d'autant plus rapide mais reste en proche surface, résultant d'une résistance très faible à un écaillage superficiel.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'ANRT (subvention n°5/2012/DGA) et la DGA pour leur contributions financières des travaux, ainsi que BODYCOTE pour la nitruration des éprouvettes d'essais.

## 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. Cavolet, 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.