

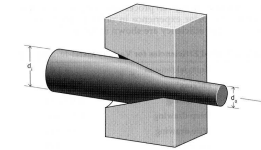
## Physique de la déformation : les polycristaux

Sébastien Merkel  
 Professeur, département de Physique  
 Laboratoire UMET (Unité Matériaux et Transformations)  
 sebastien.merkel@univ-lille1.fr

## 8- Textures dans les métaux

### a- Tests classiques

## Traction / Tréfilage



$$\epsilon = \begin{bmatrix} -\Delta/2 & 0 & 0 \\ 0 & -\Delta/2 & 0 \\ 0 & 0 & +\Delta \end{bmatrix}$$

Images :  
 - Wikipedia  
 - A. Rollet



## 8- Textures dans les métaux

## Tests classiques

### Textures dans des polycristaux

- Phénomène complexe ;
- Besoin de modélisation multi-échelle ;
- Très dépendantes de l'historique du matériau.

### Si technique de déformation compliquée :

- Textures compliquées ;
- Difficiles à interpréter.

### On utilise souvent un nombre limité de tests classiques :

- Compression ;
- Traction ;
- Laminage ;
- Et d'autres...

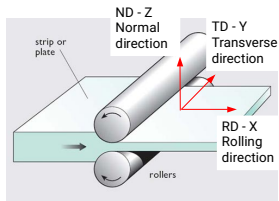
## Compression



$$\epsilon = \begin{bmatrix} \Delta/2 & 0 & 0 \\ 0 & \Delta/2 & 0 \\ 0 & 0 & -\Delta \end{bmatrix}$$



## Laminage



$$\epsilon = \begin{bmatrix} \Delta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\Delta \end{bmatrix}$$

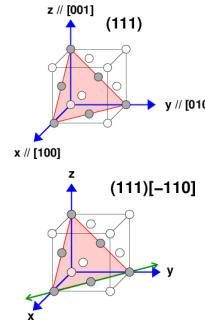
## Systèmes de glissement – fcc

Systèmes de glissement dans la structure fcc :

- direction de glissement :  $\langle 110 \rangle$
- plan de glissement :  $\{111\}$
- Système :  $(111)[-110]$

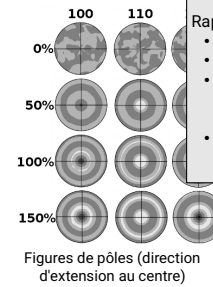
4 plans  $\{111\}$  :  $(111), (\bar{1}\bar{1}1), (1\bar{1}\bar{1}), (11\bar{1})$  ;

- Pour chacun : 3 directions  $\langle 110 \rangle$  ;
- 12 systèmes de glissement pouvant opérer, chacun, dans 2 directions (+ ou -).



## Fcc - Textures en traction

Simulation de textures en extension pour un métal fcc

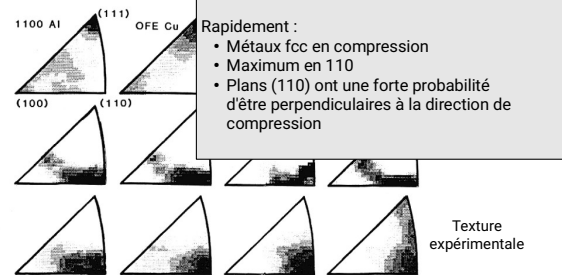


- Rapidement :
- Métaux fcc en traction ;
  - 2 maxima en 100 et 111 ;
  - Plans (100) et (111) ont une forte probabilité d'être perpendiculaires à la direction de traction ;
  - Poids relatifs des maxima en 100 et 111 dépend du matériau.



## 8- Textures dans les métaux b- Structure cubique faces centrées

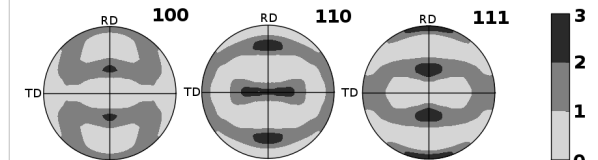
## Fcc - Textures en compression



- Rapidement :
- Métaux fcc en compression
  - Maximum en 110
  - Plans (110) ont une forte probabilité d'être perpendiculaires à la direction de compression

Image Kocks, Tomé, Wenk, 1998  
Ch. 5

## Fcc - Textures en laminage



Simulation de laminage à 50 % pour un métal de structure fcc

Caractéristiques grossières des textures de laminage pour un métal fcc :

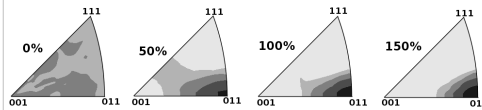
- Plans (110) // plan de laminage ;
- $\langle 1\bar{1}2 \rangle$  // direction de laminage.

