



HAL
open science

Effet de l'épaisseur des échantillons minces sur leur comportement en traction : étude de l'influence de la taille de grain, de la surface libre et de l'état de précipitation pour un superalliage à base de nickel

Damien Texier, Antonio Castro Moreno, Daniel Monceau, Daniel Hourcade, Vincent Velay, Eric Andrieu

► **To cite this version:**

Damien Texier, Antonio Castro Moreno, Daniel Monceau, Daniel Hourcade, Vincent Velay, et al.. Effet de l'épaisseur des échantillons minces sur leur comportement en traction : étude de l'influence de la taille de grain, de la surface libre et de l'état de précipitation pour un superalliage à base de nickel. SF2M 2021 - Journées Annuelles SF2M 2021, Oct 2021, A distance, France. hal-04171379

HAL Id: hal-04171379

<https://imt-mines-albi.hal.science/hal-04171379>

Submitted on 26 Jul 2023

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.

Effet de l'épaisseur des échantillons minces sur leur comportement en traction : étude de l'influence de la taille de grain, de la surface libre et de l'état de précipitation pour un superalliage à base de nickel

Damien Texier^{a,b}, Antonio Castro Moreno^c, Daniel Monceau^a, Daniel Hourcade^a, Vincent Velay^b, Eric Andrieu^a

^a CIRIMAT-UMR CNRS 5085, Toulouse, France

^b Institut Clement Ader (ICA) - UMR CNRS 5312, Albi, France

^c IRT Saint-Exupery, Toulouse, France

Résumé

Le comportement mécanique d'éprouvettes minces a été étudié sur différents variants métallurgiques d'un superalliage à base de nickel polycristallin (3 tailles de grains et 2 états de précipitation différents). Une technique d'amincissement d'éprouvettes a été développée afin de tester en traction des échantillons dont l'épaisseur est comprise entre 15 et 500 μm , soit entre 0.1 et 25 fois la taille de grains dans l'épaisseur de l'éprouvette. La transition de comportement polycristal \rightarrow multicristal, identifiée dans un premier temps par un abattement de la limite d'élasticité, se produit pour des épaisseurs différentes en fonction de la taille de grains: quatre fois la taille de grains pour les microstructures fines et deux fois la taille de grains pour les microstructures grossières.

Introduction

Les effets de surface sur la réponse mécanique des matériaux polycristallins sont particulièrement importants pour les composants miniaturisés de par leur fort rapport « surface/volume ». L'influence d'une surface libre sur la réponse mécanique de matériaux a été largement étudiée sur différents matériaux polycristallins modèles. Une baisse significative des propriétés de traction (limite d'élasticité, contrainte à rupture, allongement à rupture) a été observée avec la réduction de l'épaisseur de l'éprouvette^[1-4]. Cette diminution des propriétés de traction est appelée transition polycristalline-multicristalline par A. Thompson^[2] et est principalement attribuée à la présence de la surface libre permettant l'échappement des dislocations. Ceci conduit à une diminution significative de la densité des dislocations dans les grains de surface par rapport aux grains de cœur^[3,5]. L'objectif de cette étude est de distinguer le comportement mécanique des grains de surface de celui des grains de cœur dans un superalliage à base de nickel (Inconel 718) en utilisant différentes épaisseurs d'échantillons et différents états métallurgiques. Les joints de grains et la surface libre participent au contrôle de la densité de dislocations dans un grain donné. Le rapport entre l'aire de la surface développée de joints de grains et la surface libre a été utilisé dans l'homogénéisation par champ moyen des deux populations de site microstructuraux pour l'identification du comportement mécanique des éprouvettes minces.

Matériau et méthodes expérimentales

Matériaux et traitements thermiques

Le matériau utilisé est un feuillard de 635 μm d'épaisseur de superalliage polycristallin à base de nickel : l'alliage 718 de composition chimique Ni-18.5Cr-18.3Fe-5.0(Nb+Ta)-3.0Mo-1.0Ti-0.6Al-0.03C (% mass.). Les éprouvettes de traction ont été prélevées par découpe laser dans le sens de laminage. La géométrie des éprouvettes est décrite dans la référence^[6]. Différents traitements thermiques sous atmosphère contrôlée ont été effectués sur les éprouvettes afin d'obtenir les différents états métallurgiques voulus : 3 tailles de grains (18 μm (GF), 76 μm (GM) et 137 μm (GG)) et deux états métallurgiques (solution solide (SS) et durci par précipitation (DP)). Les traitements thermiques associés sont détaillés dans la référence^[6].

