



**HAL**  
open science

# Etude de l'influence de l'état de surface sur la tenue en fatigue de pièces élaborées par fabrication additive en TA6V à l'aide d'une technique de thermographie infrarouge

Théo Dusautoir, Bruno Berthel, Siegfried Fouvry, Paul Matzen, Klaus-Dieter Meck

## ► To cite this version:

Théo Dusautoir, Bruno Berthel, Siegfried Fouvry, Paul Matzen, Klaus-Dieter Meck. Etude de l'influence de l'état de surface sur la tenue en fatigue de pièces élaborées par fabrication additive en TA6V à l'aide d'une technique de thermographie infrarouge. 38èmes Journées de Printemps 2022, SF2M, May 2022, Paris, France. hal-04239150v2

**HAL Id: hal-04239150**

**<https://hal.science/hal-04239150v2>**

Submitted on 6 Nov 2023

**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 l'influence de l'état de surface sur la tenue en fatigue de pièces élaborées par fabrication additive en TA6V à l'aide d'une technique de thermographie infrarouge

Théo Dusautoir<sup>1,2,a</sup>, Bruno Berthel<sup>2</sup>, Siegfried Fouvry<sup>1</sup> et Paul Matzen<sup>2</sup> et Klaus Meck<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LTDS UMR 5513 Ecole Centrale de Lyon, 36 Avenue Guy de Collongue, 69134 Ecully Cedex, France

<sup>2</sup> JOHN CRANE, 31 Nash Road, Trafford Park, Manchester M17 1SS, United Kingdom

## Points d'intérêt.

- Sollicitation multiaxiale en service recréée à l'aide d'une éprouvette à gradient
- Influence des traitements de surface sur la durabilité d'éprouvettes imprimées 3D
- Comparaison rapide des procédés de finition à l'aide de la thermographie infrarouge

## 1 Introduction

L'optimisation topologique souvent employée en amont de la fabrication additive peut engendrer des géométries complexes dont les conséquences sont une multiaxialité de la sollicitation et la présence de gradients de contraintes. D'une part, il est connu que les gradients de contraintes peuvent avoir une forte influence sur la tenue en fatigue ([1]). D'autre part, la fabrication additive induit des microstructures et des défauts bien particuliers. Concernant les défauts, nous pouvons noter la présence d'une porosité et une rugosité élevées ([2]) qui diminuent drastiquement la tenue en fatigue ([3] et [4]). Différents procédés de finition sont généralement employés afin d'améliorer l'état de surface, de modifier la microstructure ou bien de supprimer les pores ([5]). Classiquement, l'effet de chaque traitement est caractérisé à l'aide d'essais sur des géométries simples, mais les campagnes d'essais peuvent se montrer coûteuses en temps et en matériau. Sur ce point, les méthodes basées sur la thermographie infrarouge ont montré leurs potentiels depuis de nombreuses années ([6]). Les défauts internes sont habituellement distribués aléatoirement et ont des formes diverses, ce qui amplifie l'effet de volume sur la durabilité des composants. Dans le cas d'une application particulière, il est donc important de recréer une sollicitation la plus poche possible de celle rencontrée en service. Cette étude se focalise sur le comportement en fatigue d'accouplements flexibles élaborés par fabrication additive. L'approche développée s'appuie sur la caractérisation du comportement du matériau à l'aide d'éprouvettes équivalentes et de méthodes de caractérisation classique et basée sur la thermographie infrarouge.

## 2 Géométrie équivalente et traitements de surface

Comme énoncé précédemment, le composant qui fait l'objet de cette étude est un accouplement flexible qui permet la transmission d'un couple entre deux machines tournantes. Celui-ci est soumis à des contraintes multiaxiales, engendrées notamment par les désalignements entre les arbres des deux machines. L'utilisation de la fabrication additive permet d'optimiser sa forme, son poids et de réduire les temps de production. Le choix du matériau s'est porté sur un alliage de titane (TA6V). Dans notre cas, la problématique était de trouver des procédés de finition de surface compatible avec ce composant industriel, mais aussi présentant un bon compromis entre le coût de mise en œuvre et le gain sur la tenue en fatigue. Ainsi, des procédés simples et rapides ont été sélectionnés : le microbillage et le polissage chimique. Une géométrie d'éprouvette équivalente a été conçue en prenant en compte la multiaxialité de la sollicitation, l'effet des gradient de contraintes et le volume sollicité. Nous avons fait le choix d'une éprouvette plate à double entailles demi-circulaires.

