

THÈSE

Pour l'obtention du titre de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Spécialité : Sciences des Matériaux

présentée par

Arnaud POUGIS

Affinement de microstructures de métaux par des déformations plastiques extrêmes

soutenue le 23 septembre 2013 à l'UFR MIM dans l'amphithéâtre Hermite à 14h30
devant le jury composé de :

Carlos Tomé	Los Alamos National Laboratory, U.S.A.	Président du jury
Matthew Barnett	Deakin University, Australia	Rapporteur
Yannick Champion	ICMPE, France	Rapporteur
Xavier Sauvage	Université de Rouen, France	Examineur
Werner Skrotzki	TU Dresden, Germany	Examineur
László Tóth	Université de Lorraine, France	Directeur de thèse
Olivier Bouaziz	ArcelorMittal Research, France	Co-directeur de thèse
Roxane Massion	Université de Lorraine, France	Invitée
Benoît Beausir	Université de Lorraine, France	Invité
Sylvain Philippon	ENIM, France	Invité
David Barbier	ArcelorMittal Research, France	Invité

Résumé

Depuis plusieurs années, les procédés à grandes déformations plastiques (SPD) sont développés pour affiner la microstructure de métaux afin d'obtenir des tailles de grains submicroniques. Cet affinement confère au matériau des propriétés améliorées (ex : limite élastique). Durant ces procédés, la géométrie globale du matériau reste inchangée. C'est pourquoi les procédés sont spécifiques pour une géométrie donnée.

Dans cet objectif, un procédé récemment inventé au sein du LEM3, nommé HPTT - High Pressure Tube Twisting – permet de nanostructurer des échantillons tubulaires. Un tube est confiné par l'application d'une pression hydrostatique de plusieurs GPa et de grandes forces de frottement sont ainsi générées. Une déformation en cisaillement (> 4) dans l'épaisseur du tube est ensuite appliquée. Dans le cadre de cette thèse, un dispositif expérimental a été développé et utilisé pour la production d'échantillons à grains ultrafins (UFG). Des études analytiques et par éléments finis ont permis de comprendre l'état de contrainte et de déformation dans la paroi du tube. Un acier IF (Interstitial-Free) rendu nanostructuré a fait l'objet de caractérisations approfondies pour déterminer l'évolution de la microstructure (MEB-EBSD), des textures (rayons X) et du comportement mécanique (compression).

Dans le but de mieux comprendre les phénomènes de fragmentation, un code polycristallin impliquant la courbure du réseau comme élément principal conduisant à l'affinement de la microstructure a été utilisé et comparé aux mesures expérimentales. Ce travail est conclu par une étude de la taille limite atteignable par ces procédés.

Mots clés : Déformation plastique intense, Tube, Cisaillement, Grains ultrafins, Métaux.

Abstract

For several years, Severe Plastic Deformation (SPD) processes have been developed to refine the microstructure of metals in order to obtain ultrafine grains (UFG). This refinement attributes improved properties (ex: yield stress) to the material. The overall geometry of the material remains unchanged. That is why these processes are specific for a given geometry.

For this purpose, a process recently initiated at the LEM3, the so called HPTT - High Pressure Tube Twisting – is designed to nanostructure tubular samples. A tube is confined by applying a hydrostatic pressure of several GPa and large friction forces are generated. A shear strain (> 4) is finally applied in the tube thickness. In this thesis, an experimental device was developed and used to produce UFG materials. Finite element and analytical studies have been carried out to understand the stress and strain state in the tube wall. The obtained ultrafine grains IF (Interstitial-Free) steel was characterized to determine the evolution of the microstructure (SEM-EBSD), textures (X-rays) and the mechanical behavior (compression tests).

For a better understanding of the fragmentation phenomena, a polycrystal code involving lattice curvature as the main element leading to refinement of the microstructure was used and compared with experimental measurements. This work is concluded by a study on the limited grain size achievable by SPD processes.

Keywords : Severe Plastic strain, Tube, Shear, Ultrafine grains, Metals.