

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Caractérisation 4D de la relation entre microstructure, mécanismes de déformation et fissuration par fatigue d'un superalliage base Nickel

Référence : **MAS-DMAS-2024-12**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 01/10/2024

Date limite de candidature : juillet 2024

Mots clés

Fatigue, Tomographie rayons-X, Caractérisation 4D, Microstructure, Superalliage base nickel

Profil et compétences recherchées

Ecole d'ingénieur, Universitaire Master 2

Compétences recherchées : mécanique des solides, mécanique des matériaux, matériaux métalliques, traitement de données

Intérêt pour les travaux expérimentaux

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

La forte dispersion de la durée de vie en fatigue des matériaux métalliques est un fait expérimental bien établi, que les modèles actuels peinent toujours à reproduire. De ce fait, les critères de dimensionnement pour la tenue en fatigue des composants des avions sont très conservateurs. Ceci induit des coûts importants et limite les perspectives d'allègement des structures. Cette dispersion s'explique en grande partie du fait de la variabilité microstructurale des matériaux. En effet, celle-ci influence directement les modes de déformations microscopiques des alliages, qui pilotent l'amorçage et les premiers stades de propagation des fissures de fatigue. Par ailleurs, cette influence est d'autant plus forte que la gamme de durée de vie est grande. Une compréhension fine de la dépendance de la fatigue à la microstructure constitue ainsi un enjeu scientifique et technologique important. En particulier, un frein majeur à la modélisation de ce phénomène se situe dans le manque de données expérimentales à même de décrire quantitativement l'évolution de la déformation et de l'endommagement, à l'échelle microstructurale.

Au cours de la décennie passée, des travaux associant des essais de fatigue interrompus et la tomographie par rayons X au synchrotron, en transmission (X-CT) et en diffraction (DCT), ont permis de caractériser simultanément la fissuration et la microstructure d'un matériau cristallin pré-entaillé, en trois dimensions et *in-situ* (mesures 4D : caractérisation tridimensionnelle et évolution temporelle). Depuis ces travaux pionniers, les évolutions des techniques de diffraction (reconstruction 6D, topo-tomographie, scanning 3DXRD) permettent de mesurer, avec une résolution de l'ordre du micron, les hétérogénéités de déformation, les rotations cristallines, ou la formation de bandes de glissement au sein des grains. De plus, les caractéristiques actuelles des synchrotron, couplées aux progrès des méthodes de traitement de grands volumes de données, ont contribué à raccourcir les temps d'acquisition et de reconstruction. Ces avancées permettent d'envisager d'obtenir des reconstructions DCT pendant un essai de fatigue, déterminer des grains d'intérêt (déformation plastique importante, grain fissuré...), et cartographier *in-situ* plus finement leur déformation grâce aux techniques haute résolution (scanning 3DXRD, tophotomographie).

La thèse proposée, en collaboration avec le Centre des Matériaux (Mines Paris), vise à s'appuyer sur ces avancées, pour développer un protocole expérimental au synchrotron permettant de caractériser la microstructure, la déformation et l'endommagement, au cours des différents stades de la fatigue (déformation cyclique, amorçage et propagation de fissures courtes) d'une éprouvette en superalliage base Nickel. Les jeux de données à produire contiendront la description combinée de la microstructure, de la fissure et de ses taux de propagations à différents stades de l'essai. Pour les grains d'intérêt, au voisinage du trajet de fissuration, les techniques de tomographie avancées seront appliquées pour obtenir des cartographies des rotations cristallines, de la déformation élastique, et de la localisation de la plasticité. Ces travaux seront menés sur les lignes des synchrotron SOLEIL et ESRF. Ces résultats seront couplés à une étude de la fatigue et du comportement du matériau à l'aide d'essais conventionnels et micromécaniques, ainsi qu'à des modèles de plasticité cristalline, pour enrichir la compréhension des essais *in-situ*.

L'ensemble de ces résultats doit permettre d'éclairer les mécanismes de fissuration par fatigue du matériau. Un second objectif, plus ambitieux, est d'identifier les quantités mesurables liées aux mécanismes de déformations microscopiques et quantitativement corrélés à l'amorçage et/ou la propagation des fissures. Celles-ci pourront ensuite être utilisées pour alimenter des modèles de fatigue à l'échelle de la microstructure, dans le but de prédire les scénarios de fissuration observés.

Collaborations envisagées : Centre des Matériaux, Mines ParisTech, CNRS UMR 7633

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Matériaux et Structures

Lieu (centre ONERA) : Châtillon

Contact : Aldo MARANO/Charles BIANCHETTI

Tél. : 01.46.73.46.09 / 01.46.73.46.64

Email : aldo.marano@onera.fr / charles.bianchetti@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : PROUDHON Henry

Laboratoire : Centre des Matériaux, Mines Paris

Tél. : 01.60.76.30.70

Email : henry.proudhon@minesparis.psl.eu

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>