

DETERMINATION DE L'AIRES DE CONTACT PROJETEE REELLE PAR NANOINDENTATION : UTILISATION DE DEUX POINTES A GEOMETRIE DIFFERENTE

G. Guillonnet¹, G. Kermouche², J.-M. Bergheau³ et J.-L. Loubet¹

1. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR CNRS 5513 ECL-ENISE-ENTPE, Université de Lyon, Ecole Centrale de Lyon, 36 Avenue Guy de Collongue, 69134 Ecully Cedex, France

2. Ecole des Mines de Saint-Etienne, Centre SMS, Laboratoire LGF UMR5307, Saint-Etienne, France

3. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR CNRS 5513 ECL-ENISE-ENTPE, Université de Lyon, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne, 58 rue Jean Parot, 42023 Saint-Etienne, France

MOTS CLES

Nanoindentation, aire de contact, pointes, modèles.

INTRODUCTION

La technique de nanoindentation permet de déterminer principalement la dureté et le module d'élasticité des matériaux en surface, à l'échelle du nanomètre. Pour mesurer ces propriétés, il est nécessaire de déterminer précisément l'aire de contact projetée sous charge, entre la pointe et l'échantillon. L'aire de contact projetée est habituellement calculée avec des modèles qui tiennent compte du bourrelet ou de l'affaissement du matériau autour de la pointe. Le modèle le plus communément utilisé est celui développé par Oliver et Pharr [1]. Ce modèle détermine précisément les aires de contact présentant un affaissement autour de la pointe. En revanche, celui-ci ne peut pas tenir compte d'un éventuel bourrelet, ce qui limite le domaine d'utilisation du modèle. Un second modèle a été développé par Loubet et al. [2]. Celui-ci permet de tenir compte du bourrelet et de l'affaissement en nanoindentation pour une large gamme de matériaux, excepté ceux qui sont fortement écrouissables. D'autres techniques de mesure de l'aire de contact peuvent être utilisées, comme par exemple des mesures post-mortem par microscopie à balayage ou par microscopie à force atomique. Cependant ces dernières ne tiennent pas compte du retour élastique ayant lieu lors de la décharge de la pointe, ce qui entraîne une sous-estimation de l'aire de contact, et donc une surestimation des propriétés mécaniques.

PRESENTATION DE LA METHODE DE MESURE DE L'AIRES DE CONTACT PROJETEE REELLE

Une nouvelle technique de mesure de l'aire de contact projetée réelle sera présentée [3]. Elle est basée sur la combinaison de deux modèles d'indentation utilisés normalement pour déterminer la valeur de la contrainte et de la déformation représentatives par nanoindentation (modèle de Dao et al. et modèle de Kermouche et al. [4], [5]). N'étant pas dépendants des modèles classiquement utilisés pour calculer l'aire de contact, cette combinaison permet de tenir compte du bourrelet ou de l'affaissement pour une très large gamme de matériaux, ce qui n'est pas possible avec les modèles classiques. Cette nouvelle méthode requiert l'utilisation de deux pointes tétraédriques : une pointe Berkovich et une seconde pointe dont le demi-angle au sommet est de 50°. Elle requiert la mesure de différents paramètres d'indentation comme la force maximum, la raideur de contact à force maximum et la courbure de la courbe de charge.

PRINCIPAUX RESULTATS

La méthode a été testée sur trois échantillons de matériaux différents : du verre, du PMMA et de l'acier 100Cr6. Les tests d'indentation sur les échantillons de verre et de PMMA ont montré que cette nouvelle technique mesure précisément l'aire de contact projetée. Concernant les essais d'indentation sur l'acier 100Cr6, la méthode a été adaptée pour tenir compte du gradient de dureté en surface nommé Indentation Size Effect (ISE) observé aux très faibles enfoncements. Les valeurs d'aire de contact projetée obtenues par cette méthode ont été comparées à celles obtenues par les modèles classiques. Suivant le matériau, les valeurs obtenues par cette méthode sont plus ou moins proches de celles obtenues par les modèles classiques (voir figure 1).

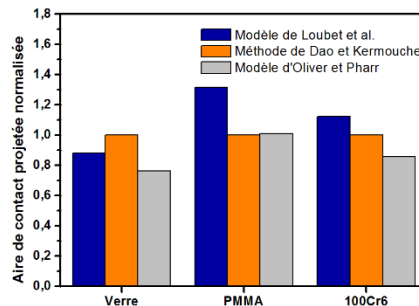


Figure 1: Comparaison entre l'aire de contact normalisée obtenue par la nouvelle méthode (Dao et Kermouche) et celle obtenue avec les modèles classiques.

CONCLUSION

Une nouvelle méthode de mesure de l'aire de contact projetée réelle par nanoindentation a été développée. Elle permet de mesurer l'aire de contact réelle sans émettre d'hypothèse sur celle-ci (bourrelet ou affaissement). Basée sur l'utilisation des modèles de Dao et al. et de Kermouche et al., elle requiert d'effectuer des tests de nanoindentation avec deux géométries de pointe différentes. Les tests sur 3 échantillons ont montré que l'aire de contact était mesurée précisément pour une large gamme de matériaux, y compris lorsque ceux-ci présentent un ISE. La comparaison des résultats avec ceux obtenus par les modèles classiques a permis de confirmer le domaine de validité de ces modèles.

Références

- [1] W. C. Oliver et G. M. Pharr, (1992) « An improved technique for determining hardness and elastic-modulus using load and displacement sensing indentation experiments », *J. Mater. Res.*, **7**(6), p. 1564-1583.
- [2] J. L. Loubet, M. Bauer, A. Tonck, S. Bec, et B. Gauthier-Manuel (1993) « Nano-indentation with a surface force apparatus », *NATO Advanced study institute Series E. M.Natasi*, p. 429-447.
- [3] G. Guillonéau, G. Kermouche, J.-M. Bergheau, et J.-L. Loubet (2015) « A new method to determine the true projected contact area using nanoindentation testing », *ComptesRendusMec.*, **343** (7-8), p. 410-418.
- [4] M. Dao, N. Chollacoop, K. J. Van Vliet, T. A. Venkatesh, et S. Suresh (2001) « Computational modeling of the forward and reverse problems in instrumented sharp indentation », *Acta Mater.*, **49** (19), p. 3899-3918.

- [5] G. Kermouche, J. L. Loubet, et J. M. Bergheau (2005) « An approximate solution to the problem of cone or wedge indentation of elastoplastic solids », *Comptes Rendus Mécanique*, **333** (5), p. 389-395.