

Lettre d'information du GIME

Contact : Gérard Mauvoisin (gerard.mauvoisin@univ-rennes1.fr) ou Guillaume Kermouche (kermouche@emse.fr)

Editorial

Dans ce numéro, vous trouverez comme d'habitude les articles publiés récemment sur l'indentation dont les références nous ont été transmises par les membres du GIME. On y rappelle également les articles publiés dans le journal *Matériaux et Techniques* suite au dernier colloque *Indentation* à Strasbourg. Vous y trouverez par ailleurs diverses informations sur les thèses soutenues, les thèses proposées et les conférences à venir qui peuvent intéresser notre communauté. Un retour sur la conférence ECI « Nanomechanical Testing in Materials Science and Engineering » permet également de souligner les distinctions reçues par certains membres de notre groupe. Enfin, une réflexion est proposée à tous sur la participation à une association inter-laboratoires pour monter un projet sur l'indentation à haute température... un bon sujet de discussion pour notre colloque « Indentation 2016 » à Lille.

Gérard Mauvoisin et Guillaume Kermouche

Vie du groupe

• Thèses soutenues

- Halim Al BAIDA a soutenu sa thèse le 20 novembre 2015 à l'UTBM intitulée « Contribution à l'identification du comportement des matériaux à partir des essais de micro-impact répétés ».
- Liva RABEMANANJARA a soutenu sa thèse le 26 novembre 2015 au LGCGM de Rennes, intitulée « Etude de l'influence de la vitesse de déformation sur la réponse à l'indentation des matériaux polymères ».
- Mohamad IDRIS a soutenu sa thèse le 4 décembre 2015 au LGCGM de Rennes, intitulée « Apport de l'indentation instrumentée dans la caractérisation mécanique des tôles métalliques destinées à l'emboutissage: Influence de l'écroutissage »

Quelques publications récentes du groupe

- D. Staub, S. Meille, V. Le Corre, J. Chevalier, L. Rouleau. "Identification of a fracture criterion of a highly porous ceramic: coupling between numerical and experimental results", *Acta Materialia* 2016, vol.107, pp. 261-272
- Morgane Tanguy, Alain Bourmaud, Christophe Baley. "Plant cell walls to reinforce composite materials: Relationship between nanoindentation and tensile modulus". *Materials Letters* 167 (2016) 161–164.
- K. Pantzas, E. Le Bourhis, G. Patriarche, D. Trodec, G. Beaudoin, A. Itawi, I. Sagnes, A. Talneau. "Locally measuring the adhesion of InP directly bonded on sub-100 nm patterned Si". *Nanotechnology*, **27**, 115707 (2016)
- A. Perrier, E. Le Bourhis, F. Touchard, L. Chocinski-Arnault. "Effect of water ageing on nanoindentation response of single hemp yarn/epoxy composites". *Composite Part A*, **84**, 216 (2016)
- Renner, E., Gaillard, Y., Richard, F., Amiot, F., Delobelle, P., "Sensitivity of the residual topography to single crystal plasticity parameters in Berkovich nanoindentation on FCC nickel ». *International Journal of Plasticity* **77**, 118–140. doi:10.1016/j.ijplas.2015.10.002. 2016
- H. Al Baida, G Kermouche, C. Langlade, R.R. Ambriz, "Identifying the stress–strain curve of materials by microimpact testing. Application on pure copper, pure iron, and aluminum alloy 6061-T651", *Journal of Materials Research*, **30**, 2015, pp. 2222-2230
- G. Guillonéau, G. Kermouche, J.M. Bergheau, J.L. Loubet, "A new method to determine the true projected contact area using nanoindentation testing", *C.R. Mécanique*; **343**, 2015, pp. 410-418.
- E. Barthel, D. Chicot, J.P. Guin, E. Le Bourhis, G. Mauvoisin. "L'indentation : un outil de caractérisation multi-échelle des matériaux ". *SF2M Info* - sept 2014. Disponible sur : http://www.sf2m.asso.fr/VieSF2M/ArticlesSF2M/Article_indentation_sep2014.pdf

Quelques publications récentes du groupe (suite)

- L. Meng, P. Breitenkopf, B. Raghavan, G. Mauvoisin, O. Bartier, X. Hernot. «*Identification of material properties using indentation test and shape manifold learning approach*». *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. Volume 297, 1 December 2015, pp.239–257
- Charbel Moussa, Olivier Bartier, Xavier Hernot, Gérard Mauvoisin, Jean-Marc Collin, Guillaume Delattre. «*Mechanical characterization of carbonitrided steel with spherical indentation using the average representative strain* ». *Materials and Design*, 89 (2016), pp. 1191–1198
- Yetna N'Jock, F. Roudet, M. Idriss, O. Bartier, D. Chicot. « *Work-of-indentation coupled to contact stiffness for calculating elastic modulus by instrumented indentation* ». *Mechanics of Materials*, Volume 94, March 2016, pp.170-179M.

