

Avis de soutenance

Yajun ZHAO

**Consolidation des Poudres Métalliques par des
Déformations Plastiques Extrêmes - Torsion sous Haute
Pression - Expériences et Modélisations**

**Consolidation of Metal Powders through Severe Plastic Deformation -
High Pressure Torsion - Experiments and Modeling**

Thèse soutenue publiquement le **lundi 29 février 2016 à 14h**
à l'**Amphithéâtre Hermite**, Ile du Saulcy, 57045 Metz Cedex 01, France
devant le jury composé de :

Yannick Champion	Directeur de Recherche, CNRS, France	Rapporteur
Reinhard Pippan	Prof., Erich Schmid Institute of Material Science, Austria	Rapporteur
Yan Beygelzimer	Prof., Donetsk Institute for Physics and Engineering named after O.O. Galkin, Ukraine	Examineur
Thierry Grosdidier	Prof., Université de Lorraine, France	Examineur
Werner Skrotzki	Prof., Technische Universität Dresden, Germany	Examineur
László S Tóth	Prof., Université de Lorraine, France	Directeur de thèse
Roxane Massion	McF., Université de Lorraine, France	Co-encadrante de thèse
Roman Kulagin	Dr., Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Germany	Invité

LEM3 - Île du Saulcy 57045 METZ
LabEx DAMAS - Île du Saulcy F-57045 METZ
Université de Lorraine – Pôle M4 : matière, matériaux, métallurgie, mécanique

Résumé

Les procédés d'hyper-déformations (SPD) peuvent imposer de très grandes déformations à un métal et en transformer les propriétés métallurgiques de la matière en introduisant une forte densité de dislocations et un important raffinement de la microstructure. Dans ce travail de thèse présenté, des expériences en torsion à haute pression (HPT) ont été réalisées pour la consolidation des différentes poudres de fer de taille à l'échelle nano et micrométrique. Ces expériences ont été effectuées avec succès à la température ambiante aboutissant à la fois à un faible niveau de porosité résiduelle et l'affinement significatif de la taille de grain, grâce à une importante déformation en cisaillement et à de la pression hydrostatique appliquée au procédé HPT. La compression a été faite en deux étapes: d'abord une compression axiale, puis déformation en cisaillement en tournant la partie inférieure de la filière HPT tout en maintenant constante la force axiale. L'homogénéité de la déformation en cisaillement à travers l'épaisseur du disque a été examinée par une mesure de déformation locale, qui montre une distribution du gradient.

L'analyse par diffraction à rayons X a été réalisée sur des échantillons consolidés qui ont révélé une proportion peu importante d'oxydes. L'effet de la déformation en cisaillement sur la microstructure et la texture a été étudié par microscopie électronique à balayage et EBSD. La micro-dureté et la porosité moyenne des échantillons en fonction de la déformation en cisaillement, à pression hydrostatique constante, ont également été mesurées.

Une trame de modélisation mise en œuvre dans le modèle de Taylor a été développée pour simuler l'effet du glissement aux joints de grains pour l'évolution de la texture cristallographique. Le principal effet constaté est un décalage des orientations idéales dans les conditions de cisaillement simple, ce qui a été vérifié expérimentalement.

Le procédé de consolidation par HPT a été simulé numériquement en utilisant la méthode des éléments finis pour un modèle de plasticité des poudres. La simulation de ce dernier a permis de confirmer la porosité résiduelle moyenne observée expérimentalement et les différents gradients de la déformation plastique. La distribution de la densité locale a également été modélisée.

Mots clés:

Consolidation des Poudres; Torsion sous Haute Pression; Déformations Plastiques; Raffinement de la Microstructure; Evolution des Textures

Abstract

Severe plastic deformation (SPD) processes can impose extremely large strains to a metal and transforming the metallurgical state of the material by introducing high dislocation density and high level of microstructure refinement. In the present thesis work High Pressure Torsion (HPT) experiments were performed for consolidation of different powders including Nano- and Micro- scaled iron powders. The experiments were carried out successfully at room temperature, achieving both low level of residual porosity and significant grain refinement, thanks to the intense shear strain and hydrostatic pressure applied in HPT. The compaction was done in two steps: first axial compaction, then shear deformation by rotating the bottom part of the HPT die while maintaining the axial force constant. The homogeneity of shear strain across the thickness of the disk was examined by local strain measurement, showing a gradient distribution.

X-ray diffraction analysis was carried out on the consolidated samples which revealed no significant proportion of oxides. The effect of shear deformation on the microstructure and texture was investigated by metallographic scanning electron microscopy and electron backscattered diffraction (EBSD). The micro-hardness and average porosity of the samples as a function of shear strain at constant hydrostatic pressure were also measured.

A modeling frame implemented into the Taylor model was developed to simulate the effect of Grain Boundary Sliding (GBS) on the evolution of crystallographic texture. The main effect found is a shift of the ideal orientations under simple shear conditions, which was verified experimentally.

The consolidation process by HPT was simulated numerically using the finite element method together with a powder plasticity model. The simulation of the consolidation process permitted to confirm the experimentally observed average residual porosity and the different gradients in the plastic strain. The local density distribution was also modeled.

Key Words:

Powder Consolidation; High Pressure Torsion; Plastic Deformation; Microstructure Refinement; Texture Evolution