



Modélisation des procédés de mise en compression des surfaces par méthode semi analytique: cas des procédés à très grande vitesse de déformation

Mandikizinoyou Taro

► To cite this version:

Mandikizinoyou Taro. Modélisation des procédés de mise en compression des surfaces par méthode semi analytique: cas des procédés à très grande vitesse de déformation. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. <hal-03446200>

HAL Id: hal-03446200

<https://hal.science/hal-03446200v1>

Submitted on 24 Nov 2021

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.



HAL Authorization

Modélisation des procédés de mise en compression des surfaces par méthode semi analytique : cas des procédés à très grande vitesse de déformation

M. Taro*, T. Chaise, D. Nélis

Université de Lyon, CNRS, INSA-Lyon, LaMCoS UMR5259, F-69621, France

*Corresponding author: thibaut.chaise@insa-lyon.fr

Résumé :

Dans ce papier, une méthode semi analytique est proposée pour modéliser un choc de pression sur un massif élastique semi-infini. Les formulations analytiques ont été développées pour tenir compte des effets d'inertie et une application à la simulation du procédé de choc laser est présentée. Dans un second temps nous nous intéressons à la croissance d'une inclusion plastique présente sous la surface afin de prédire les déformations plastiques et les contraintes résiduelle.

Abstract:

In this paper, semi analytical method is proposed to model shock pressure on an elastic half-space. Analytical formulations have been developed to account for inertial effects. An application to laser shock peening is presented. In a second part, we will look at the expansion of an inclusion in a semi-infinite body in order to predict the plastic strain and residual stress induced by a laser shock process.

Mots clefs : méthode semi analytique, dynamique, effets d'inertie, impact, contraintes résiduelles

1 Introduction

La défaillance des pièces mécaniques est très souvent initiée par un défaut de surface et la qualité des couches superficielles devient donc un élément essentiel. Ainsi, la surface devient une zone très vulnérable qui intéresse tant les mécaniciens en conception que les spécialistes en matériaux pour l'amélioration des performances mécaniques. La génération de contraintes résiduelles compressives sur des pièces mécaniques via une déformation plastique hétérogène améliore la tenue en fatigue. De nos jours, il existe plusieurs procédés industriels permettant d'introduire des contraintes résiduelles dans les pièces mécaniques tels que le grenaillage, le galetage, le choc laser, le martelage etc. Parmi toute cette gamme variée de procédés, le traitement par choc laser est intéressant à plusieurs titres. En effet, il permet de produire des pressions en surface du matériau de l'ordre de 1 à 3 GPa sur de courtes durées d'impulsion allant de 10 à 30 nanosecondes et ainsi, offrant la possibilité d'introduire des contraintes

résiduelles de compression sur une couche mince tout en conservant l'état initial de la pièce traitée. Cependant, le choc laser qui est récent aux yeux des autres procédés, reste très peu étudié et la simulation devient nécessaire pour cerner au mieux les phénomènes physiques mis en jeu.

Le traitement par choc laser fait partie de la gamme des procédés à très grande vitesse de déformation, de l'ordre de 10^6 s^{-1} [1]. Dans ces circonstances, les déformations plastiques et par conséquent les contraintes résiduelles engendrées dépendent fortement des effets d'inertie et les simulations faites doivent en tenir compte. Dans la littérature, il existe plusieurs outils numériques permettant de simuler les procédés par choc, notamment la méthode des éléments finis [1,2], ou les modèles SPH. Pour la simulation de multiples impacts ces méthodes deviennent très lourdes à mettre en place. La méthode semi analytique est une classe de méthode numérique qui, basée sur des solutions analytiques élémentaires offre d'énormes avantages, notamment la simplicité des modèles. Cette méthode a été étendue aux problèmes de contact et très récemment a été appliquée pour la simulation des procédés de grenaillage conventionnel [3,4]. Cependant, les hypothèses faites dans les modèles réduisent le champ d'application de cette méthode notamment l'absence du terme inertiel dans les formulations analytiques. Les développements des solutions analytiques élémentaires prenant en compte les effets d'inertie ont été récemment faits et intégrés à la méthode semi analytique. Après un bref aperçu de la méthode et de ses développements récents une application au choc laser est présentée.

