

Caractérisation du comportement mécanique d'un gradient de microstructure

P. BAUDOIN^{a,b,d}, V. MAGNIER^{a,b,d}, A. EL BARTALI^{a,c,d}, J-F. WITZ^d,
P. DUFRENOY^{a,b,d}, É. CHARKALUK^{a,c,d}, F. DEMILLY^e

a. Univ' Lille Nord de France (pierre.baudoin@polytech-lille.fr)

b. Université de Lille 1 (eric.charkaluk@ec-lille.fr)

c. École centrale de Lille

d. Laboratoire de Mécanique de Lille CNRS, UMR 8107

e. GHH-Valdunes

Résumé :

Une démarche pour la caractérisation des métaux à gradients de microstructure s'appuyant sur des mesures de champs cinématiques est proposée. L'application d'un traitement de recristallisation à une éprouvette de traction en fer pur permet l'obtention d'un gradient de taille de grain localisé. Une variation de propriétés élasto-plastique à l'échelle de ce gradient de microstructure est recherchée en comparant la réponse observée aux résultats de calculs éléments finis.

Abstract :

Kinematic fields obtained by digital image correlation are used to characterize the mechanical behaviour of a microstructure gradient. This gradient is obtained in a confined area through the recrystallization of a pure iron tensile notched specimen. Local variations in elastoplastic properties are searched for using comparisons with finite element simulations.

Mots clefs : gradients de microstructure, corrélation d'images numériques, recristallisation, identification

1 Introduction

L'impact de la taille de grain sur le comportement des matériaux métalliques est bien documenté. Pour les sollicitations monotones, il s'agit de l'effet Hall-Petch ([1]-[4]) : à la multiplication des joints de grains est associée un durcissement du matériau. Des observations similaires sont reportées pour le domaine de la fatigue à grand nombre de cycles [3].

Ces considérations sont toujours effectuées sur des structures à microstructure homogène. Or, à l'issue de certains procédés d'élaboration (forge, traitements thermiques), de nombreuses structures mécaniques présentent une microstructure à taille de grain très hétérogène. Dans le domaine du ferroviaire, les rails et les roues sont en particulier concernés.

La démarche retenue ici est de reproduire ces gradients de microstructure sur des éprouvettes de traction, dans un matériau de référence (le fer ARMCO), puis de caractériser la réponse en traction monotone de ces éprouvettes à l'aide de mesures de champs cinématiques. Le couplage de ces mesures à des simulations éléments finis permet alors de mettre en avant des variations de propriétés élasto-plastiques au sein même du gradient de microstructure.

2 Élaboration d'éprouvettes à microstructure maîtrisée

Un traitement de recristallisation est réalisé sur des éprouvettes entaillées afin de mettre au point les gradients de microstructure. Ce traitement se décompose en deux étapes : une phase d'écrouissage, réalisé par le biais d'un essai de traction, et une phase de mise en température, permettant le ré-arrangement de la microstructure.

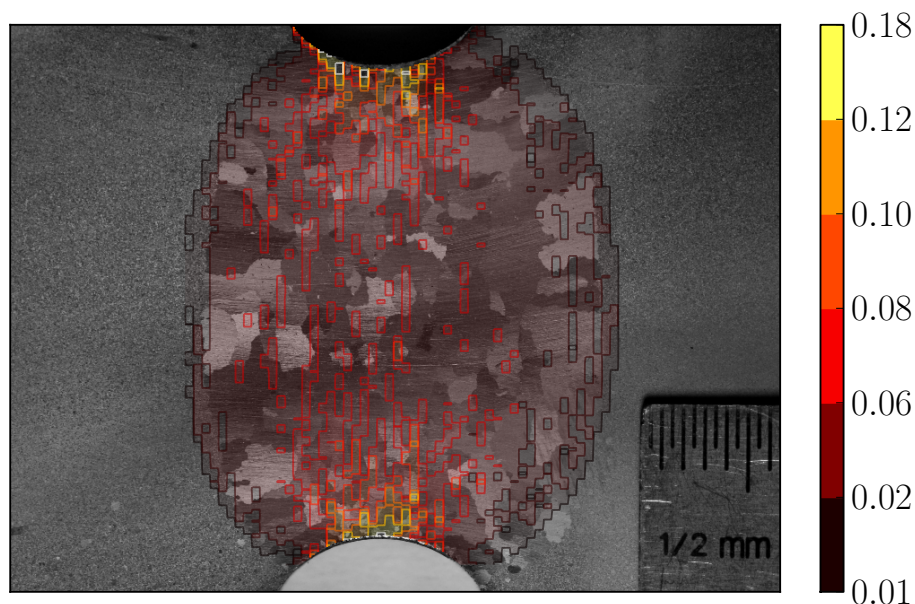


FIGURE 1 – Déformation axiale obtenue par C.I.N. et microstructure recristallisée (1h à 800°C)

La figure 1 présente la microstructure recristallisée superposée au champ de déformation axiale appliqué lors de la phase d'écrouissage. La taille de grain locale est directement fonction de la déformation plastique locale, ce qui permet l'obtention d'un gradient de taille de grain dans la région centrale.

