

## Modélisation du microbillage par ultrasons

M. Zarwel<sup>1</sup>, C. Nouguier-Lehon<sup>2</sup>, G. Kermouche<sup>3</sup>, T. Hoc<sup>4</sup>

<sup>1</sup> LTDS, Ecole Centrale de Lyon, France, [mehdi.zarwel@stagiaire.ec-lyon.fr](mailto:mehdi.zarwel@stagiaire.ec-lyon.fr)

<sup>2</sup> LTDS, Ecole Centrale de Lyon, France, [cecile.nouguier@ec-lyon.fr](mailto:cecile.nouguier@ec-lyon.fr)

<sup>3</sup> LTDS, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne, France, [guillaume.kermouche@enise.fr](mailto:guillaume.kermouche@enise.fr)

<sup>4</sup> LTDS, Ecole Centrale de Lyon, France, [thierry.hoc@ec-lyon.fr](mailto:thierry.hoc@ec-lyon.fr)

Le grenailage est un traitement mécanique à froid qui consiste à projeter des billes d'une dureté élevée sur la surface des pièces. Les déformations plastiques provoquées par les impacts répétés entraînent un écrouissage, ainsi que l'apparition de contraintes résiduelles de compression sur une fine couche en surface. L'objectif de ce traitement est d'augmenter la durée de vie des pièces mécaniques soumises à un grand nombre de cycles en fonctionnement. Selon la durée du traitement et son intensité, une nano structuration sur quelques dizaines de microns peut survenir. Le microbillage par ultrasons est un procédé de grenailage particulier, qui permet de limiter le coût et d'optimiser le traitement pour une zone spécifique. Ce dispositif est constitué d'une chambre fermée et d'un dispositif de vibration ultrasonique (sonotrode) permettant de projeter les billes vers la pièce à traiter avec une fréquence donnée. Ceci présente l'avantage d'utiliser les mêmes billes (plus économique), de permettre un grenailage plus rapide étant donné la hauteur limitée de la chambre (quelques dizaines de millimètres), et de pouvoir traiter des pièces de formes complexes.

Dans la littérature, un certain nombre de travaux sur le grenailage [1-3] ont relié les caractéristiques d'impacts aux contraintes résiduelles induites de compression et à la nanocristallisation de la surface de la pièce. Ces différentes publications mettent en avant principalement de la vitesse d'impact sur la génération des contraintes résiduelles de compression. Hong [4] a ajouté celui de la direction d'impact. Micoulaut [5] a montré qualitativement l'influence des paramètres procédés du microbillage par ultrasons à partir de simulations numérique. Ces simulations utilisant les éléments discrets se sont focalisées sur l'analyse de la statistique d'impact. Notre étude s'inscrit dans la continuité de cette compréhension du procédé. L'objectif principal était de retrouver les résultats qualitatifs de Micoulaut et de quantifier les énergies d'impact, données indispensables pour comprendre le mécanisme de nano structuration induit par les impacts répétés.

Les simulations réalisées dans cette étude se sont appuyées sur la méthode des éléments discrets NSCD [6] à travers la plateforme LMG90. La chambre de grenailage a été choisie cylindrique (R=35 mm, H=30 mm) avec à sa base une sonotrode vibrant à la fréquence de 20000 Hz. Le matériau constitutif des billes, de la chambre et de la sonotrode est l'acier. La durée de grenailage est de 2s. Au cours des simulations, les effets du nombre de billes, de leur diamètre et de l'amplitude d'oscillation de la sonotrode ont été testés. Un post traitement permettant d'analyser la statistique d'impact a été développé. Les énergies d'impact ont été obtenues à partir d'une simulation éléments finis d'essai de micropercussion validée par l'expérience.

