

---

# Étude numérique et expérimentale des contraintes résiduelles de la couche de combinaison d'un acier nitruré

Pierre Arnaud\*<sup>1</sup>, Eva Héripuré<sup>2</sup>, Veronique Aubin<sup>3</sup>, and Siegfried Fouvry<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de mécanique des sols, structures et matériaux (MSSMat) – CNRS - CentraleSupélec, Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS – France

<sup>2</sup>Laboratoire de mécanique des sols, structures et matériaux (MSSMat) – CentraleSupélec, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8579 – CentraleSupélec - 3 Rue Joliot Curie, 91190 Gif-sur-Yvette, France, France

<sup>3</sup>Lab MSSMAT (MSSMAT) – Ecole Centrale Paris – Laboratoire MSSMAT, Ecole CentraleSupélec, F-92295 Châtenay-Malabry, France

<sup>4</sup>Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (LTDS) – CNRS : UMR5513, Ecole Centrale de Lyon, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint Etienne – 36 Avenue Guy de Collongue, 69134 Ecully Cedex, France

## Résumé

Le traitement de nitruration permet d'améliorer les propriétés de surface des aciers par la diffusion de l'azote dans les espaces interatomiques des cristaux de fer. On peut le trouver dans de nombreux articles d'ingénierie des surfaces où ses capacités à améliorer la ténacité, la résistance à l'usure ou au collage sont démontrées (ref 1). Il paraît donc essentiel de bien comprendre les propriétés mécaniques de ce revêtement pour son utilisation dans les domaines de l'industrie.

La nitruration change le volume de la matière par des transformations de phase et des paramètres de maille cristalline et donc génère des contraintes. Dans ces travaux de recherche, nous proposons d'étudier la distribution de ces contraintes résiduelles dans la couche de combinaison ou couche blanche. Cette couche, en extrême surface, est principalement composée de  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>-3(C,N) et de  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N (ref 2) et son épaisseur est de l'ordre de la dizaine de micromètre. Ceci impose l'utilisation de méthodes de microscopie électronique pour caractériser les champs de déformation local à l'échelle du micron.

La méthodologie développée est basée sur le couplage de caractérisations expérimentales du perçage incrémentale (ref 3) et de simulation éléments finis des essais (EF). Du fait que la couche soit de très faible dimension, les découpes et les observations sont réalisées au MEB-FIB. En premier lieu, une optimisation par EF du diamètre de perçage et de la zone de déformation étudiée a été réalisée. Cette dernière permet de maximiser la relaxation des contraintes et le déplacement observé, tout en restant à l'échelle du revêtement étudié. Ensuite, les essais de perçage incrémental in situ sont réalisés à l'aide d'un rayon d'ions focalisés (FIB) et des images MEB (vu de dessus) sont réalisées à chaque incrément. Ainsi les champs de déplacement sont obtenus par corrélation d'image numériques entre l'état initial

---

\*Intervenant

et l'état relaxé après usinage du trou en fonction de l'incrément de perçage. Finalement, un recalage par simulation EF des champs de déformations en surface est réalisé pour déterminer l'évolution des contraintes résiduelles dans la couche de combinaison à chaque incrément.

Dans ces travaux, deux couches de combinaison ont été étudiées, l'une est uniquement composée de  $\gamma'$  tandis que la seconde présente un mixte de  $\gamma'$  et  $\epsilon$ . Ainsi, une comparaison des couches et des propriétés des phases est proposée.

Ref 1 : C. Bever, Case hardening of steel by nitriding surface protection against wear and corrosion, H.S. Avery, ED. ASM International, Ohio, 1954, p531-548.

Ref 2 : J.L. Dossett, G.E. Totten, Steel heat treating fundamentals and processes, ASM Handbook, Vol 4A, ASM International, Ohio, 2013.

Ref 3 : G.S. Schajer, Relaxation methods for measuring residual stresses : techniques and opportunities, Experimental mechanics 50, 2010, p 1117-1127.

**Mots-Clés:** MEB, FIB, contraintes résiduelles, nitruration, corrélation d'image