Une éprouvette de traction uniaxiale est ensuite prélevée à partir de l'éprouvette entaillée. C'est cette éprouvette qui est caractérisée mécaniquement dans la section suivante.

3 Résultats

La courbe de traction ainsi que l'évolution de la déformation dans la section utile de l'éprouvette est représentée sur la figure 2. Cette représentation met en évidence la localisation de la déformation dans

la région de l'éprouvette où la taille de grain est la plus importante (région où la taille de grain a crû suite au traitement de recristallisation). Ce résultat montre qu'il n'est pas possible de rendre fidèlement compte du comportement mécanique de l'éprouvette en supposant des comportements élasto-plastiques identiques pour les régions à grains fins et la région recristallisée.

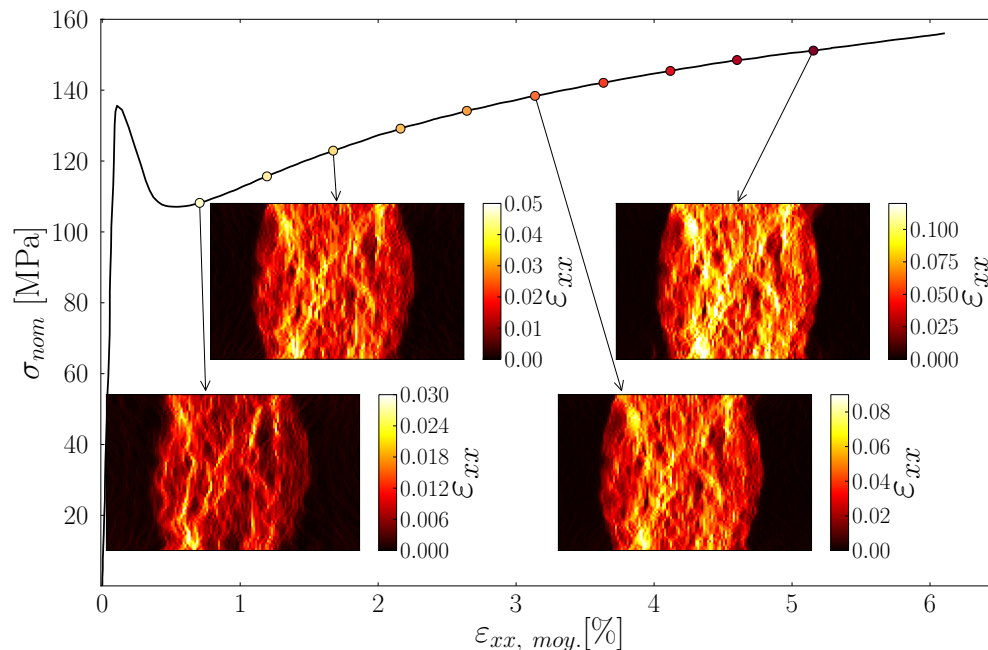


FIGURE 2 – Évolution de la déformation axiale lors de l'essai de traction

Afin d'aller plus loin dans la description du comportement mécanique, une piste possible est le recalage de modèle par éléments finis [5]. L'application de cette démarche à cet essai a permis de mettre en avant des hétérogénéités de comportement élasto-plastique au sein même de la région recristallisée (gradient de taille de grain). En particulier, Les variations locales de limites d'élasticité sont en accord avec une application de la loi Hall-Petch à l'échelle mésoscopique (limites élastiques locales définies sur des agrégats à faibles nombres de grains).

Références

- [1] E. O. Hall, *The Deformation and Ageing of Mild Steel*. Proc. Phys. Soc. Lond., no. 64, (1951) 747-753
- [2] N.J. Petch, *The cleavage strength of polycrystals*. Journal of the Iron and Steel Institute, no. 5, (1953) 25-28
- [3] D.L. McDowell et F.P.E. Dunne, *Microstructure-sensitive computational modeling of fatigue crack formation*. Journal of the Iron and Steel Institute, no. 5, (1953) 25-28
- [4] N.J. Petch, *The cleavage strength of polycrystals*. International Journal of Fatigue, vol. 32, no. 9 (2010) 1521-1542
- [5] Michel Grédiac and François Hild, *Mesures de champs et identification en mécanique des solides*, Hermes, 2011.