

Physique de la déformation : les polycristaux

Sébastien Merkel
Professeur, département de Physique
Laboratoire UMET (Unité Matériaux et Transformations)
sebastien.merkel@univ-lille.fr

1- Introduction

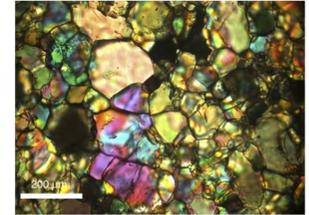
Matériau réel

Polycristal = assemblage de cristallites constituant un matériau massif

Peut être monphasé / polyphasé (contenir plusieurs types de matériaux)

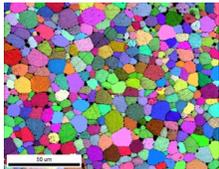
Cristallite = domaine connexe avec la même phase et orientation cristallographique

En général, les grains (cristallites) sont attachés, par des liaisons chimiques fortes.

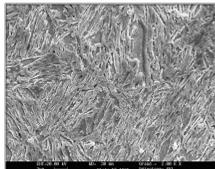


Un polycristal d'olivine
Image S. Demouchy, U. Montpellier

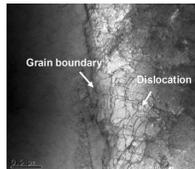
Comportement multi-échelles



Microstructure d'un oxide de zirconium (taille de grains ~ 10 µm)
Image EDAX



Acier bainitique après traitement thermique (taille ~ 1 µm)
Image Arcelor-Mittal



Dislocations et joints de grain dans un acier (taille ~ 100 nm)
Image Zhao et al, Acta Metall Sin

Dans ce cours : échelle microscopique → microstructure
Patrick Cordier, Philippe Carrez : échelle nanoscopique → défauts

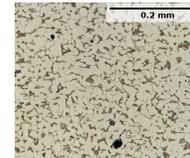
Relation propriétés-microstructures

Les propriétés d'un matériau massif sont fortement influencés par sa *microstructure* :

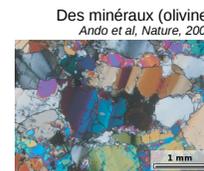
- Taille de grains ;
- Orientation des grains ;
- Forme ;
- Contraste de propriétés ;
- ...

Matériau réel :

- Polycristal ;
- Assemblage cohérent de grains individuels.

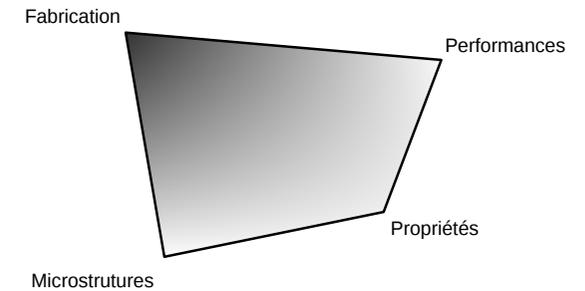


Un acier
Touchstone Research Laboratory



Des minéraux (olivine)
Ando et al, Nature, 2007

Dessin de matériaux industriels



Microstructure

Approche qualitative conventionnelle :

- Structures de grains, phases structurales ;
- Importance des interfaces en frontières entre phases ;
- Analyse par imagerie optique.

Approche quantitative conventionnelle :

- Tailles de grains, aspect ratio, taille de domaines, connectivité ;
- Mesures quantitatives.

Approche quantitative moderne :

- Calculs probabilistes ;
- Orientations de cristaux ;
- Analyse des interfaces ;
- Calculs de propriétés macroscopiques à partir de la microstructure.

Un peu de vocabulaire...

Texture (wikipedia):

- En cristallographie et sciences des matériaux, le terme texture désigne une orientation préférentielle des cristallites d'un matériau polycristallin.
- En géologie, la texture d'une roche caractérise l'arrangement des cristaux entre eux (morphologie ET orientations).

Fabriques

- En géologie, désigne l'arrangement des cristaux entre eux.

Microstructures

- En sciences des matériaux, équivalent de *textures* en géologie.

Pourquoi étudier les textures ?

L'optimisation de la texture est importante en sciences des matériaux

- Pour optimiser les performances ;
- A cause de leurs effets (positifs ou néfastes) sur le comportement.

Exemples de domaines d'application

- Turbines ;
- Réacteurs d'avions (alliages titane ou aluminium) ;
- Matériaux de confinement nucléaire (zircalloy) ;
- ...

Les procédés de fabrication permettent de contrôler la texture.

Beaucoup de difficultés à prédire les évolutions de texture et les propriétés associées.

Liens avec les propriétés des matériaux

Les cristaux sont anisotropes.

Un ensemble de cristaux est toujours anisotrope, sauf si toutes les orientations possibles sont présentes au sein du polycristal.

Pratiquement toute forme de traitement d'un matériau va générer des orientations, orientations qui dépendent du traitement ET du matériau.

L'anisotropie peut être un avantage, il faut donc s'en servir pour dessiner les propriétés d'un matériau.

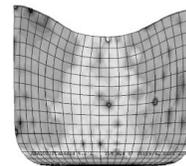
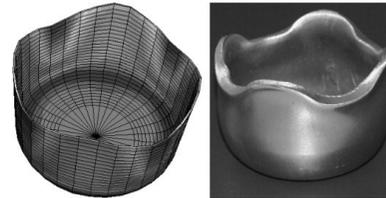
Exemple : fabrication d'une canette en alu

Formage d'une canette en aluminium

- Droite : observations expérimentales
- Gauche : simulation de l'épaisseur de paroi
- Bas : simulation de rotations de grains lors du formage

La texture créée de l'anisotropie

Pb pour la diminution de l'épaisseur de paroi



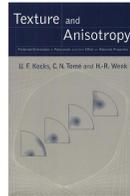
Raabe and Roters, *International Journal of Plasticity* 2004

Plan du cours

- Description des orientations dans un polycristal : angles d'Euler, indices de Miller, matrices de rotation, figure de pôle ;
- Acquisition et représentation des données : figures de pôle, diffraction des rayons X, EBSD (electron backscattered diffraction)
- Représentation statistique de la texture : fonction de distribution des orientations ;
- Propriétés macroscopiques de polycristaux : élasticité ;
- Problèmes d'inclusions dans une matrice homogène ;
- Comportement plastique et élastique de polycristaux : méthode en champs moyen, éléments finis.

Bibliographie

U.F. Kocks, C.N. Tomé, H.R. Wenk, *Texture and Anisotropy*, Cambridge University Press, 1998 (66 €)



H.J. Bunge, *Texture Analysis in Material Science*, Butterworths, 1982 (épuisé)

O. Engler, V. Randle, *Introduction to texture analysis*, CRC Press, 2009 (110 €)



Cours d'Anthony Rollett, Carnegie Mellon University:
<http://rollett.org/anthony/>

Programme MTeX pour l'étude et le tracé de textures :
<http://code.google.com/p/mtex>

Un logiciel de traitement de données de diffraction
<http://maud.radiographema.eu/>