En fait, on prend souvent référence sur des textures obtenues sur des métaux « classiques » (cuivre, laiton...) et on compare aux textures de l'alliage considéré.

## 8- Textures dans les métaux c- Structure cubique centrée

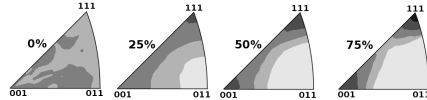
## Bcc- Textures de traction et compression

Simulation de textures en extension pour un métal bcc

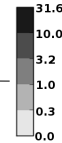


idem métal fcc en compression

Simulation de textures en compression pour un métal bcc



idem métal fcc en extension



## 8- Textures dans les métaux c- Structure hexagonale compacte

## Systèmes de glissement – bcc

Systèmes de glissement dans la structure bcc :

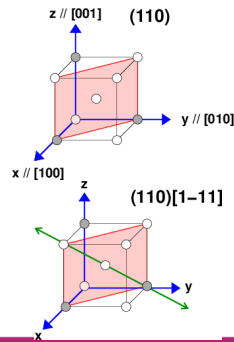
- direction de glissement :  $\langle 111 \rangle$
- plan de glissement :  $\{110\}$

Système :  $(110)[1-11]$

Autres plans possibles, toujours avec direction de type  $\langle 111 \rangle$ .

6 plans  $\{110\}$  :  $(110)$ ,  $(011)$ ,  $(101)$ ,  $(1\bar{1}0)$ ,  $(01\bar{1})$ ,  $(10\bar{1})$  ;

- Pour chacun : 2 directions  $\langle 111 \rangle$  ;
- 12 systèmes de glissement pouvant opérer, chacun, dans 2 directions (+ ou -).



## Comparaison fcc/ bcc

Systèmes de glissement :

- Fcc :  $(111)[-110]$
- Bcc :  $(110)[1-11]$

Textures en traction :

- Fcc : 2 maxima, en 001 et 111, minimum en 011
- Bcc : maximum en 011

Textures en compression :

- Fcc : maximum en 011
- Bcc : 2 maxima, en 001 et 111, minimum en 011

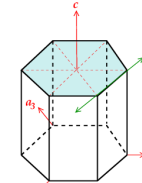
Textures en laminage :

- Plus compliqué.
- On passe des textures de métaux fcc à des textures de métaux bcc en inversant les directions RD et ND dans la projection.

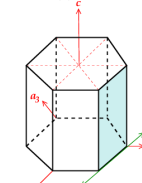
Fcc en compression  
~ bcc en traction  
Fcc en traction  
~ bcc en compression

## Systèmes de glissement hcp : $\langle 11\bar{2}0 \rangle$

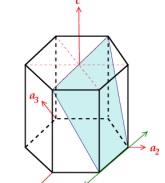
Systèmes avec vecteur de Burgers de type  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$   
aussi appelé  $\langle a \rangle$



Glissement basal  
 $(0001)[1120]$   
3 systèmes équivalents



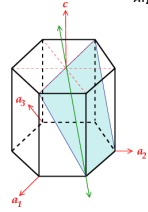
Glissement prismatique  
 $(01\bar{1}0)[1120]$   
3 systèmes équivalents



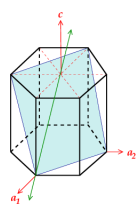
Glissement pyramidal  $\langle a \rangle$   
 $(01\bar{1}1)[1120]$   
6 systèmes équivalents

## Systèmes de glissement hcp : $\langle 11\bar{2}3 \rangle$

Systèmes avec vecteur de Burgers de type  $\langle 11\bar{2}3 \rangle$   
aussi appelé  $\langle c+a \rangle$



Glissement pyramidal  $\langle c+a \rangle$   
1er ordre  
(10 $\bar{1}$ 1)[11 $\bar{2}$ 3]  
12 systèmes équivalents