Propositions de thèses

- Sur « La modélisation numérique du circuit tribologique dans les contacts frottants pour les applications du transport » proposée par le Laboratoire de Mécanique de Lille - FRE CNRS 3723, Equipe Contact Surfaces – LAMcube.

Contact :

(Co)-Directeur de thèse : Philippe Dufrenoy E-mail : philippe.dufrenoy@univ-lille1.fr

Co-directeur de thèse : Géry de Saxcé E-mail : gery.desaxce@univ-lille1.fr

Co-Encadrant : Vincent Magnier E-mail : vincent.magnier@polytech-lille.fr

- Sur la « Résistance mécanique des alumines mésoporeuses, influence de la morphologie microstructurale », proposée par l'IFPEN - Solaize (69) et MATEIS de l'INSA de Lyon/Villeurbanne (69). Démarrage souhaité en octobre 2016

Contact :

- Dr. Vincent Le Corre – IFPEN , vincent.le-corre@ifpen.fr , 04 37 70 23 06

- Dr. Sylvain Meille, sylvain.meille@insa-lyon.fr / Pr. Jérôme Chevalier, jerome.chevalier@insa-lyon.fr

Conférences à venir

• FEMS Junior Euromat 2016 –

Event for Young Materials Scientists, July 10-14, 2016

<http://junior-euromat.org/>



• INDENTATION 2016 à Lille

Congrès indentation à Lille du 12 au 14 octobre 2016

Colloque francophone sous l'égide du Groupe d'Indentation Multi-Echelle

<http://conference.mines-douai.fr/indentation2016/>

INDENTAT²⁰¹⁶ION

12 au 14 Octobre 2016 - LILLE



Publications dans *Matériaux & Techniques*, Vol. 103, No. 6 (2015)

Comportements mécaniques sous indentation / Mechanical behaviour under indentation

Published online: 09 December 2015



• Hervé Pelletier and Eric Le Bourhis .

Editorial : Comportements mécaniques sous indentation

- Liva Rabemananjara, Gérard Mauvoisin, Xavier Hernot, Adinel Gavrus and Jean Marc Collin
Formulation de déformation représentative et de vitesse de déformation représentative par indentation sphérique
- Michel Yetna N'Jock, Didier Chicot, Jean Marie Ndjaka, Jacky Lesage, Xavier Decoopman, Francine Roudet and Alberto Mejias. Un critere simple d'identification du mode de déformation par indentation
- Manuel Buisson and Tanguy Rousel. Examen du modèle d'ampoule de E. Yoffe
- Francine Roudet, Didier Chicot, Xavier Decoopman, Alain Iost, Juan Bürgi, Javier García Molleja and Jorge Feugeas . Propriétés mécaniques par indentation d'un film mince nanométrique de nitrure d'aluminium
- Rosine Coq Germanicus, Sophie Eve, Florent Lallemand and Eric Hug . Nanoindentation du Si₃N₄ pour la microelectronique : influence de la sous-couche
- A. Rubin, D. Favier, P. Danieau, J.-P. Chambard and C. Gauthier. Analyse in situ de contact viscoélastique sur polymère vitreux
- Chloé Valantin, Florian Lacroix, Eloi Dion, Clémence Fradet, Firas Eradi and Eric Le Bourhis. Apport de la nanoindentation à l'étude des propriétés mécaniques d'une interface textile/caoutchouc
- Olivier Baudino, Mohamed Saadaoui, Damien Presle, Brice Arrazat, Béatrice Dubois and Karim Inal. Détermination de la dureté de films à nano domaine sur substrat flexible pour l'optimisation de son interconnexion avec une puce.
- Damien Faurie, Soundes Djaziri, Pierre-Olivier Renault, Eric Le Bourhis, Philippe Goudeau, Guillaume Geandier and Dominique Thiaudière. Machine biaxiale sur la ligne de lumière Diffabs pour l'étude des propriétés mécaniques de films minces déposés sur substrats polymères
- Mohamed Bentoumi, Djamel Bouzid, Isabel Hervas and Alain Iost. Étude comparative par indentation des caractéristiques mécaniques de verres sodo-calcique et vitrocéramique rodés et polis par des grains abrasifs liés.

Distinction

La prestigieuse conférence ECI biennale « *Nanomechanical Testing in Materials Science and Engineering* » a eu lieu à Albufeira au Portugal en octobre 2016.

