



ÉMINAIRE du 16 novembre 2012

Ecole des Mines ParisTech

Fissuration à haute température de superalliages utilisés dans les moteurs aéronautiques

Growth and interaction of high temperature fatigue cracks nucleated from multiple holes under small or large scale yielding

Flora Salgado – Doctorante

ENSMP, Centre des Matériaux P.M. Fourt, BP 87, 91003 Evry Cedex

flora.salgado-goncalves@mines-paristech.fr

INTRODUCTION

The purpose of this work in alloy Haynes 188 is to investigate situations where multiple cracking can occur under high temperature and when loading can vary from small scale to large scale yielding. This situation can occur in combustion chambers of aerospace engines which consist in annular structure with thin plates perforated by numerous cooling holes and dilution holes. Severe thermal-mechanical loading conditions can induce the nucleation and growth of multiple cracks under aggressive environment.

EXPERIMENTAL RESULTS

A special specimen was designed to study interactions of stress and strain fields between holes and to determine the influence of these interactions on fatigue crack growth. Isothermal fatigue crack growth tests were conducted at 900°C. Different strain levels were applied, from small scale yielding to large scale yielding conditions. Results showed that the crack propagation rate increased by increasing the strain range level. Moreover, crack paths were different depending on the strain range level. For low strain ranges, crack paths were straight and perpendicular to the loading direction. For high strain ranges, comparing digital image correlation results with crack paths observations showed that cracks bifurcated along the direction of maximum local strain level. Cracks bifurcated at the end of the test because of the coalescence of cracks emanating from adjacent holes. Differences were also noticed between fracture surfaces for low strain ranges and high strain ranges.



CRACK PROPAGATION MODELLING

For low strain levels, linear fracture mechanics could be applied in order to describe crack propagation under small scale yielding. For high strain levels, linear fracture mechanics assumptions are not valid. The crack propagation model has to take into account local strain gradients. Finite element computations were made in order to obtain the local strain and stress fields. Strain gradients from finite element calculations were compared to experimental strain field measurements by digital image correlation. Strain and stress fields from finite element calculations were used to identify a crack propagation model based on a partition between elastic and plastic contributions.

Provision of material by Snecma Safran Group is gratefully acknowledged as well as financial support by ONERA.

Étude de la fissuration en plasticité généralisée de composants moteurs aérospatiaux

Auréliane Heudt - Doctorante

ENSMP, Centre des Matériaux P.M. Fourt, BP 87, 91003 Evry Cedex

aureliane.heudt@mines-paristech.fr

Cette étude propose d'analyser expérimentalement la propagation de fissures sous chargement de fatigue en condition de plasticité généralisée. La modélisation de la fissuration par fatigue attendue doit être capable de reproduire dans de bonnes conditions l'effet de gradients de chargements, d'origine thermo-mécanique. En effet, un fort chargement mécano-thermique engendre un important gradient de déformation plastique sur l'ensemble de la structure étudiée. Par ailleurs, le cycle de température s'inscrit dans la gamme [25°C ; 1050°C] et engendre des gradients thermiques conséquents sur la structure fissurée.

Nous avons dans un premier temps établi un programme d'essais de caractérisation de comportement afin d'identifier un modèle macroscopique de comportement élasto-viscoplastique adapté aux conditions de sollicitation évoquées plus haut.

Concernant la fissuration, des essais de propagation de fissure isothermes, pilotés en déformation, ont été réalisés, en conditions de plasticité généralisée. Les essais sont réalisés sur des éprouvettes entaillées de type SEN (Single EdgeNotched). Deux conditions de pilotage en déplacement sont utilisées : soit le déplacement est imposé par un extensomètre placé à l'opposé du front de fissure et de l'entaille (conditions proches d'un chargement homogène uniforme) ; soit le déplacement est imposé par un extensomètre placé face à l'entaille (conditions induisant une réduction du chargement effectif quand la fissure progresse). Dans chaque cas, deux extensomètres sont utilisés de chaque côté de l'éprouvette, afin de mesurer la déformation de part et d'autre de la fissure.

Nous avons ensuite identifié les paramètres d'un modèle macroscopique de fissuration sur la base de ces essais. Ce modèle, permet d'estimer la vitesse de fissuration da/dN en fonction de la variation de densité d'énergie plastique et élastique (Maurel, 2009).

Dans notre cas, nous avons tout d'abord calculé ces énergies moyennes sur un élément de volume inscrit entre les deux extensomètres en considérant toute la largeur de l'éprouvette autour de la zone fissurée. On peut ainsi décrire de façon tout à fait satisfaisante la vitesse de fissuration en fonction des conditions de chargement.

Afin de valider cette approche, nous proposons l'utilisation du modèle précédent sous la forme d'un post-processeur de calculs par éléments finis. Nous avons ainsi déterminé un volume d'intégration pour lequel l'ensemble de la base d'essai est bien représenté.



Influence d'un défaut sur la durée de vie des aubes monocristallines

Mélanie Leroy - Doctorante

ENSMP, Centre des Matériaux P.M. Fourt, BP 87, 91003 Evry Cedex

melanie.leroy@ensmp.fr

Ces travaux s'inscrivent dans un Programme de Recherches Concertées associant SNECMA, l'ONERA, le Centre des Matériaux de Mines ParisTech et d'autres laboratoires de recherche, et s'intéressent à l'un des principaux défauts de fonderie des aubes : la croissance d'un grain parasite en fonderie monocristalline. En service, la présence d'un tel défaut peut conduire à une rupture prématurée des aubes de turbine sous sollicitations thermomécaniques sévères. Il est alors important d'évaluer correctement l'influence du joint de grain sur la durée de vie de l'aube bicristalline.

Les deux grains d'AM1, un superalliage à base de nickel constituant l'aube bicristalline, diffèrent par leur orientation cristallographique, ce qui induit un comportement mécanique différent. La position du joint de grain au sein de l'aube est un paramètre pris en compte pour le choix des aubes testées. Son influence sur la durée de vie de l'aube (géométrie, position et orientation) est étudiée avec des essais sur des aubes de turbines réelles sous sollicitations cycliques avec un gradient thermique allant jusqu'à 950°C.

Les essais sont menés sur des aubes qui sont des structures complexes dont la forme n'est pas adaptée pour les essais sur des machines classiques de fatigue. Un montage adaptable sur une machine de fatigue a donc été conçu afin de maintenir l'aube par son pied tout en permettant la sollicitation mécanique. La géométrie de l'aube a fait l'objet de modifications par électroérosion afin de concentrer l'endommagement par fatigue dans la zone du joint de grain. Le chargement à appliquer ainsi que la géométrie des entailles ont été définies à l'aide de simulations numériques. Le gradient thermique observé dans l'aube lors des essais à haute température a été reconstruit en 3D en utilisant une base POD issue d'une série de champs calculés pour différentes sources de chaleurs supposées.

L'influence du joint de grain sur la durée de vie du matériau a également été évaluée en réalisant des essais de fatigue oligocyclique à haute température sur des éprouvettes bicristallines. Ces essais ont conduit à l'identification d'un critère d'abattement sur la durée de vie.

Finalement, les résultats expérimentaux seront confrontés à des simulations numériques tenant compte des différentes configurations de joint de grain et de leur position dans les structures. On s'attachera à comparer les résultats expérimentaux aux durées de vie estimées à l'aide de différents modèles dont le modèle Fat-Flu (ou Fat-Ox-Flu) dont on vérifiera la pertinence vis à vis de ce type de défaut ou la nécessité de l'enrichir.

