



CENTRE DES MATERIAUX
P.M.FOURT



S *ÉMINAIRE du 23 mai 2014*

**Le rôle de la microstructure sur les mécanismes
d'endommagement par fatigue**



VERS UN CRITÈRE DE FATIGUE A L'ECHELLE DU POLYCRISTAL

François Curtit EDF R&D

francois.curtit@edf.fr

Pour de nombreux matériaux métalliques, le stade 1 de l'endommagement en fatigue, qui correspond à la fissuration de deux ou trois grains, couvre la majeure partie de la durée de vie du composant dans le cas de chargements modérés. Durant cette phase, la cinétique d'endommagement est fortement influencée par de nombreux paramètres tels que l'état de surface, et la micro-structure du matériaux.

La démarche du projet AFGRAP est de mieux comprendre les mécanismes physiques qui contrôle les premiers stades de l'endommagement dans le but de quantifier l'influence de chaque paramètre et de mieux appréhender leurs interactions potentielles. Sur le plan industriel, l'objectif est de permettre une meilleure optimisation technico-économique des états de surfaces, ainsi que de limiter les plans d'expériences la caractérisation de l'endommagement par fatigue.

Sur le plan scientifique, le projet AFGRAP cherche à proposer des critères, formulés à l'échelle locale, permettant de prédire l'amorçage d'une fissure intragranulaire, ainsi que l'extension de cette fissure au grain adjacent par franchissement du joint de grain. La démarche mise en oeuvre au cours du projet s'articule autour des grands principes suivants :

- Associer étroitement des simulations numériques à différentes échelles (Dynamique des Dislocations et simulations aux éléments finis en plasticité cristalline) ainsi qu'une importante activité expérimentale de caractérisation et d'expertise à l'échelle du grain et du polycristal à différents stades d'endommagement.
- Confronter chaque fois que cela est possible les résultats des simulations numériques avec les observations expérimentales, et s'appuyer sur ces confrontations pour faire progresser simultanément chaque domaine.
- Mettre en place les outils numériques permettant un couplage étroit entre les codes DDD et éléments finis afin de prendre en compte le voisinage du grain et mieux comprendre le lien entre la plasticité locale à l'échelle des structures de dislocations et une plasticité moyennée prise en compte par les éléments finis.
- Exploiter les moyens expérimentaux et numériques modernes permettant aujourd'hui de traiter un nombre important de configurations dans le but de mieux quantifier les différents paramètres influent, mais également de permettre des analyses statistiques.

L'ensemble des études est réalisé sur un acier inoxydable austénitique 316L(N).