---

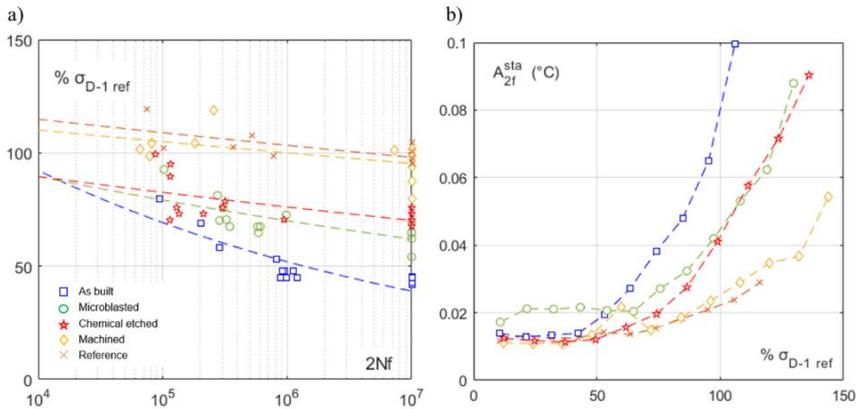
<sup>a</sup> theo.dusautoir@ec-lyon.fr

### 3 Essais et méthodes

Des essais de fatigue de traction alternée (rapport de charge  $R = -1$ ) ont été conduits à une fréquence  $f_L$  de 40Hz. D'une part, les limites de fatigue ont été estimées à l'aide de la méthode de l'escalier. D'autre part, nous avons mis en œuvre une méthode utilisant la thermographie infrarouge afin de caractériser rapidement la tenue en fatigue des couples procédé-traitement de surface. En effet, lors d'un essai cyclique, l'évolution de la température du matériau peut être reliée à deux phénomènes : la thermoélasticité et la dissipation. La dissipation est la conséquence de phénomènes microstructuraux irréversibles, dont la micro-plasticité induite par le phénomène de fatigue ([6]). À partir d'un seul signal thermique et connaissant le contenu spectral de chaque type de source, il est alors possible d'estimer séparément l'effet de chaque type de source. Dans ce résumé, nous nous focaliserons sur l'évolution de  $A_{2f}^{sta}$ , c'est-à-dire la valeur stabilisée de l'amplitude de l'harmonique à  $2f_L$  ([7]).

### 4 Résultats

Les résultats obtenus par la méthode de l'escalier et celle utilisant la thermographie infrarouge ont été comparés. La figure 1 montre les résultats pour les éprouvettes forgées (Reference), brutes de fabrication additive (As built), usinées (Machined), microbillées (Microblasted) et polies chimiquement (Chemical etched). Nous remarquons une corrélation entre les niveaux de contraintes pour lesquels il y a une nette augmentation de  $A_{2f}^{sta}$  et les limites de fatigue. Conserver un état de surface brut entraîne une réduction de moitié de la limite de fatigue, l'utilisation d'un traitement de surface tel le microbillage permet de réduire l'écart à 30 %. Le polissage chimique améliore davantage l'état de surface que le microbillage et entraîne donc une légère augmentation de la limite de fatigue.



**Figure 1.** Influence de l'état de surface sur la durabilité des éprouvettes entaillées en TA6V élaborées par FA. a) Courbes de Wöhler en traction alternée  $f=40$  Hz. b) Évolution de la valeur stabilisée de l'amplitude de l'harmonique à  $2f_L$  en fonction du pourcentage de la limite de fatigue du TA6V de référence.

### Références

- [1] I. V. Papadopoulos and V. P. Panoskaltsis, Eng. Fract. Mech. **55**, 513 (1996).
- [2] T. DebRoy, H. L. Wei, J. S. Zuback, T. Mukherjee, J. W. Elmer, J. O. Milewski, A. M. Beese, A. Wilson-Heid, A. De, and W. Zhang, Prog. Mater. Sci. **92**, 112 (2018).
- [3] N. Sanaei and A. Fatemi, Theor. Appl. Fract. Mech. (2020).
- [4] V. D. Le, E. Pessard, F. Morel, and S. Prigent, Int. J. Fatigue **140**, (2020).
- [5] R. Molaei, A. Fatemi, and N. Phan, Int. J. Fatigue **117**, 352 (2018).
- [6] M. P. Luong, Mech. Mater. **28**, 155 (1998).
- [7] B. Berthel, A. R. Moustafa, E. Charkaluk, and S. Fouvry, Tribol. Int. **76**, 35 (2014).