

Simulation numérique du couplage électrique-thermique-mécanique du procédé du frittage flash

P. Mondalek, L. Silva, M. Bellet

CEMEF, Mines ParisTech, France, {pamela.mondalek,luisa.silva, michel.bellet}@mines-paristech.fr

Mots clés : *Méthodes éléments finis, compaction de poudres, couplage électrique-thermique-mécanique, modèle d'Abouaf*

1 Résumé

Le SPS (Spark plasma sintering) ou frittage flash est une technique innovante de compaction de poudre. Ce procédé fait intervenir le courant électrique pour chauffer l'échantillon lui permettant ainsi d'obtenir des propriétés physiques avantageuses. Plus précisément ce procédé consiste à appliquer simultanément une pression et un courant électrique pour fritter la poudre placée dans une matrice en graphite. Ce procédé s'applique aussi bien aux métaux qu'aux céramiques. Grâce à la vitesse de chauffage et à des cycles courts, le procédé SPS apparaît comme étant une technologie prometteuse dans le secteur aéronautique pour produire des matériaux denses et nanostructurés composés par des intermétalliques difficiles à fondre, à former et à usiner avec les procédés conventionnels. L'utilisation de ces intermétalliques permet la fabrication de pièces plus légères, résistant à très haute température, réduisant ainsi la consommation d'énergie [1].

Cependant, la fabrication de formes complexes est problématique à cause des hétérogénéités en densité qui apparaissent lors de la compaction et qui proviennent de la distribution de la température et des contraintes dans la poudre compactée. Pour cela, il est important de comprendre les phénomènes qui se produisent lors du procédé. La distribution du courant, de la température et des contraintes, ainsi que leurs différents effets sur la microstructure, font l'objet du projet ANR "IRIS" qui est le cadre de cette étude.

Une modélisation numérique 3D du procédé est effectuée pour assurer un outil de prédiction dans l'étude du SPS. La simulation numérique englobe trois problèmes physiques couplés : électrique, thermique et mécanique. Dans un premier temps, le couplage électrique thermique est étudié. Nous présentons l'approche numérique utilisée, qui se base sur une méthode monolithique[2][3]. Un maillage unique est utilisé dans les simulations, englobant l'ensemble des matériaux constituant l'assemblage sous presse : "spacers", pistons, moule, poudre à compacter. Ainsi, pour chacun des trois problèmes considérés, une seule équation est résolue sur ce maillage. Ceci est possible grâce à l'utilisation des fonctions level set et des lois de mélange qui différencient les différents matériaux. Nos résultats montrent l'effet de la distribution du courant sur la distribution de la température. La thermodépendance des paramètres électriques et thermiques a une conséquence directe sur les gradients thermiques au sein de la poudre.

Le couplage est ensuite effectué avec la mécanique en supposant les composants de l'assemblage rigides et non déformables. La poudre est considérée comme un milieu continu caractérisé par une densité relative ρ_r (rapport entre son volume réel et son volume apparent). Une loi de comportement macroscopique viscoplastique compressible décrit la densification en s'appuyant sur le modèle d'Abouaf[4].

La loi est thermodépendante ce qui affecte l'homogénéité de la densification. Nous montrons tout d'abord des résultats pour des pièces de géométrie cylindrique simple, ce qui permet dans des conditions idéales de valider le modèle numérique. Suivent des applications à des géométries plus complexes, ce qui permet de discuter de l'influence de paramètres procédé et matériau.

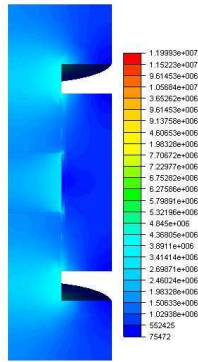


FIG. 1 – Distribution de la norme de la densité de courant dans un assemblage lors de la compaction d'un échantillon de TiAl

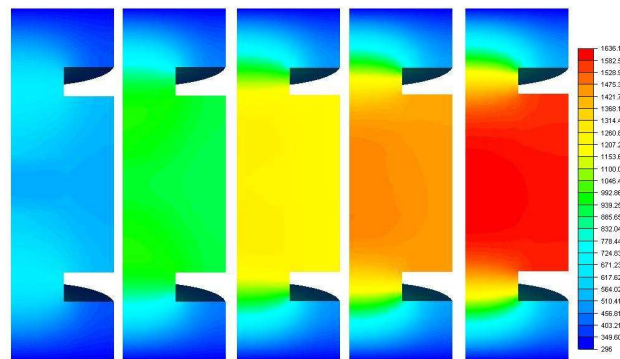


FIG. 2 – Distribution de la température dans l'assemblage SPS pour différents temps 25 s, 100 s, 200 s, 300 s, 400 s (de gauche à droite)

Références

- [1] A. Zavaliangos, J. Z., M. Krammer, and J. R. Groza. Temperature evolution during field activated sintering. *Materials Science and Engineering*, 379 :218–228, 2004.
- [2] T. Coupez, H. Dignonnet, and R. Ducloux. Parallel meshing and remeshing. *Appl. Math. Modelling*, 25 :153–175, 2000.
- [3] C. Gruau and T. Coupez. 3d tetrahedral, unstructured and anisotropic mesh generation with adaptation to natural and multidomain metric. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, 194 :4951–4976, 2005.
- [4] M. Abouaf and J.L. Chenot. Modélisation numérique de la déformation à chaud de poudres métalliques. *Journal de Mécanique théorique et appliquée*, 5 :121–140, 1986.