Dans une première phase une analyse statistique des impacts a été réalisée. A titre d'exemple, la figure 1 montre le pourcentage d'impact en fonction de l'angle d'incidence (angle entre la trajectoire de la bille et la normale à la surface de la sonotrode). La simulation montre que le nombre d'impacts normaux diminue avec l'augmentation du nombre de billes. La moyenne des angles d'impact varie de 30,3° à 40,9° pour 50 et 153 billes respectivement. Une augmentation du nombre de bille fait tendre cette moyenne vers 45°. La figure 2 représente le

pourcentage d'impact en fonction de la vitesse d'impact normée rapportée à la vitesse maximale de la sonotrode. De la même manière, on observe une diminution de la vitesse moyenne avec l'augmentation du nombre de bille ( $13\text{m.s}^{-1}$  à  $7,8\text{m.s}^{-1}$  pour 50 et 153 billes respectivement). Cette influence du nombre de bille peut être reliée au nombre de collisions billes-billes qui en augmentant limitent la vitesse d'impact et les impact normaux. Les résultats sur la fréquence et la localisation des impacts seront également présentés.

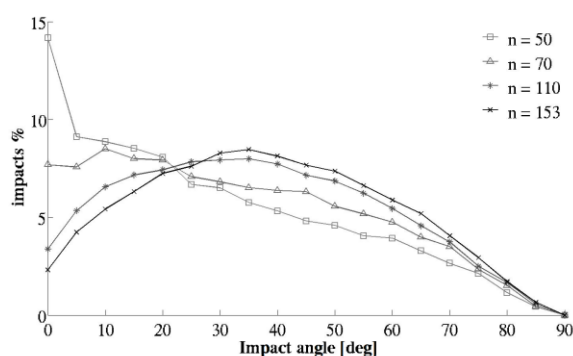


Fig. 1 Distribution des angles d'impact pour différents nombres de billes

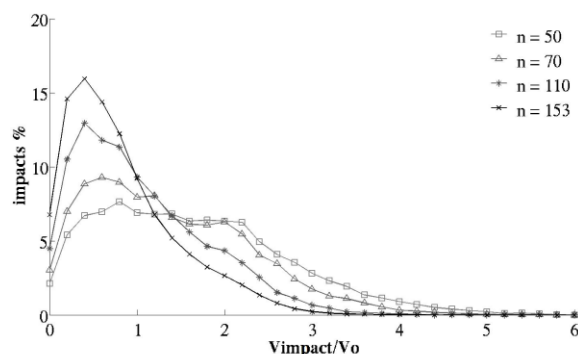


Fig. 2 Distribution des vitesses d'impact pour différents nombres de billes

Dans une deuxième étape, une analyse quantitative de l'énergie mise en jeu au cours de l'impact a été réalisée. Nos travaux se sont focalisés sur la distribution de la vitesse d'impact qui peut être reliée directement à l'énergie cinétique. Afin de remonter aux forces mises en jeu lors de l'impact, des résultats de simulation de micropercussion ont été utilisés. Ces informations couplées à la théorie du contact permettent de décrire le taux de recouvrement en fonction des différents paramètres du procédé. On montre clairement que les paramètres procédés sont liés et qu'une simple augmentation du nombre de billes ne conduit pas à une amélioration du temps de recouvrement total.

Ces travaux en accord avec la littérature ouvrent de nouvelles perspectives sur les mécanismes de nano structuration de surface qui nécessitent comme préalable à leur modélisation d'avoir une meilleure quantification des sollicitations mécaniques les engendrant.

## Références

- [1] S.A. Meguid, G. Shagal, J.C. Stranart, J. Daly: *Three-dimensional dynamic finite element analysis of shot-peening induced residual stresses*, Finite Elements in Analysis and Design **31**, 179–191, 1999.
- [2] M. Guagliano: *Relating Almen intensity to residual stresses induced by shot peening: a numerical approach*, Journal of Materials Processing Technology **110**, 277-286, 2001.
- [3] G.H. Majzoubi, R. Azizi, A. Alavi Nia: *A three-dimensional simulation of shot peening process using multiple shot impacts*, Journal of Materials Processing Technology **164–165**, 1226–1234, 2005.
- [4] T. Hong, J.Y Ooi, B. Shaw : *A numerical relation to relate the shot peening parameters to the induced residual stresses*, Engineering Failure Analysis **15**, Elsevier, 1097-1110, 2008.
- [5] M. Micoulaut, S. Mechkov, D. Retraint, P. Viot, M. François: *Granular gases in mechanical engineering: on the origin of heterogeneous ultrasonic shot peening*, Granular Matter **9**, 25-23, 2007.
- [6] M. Jean, *Micromécanique des matériaux granulaires*, chap. 3 « Simulation numérique discrète », éd. HERMES Science, 2005.