

THÈSE

pour l'obtention du titre de

Docteur de l'Université de LORRAINE

Spécialité : Mécanique des matériaux

présentée par :

Kokouvi Eva Kékéli AMOUZOU

Caractérisation et modélisation multi-échelles de l'anisotropie et de l'hétérogénéité de la déformation plastique du α -titane en conditions de traction

Thèse soutenue publiquement, mercredi le 09 décembre 2015 à 14h00, à l'amphi Pilâtre (Metz)
devant le jury composé de :

Véronique DOQUET	Directrice de Recherche CNRS, Laboratoire de Mécanique des Solides	<i>Rapporteur</i>
Olivier CASTELNAU	Directeur de Recherche CNRS, Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux	<i>Rapporteur</i>
Matthieu MAZIERES	Maître-assistant, Mines Paristech, Centre Des Matériaux	<i>Examineur</i>
Stéphane BERBENNI	Directeur de Recherche CNRS, LEM3	<i>Examineur</i>
Mikhail LEBEDKIN	Directeur de Recherche CNRS, LEM3	<i>Directeur</i>
Thiebaud RICHTON	Chargé de Recherche CNRS, LEM3	<i>Co-Directeur</i>

Laboratoire d'Étude des *Microstructures* et de *Mécanique des Matériaux* (LEM3) - UMR CNRS 7239

Université de Lorraine - Pôle M₄ : matière, matériaux, métallurgie, mécanique

Résumé

La déformation plastique du α -titane est fortement anisotrope. Elle met en jeu des familles de systèmes de glissement aux propriétés diverses et différents types de macles. Dans cette étude, des essais de traction sur des échantillons de α -titane de pureté commerciale sont couplés avec des mesures d'émission acoustique et d'extensométrie locale à haute résolution. Ces essais révèlent la présence d'un puits sur la courbe d'évolution du taux d'écrouissage. Un effet inverse de la vitesse de déformation sur la profondeur de ce puits est trouvé selon que les échantillons sont déformés suivant le sens long ou le sens travers de la tôle laminée initiale. Des analyses statistiques des lignes de glissement montrent une prédominance initiale du glissement prismatique, particulièrement prononcée dans les échantillons prélevés suivant le sens long. Une diminution de l'activité relative du glissement prismatique est observée au cours de la déformation des deux types d'éprouvettes. Les fractions volumiques de macles sont plus élevées dans les essais réalisés en sens travers mais restent néanmoins très faibles ($< 5\%$), en particulier au niveau du puits ($< 2\%$). Ces résultats fournissent une base physique pour l'élaboration d'un modèle capable d'expliquer ce comportement particulier de l'écrouissage. Le modèle s'appuie sur un schéma auto-cohérent en élastoviscoplasticité, basé sur la méthode des champs translatsés et utilisant une linéarisation affine de la relation constitutive viscoplastique. Le modèle considère la plasticité cristalline et traite séparément la densité de dislocations mobiles et la vitesse moyenne des dislocations. Il suppose une plus faible sensibilité à la vitesse de déformation ainsi qu'une multiplication plus rapide des dislocations sur les systèmes prismatiques. À partir de ces différentes hypothèses, les courbes de traction sont correctement reproduites et des estimations raisonnables des coefficients de Lankford, de l'activité relative du glissement prismatique et de l'évolution des textures sont obtenues. Plus important encore, l'effet inverse de la vitesse de déformation sur la profondeur du puits du taux d'écrouissage selon l'orientation de l'axe de traction est retrouvé de manière qualitative, ce qui permet d'avancer une explication aux phénomènes observés. Par ailleurs, les mesures d'émission acoustique et d'extensométrie locale à haute résolution permettent d'analyser le caractère intermittent et ondulatoire du α -titane à une échelle mésoscopique. Ces données sont confrontées aux prédictions du modèle actuel et serviront de base pour le développement futur d'un modèle plus complexe.

Mots-clés : Titane, Ecrouissage, Anisotropie, Hétérogénéité, Modélisation micromécanique, Plasticité cristalline, Émission acoustique, Extensométrie locale à haute résolution.

Abstract

Multi-scale characterization and modeling of the anisotropy and heterogeneity of α -titanium plastic deformation in tension conditions

The plasticity of α -titanium is strongly anisotropic. It involves slip systems families with various properties and different kinds of twins. In this study, tensile tests on commercially pur α -titanium samples are coupled with acoustic emission and high-resolution extensometry measurements. These tests show the presence of a well on the strain dependence of the work hardening. An opposite strain rate effect on the well depth is found whether specimens are elongated along the rolling or the transverse direction of the initially laminated sheet. Slip lines analysis reveals an initial predominance of prismatic slip, particularly pronounced in specimens strained along the rolling direction. The relative activity of prismatic slip is then observed to decrease with the deformation of both kinds of samples. The twin volume fractions are higher in the tests performed in the transverse direction but still remain very low ($< 5\%$), especially around the well ($< 2\%$). These results provide grounds for elaboration of a model capable of explaining such peculiar work hardening behavior. The model relies on a self-consistent scheme in elastoviscoplasticity, based on the translated field method and an affine linearization of the viscoplastic flow rule. The model considers crystal plasticity and deals separately with mobile dislocation density and dislocation velocity. It assumes lower strain rate sensitivity as well as higher dislocation multiplication rate for prismatic systems. Based on these assumptions, the model reproduces correctly the stress-strain curves and gives sound estimates of Lankford coefficients, prismatic slip activity and textures evolution. Most importantly, the opposite effect of strain rate on the well depth with regard to the orientation of the tensile axis is qualitatively retrieved, which allows putting forward an explanation of the observed phenomena. Besides, acoustic emission and high-resolution extensometry measurements allow analyzing the intermittent and wave nature of α -titanium at a mesoscopic scale. These data are confronted with the predictions of the present model and will be used as grounds for the future development of a more complex model.

Key words : Titanium, Work hardening, Anisotropy, Heterogeneity, Micromechanical modeling, Crystal plasticity, Acoustic emission, High-resolution extensometry.

Accès à l'Université

Cliquer ici  Campus Saulcy, Metz

Plan du campus

