



Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/11957>

To cite this version :

Stephania KOSSMAN, Didier CHICOT, Alain IOST - Caractérisation par indentation multi-échelles de matériaux massifs et de garniture de frein - 2016

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : archiveouverte@ensam.eu



CARACTERISATION PAR INDENTATION MULTI-ECHELLES DE MATERIAUX MASSIFS ET DE GARNITURE DE FREIN.

S. Kossman¹, D. Chicot¹, A. Iost²

1 : Université Lille Nord de France, USTL, LML, CNRS, UMR 8107, F-59650 Villeneuve d'Ascq, France

2 : Arts et Métiers ParisTech, MSMP, 8, Boulevard Louis XIV, 59000 Lille Cedex, France

Mots clé

Indentation multi-échelles, matériaux hétérogènes, matériaux massifs

INTRODUCTION

L'indentation instrumentée est une technique répandue et très puissante utilisée pour l'étude des propriétés mécaniques des matériaux, principalement la dureté et le module d'élasticité. Cependant, l'analyse des résultats est une procédure complexe faisant intervenir le type d'appareil utilisé, les conditions expérimentales et le mode d'interprétation des résultats. Ces paramètres ont un impact important sur la détermination de propriétés mécaniques recherchées et sont plus ou moins influents selon les dispositifs expérimentaux utilisés et les domaines de force et de profondeur de pénétration appliqués [1], [2], [3].

Dans cette étude nous utilisons trois appareils d'indentation instrumentée : le nanoindenteur MTS XP (méthode standard ou Continuous Stiffness Measurement), le microindenteur CSM Instruments (méthode standard ou indentation répétée) et le macroindenteur Zwick ZHU 2.5, avec deux types d'indenteurs pyramidaux, Berkovich et Vickers. La gamme de charge étudiée varie entre 20 mN et 2000 N, et les profondeurs indentées de 0,350 à 280 μm .

Le but de cette recherche est d'analyser l'évolution des propriétés mécaniques de matériaux hétérogènes (patin de frein, béton ...) en fonction de l'échelle d'observation (force appliquée et volume concerné) ; mais en raison de la complexité des essais d'indentation, et pour établir des relations entre les différents instruments et échelles de mesure, nous avons décidé d'étudier d'abord des matériaux métalliques massifs homogènes.

ÉTUDE DES MATERIAUX METALLIQUES MASSIFS

La première étape de l'étude comprend des essais à différentes échelles de mesure (de nano à macro : 0,02 – 2000 N) sur différents matériaux massifs supposés homogènes aux échelles de mesure : aciers 304 et 316L, cales étalon en aciers de duretés différentes et alliage d'aluminium. Ces essais ont mis en évidence les différents paramètres jouant un rôle sur les propriétés mesurées, en particulier l'influence de la rigidité de la machine, du défaut de pointe et du mode de déformation (caractérisé par profilométrie optique).

En général, le passage entre les différents instruments et échelles est apprécié par la continuité des valeurs du module d'élasticité ; la dureté étant plus affectée par sa variation en fonction de la charge appliquée. Les propriétés obtenues sont en accord avec les valeurs de la littérature. Les différences apparaissent principalement aux charges proches des limites des appareils, mais peuvent être lissées par diverses méthodes de correction pendant l'étape d'analyse.

Pour chaque instrument cette première étape nous permet de quantifier les incertitudes de mesure, de déduire l'importance relative des différents paramètres sur le calcul du module (méthode de Monte Carlo) et d'établir les protocoles à suivre.

ÉTUDE MATÉRIAU HÉTÉROGÈNE, PATIN DE FREIN

Pour l'analyse des matériaux fortement hétérogènes tels que les patins de frein, nous reprenons la méthodologie développée pour l'étude de matériaux massifs homogènes. Le but final étant la caractérisation du matériau à l'échelle macrométrique ainsi que celle des composants individuels aux échelles nano et micrométriques, nous avons réalisé différents essais sur les patins de frein aux trois échelles nano, micro et macro. Les propriétés mécaniques (module d'élasticité et dureté) et leur dispersion évoluent fortement en fonction de la charge appliquée entre la valeur individuelle de chacun des constituants, aux propriétés macroscopiques obtenues par essais de compression. Une étude statistique a été réalisée sur la base de recherches précédentes [4], [5], pour le développement des propriétés des composants et du matériau.

CONCLUSION

L'étude de l'indentation instrumentée multi-échelles des matériaux massifs a démontré que la détermination des propriétés mécaniques est fortement affectée par des facteurs tels que la rigidité de la machine, le défaut de pointe et le mode de déformation, qui dépendent du type d'instrument utilisé. Après correction, il existe une continuité dans les propriétés mécaniques mesurées obtenues avec les trois dispositifs expérimentaux. Les incertitudes sur le module d'élasticité et la dureté, varient aussi avec l'instrument utilisé.

Cette étude sur les matériaux massifs a permis d'identifier et de prendre en compte les différents paramètres influant la mesure des propriétés étudiées et de développer une méthodologie d'étude pour les matériaux hétérogènes. L'analyse statistique a permis d'estimer les propriétés individuelles de chaque composant du matériau constitutif des patins de frein, l'influence de la répartition géométrique de ces éléments sur les propriétés en fonction de la charge appliquée pendant l'essai d'indentation, et le comportement macroscopique global qui correspond aux résultats obtenus par essais de compression.

Références

- [1] L. Qian, M. Li, Z. Zhou, H. Yang, and X. Shi, *Comparison of nano-indentation hardness to microhardness*, Surf. Coat. Technol., **195** (2–3) pages 264–271, 2005.
- [2] M. R. VanLandingham, *Review of instrumented indentation*, DTIC Document, 2003.
- [3] J. M. Meza, M. C. Farias, R. Souza, and L. J. Riaño, *Using the ratio: maximum load over unload stiffness squared, P_m/S_u^2 , on the evaluation of machine stiffness and area function of blunt indenters on depth-sensing indentation equipment*, Mater. Res, **10**, (4) pages 437-447, 2007.
- [4] F.-J. Ulm, M. Vandamme, C. Bobko, J. Alberto Ortega, K. Tai, and C. Ortiz, *Statistical Indentation Techniques for Hydrated Nanocomposites: Concrete, Bone, and Shale*, J. Am. Ceram. Soc., **90**, (9) pages 2677–2692, 2007.
- [5] G. Constantinides, K. S. Ravi Chandran, F.-J. Ulm, and K. J. Van Vliet, *Grid indentation analysis of composite microstructure and mechanics: Principles and validation*, Mater. Sci. Eng. A, **430**, (1–2) pages 189–202, 2006.