



HAL
open science

Évaluation de la qualité du grenailage ultrasonore à l'aide d'une analyse combinée DEM-FEM

Thomas Rousseau, Thierry Hoc, Philippe Gilles, Cécile Nougulier-Lehon

► **To cite this version:**

Thomas Rousseau, Thierry Hoc, Philippe Gilles, Cécile Nougulier-Lehon. Évaluation de la qualité du grenailage ultrasonore à l'aide d'une analyse combinée DEM-FEM. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. hal-01514281

HAL Id: hal-01514281

<https://hal.science/hal-01514281>

Submitted on 26 Apr 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

Évaluation de la qualité du grenailage ultrasonore à l'aide d'une analyse combinée DEM-FEM

T. Rousseau^{1,2}, T. Hoc¹, Ph. Gilles², C. Nouguier-Lehon¹

¹ University of Lyon, LTDS, UMR CNRS 5513, ECL, 69134 Ecully Cedex, France, {thomas.rousseau,thierry.hoc,cecile.nouguier}@ec-lyon.fr

² AREVA NP, Tour AREVA 92084 Paris La Defense Cedex, France, philippe.gilles@areva.com

Résumé — Le grenailage ultrasonore un traitement mécanique de surface qui a pour objectif d'allonger la durée de vie des équipements. Ce procédé génère des contraintes résiduelles de compression à l'origine de l'augmentation de la tenue en fatigue du matériau traité. Grâce à une analyse combinant les résultats de simulations de la dynamique des billes par éléments discrets à des simulations mono-impact par éléments finis nous avons montré que, dans notre configuration, l'augmentation du nombre de billes permet de concentrer les contraintes de compression en surface du matériau traité.

Mots clés — Éléments Finis, Éléments Discrets, Grenailage Ultrasonore, Analyse de Surface.

1 Introduction

Le grenailage ultrasonore est une variante du grenailage classique, utilisée afin d'allonger les performances mécaniques des équipements [10, 12]. Contrairement au grenailage classique qui utilise le plus souvent un pistolet à air comprimé, ce traitement est effectué à l'aide d'une enceinte dans laquelle une certaine quantité de billes est mise en mouvement grâce aux vibrations d'une sonotrode. Les billes utilisées sont nettement plus grandes (~ 3 mm de diamètre, contre ~ 0.5 mm classiquement) et les vitesses d'impacts sont aussi bien plus faibles (~ 10 ms⁻¹ au lieu de ~ 100 ms⁻¹). Les impacts répétés sur le matériau entraînent un écrouissage en surface de la pièce, une modification de la structure du matériau et l'établissement de contraintes résiduelles de compression [8]. Les contraintes résiduelles de compression générées par le procédé sont considérées comme étant à l'origine de l'augmentation de la tenue en fatigue car elles permettent de stopper la propagation des microfissures en surface [2, 11]. Or la quantité de billes utilisées pour le grenailage ultrasonore a une forte influence sur la distribution des vitesses et angles d'impacts [5, 13] et peut ainsi modifier les contraintes résiduelles. Ainsi, le but de cette étude est d'évaluer la qualité du grenailage ultrasonore en terme de contraintes résiduelles de compression dans deux configurations différentes.

2 Expériences

Le dispositif considéré est schématisé sur la figure 1.a). Les billes en oxyde de zirconium de 2 mm de diamètre sont contenues dans une chambre cylindrique en acier de 50 mm de diamètre et de 30 mm de haut. La sonotrode en alliage de titane est placée à la base de la chambre et vibre à une fréquence de 20 kHz pour une amplitude de 40 μ m. L'échantillon cylindrique posé au sommet de la chambre est un alliage à base nickel. Deux quantités de billes ont été utilisées : 156 et 312 billes représentant respectivement 25% et 50% de la surface de la sonotrode. La figure 1.b) montre les cartographies d'impacts après une seconde de grenailage ultrasonore obtenues par microscopie confocale. Pour chaque empreinte, la profondeur h a été définie comme la différence de hauteur entre le plus sommet du bourrelet et le point le plus profond de l'empreinte. Le nombre d'impacts et leur profondeur respective h ont été extraits de ces cartographies pour chacune des deux configurations.

