

Étude numérique par éléments cohésifs et remaillage de la compétition entre la rupture intragranulaire et intergranulaire dans un bicristal de TiAl

D. Geoffroy^{1,3}, J. Crépin¹, E. Héripéré², A. Roos³, V. Chiaruttini³

¹Centre des Matériaux, Mines-ParisTech, BP 87, 91003 Evry cedex, France,

²LMS, Ecole Polytechnique-ParisTech, 91128 Palaiseau cedex, France

³ONERA, DMSM/CEMN, BP 72, 92322 Châtillon cedex, France

Résumé

Dans le domaine de l'industrie aéronautique, le poids est depuis toujours une contrainte importante de conception. Celui-ci affecte inévitablement la consommation de carburant et l'efficacité de l'appareil. Une part importante du poids réside dans le moteur, notamment dans les aubes de turbine, actuellement fabriquées en superalliage. Sur certains étages de la turbine, il pourrait être avantageux d'utiliser d'autres matériaux. Le TiAl, un alliage beaucoup plus léger que le matériau actuellement utilisé, semble être adapté pour certaines plages de températures, donc certains étages de la turbine [3]. Cependant, l'utilisation de ce matériau reste très limitée, en raison de sa faible ductilité à température ambiante et de la forte sensibilité des propriétés mécaniques sur les paramètres microstructuraux. Il est donc nécessaire d'étudier le comportement mécanique du matériau en fonction de sa microstructure.

Plusieurs travaux ont été effectués sur cet alliage durant les dernières décennies. Parmi ceux-ci, Héripéré *et al.* [2] ont développé une stratégie de couplage entre une étude numérique et expérimentale pour identifier les paramètres de la loi de comportement plastique cristalline. Les différents champs plastiques peuvent donc être déterminés en fonction de ces paramètres à l'aide d'un calcul par éléments finis. Par ailleurs, Simkin *et al.* [4] ont montré que l'amorçage des fissures est en lien direct avec le maillage. La propagation se réalise suivant les plans de macles ou les joints de gains en fonction de l'orientation cristallographique des grains considérés. Fallahi *et al.* [1] ont développé des critères d'initiation de fissure, fonction de la désorientation cristalline entre deux grains, de la normale du joint de grain, ainsi que de l'effort macroscopique appliqué. Ces critères peuvent prédire statistiquement, pour le TiAl, la tendance d'une fissure à se propager le long des joints de grains ou à l'intérieur de ceux-ci. Finalement, Werwer *et al.* [5] ont simulé la propagation d'une fissure par éléments cohésifs en trois dimensions dans du TiAl lamellaire homogénéisé.

Les présents travaux proposent d'étudier numériquement par éléments finis la propagation d'une fissure dans un bicristal de TiAl monophasé gamma. Une loi élastoplastique cristalline est utilisée, et une orientation cristallographique arbitraire est donnée à chacun des grains. En raison des études préalablement citées, deux types de fissuration sont admis : intergranulaire (i.e. propagation le long des joints de grains) et intragranulaire le long des plans de macles.

Une fissure est donc préalablement insérée dans un grain du bicristal le long d'un plan de macles. Des éléments cohésifs sont par la suite insérés tout au long de ce plan jusqu'au joint de grain du bicristal. Le modèle est ensuite soumis à un effort extérieur induisant la propagation de la fissure jusqu'au joint de grain. La fissure peut par la suite se propager le long du joint de grain, ou le long des plans de macle du second grain.

La compétition entre ces deux mécanismes est étudiée dans l'optique de déterminer l'influence de la désorientation cristalline entre les deux grains du bicristal, ainsi que celle de

la géométrie du joint de grain. Pour ce faire, les lois de comportement des éléments cohésifs aux joints de grains sont différentes de celles utilisées aux plans de macles. Leurs paramètres sont ajustés de manière à retrouver statistiquement les résultats du critère macroscopique de Fallahi *et al.* [1].

Lors de l'arrivée de la fissure au joint de grain, le plan de macle du grain voisin le plus sollicité est remaillé en y intégrant des éléments cohésifs. D'autres éléments cohésifs sont également insérés le long du joint de grain. Ce processus est traité comme une étape intégrée à la simulation dans l'optique d'assurer la poursuite du calcul. Plusieurs configurations de bicristaux sont étudiées afin d'évaluer l'influence de la position du joint de grain, ainsi que celle due à la désorientation cristalline entre les deux grains.

Cette étude permet de présenter les outils de remaillage nécessaires à la propagation de fissures dans des polycristaux. Elle permettra, par la suite, d'étudier la propagation de fissures dans des volumes élémentaires représentatifs afin de mieux comprendre l'influence de la microstructure sur la ténacité. Ces modèles seront également comparés à des modèles plus macroscopiques.

Références

- [1] A. Fallahi, D. Mason, D. Kumar, T. Bieler, M. Crimp, *The effect of grain boundary normal on predicting microcrack nucleation using fracture initiation parameters in duplex TiAl*, Materials Science and Engineering A 432, pp. 281-291, 2006.
- [2] E. Héripé, M. Dexet, J. Crepin, L. Gelebart, A. Roos, M. Bornert, D. Caldemaison, *Coupling between experimental measurements and polycrystal finite element calculations for micromechanical study of metallic materials*, International Journal of Plasticity 23, pp. 1512-1539, 2007.
- [3] G. Norris, *Powerhouse*, Flight International, 13 juin 2006.
<http://www.flightglobal.com/articles/2006/06/13/207148/power-house.html>.
- [4] B. Simkin, B. Ng, M. Crimp, T. Bieler, *Crack opening due to deformation twin shear at grain boundaries in near- γ TiAl*, Intermetallics 15, pp. 55-60, 2007.
- [5] M.Werver, R. Kabir, A. Cornec, K.-H. Schwalbe, *Fracture in lamellar TiAl simulated with the cohesive model*, Engineering Fracture Mechanics 74, pp. 2615-2638, 2007.