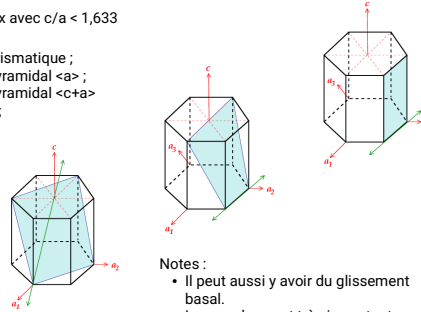


Glissement pyramidal  $\langle c+a \rangle$   
2nd ordre  
(11 $\bar{2}$ 2)[11 $\bar{2}$ 3]  
6 systèmes équivalents

## $c/a < 1,633$

Métaux hexagonaux avec  $c/a < 1,633$

- Zr, Ti, Hf ;
- Glissement prismatique ;
- Glissement pyramidal  $\langle a \rangle$  ;
- Glissement pyramidal  $\langle c+a \rangle$  second ordre ;
- Macles.



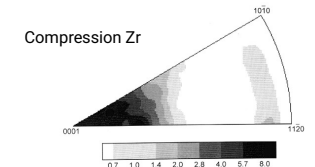
Notes :

- Il peut aussi y avoir du glissement basal.
- Les macles sont très importants.

## Comparaison Titane/ Zirconium

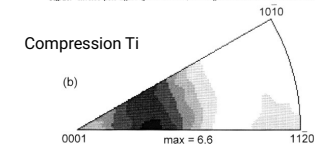
Règle générale dans métaux hcp :

- Comportement compliqué par l'activité des macles ;
- Considérations simples sur systèmes de glissement peu efficaces ;
- Moins vrai à hautes températures (plus de macles).



Compression Zr

Fig. 21. Inverse pole figure (plate normal) for forged and cross-rolled zirconium.

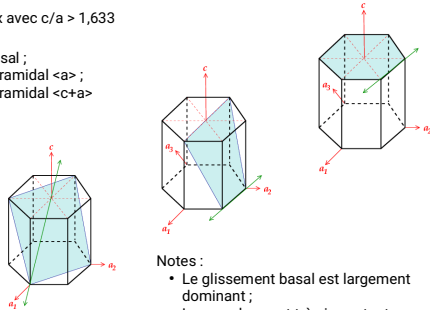


Compression Ti

## $c/a > 1,633$

Métaux hexagonaux avec  $c/a > 1,633$

- Cd, Zn;
- Glissement basal ;
- Glissement pyramidal  $\langle a \rangle$  ;
- Glissement pyramidal  $\langle c+a \rangle$  second ordre ;
- Macles.



Notes :

- Le glissement basal est largement dominant ;
- Les macles sont très importants.

## Hcp - Textures en traction / compression

Titane pur

Traction :

- Maximum en 10-10

Compression :

- Maximum proche de 0001
- 25° de 0001, ~  $\langle 11\bar{2}3 \rangle$

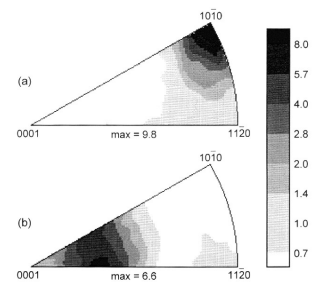


Fig. 20. Inverse pole figures of pure titanium: (a) extruded to a von Mises equivalent strain of 1.75 (extrusion-axis inverse pole figure), (b) forged and cross-rolled to a von Mises equivalent strain of 1.38 (plate normal inverse pole figure).

## Hcp - Textures en laminage

$c/a > 1,633$  :

0001 se sépare en composante double dans le plan direction de laminage / direction normale

$c/a = 1,633$  :

0001 parfaitement aligné avec la direction normale

$c/a < 1,633$  :

0001 se sépare en composante double dans le plan direction transverse / direction normale

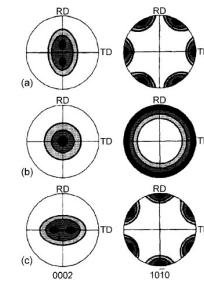


Fig. 22. Schematic rolling textures in hcp metals with  $c/a$  ratios of (a) greater than 1.633, (b) approximately equal to 1.633 and (c) less than 1.633. 0002 and 1010 pole figures. (TINCKHOFF 1988).