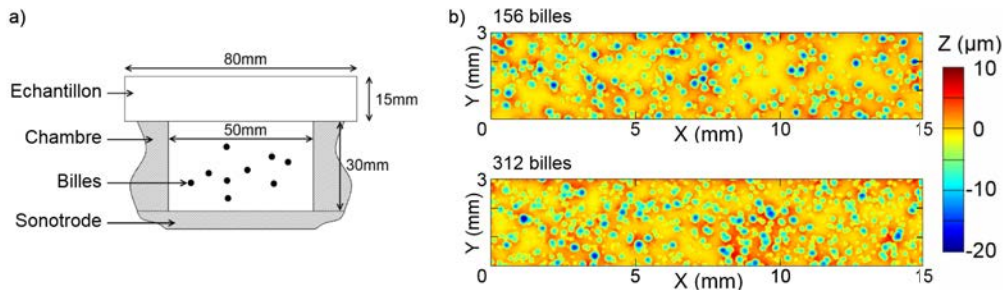


FIGURE 1 – a) Schéma du dispositif expérimental et b) cartographie d'impacts pour chaque configuration.

3 Simulations du procédé

Le grenailage ultrasonore a été simulé par éléments discrets à l'aide du logiciel LMGC90 [4]. Le mouvement des billes, soumises aux différentes interactions de contact, a été résolu par la méthode *non-smooth contact dynamics* [3, 6, 9]. L'ensemble des éléments : chambre, échantillon, sonotrode et billes, ont été supposés parfaitement rigides. Les contacts ont été modélisés par un coefficient de frottement fixé à 0.25 et un coefficient de restitution qui caractérise la perte d'énergie lors du contact. Ce dernier a été fixé à 1 pour le contact bille/bille et 0,8 pour le contact bille/chambre, bille/sonotrode et bille/échantillon. Une précédente étude basée sur une configuration similaire (matériau, dimension de la chambre, etc.) a montré que ce modèle donnait des résultats en accord avec les données expérimentales [7].

La simulation fournit un nombre d'impacts en accord avec le nombre d'empreintes relevées expérimentalement. De plus, la vitesse V et l'angle α de chaque impact sur la surface de l'échantillon ont été extraits de la simulation afin d'obtenir une distribution d'impacts (V, α) pour chaque configuration.

4 Simulations mono-impact

L'effet des conditions d'impact sur les contraintes résiduelles et sur la forme de l'empreinte a été modélisé par simulations éléments finis à l'aide du code Abaqus/explicit V6.13 [1]. Un panel de simulations mono-impact d'une sphère parfaitement rigide de 2 mm de diamètre a été réalisé. Les conditions initiales de l'impact ont été définies par une vitesse V et un angle α d'impact. La loi de comportement du matériau cible a été définie à partir d'un ensemble d'essais de traction.

Pour chaque simulation, trois données de sortie ont été extraites : la profondeur d'empreinte h_N obtenue comme pour l'analyse de surface, le maximum de compression de la contrainte résiduelle de Cauchy σ_M et la distance à la surface δ à laquelle ce maximum est atteint.

5 Analyse combinée : DEM-FEM

Les distributions d'impacts (V, α) ont été combinées aux résultats des simulations mono-impact afin de calculer les distributions de h_N, δ, σ_M pour les deux configurations étudiées. Les valeurs moyennes de profondeur d'empreinte h_N concordent avec les résultats expérimentaux. Par ailleurs, l'analyse DEM-FEM a permis d'observer un effet important de la quantité de billes sur l'établissement des contraintes résiduelles. En effet, si la valeur moyenne de la contrainte maximum σ_M ne diminue que de 5% (figure 2.a)) lorsque l'on double le nombre de billes, la profondeur δ de ce maximum diminue de près de 20% (figure 2.b)). De plus, par rapport au grenailage avec 156 billes, l'utilisation de 312 billes augmente fortement le nombre d'impacts générant une contrainte maximum de compression à une distance de la surface inférieure à 100 μm (figure 2.c)).