Préparation des échantillons ultraminces

Les échantillons de traction ont été amincis après traitements thermiques, à l'aide d'une polisseuse LOGITECH CL50© couplée à un Jig. Une finition diamant manuelle à 3 puis à 1 μm a été réalisée sur les deux faces des éprouvettes. Plus de détails sur la procédure d'amincissement sont disponibles dans la référence^[7]. Les épaisseurs finales des éprouvettes sont comprises entre 15 et 500 μm avec une variation d'épaisseur le long de la zone utile inférieure à 2 μm . Les tranches des éprouvettes ont été préalablement polies avec du papier SiC jusqu'à un grade P4000. L'épaisseur de la zone utile de l'éprouvette est mesurée en 5 points et la largeur en 3 points.

Essais de traction

Les essais de traction ont été réalisés sur un bâti MTS Synergie1000 équipé d'un capteur de force de 5 kN et de mors auto-serrant en V. Une vitesse de déplacement de la traverse a été imposée afin d'obtenir une vitesse de déformation de $1 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$. Le calcul de la contrainte est effectué à partir des valeurs moyennes des mesures d'épaisseur et de largeur.

Résultats

La Figure 1 montre les courbes de traction « contrainte vraie vs. déformation vraie » d'échantillons de différentes épaisseurs pour la microstructure présentant une taille de grains de 137 μm . Le comportement mécanique (limite d'élasticité, module d'érouissage, contrainte à rupture, allongement à rupture) des éprouvettes ne dépend pas de l'épaisseur des éprouvettes au-delà d'une certaine épaisseur. Ces propriétés macroscopiques sont stables à

partir du moment où le nombre de grains dans l'épaisseur est suffisant pour reproduire le comportement polycristallin du matériau étudié. Au contraire, en dessous d'une certaine épaisseur critique, ces propriétés macroscopiques diminuent avec l'épaisseur des éprouvettes. Cette évolution du comportement est associée à une transition de comportement mécanique du polycristal au multicristal.

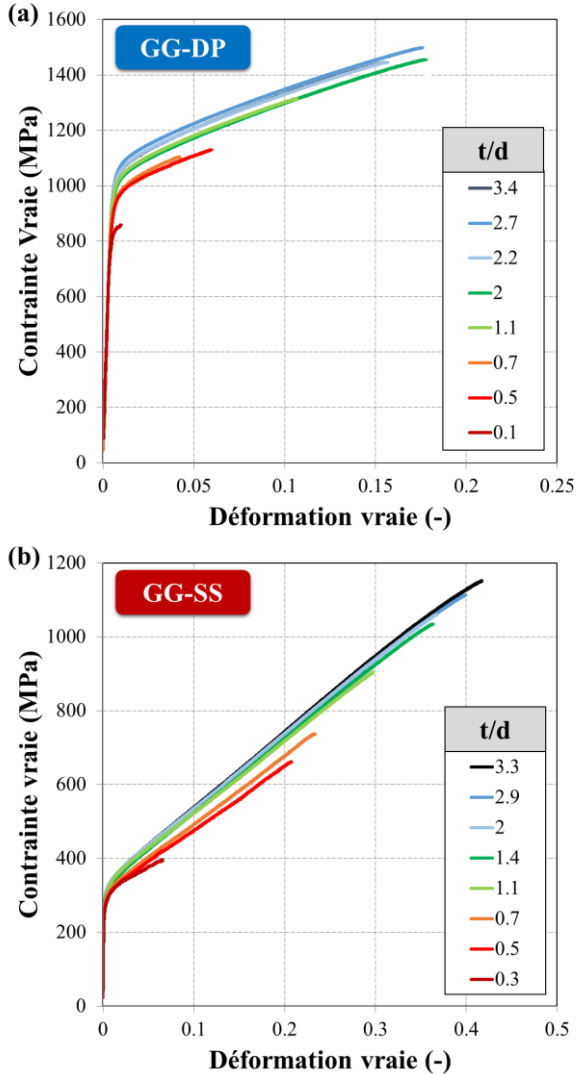


Figure 1 Courbes contrainte-déformation pour différentes épaisseurs d'éprouvettes de la microstructure à gros grains : (a) durci par précipitation et (b) solution solide

