HAL
open science

Etude de la propagation et de la bifurcation de fissures de fatigue en plasticité généralisée

Mariem Trabelsi, Alain Köster, Vincent Maurel

To cite this version:

Mariem Trabelsi, Alain Köster, Vincent Maurel. Etude de la propagation et de la bifurcation de fissures de fatigue en plasticité généralisée. Colloque MECAMAT Fatigue des Structures et des Matériaux, Jan 2017, Aussois, France. 3 p. hal-01708353

HAL Id: hal-01708353

https://hal.science/hal-01708353v1

Submitted on 13 Feb 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Etude de la propagation et de la bifurcation de fissures de fatigue en plasticité généralisée

Mariem Trabelsi, A. Köster, V. Maurel

MINES ParisTech, PSL Research University, MAT- Centre des matériaux, CNRS UMR 7633, BP 87, 91003 Evry, France.
mariem.trabelsi@mines-paristech.fr

Résumé
Cette étude consiste à caractériser expérimentalement et modéliser la propagation de fissure en plasticité généralisée en cherchant notamment à déterminer un critère de bifurcation de fissure. Nous nous intéressons tout d'abord à optimiser un dispositif expérimental existant pour réaliser des essais biaxiaux sur éprouvettes en croix à 900°C [1]. Nous présentons ici la méthodologie expérimentale mise en place ainsi que les premiers résultats de cette campagne d'essais.

Mots clés : plasticité généralisée ; propagation de fissure; fatigue thermomécanique ; bifurcation de fissure

1. Introduction

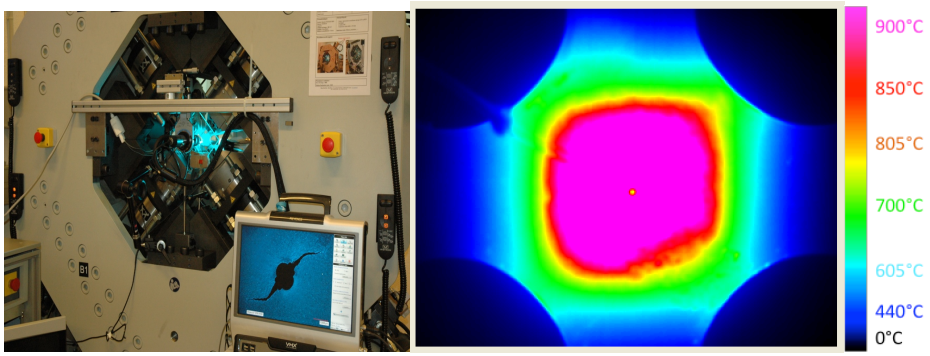
Sous les conditions de hautes températures, certaines pièces aéronautiques subissent des chargements sévères nécessitant de prendre en compte des fissures de fatigue. C'est le plus souvent au niveau des zones de concentration de contraintes, que les fissures peuvent s'initier et se propager en un faible nombre de cycles. L'intensité des chargements et des températures provoque une forte plastification dans la zone de propagation de fissures rendant inopérantes les méthodes de modélisation de la propagation de fissures en condition de plasticité confinée. Ainsi, une étude sous les conditions de plasticité généralisée en fatigue s'impose. Le matériau retenu pour l'étude est typique de celui constituant les chambres de combustion aéronautique. Il s'agit d'un superalliage à base de Cobalt, le HAYNES 188. L'objectif est de déterminer expérimentalement les chemins et les vitesses de propagation de fissure pour des sollicitations biaxiales, avec ou sans cisaillement macroscopique (mode I ou I+II), conduisant à un état de plasticité généralisée à haute température (T=900°C).

2. Essais de fissuration en plasticité généralisée sous chargement biaxial de fatigue thermomécanique

2.1 Procédure expérimentale

Le dispositif expérimental est constitué d'une machine de fatigue biaxiale coplanaire, d'un microscope optique permettant l'observation *in situ* de la fissuration (Figure 1) et d'un système de chauffage par induction. Les essais ont été effectués sur des éprouvettes cruciformes à entaille

centrale, et obtenues par usinage conventionnel et électroérosion. L'un des paramètres influant sur le déroulement des essais est l'homogénéité du champ de température dans l'éprouvette. Ce point a donc été abordé en premier lieu. Le but était d'obtenir un champ thermique aussi uniforme que possible dans la zone de propagation de la fissure, et d'améliorer cette homogénéité par rapport au dispositif existant [1]. Pour se faire, nous avons conçu un inducteur spécifique. Une mesure par thermographie infrarouge a montré que cet inducteur permet de réduire le gradient thermique au niveau de la zone utile de l'éprouvette [2].



