

MATÉRIAUX POLYCRISTALLINS : MICROSTRUCTURES À GRADIENT, PUIS MESURES PAR DIFFRACTIONS

Benoît Panicaud^a

^a Life Assessment of Structures, Materials, mechanics and Integrated Systems (LASMIS), Université de Technologie de Troyes (UTT), 12, rue Marie Curie, CS 42060, 10004 Troyes cedex, France, benoit.panicaud@utt.fr

Mots-clés : alliages métalliques, nano-structuration, effets de taille et de surface libre, diffusion hétérogène, nitruration, diffractions, calibration à la striction, endommagement et plasticité cristalline, tenseur de localisation

Résumé

Les matériaux métalliques présentent de part leur élaboration une hétérogénéité naturelle, dont les approches multi-échelles tentent de rendre compte en termes de propriétés. D'une part, nous allons tenter de montrer comment ces approches peuvent expliquer un certain nombre de phénomènes simples (comportement élastique avec surface libre) ou couplés (diffusion d'espèces chimiques sous contrainte), en partant d'une description à l'échelle des grains ou inférieure. D'autre part, nous verrons les apports des méthodes expérimentales par diffraction pour tenter de mieux comprendre le comportement élastoplastique des matériaux en se basant sur des calibrations linéaires.

Les méthodes de nanostructuration par déformation plastique sévère, telles que le SMAT, conduisent à la formation d'un gradient de nanostructures en surface sur les alliages métalliques [Edalati2024]. Bien que ce procédé ait déjà été bien étudié [Waltz2009], certaines questions restent ouvertes telles que la prise en compte d'un effet de taille sur le comportement élastique à travers une distribution de taille de grains. La présence de la surface libre vient également contribuer à modifier les propriétés élastiques. Dans cette étude, des modélisations sont réalisées pour prédire les modules d'élasticité d'un acier, puis confrontées à des essais de nano-indentation.

A travers la modification de la distribution de taille de grains, les propriétés de transport sont également modifiées, notamment la diffusion des espèces chimiques. Il se pose alors la question d'une possible synergie entre le SMAT et un traitement de nitruration, permettant alors potentiellement d'améliorer encore davantage les propriétés de surface comme la dureté [Chemkhi2014]. La prise en compte d'un certain nombre d'ingrédients de la microstructure, ainsi que plusieurs couplages physiques avec la température ou la contrainte, permet d'obtenir une description robuste de la diffusion de l'azote dans un acier. La comparaison modèle/expérience des profils de concentration après la nitruration plasma d'un acier SMATé démontre favorablement une telle approche.

Par essence, les méthodes de diffraction (neutron ou synchrotron) permettent d'étudier sélectivement la matière à des échelles microscopiques [Mareau2023], pour n'importe quel niveau de déformation. Il faut néanmoins pouvoir corriger les mesures des effets de striction. Dans cette étude, nous utilisons ces méthodes sur un acier ductile biphasé pour déterminer le comportement des phases jusqu'à rupture, en utilisant une méthode de calibration. Une succession de comportement élastique, puis plastique, va donc être observée dans les grains et dans les phases. La comparaison avec un modèle micromécanique élastoplastique va permettre d'extraire l'endommagement qui s'y développe. Le tenseur de localisation en contrainte va également pouvoir être vérifié [Baczanski2024]. Différentes grandeurs (paramètre de maille, contrainte hydrostatique ou de von Mises...) vont aussi conduire à une confrontation favorable entre le modèle et les expériences [Baczanski2016].

Références

- [Edalati2024] K. Edalati et al. Severe plastic deformation for producing superfunctional ultrafine-grained and heterostructured materials : An interdisciplinary review. *Journal of Alloys and Compounds* 1002 (2024) 174667.
- [Waltz2009] L. Waltz, Comportement mécanique de structures multicouches obtenues par colaminage de tôles nanostructurées : essais et simulation, thèse de doctorat de l'UTT (2009).
- [Chemkhi2014] M. Chemkhi, Nanocristallisation superficielle couplée à la nitruration plasma pour augmenter les propriétés de fatigue et d'usure d'alliages métalliques, thèse de doctorat de l'UTT (2014).
- [Mareau2023] C. Mareau, The dependence of X-ray elastic constants with respect to the penetration depth, *J. Appl. Cryst.* 56 (2023) 1446-1455.
- [Baczanski2024] A. Baczanski et al. Study of grain stresses and crystallographic slips in duplex steel using neutron diffraction, *International Journal of Mechanical Sciences* 283 (2024) 109745.
- [Baczanski2016] A. Baczanski et al. Elastoplastic deformation and damage process in duplex stainless steels studied using synchrotron and neutron diffractions in comparison with a self-consistent model, *International Journal of Plasticity* 81 (2016) 102-122.