

## CARACTERISATION D'ACIERS CARBONITRURES AVEC L'INDENTATION SPHERIQUE

C. Moussa<sup>1,3</sup>, G. Mauvoisin<sup>1,2</sup>, O. Bartier<sup>1,2</sup>, X. Hernot<sup>1,2</sup>, G. Delattre<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>LGCGM, équipe PSM-Indentation, Université de Rennes 1, 20 Avenue des buttes des Coësmes, 35708 Rennes Cedex 7, France

<sup>2</sup>IUT, Université de Rennes 1, 3 Rue de Clos Courtel, 35700 Rennes Cedex

<sup>3</sup>Faurecia Automotive Seating, Le Pont de Vère, 61100 Caligny, France

### RESUME

L'optimisation des facteurs poids/résistance/coût dans le domaine du transport à conduit la Société Faurecia, spécialisée dans l'étude, le développement et la production des mécanismes de sièges pour le secteur automobile, à utiliser des aciers carbonitrurés présentant une surface très dure, capable de résister aux pressions de contact importantes, et un coeur suffisamment ductile pour résister aux chocs. L'étude du comportement de ces mécanismes, notamment en crash test, s'appuie sur des simulations numériques qui nécessitent la connaissance des lois de comportement des aciers carbonitrurés. Pour des matériaux homogènes et isotropes, les paramètres d'une loi de comportement peuvent généralement être obtenus grâce à l'essai de traction. Dans le cas d'un matériau carbonitruré, l'essai de traction ne permet pas d'obtenir ces paramètres en raison de l'évolution de la loi de comportement du matériau en fonction de la distance à la surface. Des travaux antérieurs nous ont permis de démontrer la capacité de l'indentation instrumentée à identifier des paramètres mécaniques de matériaux homogènes et hétérogènes [1-3].

Le but de la présente étude est de développer une démarche s'appuyant sur le test mécanique d'indentation des matériaux pour obtenir l'évolution des propriétés mécaniques en profondeur des aciers carbonitrurés.

La démarche proposée par notre équipe nécessite au préalable la caractérisation du substrat de l'acier carbonitruré. Celui-ci pouvant être considéré comme homogène, la caractérisation du substrat revient à déterminer par indentation 2 paramètres : la limite d'élasticité,  $\sigma_y$  et l'exposant d'écrouissage,  $n$ . Les résultats obtenus montrent que l'indentation, couplée à l'analyse inverse, conduit, pour chaque matériau testé, à une solution unique  $[\sigma_y, n]$ . Une étude théorique couplée à des simulations numériques montre cependant qu'il est possible d'identifier un ensemble de solutions, fonction de l'incertitude expérimentale des essais d'indentation, englobant les solutions obtenues par analyse inverse à partir des différentes courbes expérimentales d'indentation [4]. La comparaison des résultats obtenus par indentation et par traction montre la capacité de l'essai d'indentation à identifier ces paramètres dans le cas d'aciers homogènes.

Concernant les aciers carbonitrurés étudiés, nous avons pu distinguer, une couche en extrême surface dans laquelle les propriétés mécaniques sont constantes et une zone intermédiaire, entre la couche de surface et le substrat, dans laquelle les propriétés mécaniques évoluent [5]. Nous montrons que l'évolution des lois d'écrouissage dans la zone intermédiaire est quasi linéaire. En se basant sur cette évolution, la démarche proposée s'effectue en 3 étapes. Dans une première étape, les propriétés mécaniques du substrat sont caractérisées à partir d'un essai d'indentation instrumentée effectué sur celui-ci. Dans une deuxième étape, les épaisseurs caractéristiques des couches carbonitrurées, délimitant la couche de surface et la zone intermédiaire, sont déterminées à partir du profil de microdureté. Dans une troisième étape, en s'appuyant sur les caractéristiques déterminées lors des 2 premières étapes, l'évolution des paramètres des lois d'écrouissage des couches carbonitrurées est déterminée à partir d'un essai d'indentation effectué sur la surface du matériau carbonitruré. Cette méthode a été appliquée sur différents aciers carbonitrurés. Un exemple de résultat obtenu par la méthodologie proposée est présenté Figure 1.

Un test de validation, dont le principe est assez proche de celui d'un mécanisme de sièges développé par FAURECIA, a été développé et instrumenté dans notre équipe. L'application de ce test sur 2 aciers carbonitrurés permet de valider les résultats obtenus par indentation sphérique et de montrer l'intérêt de la démarche de caractérisation par indentation des aciers carbonitrurés développée dans le cadre de cette étude.

