

# Institut de physique

Actualités scientifiques

## Mieux comprendre les bonnes propriétés mécaniques des alliages harmoniques Ti-Nb-Zr

Décembre 2018

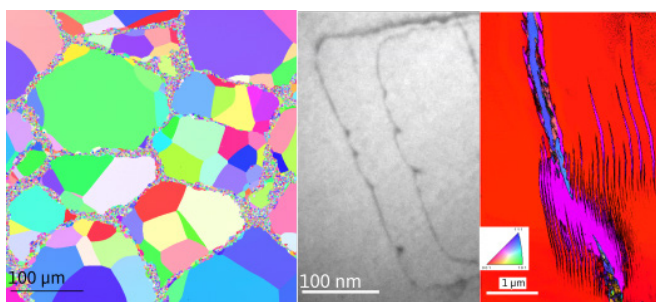
Les alliages harmoniques constituent une nouvelle classe de matériaux élaborés par métallurgie des poudres et composés de grains de tailles différentes. Leurs propriétés mécaniques sont supérieures à celles des alliages conventionnels. A l'aide de la microscopie électronique *in situ*, les mécanismes élémentaires de déformation à l'origine de ces propriétés mécaniques sont analysés ici pour l'alliage biomédical Ti-25Nb-25Zr.

Les alliages à base de titane sont beaucoup étudiés en vue d'applications biomédicales car leurs propriétés mécaniques permettent de les utiliser pour des prothèses osseuses. Récemment, une nouvelle catégorie d'alliages s'est développée, les alliages harmoniques, basée sur la même composition chimique que l'alliage conventionnel (ici Ti-25Nb-25Zr, un alliage à base de titane, niobium et zirconium), mais avec une structure à l'échelle micrométrique différente dans laquelle des gros grains de dimension de l'ordre de 100 micromètres sont entourées par un réseau tridimensionnel (squelette) de grains ultrafins de dimension de l'ordre de 1 micromètre. Cette structure hétérogène permet d'obtenir à la fois une grande résistance mécanique et une bonne capacité à se déformer sans fragilité (ductilité), deux propriétés antagonistes habituellement. Ce travail a pour objectif de comprendre les mécanismes fondamentaux à l'origine de ces qualités exceptionnelles en reliant les propriétés mécaniques aux propriétés microstructurales pour les deux types d'alliages, conventionnel et harmonique. Pour cela, des essais mécaniques ont été effectués au sein même d'un microscope électronique à transmission (MET *in situ*), permettant ainsi de suivre directement l'évolution de la microstructure en fonction de la

déformation du matériau sous contrainte. En confrontant des analyses *ex situ* et *in situ*, les chercheurs du CEMES à Toulouse (CNRS), du LSPM à Villetaneuse (CNRS) et de l'Institut Max Planck à Düsseldorf ont ainsi pu caractériser les différences de comportement entre les alliages conventionnels et harmoniques.

Un mécanisme bien connu de déformation sous contrainte est le glissement de dislocations, c'est-à-dire la propagation de proche en proche d'un défaut linéaire dans l'agencement atomique. Pour l'alliage conventionnel comme pour l'alliage harmonique, la résistance a été attribuée principalement à l'existence d'ancrages localisés des dislocations dus aux atomes de niobium ou de zirconium dispersés aléatoirement dans le cristal. Les mesures microscopiques de contrainte à l'échelle de la dislocation individuelle sont comparables aux mesures mécaniques macroscopiques, montrant que l'on explique ainsi bien l'origine de la résistance des alliages. Un autre mécanisme de déformation bien connu est la formation de macles, le maclage étant un processus au cours duquel les atomes se déplacent de façon collective et qui conduit, contrairement au processus de dislocation, à une réorientation du cristal. Grâce au MET *in situ*, les chercheurs ont pu caractériser pour l'alliage conventionnel l'apparition sous contrainte d'une phase (martensite) qui évolue au sein de bandes de déformation avec la formation de macles d'un type inattendu pour ce type de cristaux. Au contraire, pour l'alliage harmonique, ni martensite ni macles ne sont observées. L'alliage se déforme par le glissement des dislocations qui viennent s'accumuler en bordure du squelette avant d'être transmises à l'ensemble du matériau de façon homogène.

Cette étude a montré que les mécanismes à l'origine de la déformation des alliages sont profondément différents dans les cas de l'alliage conventionnel et de l'alliage harmonique. En particulier, un mécanisme de redistribution des contraintes et des déformations dans le squelette de la structure harmonique a été identifié pour expliquer le bon comportement de l'alliage harmonique du point de vue de la ductilité.



(à gauche) Cartographie d'orientation montrant la microstructure harmonique : les différentes couleurs correspondent aux différentes orientations cristallines des gros grains qui sont entourés du squelette de grains ultrafins ; (au centre) Image de MET *in situ* montrant les points d'ancrage d'une dislocation lors de son mouvement sous contrainte ; (à droite) Cartographie d'orientation obtenue *in-situ* montrant la formation concomitante de lattes de martensite en rose et de macles en bleu.

### En savoir plus

Conventional vs Harmonic-structured  $\beta$ -Ti-25Nb-25Zr alloys: a comparative study of deformation mechanisms

F. Mompiau, D. Tingaud, Y. Chang, B. Gault, G. Dirras  
*Acta Materialia* (2018), 10.1016/j.actamat.2018.09.032

### Contact chercheur

Frédéric Mompiau, chargé de recherche au CNRS

### Informations complémentaires

Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales, CEMES (CNRS)

cnrs

www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie  
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16  
T 01 44 96 42 53  
inp.com@cnrs.fr  
www.cnrs.fr/inp

Illustration du bandeau : © Cyril FRESILLON / Daumet / CNRS Photothèque