

# Modification de la morphologie du graphite pour l'amélioration de la durée de vie des disques de frein poids lourd

## Graphite morphology modification for improvement of truck brake disc lifespan

M. Collignon<sup>1,2,3,4</sup>, A.-L. Cristol<sup>1,2,4</sup>, Y. Desplanques<sup>1,2,4</sup>, P. Dufrénoy<sup>1,3</sup>, G. Regheere<sup>5</sup> et D. Balloy<sup>1,2,4</sup>

<sup>1</sup> Univ Lille Nord de France, 59000 Lille, France

<sup>2</sup> ECLille, LML, 59650 Villeneuve d'Ascq, France

<sup>3</sup> USTL, LML, 59650 Villeneuve d'Ascq, France

<sup>4</sup> CNRS, UMR 8107, 59650 Villeneuve d'Ascq, France

<sup>5</sup> Centre Technique des Industries de la Fonderie (CTIF), 92318 Sèvres, France

**Abstract.** The truck brake disc lifespan can be limited by a premature failure induced by the thermo mechanical solicitations occurring during braking. This study proposes a solution by a material approach consisting in the modification of the graphite morphology. The behavior of evolved materials is tested under braking and thermal fatigue solicitations with comparison to an grey cast iron used in service.

**Résumé.** La durée de vie des disques de frein pour applications poids lourds peut être limitée par une fissuration prématurée induite par les sollicitations thermomécaniques subies par le disque en condition de freinage. La présente étude propose une réponse matériau basée sur la modification de la morphologie du graphite. Le comportement des matériaux innovés est comparé en condition de freinage et de fatigue thermique à celui d'une fonte à graphite lamellaire utilisée en service.

### INTRODUCTION

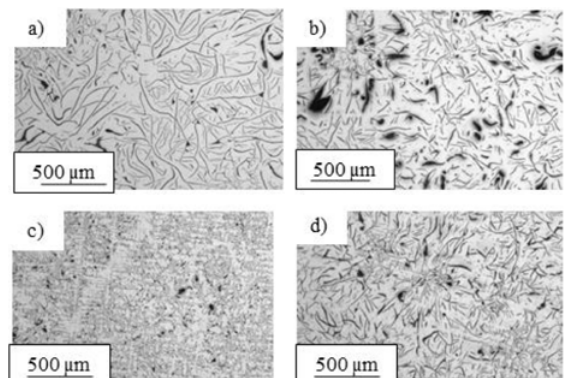
La fissuration prématurée est l'un des problèmes majeurs pour la durée de vie des disques de frein poids lourd en fonte à graphite lamellaire. Cette fissuration étant due à l'effet d'entaille en extrémité de lamelle activé par les sollicitations thermo mécaniques induites par freinage, une voie d'amélioration réside dans la modification de la morphologie du graphite. La présente étude propose d'étudier deux fontes, à l'azote et à gradient de microstructure, présentant une modification des lamelles de graphite et de tester leurs comportements vis-à-vis de l'endommagement induit en freinage et de la fissuration par fatigue thermique.

### MATÉRIAUX

Le matériau utilisé comme référence est celui utilisé en service : une fonte à graphite lamellaire (longueur  $500\ \mu\text{m}$ ) et à matrice perlitique (Fig. 1a).

Les fontes à morphologie de graphite modifiée sont obtenues par procédé confidentiel à la fonderie du CTIF.

La fonte à l'azote présente des lamelles de graphite courbées et réduites en longueur ( $200\ \mu\text{m}$ ) distribuées de manière homogène dans une matrice de perlite (Fig. 1b). La fonte à gradient de microstructure présente des microstructures différentes entre la surface et le cœur de la pièce. En surface, elle possède une matrice perlitique et des dendrites de perlite résultant de l'austénite primaire, les lamelles de graphite interdendritique ayant une longueur de  $100\ \mu\text{m}$  (Fig. 1c). A cœur, la matrice est perlitique et les lamelles de graphite sont plus longues ( $300\ \mu\text{m}$ ) (Fig. 1d).

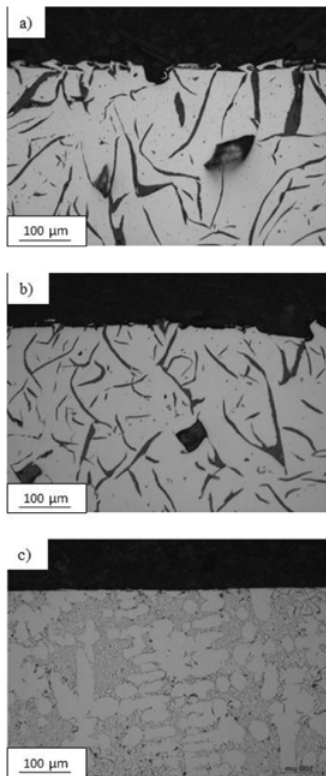


**Figure 1.** Morphologie du graphite a) fonte de référence, b) fonte à l'azote, c-d) fonte à gradient de microstructure en surface et à cœur.

