

Modélisation du comportement des verres métalliques par une approche phénoménologique

N. Thurieau^a, E. Hérippe^b, H. Maitournam^c

- a. IMSIA, ENSTA Paristech, 828 Boulevard des Maréchaux, 91120 Palaiseau, France, Nicolas.Thurieau@ensta-paristech.fr
- b. Laboratoire de Mécanique des Solides, École Polytechnique, 91128 Palaiseau cedex, France, Herippe@lms.polytechnique.fr
- c. IMSIA, ENSTA Paristech, 828 Boulevard des Maréchaux, 91120 Palaiseau, France, Habibou.Maitournam@ensta-paristech.fr

Résumé :

L'étude porte sur le développement d'une loi permettant de décrire le comportement macroscopique de verres métalliques dans le mode de déformation homogène. Le choix s'est porté sur un verre métallique à base zirconium de composition $Zr_{52,5}Cu_{22}Al_{10}Ni_{13}Ti_{2,5}$. Des premiers tests de compression ont été réalisés pour mettre en évidence les effets significatifs à prendre en compte dans le modèle. Une stratégie de couplage essais/simulations a été mise en place pour identifier les différents paramètres du modèle.

Abstract:

This study is focused on the development of a constitutive law to describe the macroscopic behavior of metallic glasses in homogeneous deformation mode. A zirconium-based metallic glass with composition $Zr_{52,5}Cu_{22}Al_{10}Ni_{13}Ti_{2,5}$ is considered. Compression tests have been performed in order to identify the relevant effects to take into account in the model. A strategy coupling experiments and simulations is set up to calibrate the model parameters.

Mots clefs : verres métalliques, loi de comportement, essais de compression, simulation.

1 Introduction

La recherche sur les verres métalliques est relativement récente. La fabrication des premiers verres métalliques remonte à 1960 avec l'obtention de rubans amorphes à base AuSi [1]. Les verres métalliques dits « massifs » (plus petite dimension supérieure au centimètre) sont apparus dans les années 1980 [2]. Les verres métalliques sont donc encore très mal connus mais commencent à trouver des applications dans de multiples domaines (automobile, aéronautique, défense, loisir...). Afin d'augmenter leur attractivité et d'imaginer de nouvelles applications, il semble nécessaire de créer un modèle de comportement simple permettant la modélisation de leur mise en forme. Les modèles s'attachant à rendre compte de la déformation des verres métalliques sont nombreux dans la littérature, nous pouvons citer la théorie du volume libre de Spaepen [3], le modèle d'Argon [4] ou encore le modèle des défauts quasi-ponctuels (DQP) [5] de Perez. Malheureusement ces modèles sont relativement complexes et introduisent un nombre important de paramètres.

Pour les verres métalliques, on peut distinguer deux grands modes de déformation. Le mode de déformation hétérogène est obtenu à température ambiante. Dans ce cas, toute la déformation est localisée dans les bandes de cisaillement. Le deuxième mode est celui homogène, qui se produit lors de tests mécaniques réalisés proche de la température de transition vitreuse. C'est ce mode qui est privilégié dans cette étude.

2 Élaboration - Caractérisation

La phase d'élaboration est un stade primordial pour l'obtention de matériaux amorphes. Le choix de la nuance $Zr_{52,5}Cu_{22}Al_{10}Ni_{13}Ti_{2,5}$ permet de fabriquer des cylindres de diamètre 5,5 mm coulés en lingotière. Chaque barreau permet de réaliser 5 ou 6 échantillons de compression. Ces échantillons ont un diamètre de 5 mm et une hauteur de 8 mm. Ils sont obtenus par tournage et découpe par électroérosion à fil.

La vérification de l'état amorphe passe par l'utilisation de la diffraction des rayons X (DRX). Nous pouvons vérifier ainsi que notre échantillon n'est pas cristallisé. Une analyse par calorimétrie différentielle à balayage (DSC) est également faite pour obtenir les différentes températures caractéristiques de l'alliage (température de transition vitreuse, de cristallisation, de fusion). Nous obtenons une température de transition vitreuse de $T_g = 417$ °C, de cristallisation $T_x = 480$ °C et de fusion de $T_f = 777$ °C [6]. La montée en température de la DSC est de 20°C/min.

3 Couplage expérimental - simulation

Les tests mécaniques se sont principalement concentrés sur des tests de compression. Ces tests sont réalisés à une température proche de la température de transition vitreuse de notre verre métallique (environ 420°C) afin de rester dans le mode homogène de déformation. Deux types d'essais ont été conduits : des essais à vitesse de déformation constante et des essais incluant des sauts de vitesse.

Ces essais montrent les différents phénomènes (plasticité, viscosité, ...) à prendre en compte pour obtenir une loi de comportement macroscopique représentative. Dans un premier temps un modèle rhéologique, de type Maxwell généralisé, est identifié et testé. Son extension tridimensionnelle est proposée. Les différents paramètres de cette loi sont identifiés par une stratégie couplant les essais et des calculs par éléments finis.

4 Conclusion

Comparé à des modèles de comportement issus de la littérature, le modèle proposé ici reste simple et le nombre de paramètres limités. Il rend compte des effets obtenus lors des essais de compression. Des essais complémentaires sont en cours et seront comparés aux résultats obtenus par la simulation. Afin d'améliorer notre modèle, il est également prévu de calculer les champs de déformation locaux via corrélation d'images numériques (après dépôt de micro-grilles par lithographie). Le modèle final devra bien entendu inclure un couplage thermomécanique complet.

Références

- [1] W. Klement, R. H. Willens, and P. Duwez, "Non-crystalline Structure in Solidified Gold–Silicon Alloys," *Nature*, vol. 187, no. 4740, pp. 869–870, Sep. 1960.
- [2] A. Inoue, K. Ohtera, K. Kita, and T. Masumoto, "New Amorphous Mg-Ce-Ni Alloys with High Strength and Good Ductility," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 27, no. 12A, p. L2248, Dec. 1988.
- [3] F. Spaepen, "A microscopic mechanism for steady state inhomogeneous flow in metallic glasses," *Acta Metall.*, vol. 25, no. 4, pp. 407–415, Apr. 1977.
- [4] A. S. Argon, "Plastic deformation in metallic glasses," *Acta Metall.*, vol. 27, no. 1, pp. 47–58, Jan. 1979.
- [5] J. Perez, "Quasi-punctual defects in vitreous solids and liquid-glass transition," *Solid State Ion.*, vol. 39, no. 1–2, pp. 69–79, Jun. 1990.
- [6] M. T. Thai, "Étude des mécanismes de la plasticité dans les verres métalliques massifs," 2014.