Dans ce travail, nous avons répondu à la problématique de FAURECIA en proposant une méthode de caractérisation par indentation des aciers carbonitrurés qui s'appuie sur l'outil d'analyse inverse. En outre, nous avons défini, dans le cadre de la caractérisation par indentation, de nouvelles notions telles que la déformation représentative moyenne et le domaine de solution, qui, non seulement, clarifient la question de l'unicité de solution en indentation sphérique mais permettent de proposer une nouvelle approche d'identification. Cette nouvelle approche, qui apparaît comme une alternative à la démarche proposée basée sur l'analyse inverse, offre de nouvelles perspectives dans le domaine de la caractérisation mécanique des matériaux par indentation. Nécessitant moins de temps de calcul, elle semble plus appropriée que l'analyse inverse pour la caractérisation des matériaux par indentation. L'avantage supplémentaire est qu'elle donne non seulement une solution mais une famille de solutions qui dépend de l'incertitude expérimentale en indentation.

## Mots Clés

*Indentation sphérique instrumentée, identification, loi d'érouissage, acier carbonitruré*

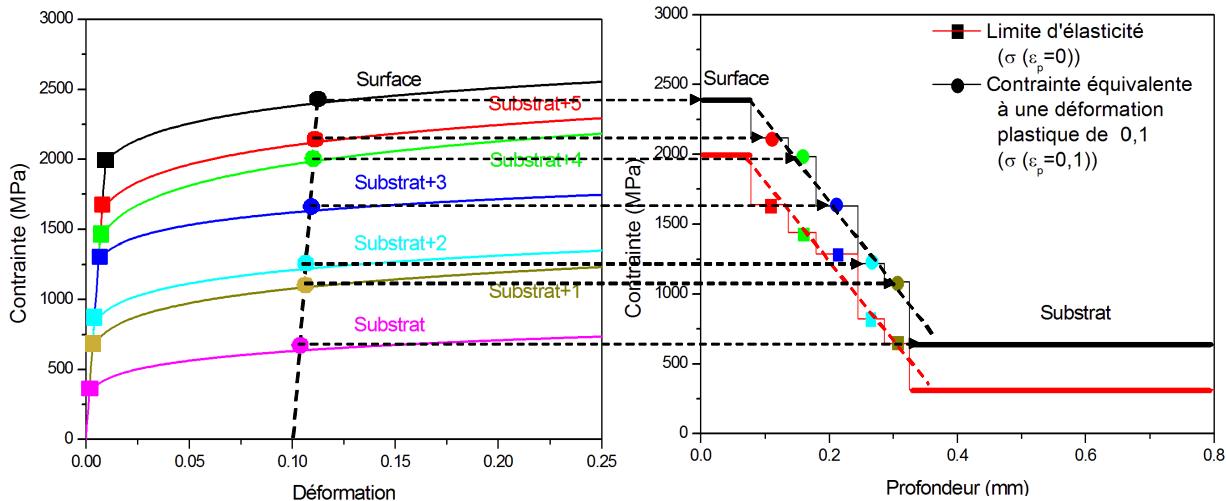


Figure 1 : Evolution de la loi d'érouissage dans les différentes couches carbonitrurées déterminée par indentation instrumentée.

## Références

- [1] A. Nayebi, R. el Abdi, O. Bartier, G. Mauvoisin (2002) "Hardness profile analysis of elasto-plastic heat treated steels with a yield strength gradient", *Materials Science and Engineering A*, **333**, pp. 160-169.
- [2] A. Nayebi, R. el Abdi, O. Bartier, G. Mauvoisin (2002) "New procedure to determine steel mechanical parameters from spherical indentation technique" *Mechanics of Materials*, **34** (4) 243-254.
- [3] J.M Collin, G. Mauvoisin, O. Bartier, R. el Abdi, P. Pilvin (2009) *Experimental evaluation of the stress-strain curve by continuous indentation using different indenter shapes*, *Materials Science and Engineering A*, **501**, pp. 140-145,.
- [4] C. Moussa, X. Hernot, O. Bartier, G. Delattre, G. Mauvoisin (2013) "Evaluation of the tensile properties of a material through spherical indentation: definition of an average representative strain and a confidence domain", *Journal of Materials Science*, **49** (2), 592-603.
- [5] C. Moussa, O. Bartier, G. Mauvoisin, X. Hernot,, J.M Collin, G. Delattre (2014) "Experimental and numerical investigation on carbonitrided steel characterization with spherical indentation", *Surface and Coatings Technology*, **258**, pp. 782-789