### ENDOMMAGEMENT EN FREINAGE

Les trois fontes sont soumises à des essais de freinage sur tribomètre à échelle réduite développé au LML [1]. Le disque a un rayon moyen de frottement de  $100\ \text{mm}$  avec une largeur de piste de  $17\ \text{mm}$ . La garniture est extraite d'une garniture semi-métallique utilisée en service. Elle a une forme de secteur couvrant  $1/9$  de la piste de frottement. Les essais sont composés de freinages d'arrêt et de freinages de ralentissement avec cumul de chaleur.

La Figure 2 présente des observations réalisées en coupe perpendiculairement au sens de glissement après essais de freinage. Pour la fonte de référence (Fig. 2a),

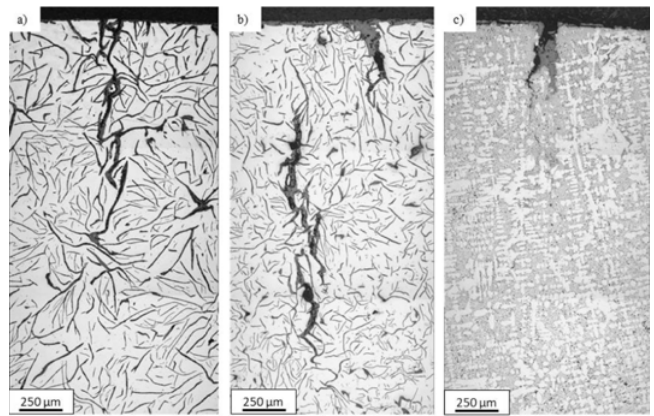


**Figure 2.** Microstructure en coupe après essais de freinage : (a) fonte de référence, (b) fonte à l'azote, (c) fonte à gradient de microstructure.

l'endommagement se compose d'extrusions de la matrice glissant le long des lamelles de graphite qui émergent à la surface. La fonte à l'azote présente le même type d'endommagement à la surface du disque (Fig. 2b) ce qui est cohérent avec la morphologie et la taille des lamelles de graphite identiques à celles de la fonte de référence. A la surface du disque à gradient de microstructure (Fig. 2c), aucun endommagement n'est visible à cette échelle ce qui montre l'impact de la réduction de la taille des lamelles sur l'endommagement.

## RÉSISTANCE EN FATIGUE THERMIQUE

Les trois matériaux sont soumis à des tests de fatigue thermique sur la machine Thermocracks développée au CTIF. Huit éprouvettes sont montées sur une roue de fatigue : elles sont soumises à un chauffage par induction pendant 10 s puis à un refroidissement à l'air de 140 s. Les températures atteintes sont de plus de 700 °C ce qui est en accord avec les températures mesurées lors d'essais préliminaires sur système de frein échelle 1 [2]. La Figure 3 présente les observations menées en coupe après 70 cycles. Les fissures observées sur la fonte de référence et sur la fonte à l'azote (Fig. 3a et b) se propagent le long des lamelles de graphite comme observé usuellement sur les fontes à graphite lamellaire. Les fissures ont une longueur approximative de 2 mm. Il est



**Figure 3.** Fissures après essais de fatigue thermique a) fonte de référence, b) fonte à l'azote, c) fonte à gradient de microstructure.

également à noter qu'une oxydation se développe entre la matrice et les lamelles de graphite depuis la surface vers le cœur de l'éprouvette. La fissure observée sur la fonte à gradient de microstructure est plus courte avec une longueur approximative de 0,6 mm. Elle se propage dans une zone graphitique et présente une oxydation importante. La séparation des zones graphitiques par les dendrites issues de l'austénite primaire constitue une barrière et limite la progression de la fissure en rompant la continuité du réseau de lamelle de la surface vers la profondeur.

## CONCLUSION

La modification de la morphologie des lamelles de graphite dans la fonte à gradients de microstructure a montré des résultats prometteurs pour l'amélioration de la durée de vie des disques de frein poids lourd :

- L'endommagement induit par freinage et caractérisé par des extrusions de la matrice le long des lamelles de graphite n'est pas mis en jeu sur les lamelles raccourcies,
- Lors de sollicitations en fatigue thermique, la propagation des fissures est limitée par la discontinuité du réseau de graphite induit par la présence de dendrites issues de l'austénite primaire.

## Références

- [1] Collignon M., Regheere G. Cristol A.-L., Desplanques Y. and Balloy D., "Braking performance and influence of microstructure of advanced cast irons for heavy goods vehicle brake discs", Proc IMechE Part J ; J Engineering Tribology, 2013, in press.
- [2] Collignon M., Cristol A.-L., Dufrénoy P., Desplanques Y. and Balloy D., "Failure of truck brake discs: a coupled numerical/experimental approach to identify critical thermo-mechanical loadings", Tribology International, 59, 2013, 114–120.