



HAL
open science

Revêtements de tôles multicristallines : restructuration surfacique de la microstructure et une optimisation des propriétés mécaniques

Pierre-Antoine Dubos, Ameni Zaouali, Pierre-Yves Jouan, Mireille Richard-Plouet, Valerie Brien, David Gloaguen, Baptiste Girault

► To cite this version:

Pierre-Antoine Dubos, Ameni Zaouali, Pierre-Yves Jouan, Mireille Richard-Plouet, Valerie Brien, et al.. Revêtements de tôles multicristallines : restructuration surfacique de la microstructure et une optimisation des propriétés mécaniques. *Matériaux* 2022, Oct 2022, Lille, France. <hal-05227700>

HAL Id: hal-05227700

<https://hal.science/hal-05227700v1>

Submitted on 28 Aug 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

Revêtements de tôles multicristallines : restructuration surfacique de la microstructure et une optimisation des propriétés mécaniques

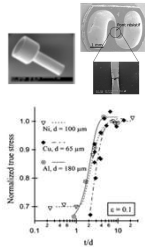
P.A. Dubos¹, A. Zaouali¹, P.Y. Jouan², M. Richard-Plouet², V. Brien², B. Girault¹, D. Gloaguen¹

1. Nantes Université, CNRS, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique, GeM, F-44600 Saint-Nazaire, France.

2. Nantes Université, CNRS, Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, IMN, F-44000 Nantes, France.

Introduction

- ↳ dimensions des composants métalliques ⇒ réduction du nombre de grains dans l'épaisseur (rapport t/d, t épaisseur, d taille de grains) des produits ⇒ défis technologiques.
- Dégradation importante des propriétés mécaniques [1, 2] a été constatée quand t/d > 1.
- Quand t/d < valeur critique ⇒ l'échantillon ne peut plus être qualifié de polycristal et son comportement devient multicristallin ⇒ effet de taille de grains accru, réduction de la multiplicité du glissement, retard du glissement dévié et réduction importante des contraintes internes à longue distance.
- La détérioration des propriétés est liée au retardement de l'activation des mécanismes de déformations pour les grains surfaciques tronqués par des surfaces libres.
- Ce retard entraîne un effet de gradient de contrainte entre le cœur et la surface des multicristaux.



Résultats

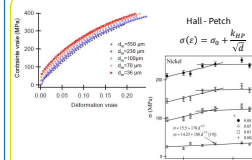
Sans revêtement
[thèses Keller - Dubos]

Avec revêtements

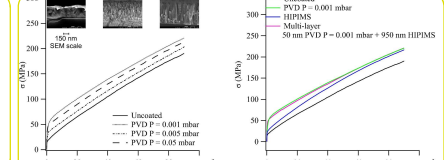
PVD DC Pression
variable [7]

PVD DC / HiPIMS
/ Multicouche

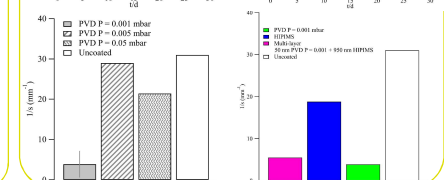
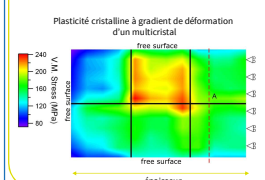
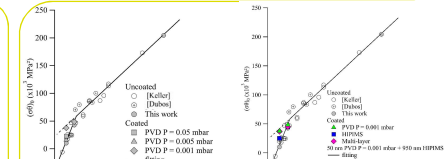
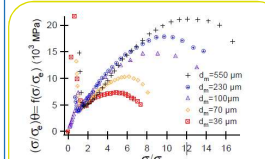
Effet de taille de grains sur une tôle de nickel non revêtue



Essais de traction monotone sur multicristaux revêtus



Modélisation de Kocks Mecking en stade II et effets de surface

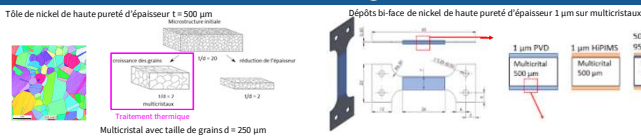


Objectifs

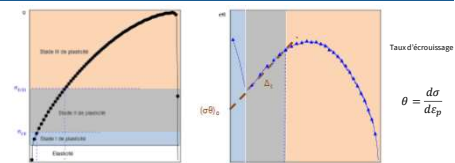
- Introduire une barrière adaptée à la fuite des dislocations au niveau des surfaces libres.
- Contrer le fort adoucissement mécanique afin de retrouver un comportement analogue à celui des tôles polycristallines.
- Maîtrise de l'interface et du gradient de taille de grains entre revêtements et multicristal, nécessaire pour obtenir la meilleure optimisation du comportement mécanique macroscopique des tôles multicristallines.