(a) (b)

***Figure 1**.(a) Dispositif d'observation in situ de la fissuration sous sollicitation biaxiale et (b) Champ thermique*

Les essais ont été réalisés sous sollicitations biaxiales séquentielles dont la fréquence est égale à 1Hz. Ces séquences sont pilotées en charge ou en déplacement à l'aide de capteurs LVDT [2]. Une première séquence sous sollicitation équibiaxiale (*R_U=U1/U2=1 ou R_F=F1/F2=1, pour des essais pilotés en déplacement ou en charge respectivement*) donne naissance à une fissure se propageant le long d'une bissectrice de l'éprouvette. Ensuite, un changement du rapport de charge entre les deux axes de la machine (R≠1), induit la bifurcation de fissure. Cette deuxième séquence est utile pour l'étude de la bifurcation. Certains essais sont constitués d'une série de séquences pour différentes valeurs du rapport de charge. La technique de corrélation d'images a été utilisée pour définir le niveau de déformation durant chaque séquence d'essai.

2.2 Observation du chemin de fissuration et détermination de la vitesse de propagation de fissure

La symétrie de l'éprouvette et du chargement conduit à la formation de deux fissures qui s'amorcent à partir de chaque entaille et se développent symétriquement par rapport à celle-ci (figure 2). La symétrie des fissures observées et l'analyse du champ de température indiquent que le centrage du chauffage est a priori correct. Les fissures obtenues présentaient une large ouverture et une zone de plasticité mettant en évidence le chargement en plasticité généralisée. On observe dans cette zone le développement d'un réseau de microfissures. Ces observations sont proches des mécanismes observés pour des essais de propagation de fissure en plasticité généralisée effectués sous sollicitations uniaxiales (éprouvettes de type SENT) à 900°C pour le même matériau[3].

Nous avons privilégié le suivi optique pour analyser la propagation de fissure pour les essais réalisés en biaxial. En effet, en se basant sur les photos capturées *in situ*, une mesure de la longueur de la fissure propagée *a,* correspondant au nombre de cycles associé *N*, a été déduite. La connaissance de l'évolution de la longueur de fissure *a(N),* permet de déduire la vitesse de propagation de fissure en

faisant l'approximation $da/dN = \Delta a/\Delta N$. Notons que les vitesses obtenues [2] sont du même ordre de grandeur que les vitesses observées pour des essais en conditions uniaxiales [3].

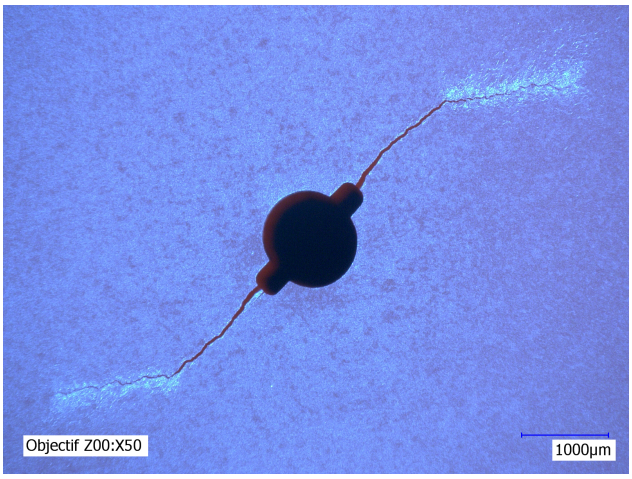


Figure 2.*Fissuration sous sollicitation biaxialeséquentielle* [2]

3. Conclusion

La définition d'une méthodologie de caractérisation d'essais biaxiaux en plasticité généralisée a permis d'obtenir des premiers résultats encourageants tels que la détermination de la vitesse de propagation de fissure et le chemin de fissuration. En outre, une analyse comparative entre les campagnes d'essais unidirectionnels [3] et bidirectionnels a été effectuée et montre une cohérence entre ces résultats. D'autre part, nous menons une étude par éléments finis pour déterminer les conditions mécaniques conduisant à la bifurcation de fissure en plasticité généralisée.

Remerciements

Cette étude est effectuée dans le cadre du projet ANR SEMAFOR porté par Vincent Chiaruttini (ONERA) que nous remercions. Le projet ANR SEMAFOR réunit ONERA, Mines ParisTech, LMT Cachan et Safran que nous remercions également.

Références

[1] H. Wang, Fissuration par fatigue sous sollicitations multiaxiales, rapport d'avancement du programme de recherches concertées (PRC) « Structures Chaudes », Centre des matériaux - Mines Paristech, 2013

[2] M. Trabelsi, Rapport de première année du projet ANR-SEMAFOR, Thème A: Essais de fissuration en plasticité sous chargement thermomécanique de fatigue, Activités expérimentales du Centre des Matériaux, Juin 2016

[3] V. Fontanet, Propagation et bifurcation de fissures en plasticité généralisée, rapport de stage du Master MAGIS, Centre des Matériaux - Mines ParisTech, 2015