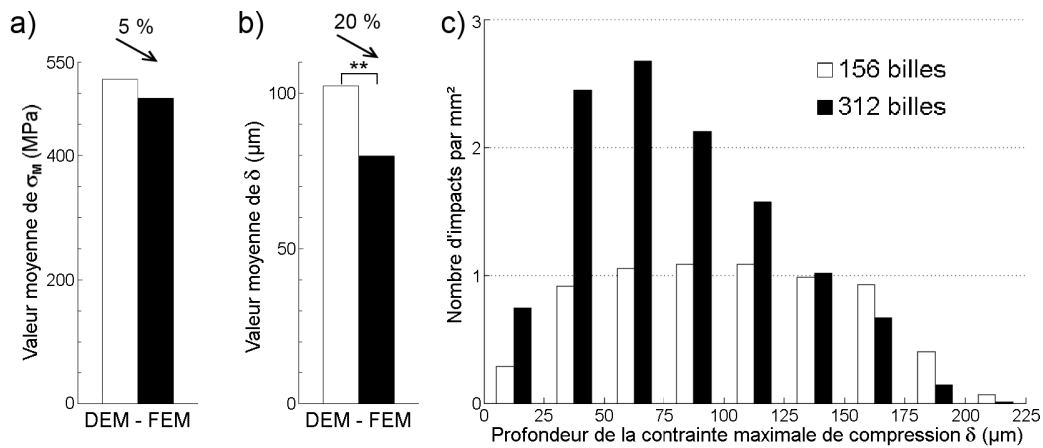


FIGURE 2 – a) Valeur moyenne de σ_M et b) de δ ainsi que c) les distributions du nombre d'impacts par mm^2 en fonction de δ

6 Conclusion

La quantité de billes utilisées pour le grenailage ultrasonore a un effet important sur le matériau traité. Cela a été constaté par analyse de surface en terme de nombre et de profondeur d'empreinte. L'analyse numérique a fourni des résultats en accord avec l'expérience et a permis d'étudier l'effet du nombre de billes sur les contraintes résiduelles de compression générées par le procédé. Notre étude montre que les contraintes de compression se concentrent davantage en surface en utilisant 312 billes plutôt que 156 billes. Ainsi, la propagation des microfissures peut être stoppée d'autant plus tôt. De ce point de vue, la configuration avec 312 billes apparaît comme la plus efficace des deux.

Références

- [1] Abaqus Analysis User's Manual, Simulia, 2013.
- [2] M. Guagliano and L. Vergani, *An approach for prediction of fatigue strength of shot peened components*, Engineering Fracture Mechanics, Elsevier, 501-512, 2004.
- [3] M. Jean, *The non-smooth contact dynamics method*. Comput. Method. Appl. M., Elsevier, 235-257, 1999.
- [4] LMGC. <http://transfert.lmgc.univ-montp2.fr/LMGC90>.
- [5] M. Micoulaut, S. Mechkov, D. Reiraint, P. Viot and M. Francois, *Granular gases in mechanical engineering : on the origin of heterogeneous ultrasonic shot peening*, Granular Matter, Springer, 25-33, 2007.
- [6] J. J. Moreau, *Some numerical methods in multibody dynamics : application to granular materials*, European journal of mechanics. A. Solids, Elsevier, 93-114, 1994.
- [7] C. Nougier-Lehon, M. Zarwel, C. Diviani, D. Hertz, H. Zahouani and T. Hoc, *Surface impact analysis in shot peening process*, Wear, Elsevier, 1058-1063, 2013.
- [8] A. Ortiz, J. Tian, J. Villegas, L. Shaw and P. Liaw, *Interrogation of the microstructure and residual stress of a nickel-base alloy subjected to surface severe plastic deformation*, Acta Materialia, Elsevier, 413-426, 2008.
- [9] F. Radja and V. Richefeu, *Contact dynamics as a nonsmooth discrete element method*, Mechanics of Materials, Elsevier, 715-728, 2009.
- [10] T. Roland, D. Reiraint, K. Lu and J. Lu, *Fatigue life improvement through surface nanostructuring of stainless steel by means of surface mechanical attrition treatment*, Scripta Materialia, Elsevier, 1949-1954, 2006.
- [11] P. Song and C. Wen, *Crack closure and crack growth behaviour in shot peened fatigued specimen*, Engineering Fracture Mechanics, Pergamon, 295 - 304, 1999.
- [12] J. Tian, J. Villegas, W. Yuan, D. Fielden, L. Shaw, P. Liaw and D. Klarstrom *A study of the effect of nano-structured surface layers on the fatigue behaviors of a C-2000 superalloy*, Materials Science and Engineering : A, Elsevier, 164-170, 2007.
- [13] M. Zarwel, C. Nougier-lehon, G. Kermouche and T. Hoc, *Modélisation du microbillage par ultrasons*, 10e colloque national en calcul des structures, 2011.