

Un facteur d'échelle en nano et microindentation.

J. Mendoza, F. Roudet, J. Lesage, D. Chicot

Laboratoire de Mécanique de Lille, LML - UMR 8107, U.S.T. Lille,
IUT A GMP, BP 179 - 59 653 Villeneuve d'Ascq, France.

FAX: +33-320-677-321 E-mail address: didier.chicot@univ-lille1.fr

Résumé

En 1998, Nix et Gao ont proposé la théorie du "Strain Gradient Plasticity" pour représenter l'effet de taille en indentation. Cette théorie est basée sur la connaissance des dislocations géométriquement nécessaires pour accommoder la déformation plastique sous l'indenteur. En s'appuyant sur la théorie des dislocations de Taylor, les auteurs expriment le carré de la dureté mesurée, H , en fonction de l'inverse de la profondeur d'indentation, h , comme suit :

$$\left(\frac{H}{H_0}\right)^2 = 1 + \left(\frac{h^*}{h}\right) \text{ où } H_0 \text{ est la macrodureté et } h^* \text{ la longueur caractéristique de l'effet de taille.}$$

En microindentation, cette relation est souvent utilisée car elle représente bien les évolutions des données expérimentales de dureté. De plus, les valeurs expérimentales de H_0 et h^* correspondent tout à fait à celles prédites par le modèle de Nix et Gao. En nanoindentation, la même relation peut être utilisée pour représenter l'évolution de la dureté mais les valeurs des paramètres du modèle ne correspondent plus. C'est pourquoi, en 2006, Huang *et al.* ont étendu le modèle de Nix et Gao aux résultats de la nanoindentation en tentant de représenter les points issus de la nano et de la microindentation par un modèle unique. Ce modèle semble correct mais des écarts existent au passage nano-micro.

Nous montrons finalement que le modèle de Nix et Gao peut valablement s'appliquer sur l'ensemble des données nano et micro si l'uniformité de l'espacement entre les dislocations est prise en compte. En d'autres termes, les paramètres caractéristiques H_0 et h^* en nano et en micro prennent des expressions similaires où seuls diffèrent les coefficients de proportionnalité et la densité de dislocations participant au processus de déformation sous l'indenteur. Pour bien mettre en évidence cette approche originale, nous proposons d'utiliser un nouveau concept que nous appelons « Facteur d'échelle en indentation » (H_{LSF}) exprimé en MPa.m^{1/2} et donc équivalent à une ténacité. Il est proportionnel au produit $H_0 \cdot \sqrt{h^*}$ et, d'un point de vue théorique, au module de cisaillement, μ , et au vecteur de Burgers, b , du matériau, le coefficient de proportionnalité étant fonction de l'arrangement des dislocations.

Dans un premier temps, nous validons ce facteur avec plusieurs matériaux cristallins. La représentation de la valeur expérimentale de H_{LSF} en fonction du produit $\mu \cdot \sqrt{b}$ montre distinctement deux droites relatives aux régimes nano et micrométrique. La différence entre ces deux droites peut parfaitement être expliquée par la théorie de Nix et Gao en ignorant la simplification sur l'uniformité de l'arrangement des dislocations qui n'est plus vérifiée en nanoindentation.

Dans un deuxième temps, nous montrons que ce facteur d'échelle peut être valablement utilisé pour expliquer les différences de comportement observées sur un oxyde de fer soumis à des conditions de chargement variables en indentation instrumentée, principalement les vitesses de chargement et de déchargement. Le résultat est très intéressant car il montre que les paramètres H_0 et h^* ne peuvent être interprétés séparément alors que le facteur d'échelle met en évidence un comportement particulier.