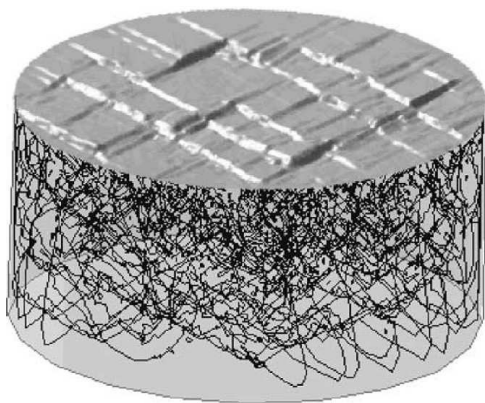


Figure 1 : Interaction des dislocations avec la surface libre

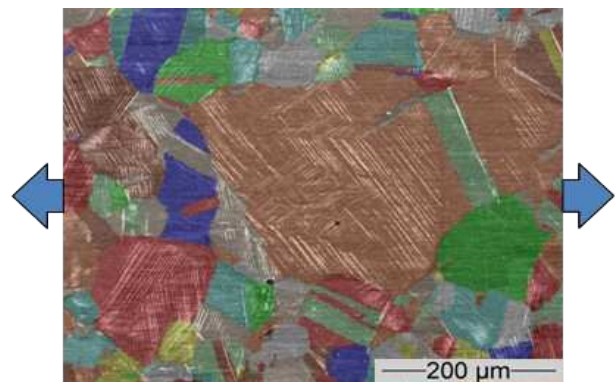


Figure 2 : Extrusion de bandes persistantes de glissement en surface

MÉCANISMES D'AMORÇAGE EN FATIGUE POUR DIFFÉRENTES MICROSTRUCTURES D'UN SUPERALLIAGE BASE NICKEL FORGE - INCONEL 718 DA

Meriem Abikchi^{a,b}, Jerome Crepin^a, Arnaud Longuet^b, Thilo F. Morgeneyer^a, Loïc Nazé^a, Frank NGuyen
André Pineau^a, Alexandre Serot^b

^a Centre des Matériaux, Mines Paristech, CNRS UMR 7633, BP87, 91003 Evry Cedex, France

^b Snecma-SAFRAN group ; site de Villaroche, 77550 Moissy-Cramayel, France

meriem.abikchi@ensmp.fr

Des éprouvettes prélevées dans un disque de turbine en Inconel 728 DA présentent une variabilité de durée de vie en fonction de la zone de prélèvement. Dans le but de relier les paramètres de forgeage et la microstructure au comportement en fatigue, plusieurs microstructures ont donc été testées en fatigue. Des essais de fatigue en contrôle de déformation à 450°C ont été réalisés. Les distributions de la taille de grains et des différentes particules ont été caractérisées pour chaque éprouvette et reliées au mécanisme d'initiation de l'endommagement en fatigue. La distribution 3D des particules (nitrides et carbures) a aussi été étudiée par laminographie au synchrotron. L'initiation de fissure de fatigue a pu ainsi être étudiée et les mécanismes conduisant à la fissuration corrélés d'une part à la distribution de la taille des grains et d'autre part à celle des particules. En effet, l'effet de la queue de distribution (gros grains maclés) joue un rôle essentiel sur les mécanismes de fissuration et la limitation de la durée de vie des éprouvettes, alors qu'une taille de grains plus homogènes et plus petite (centrée sur 7 μm) conduit à un amorçage sur particule interne (nitride) et conduit à la rupture avec la formation d'un fish-eye. Les différentes étapes de ces deux mécanismes d'endommagement sont étudiées en termes de mécanique de la rupture et en utilisant les données de la littérature pour quantifier la contribution de chaque étape à la durée de vie totale en fatigue. Pour mieux comprendre les mécanismes de rupture des joints de macles une analyse MET a aussi été réalisée.



Figure 1 : Observation au MET de la fissure sur joint $\Sigma 3$

SIMULATION DE LA PROPAGATION DE FISSURE DE FATIGUE EN UTILISANT UNE MICROSTRUCTURE RÉELLE OBTENUE PAR TOMOGRAPHIE

J. Li ^a, H. Proudhon ^a, S. Forest ^a, A. Roos ^b, V. Chiaruttini ^b, W. Ludwig ^c

^aCentre des Matériaux, Mines Paristech, CNRS UMR 7633, BP87, 91003 Evry Cedex, France

^bONERA - the french aerospace lab, 92322 Châtillon, France

^cUniversité de Lyon, INSA Lyon, MATEIS, 69621 Villeurbanne, France

jia.li@mines-paristech.fr

La propagation de fissure courte en fatigue dans un matériau polycristallin dépend fortement de la microstructure. Bien que des nombreuses études de caractérisation et de modélisation aient été réalisées, la prédiction du chemin et de la vitesse de propagation de ce type de fissure n'est pas encore possible aujourd'hui.

Afin de bien comprendre les mécanismes de la propagation de fissure courte, la caractérisation in-situ d'un échantillon par la tomographie aux rayons X a été réalisée à l'ESRF. Deux techniques de caractérisation ont été utilisées¹. La tomographie par Contraste de Diffraction (DCT) qui est une méthode non destructive permettant de caractériser en 3D la morphologie et l'orientation des grains constitutifs de la microstructure, à l'état non-déformé. La tomographie par Contraste de Phase (PCT) permet d'obtenir la forme de fissure à divers étapes de la vie de l'éprouvette, Figure 1 (a – c). Grâce à ces informations, il est possible de simuler la propagation de fissure en utilisant un maillage réaliste reconstruit à partir des images tomographiques.