2 Simulation d'un impact rapide par méthode semi analytique

La simulation d'un impact rapide par la méthode semi analytique passe d'abord par la mise en place des coefficients d'influence prenant en compte les effets d'inertie. Les solutions analytiques élémentaires ont été obtenues en s'appuyant sur les travaux de Eason [5]. Elles sont données sous forme d'un effort ponctuel appliqué à la surface libre d'un massif semi infini qui reste constant au cours du temps (chargement de type Heaviside). La simulation d'un patch de pression (coefficients d'influence) sur une surface élémentaire de taille $\Delta x, \Delta y$ (voir Fig. 1) a été faite en superposant les contraintes et les déplacements engendrés par plusieurs chargements ponctuels de durée τ sur la surface élémentaire. Les coefficients d'influence ainsi obtenus dépendent des propriétés matériaux, de la durée de l'impulsion τ et de la taille du maillage $\Delta x, \Delta y, \Delta z$.

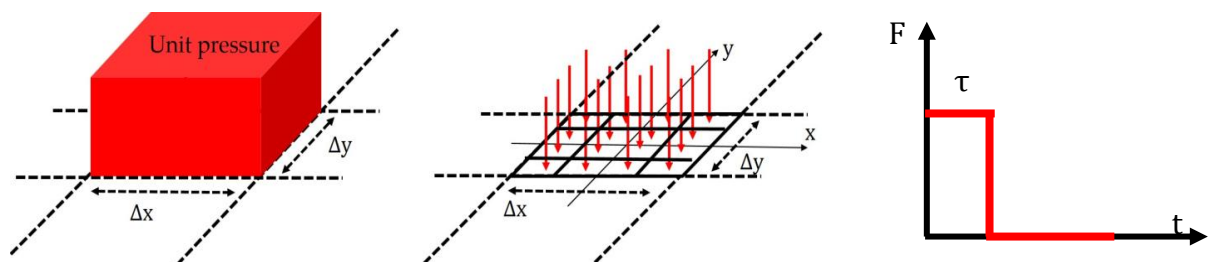


Figure 1 Simulation d'un patch de pression de durée τ sur un élément de taille $\Delta x, \Delta y$:
Superposition de plus efforts ponctuels (ici 16 efforts)

Un cas de simulation d'un impact rapide par production de choc a été mis en place. La géométrie est discrétisée en plusieurs briques élémentaires de taille constante $\Delta x, \Delta y, \Delta z$. Dans le cas

d'un choc produit en surface, la pression est appliquée en surface du massif sur une zone de taille plus grande que la taille d'un élément brique en surface et pouvant avoir une forme temporelle quelconque. Les contraintes et les déplacements sont ainsi obtenus par application du principe de superposition des solutions élémentaires (coefficients d'influence) via une double convolution dans le temps et dans l'espace.

La figure 2 montre un exemple de simulation de choc produit sur un matériau purement élastique. Cette figure présente la répartition de la contrainte équivalente de von Mises (Fig. 2c) générée par une impulsion laser de durée 20ns avec une pression maximale de 5MPa atteinte à 10ns (Fig. 2b). Ici, on suppose que la distribution spatiale du champ de pression induite par le laser est d'une forme Gaussienne (Fig. 2a).

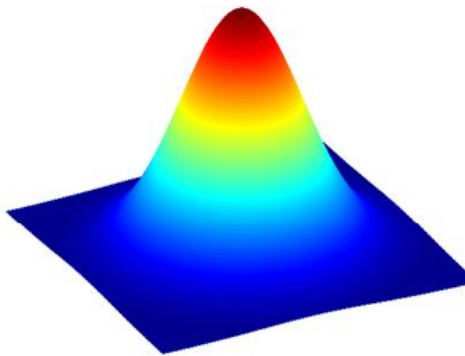


Figure 2a Forme spatiale du champ de pression : distribution Gaussienne

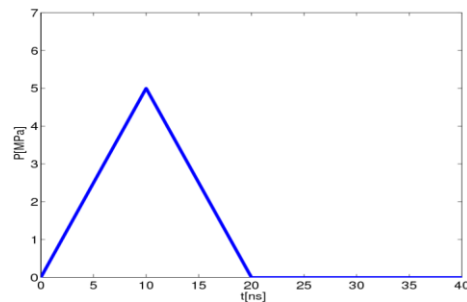


Figure 2b Profil temporel du champ de pression : forme triangulaire simulant une impulsion laser

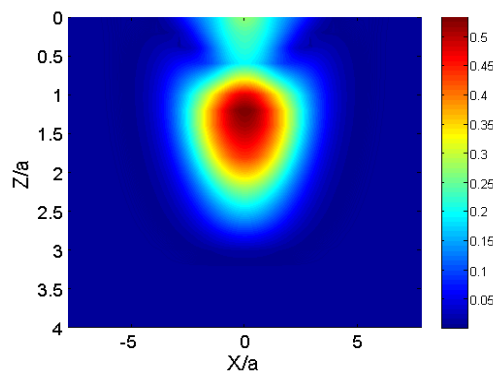


Figure 2c Contrainte de Von Mises normalisée par la pression maximale et observée au temps $t=20\text{ns}$ par une impulsion laser de rayon a

