

Proposition de projet de mastère spécialisé

Design des Matériaux et des Structures

Année 2018-2019

Société partenaire : Safran Tech

Lieu de réalisation de l'étude : Centre des Matériaux et Safran Tech

Encadrement

Florent Coudon (Safran Tech), Stéphane Gourdin (Safran Tech), Georges Cailletaud (Mines ParisTech), Samuel Forest (Mines ParisTech), Alain Köster (Mines ParisTech)

Titre

Etude du comportement d'un alliage à solidification dirigée oligogranulaire

Mots-clés

Plasticité cristalline, calculs en champs complets, essais biaxiaux cruciformes, superalliage base nickel

Contexte de l'étude

Le superalliage base nickel à solidification dirigée DS200 est utilisé pour les aubes de turbine basse pression des moteurs CFM56 et Leap. Une des spécificités de ces pièces concerne la microstructure du matériau, constituée de gros grains colonnaires dont l'axe longitudinal est proche de la direction de la force centrifuge. L'intérêt est de limiter la présence de joints de grains orthogonaux à la direction d'effort principal, qui sont fragilisants en fatigue et fluage. Pour le dimensionnement d'une telle structure, il paraît donc important d'introduire dans la modélisation l'aspect oligogranulaire, c'est-à-dire que la réponse de la pièce est dictée par les quelques grains qui la constituent. Un des enjeux serait de traiter/justifier certaines dérogations sur des défauts microstructuraux lors du procédé de mise en forme (forte désorientation d'un grain en surface, faible nombre de grains dans la pale, morphologie d'un joint de grains, ...). Une solution pour la modélisation consiste à introduire directement la microstructure à cette échelle (grains et orientations cristallographiques) dans le calcul de la pièce [Coudon, 2017]. Comme la microstructure exacte de chaque pièce reste en partie indéfinie (répartition spatiale des grains et orientations cristallographiques de chacun), le problème a été traité par « force brute » en générant un plan d'expérience de plus de 600 calculs différents sur une aube BP. En chaque point, au lieu d'avoir la réponse moyenne (d'un volume élémentaire représentatif de matière), la solution donne une distribution de chaque variable du problème (contraintes, déformations plastiques, ...) [Boucicaud, 2017].

Objectif et travail proposé

L'objectif principal du projet est de compléter la validation de la loi de comportement du DS200 (définie à l'échelle du grain) précédemment identifiée et déjà testée sur un cas métier. Premièrement, des réponses « moyennes par grain » sont disponibles ainsi que la microstructure des éprouvettes pour des essais de fluage dans la direction transverse [Mataveli Suave, 2017]. Il convient de réaliser la comparaison essai/calcul à ce niveau de description (maillage des grains dans l'éprouvette et comparaison des réponses moyennes « locales »). D'autre part, l'alliage sera testé avec un chargement multiaxial à haute

température, représentatif des zones de la pale proche du talon ou de la plateforme. Outre la comparaison sur les réponses globales essais/calculs, l'objectif sera de tenter d'observer des hétérogénéités locales issues de la réponse des quelques grains présents dans l'éprouvette par corrélation d'images. On tentera ensuite d'expliquer ces hétérogénéités à partir de calculs éléments finis. Enfin, des modèles d'endommagement pourront être testés afin d'apporter des éléments de réponse quant à l'effet de la microstructure sur la rupture intergranulaire.

Premier semestre : Etude bibliographique portant sur : (i) Les différents phénomènes physiques qui régissent le comportement et l'endommagement des superalliages base nickel. L'accent pourra être mis sur les différents modes de durcissement à l'œuvre dans le matériau et les évolutions microstructurales sous sollicitations thermomécaniques. (ii) Les modèles de comportement et d'endommagement adaptés aux agrégats polycristallins. Il sera détaillé les notions de modèles en champs complets, en champs moyens et macroscopiques ainsi que les modèles locaux en plasticité cristalline. (iii) Les techniques expérimentales en lien avec les activités du projet. Cela concernera notamment les problématiques en lien avec la maîtrise des essais biaxiaux cruciformes et les moyens d'instrumenter ces essais (température, déformation, ...).

Deuxième semestre : Des essais biaxiaux sur des éprouvettes cruciformes en DS200 à haute température sont prévus durant le projet, permettant de valider la démarche numérique pour des chargements multiaxiaux. Pour enrichir le dialogue expérience/modélisation, des coupes EBSD des éprouvettes cruciformes sont envisagées pour remonter à une microstructure « réaliste » et réaliser un calcul déterministe, c'est-à-dire en maillant les grains de l'éprouvette. D'autre part, des essais de fluage sur des éprouvettes plates ont été réalisés et des analyses EBSD donnent accès à la microstructure de l'éprouvette en surface [Mataveli Suave, 2017]. En supposant que les grains restent colonnaires dans l'épaisseur, il est possible de réaliser là aussi un calcul déterministe de ces éprouvettes. La comparaison essai/calcul peut se faire (i) sur la réponse globale, (ii) sur la déformation « moyenne » de certains grains (des marqueurs sont placés sur certains grains durant les essais) voire (iii) sur la rotation du réseau observée par EBSD en fin d'essai. Enfin, des premiers modèles d'endommagement seront testés et comparés à la base de données et aux caractérisations issues de [Mataveli Suave, 2017].

Profil demandé

Un goût prononcé pour l'analyse expérimentale et la simulation numérique. Des connaissances en mécanique des matériaux (loi de comportement, essais mécaniques, ...) seront appréciées. Autonomie et curiosité.