<http://www.engconf.org/past-conferences/2015-conferences/nanomechanical-testing-in-materials-research-and-development-v/>

Cette conférence est l'une de celles qui comptent pour que notre groupe existe à l'international ... et cette année, l'objectif a été largement atteint. Outre le fait que la conférence ait été organisée par notre collègue Marc Legros (CEMES), et qu'un certain nombre d'entre nous aient réalisé des conférences invitées ou même des « short courses », notre groupe s'est aussi distingué à plusieurs reprises. Notamment, le premier prix du meilleur poster de la session 1 a été décerné à Solène Comby, Doctorante à l'INPG au laboratoire SIMAP, pour "Development and Application of an in situ Nanoindenter Coupled with Electrical Measurements". Le second prix du meilleur poster a été décerné à un travail conjoint de l'EMSE (D. Tumbajoy) et de l'EMPA (X. Maeder) dans le cadre de la thèse de D. Tumbajoy-Spinel sur "EBSD Investigation of Microstructure Refinement from Impact-Based Surface Treatments". Dans cette même session, le second prix a été partagé avec un autre poster relatif aux travaux de l'Université de Erlangen (Allemagne) et présentés par Benoit Merle, un français que nous connaissons bien. Nous pouvons donc nous permettre un petit Cocorico ! En tout cas félicitations à toutes les personnes de notre groupe qui ont participé à ces succès contribuant au rayonnement de tous !

G. K.



De g. à d. : V. Maier, S. Comby, M. Legros, G. Pharr.



De g. à d. : D. Tumbajoy-Spinel, M. Legros, X. Maeder



Photo de groupe des participants

Attention, ça chauffe !

Faut-il se positionner sur la (nano)indentation à (très) chaud ? C'est la question que certains d'entre nous se posent depuis déjà quelques années.

L'un des challenges majeurs actuels de l'indentation réside sans conteste dans le développement de dispositifs permettant de réaliser des mesures répétables en température à une échelle pertinente vis-à-vis de l'ingénierie des surfaces et de la science des matériaux. Outre les verrous d'origines « instrumentales », les recherches sur l'indentation à chaud induiront aussi le développement de méthodologies d'exploitation de ces mesures pour les transformer en grandeurs pertinentes vis-à-vis des modélisations des phénomènes tribologiques et métallurgiques.

Sans rentrer dans les détails techniques, il existe aujourd'hui un certain nombre de dispositifs permettant d'adresser les problématiques de micro-(nano)indentation à différentes températures. Chacun de ces dispositifs a ses avantages en termes de précision de mesure, de rigidité d'instrument, de stabilité thermique, de contrôle de l'atmosphère, de dérive thermique ... et finalement de méthodologie de mesure. Devant l'offre de plus en plus étendue, il est difficile de s'y retrouver et donc de franchir le pas !

La gamme de température d'essai dépend de l'application visée. Par exemple, pour les applications automobiles, des températures allant de 200 à 500°C suffisent alors que pour les applications aéronautiques et spatiales, des mesures à des températures de plus de 1000°C peuvent être nécessaires. De même dans les domaines des procédés avancés de fabrication, il devient primordial aujourd'hui de mesurer le comportement thermomécanique de petits volumes de matière à des températures relativement élevées afin de modéliser les évolutions microstructurales induites par ces procédés. Citons par exemple, le procédé de Selective Laser Melting (Fabrication additive) pour lequel il faut absolument connaître le comportement mécanique des poudres constitutives à des températures très élevées afin de prédire la géométrie finale ainsi que la durabilité des pièces. Citons d'autre part les procédés plus conventionnels comme le laminage ou le forgeage, pour lesquels la maîtrise passe par une meilleure connaissance des interactions entre les différents grains constitutifs des alliages métalliques, notamment lorsqu'un changement de phase peut se produire (cas des alliages de titane vers 850°C).

Si l'indentation instrumentée à des températures de l'ordre de 400-600°C commence à se démocratiser, malgré des prix d'équipement encore relativement élevés pour des laboratoires de recherche publique, l'offre en indentation à (très) chaud, c'est-à-dire jusqu'à 1000°C ou davantage, est encore très limitée. Se lancer dans un tel sujet, pour des laboratoires tels que les nôtres, est un risque relativement important à titre individuel, à la fois au niveau financier mais aussi au niveau de l'investissement scientifique. Faut-il donc attendre ... au risque de laisser ce sujet, une nouvelle fois, à nos collègues américains, anglais ou allemands ... pour ne citer qu'eux ? Nous pouvons aussi tenter d'assumer ce risque à plusieurs en nous associant, à travers notre groupe d'indentation multi-échelle, pour avancer collectivement. En effet, que faut-il en termes de compétences scientifiques ? Des chercheurs experts en instrumentation, en science des matériaux, en métallurgie, en tribologie, en transfert thermique, en modélisation, en simulation numérique ... et surtout en indentation. Là où le bât blesse est certainement l'aspect financier. Ici aussi, en associant nos forces nous pourrions certainement trouver les financements nécessaires, au niveau de nos diverses institutions, régionales ou nationales, de nos partenaires privés, pour développer des dispositifs originaux, des modélisations numériques adaptées et *in fine* des procédures simples et fiables de dépouillement.

Un sujet à discuter lors de notre colloque à venir « Indentation 2016 » à Lille !

Guillaume Kermouche et Gérard Mauvoisin