

Caractérisation, modélisation et simulation numérique des instabilités plastiques dans les alliages Al-Mg

Résumé

Les instabilités plastiques désignent une famille de comportements non-linéaires que l'on rencontre dans plusieurs matériaux solides. Elles correspondent à une évolution hétérogène de la déformation sous un chargement homogène. On retrouve ce type de comportement au déclenchement de la plasticité dans un grand nombre de métaux sous le nom de bandes de Piobert-Lüders. Dans certains alliages d'aluminium, ces instabilités se répètent jusqu'à la rupture : c'est l'effet Portevin-Le Chatelier. Si leurs origines physiques présentent des nuances, leur manifestation macroscopique est similaire : un écrouissage irrégulier accompagné de bandes de localisation d'épaisseur millimétrique dont la cinétique est sensible, entre autres, à la température et à la vitesse de chargement. Elles sont dues à l'interaction microscopique entre le réseau cristallin et les éléments d'alliage qui épinglent les dislocations de façon récurrente.

Ce phénomène freine considérablement l'usage des tôles d'aluminium-magnésium dans l'industrie. En effet, il a des conséquences esthétiques et mécaniques néfastes dont il est difficile de prédire l'évolution à l'étape de conception. Des modèles de comportement dédiés peuvent reproduire les bandes de localisation mais peinent à estimer précisément leur cinématique. De plus, ils sont sujets à des complications comme la sensibilité à la discrétisation, un coût de calcul considérable ou encore l'identification expérimentale délicate de leurs paramètres. L'objectif de ces travaux est donc de proposer un cadre dans lequel la cinématique des bandes de localisation est prédite de façon fidèle.

Dans un premier temps, l'alliage d'étude est caractérisé par des essais de traction où la cinétique de bandes individuelles est traquée à l'aide de la corrélation d'images numériques. Deux géométries sont employées pour dissocier l'influence du matériau des effets de structure, et une large gamme de vitesses imposées est utilisée. Les quantités d'intérêt sont ensuite identifiées à l'échelle non-locale des bandes de déformation : leur géométrie, leur distribution spatio-temporelle, la déformation qu'elles portent et l'énergie qu'elles échangent. Il est principalement observé que ces grandeurs peuvent être approximées à partir de l'état mécanique qui précède chacune des instabilités, ce qui doit permettre de réduire la complexité du problème.

S'appuyant sur ces résultats expérimentaux, un modèle de comportement est formulé à l'échelle des bandes de localisation. Il encapsule toutes les conséquences macroscopiques des instabilités plastiques et s'émancipe donc des complications évoquées plus tôt. Finalement, une stratégie numérique est proposée pour la simulation unidimensionnelle des essais, avec pour objectif de démontrer la faisabilité de l'approche.

Ce travail constitue une première contribution à la simulation des bandes de localisation au travers d'une modélisation directe de leur cinétique. Les perspectives suggérées portent en particulier sur trois aspects. D'abord, la caractérisation de la cinétique des bandes de déformation à l'échelle inférieure à la nucléation. Aussi, le déploiement en 2D et l'amélioration du modèle proposé pour le traitement robuste de cas industriels. Enfin, l'utilisation du cadre développé pour la prise en charge d'autres physiques non-locales.

Mots-clés : localisation ; instabilités plastiques ; vieillissement dynamique ; plasticité ; Portevin-Le Chatelier

---