La limite d'élasticité ($R_{p0.2\%}$) a été mesurée à partir des courbes « contrainte vraie vs. déformation vraie » pour l'ensemble des épaisseurs et états métallurgiques testés. Cette limite d'élasticité a été normalisée par la limite d'élasticité des éprouvettes dites « polycristallines ». Ces propriétés normalisées ont été tracées en fonction du ratio « épaisseur d'éprouvette/taille de grains (t/d) » en Figure 2 pour l'ensemble des variants métallurgiques. L'épaisseur de transition de la limite d'élasticité semble être sensible à la taille de grains et donc au nombre de grains dans l'épaisseur. Ce résultat nous informe sur le volume élémentaire minimal représentatif nécessaire à la description du comportement élastoplastique.

Conclusions

Cette étude a permis de valider une technique de préparation des éprouvettes ultraminces dédiées aux essais mécaniques. Comme attendu, des différences de comportement mécanique ont été observées pour les différents états métallurgiques étudiés. Nous avons montré l'existence d'une épaisseur limite en dessous de laquelle la limite d'élasticité, la contrainte à rupture et l'allongement à rupture diminuent avec l'épaisseur.

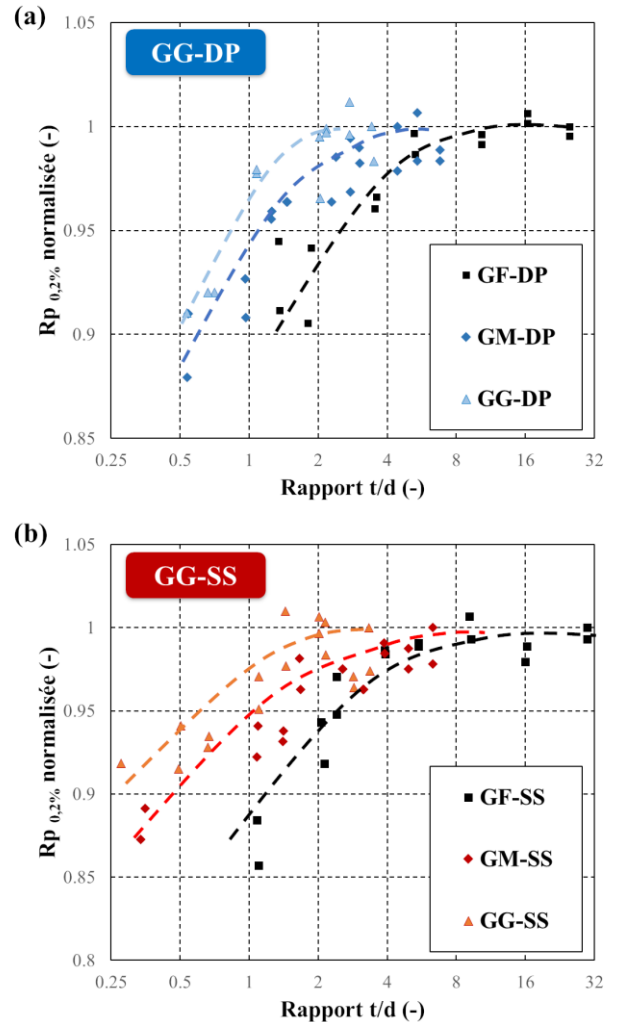


Figure 2 Evolution de la limite d'élasticité en fonction du rapport t/d pour les différents états métallurgiques: (a) durci par précipitation et (b) solution solide

Références

- 1 R.W. Armstrong: *J. Mech. Phys. Solids*, 1961, vol. 9, pp. 196–9.
- 2 A.W. Thompson: *Scr. Metall.*, 1974, vol. 8, pp. 145–8.
- 3 S. Miyazaki, K. Shibata, and H. Fujita: *Acta Metall.*, 1979, vol. 27, pp. 855–62.
- 4 C. Keller, E. Hug, and X. Feaugas: *Int. J. Plast.*, 2011, vol. 27, pp. 635–54.
- 5 C. Keller, E. Hug, R. Retoux, and X. Feaugas: *Mech. Mater.*, 2010, vol. 42, pp. 44–54.
- 6 D. Texier: Université de Toulouse (France), 2013.
- 7 D. Texier, D. Monceau, J.-C. Salabura, R. Mainguy, and E. Andrieu: *Mater. high Temp.*, 2016, vol. 33, pp. 325–37.