3 Simulation des contraintes résiduelles générées par une déformation plastique dans un massif semi-infini

Le modèle de choc laser présenté dans la section 2 est élastique linéaire. Afin de rendre ce dernier plus poché du cas réel et apte à la simulation des procédés, des développements analytiques ont été conduits pour prendre en compte la plasticité. Le cas de la croissance d'une inclusion plastique

a été analysé et les résultats comparés à ceux d'un modèle éléments finis avec un schéma explicite. La figure 3 représente les composantes σ_{11} , σ_{22} , et σ_{33} du tenseur des contraintes résiduelles générées par une déformation unitaire inélastique et hydrostatique dans une sphère de rayon R de la forme définie par l'équation (1). La figure 4 présente la répartition dans le plan $y=0$ de la composante σ_{33} (contrainte normale à la surface du massif semi-infini) du tenseur des contraintes résiduelles pris au temps $t=1000\text{ns}$. Remarquons qu'à cet instant l'onde de choc a déjà atteint la surface libre et l'effet des ondes réfléchies à la surface libre du massif vers l'intérieur du massif se font remarquer à l'intérieur de l'inclusion. Ce modèle corrèle très avec le modèle éléments finis.

$$\varepsilon_{ij}^p(r, t) = \delta_{ij} H(r-a) H(t) \quad (1)$$

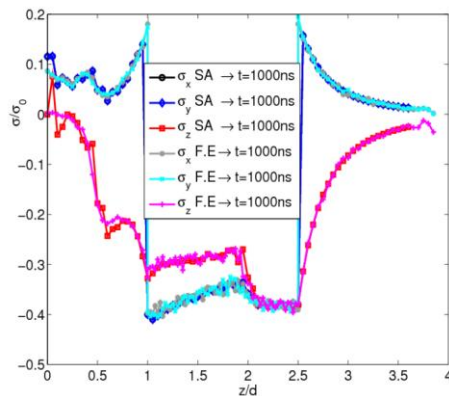


Figure 3 Comparaison des contraintes résiduelles avec le modèle éléments finis et la méthode semi analytique

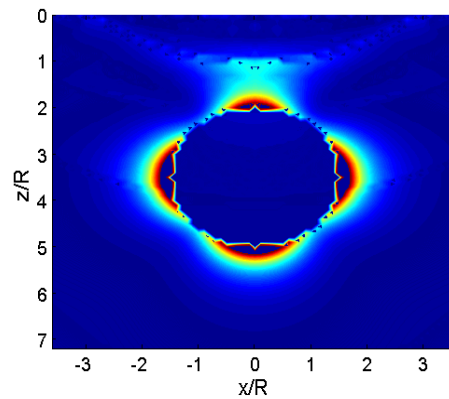


Figure 4 Distribution des contraintes résiduelles au temps $t=1000\text{ns}$ générées par l'apparition au temps $t=0$ d'une déformation plastique inélastique unitaire dans une sphère de rayon R.

4 Conclusion

Dans ce papier la méthode semi analytique a été présentée en détail pour modéliser des problèmes d'impacts prenant en compte les effets d'inertie. Un algorithme a été mis en place pour modéliser le procédé de mise en compression par choc laser en utilisant les coefficients d'influence développés. Le présent algorithme peut être étendu facilement à la simulation d'impact par cavitation, martelage ou tout autre procédé impliquant des chocs ultrarapides. Le modèle ainsi mis en place pourra permettre l'étude de la mise en compression à haute vitesse de déformation par une méthode alternative à celles classiques, de type éléments finis.

Références

- [1] Peyre, P., Chaieb, I., and Braham, C., FEM calculation of residual stresses induced by laser shock processing in stainless steels. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 15 (2007), 205-221.
- [2] Hu, Y., Yao, Z., & Hu, J., 3-D FEM simulation of laser shock processing. *Surface and Coatings Technology*, 201(3), (2006), 1426-1435.
- [3] Chaise, T., Li, J., Nélías, D., Kubler, R., Taheri, S., Douchet, G., Robin, V., and Gilles, P., Modelling of multiple impacts for the prediction of distortions and residual stresses induced by ultrasonic shot peening (USP). *Journal of Materials Processing Technology*, 212, (2012), 2080-2090.

- [4] Taro, M., Chaise, T., and Nélias, D., A methodology to predict the roughness of shot peened surfaces. *Journal of Materials Processing Technology*, 217 (2015), 65-76.
- [5] Eason, G. (1966). The displacements produced in an elastic half-space by a suddenly applied surface force. *IMA Journal of Applied Mathematics*, 2(4), (1966), 299-326.