Dans ce travail, une nouvelle méthodologie est proposée pour simuler la propagation de fissure². Issue d'une simulation en plasticité cristalline, la direction de la propagation de fissure est déterminée par un post-traitement. Ensuite, la fissure est propagée par remaillage à une distance imposée. Cette méthode est appliquée d'abord aux monocristaux (Figure 1 (d)) et bicristaux. Le rôle du joint de grains et la vitesse de propagation sont également analysés. L'ensemble de la démarche sera enfin appliqué au polycristal imagé par tomographie. En comparant les résultats de simulation avec les mesures expérimentales, le critère de la propagation de fissure sera discuté.

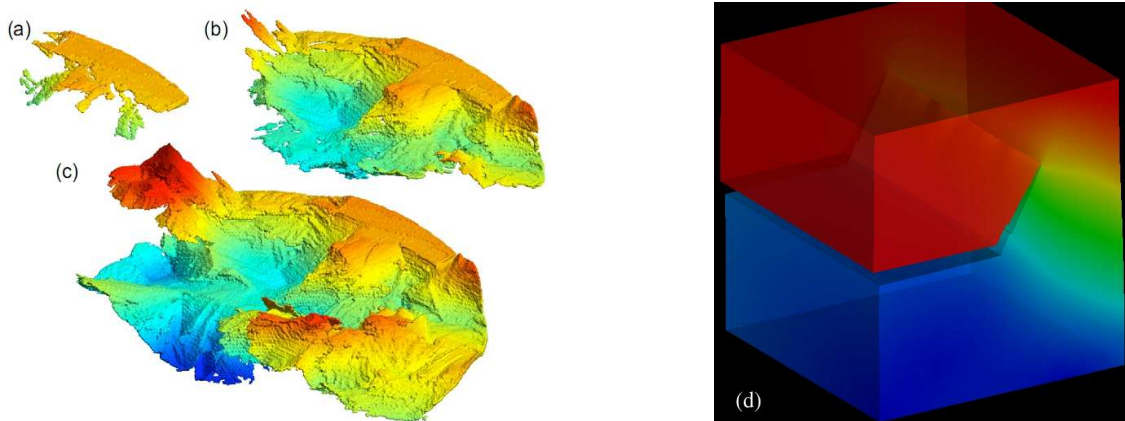


Figure 1 : (a-c) Représentation 3D d'une fissure de fatigue à différentes étapes de chargement obtenue par la tomographie aux rayons X. (d) Simulation de la propagation de fissure dans un monocristal.

¹W. Ludwig, A. King, M. Herbig, P. Reischig, J. Marrow, L. Babout, E.M. Lauridsen, H. Proudhon, J.Y. Buffière. Characterization of polycrystalline materials by combined use of synchrotron X-ray imaging and diffraction techniques. *JOM* 62 : 22 – 28, 2010.

²J. Li, H. Proudhon, A. Roos, V. Chiaruttini, S. Forest. Crystal plasticity finite element simulation of crack growth in single crystals. *Computational Materials Science*. Accepted.



Vous pouvez nous contacter:

par courrier postal:

Centre des Matériaux
Mines ParisTech
CNRS UMR 7633
10 Rue Henry Desbrières, BP 87
F-91003 Evry cedex, FRANCE

par téléphone : +33 1 60 76 30 00
par fax : +33 1 60 76 31 50
par courrier électronique semteam@mat.ensmp.fr
Site web : <http://www.mat.ensmp.fr>

Equipe séminaire :

Florent Coudon (A005)
Vincent Bortolussi (C119)
Alexandre Hermant
Chao Ling (B109)