Matériaux et méthodes

Stratégie



Modélisation de Kocks Mecking [3, 4, 5]



- Stade I: glissement facile ⇒ augmentation des empilements
- Stade II: Glissements multiples et quelques glissements déviés ⇒ formation de cellules
- Stade III: Généralisation du glissement dévié ⇒ augmentation de la densité de cellules

$$\sigma\theta = \Delta_{II}\sigma + (\sigma\theta)_0$$

$$\Delta_{II} = \frac{a\mu M^2}{2\beta}$$

a : paramètre matériau
μ : module de cisaillement

b : vecteur de Burgers
M : coefficient Taylor

L : distance moyenne entre les structures de dislocations rémanentes (fonction de la densité de dislocation)

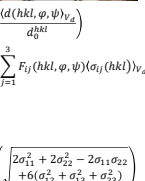
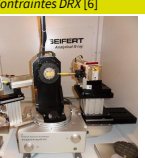
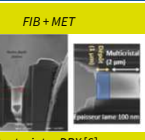
$$(\sigma\theta)_0 = \frac{\alpha^2 \mu^2 M^2 b}{2} \left(\frac{k_g}{L} + \frac{1}{L} \right)$$

Contribution des joints de grains
k_g : facteur géométrique

Contribution des dislocations initiales
L = 1/ρ₀

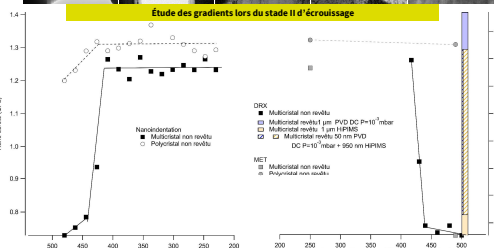
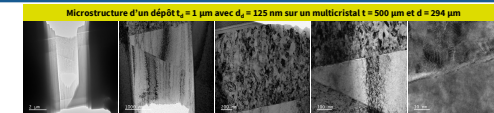
Présence des effets de surface:
→ 0 pour les polycristaux
→ 0 pour les multicristaux (adoucissement)

Analyse



(hkl)	(420)	(331)
d _{hkl} (Å)	155,67	144,65
(1/2 s ₂) _{hkl} (MPa ⁻¹)	6,61 × 10 ⁻⁶	5,68 × 10 ⁻⁶
(s ₁) _{hkl} (MPa ⁻¹)	-1,48 × 10 ⁻⁶	-1,17 × 10 ⁻⁶

Microstructure et gradients surface - cœur



Conclusions

- Bonne adhérence, couche granulaire dense
- Préparation de surface importante



- Amélioration des propriétés mécaniques des multicristaux du nickel
- Effet de surface libre (adoucissement) réduit, création une barrière à la fuite de dislocations surfaciques lors de la déformation des multicristaux, impact du dépôt sur l'entrave au mouvement des dislocations

[1] P.A. Dubos, E. Hug, S. Thibault, M. Ben Beltaieb, C. Keller, Size effects in thin face centered cubic metals for different complex forming loadings, Metallurgical and Materials Transactions A, 44, 12 (2013) 5478-5487.

[2] E. Hug, C. Keller, Intrinsic effects due to the reduction of thickness on the mechanical behavior of nickel polycrystals, Metallurgical and Materials Transactions A, 41, 10 (2010) 2498-2506.

[3] H. Mecking, Description of hardening curves of fcc single and polycrystals in Work hardening in tension and fatigue, ed. Metallurgical and Petroleum Engineers American Institute of Mining, 1977.

[4] C. Keller, E. Hug, X. Feaugas, Microstructural size effects on mechanical properties of high purity nickel, International journal of plasticity, 27 (2011) 635-654.

[5] E. Hug, P.A. Dubos, C. Keller, L. Duchene, A.M. Habraken, Size effects and temperature dependence on strain-hardening mechanisms in some face centered cubic materials, Mechanics of Materials, 91 (2015), 136-151.

[6] V. Hauk, Structural and Residual Stress Analysis by Nondestructive Methods, Elsevier, Amsterdam, 1997.

[7] P.A. Dubos, A. Zaouali, P.Y. Jouan, M. Richard Plouet, V. Brien, D. Gloaguen, B. Girault, Flow stress improvement of a nickel multicrystal by physical vapor thin film deposition to reduce surface effects, Materials Letters X, 14, (2022) 100145.

Contact

Dubos Pierre-Antoine
pierre-antoine.dubos@univ-nantes.fr

Financier - Labellisation

