HAL
open science

Étude de la nocivité des défauts dans les soudures et les pièces obtenues par fabrication additive

Laurent Lacourt, B. Figliuzzi, Samuel Forest, David Ryckelynck, François Willot, Sylvain Flouriot, Victor de Rancourt, A Thomas

To cite this version:

Laurent Lacourt, B. Figliuzzi, Samuel Forest, David Ryckelynck, François Willot, et al.. Étude de la nocivité des défauts dans les soudures et les pièces obtenues par fabrication additive. Colloque MECAMAT Fatigue des Structures et des Matériaux, Jan 2017, Aussois, France. 4 p. hal-01678663

HAL Id: hal-01678663

https://hal.science/hal-01678663v1

Submitted on 9 Jan 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.

Étude de la nocivité des défauts dans les soudures et les pièces obtenues par fabrication additive

L. Lacourt [a,b,c], B. Figliuzzi [b], S. Forest [a], D. Ryckelynck [a], F. Willot [b], S. Flouriot [c], V. de Rancourt [c], A. Thomas [c]

a. Mines ParisTech, Centre des Matériaux, CNRS, UMR 7633, BP 87, 91003 Evry Cedex, France
b. Mines ParisTech, Centre de Morphologie Mathématique, 35 rue Saint-Honoré, 77305 Fontainebleau, France
c. CEA Valduc, 21120 Is-sur-Tille, France

Contact : laurent.lacourt@mines-paristech.fr

Résumé

Les procédés tels que le soudage ou la fabrication additive génèrent des défauts. Le progrès des méthodes de contrôle non destructif permet maintenant de détecter, localiser et dimensionner ces défauts de manière de plus en plus précise. Afin d'éviter le rebut de pièces contenant des défauts non critiques, il est indispensable de développer des méthodes de calcul de durée de vie les prenant en compte. L'objectif de la thèse est donc de proposer une méthodologie innovante de dimensionnement des structures avec défauts.

Mots clés : défauts, durée de vie, fatigue, élastoplasticité, calcul intensif éléments finis, réduction de modèle, morphologie mathématique

1. Introduction

Les méthodes actuelles de contrôle non destructif permettent d'observer des défauts de l'ordre du micron. Les procédés comme le soudage ou la fabrication additive engendrent des défauts qui sont donc détectés (Figure 1). Généralement, le critère pour rebuter une structure est une taille critique de défaut le plus souvent empirique, qui ne prend pas en compte la position, la morphologie ou même le chargement auquel est soumise la structure. C'est sur cette problématique de la nocivité des défauts que porte la thèse.

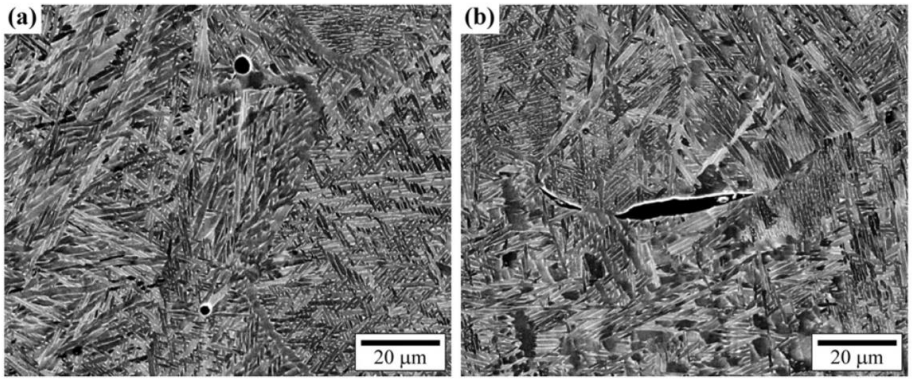


Figure 1. *Exemples de défauts typiques obtenus sur du TA6V4 par Selective Electron Beam Melting : (a) des pores sphériques et (b) un défaut de fusion plus irrégulier. La direction de construction est vers le haut de la page. D'après [1]*

Le travail de thèse est découpé en plusieurs volets. Dans un premier temps, des essais mécaniques et des analyses de tomographie X seront effectuées afin de caractériser d'une part le comportement du matériau et d'autre part les défauts rencontrés (morphologie et taille notamment). Ces données serviront dans un second temps à élaborer un modèle statistique de défauts qui générera des configurations réalistes de manière artificielle. Ces dernières seront alors étudiées par des calculs intensifs en éléments finis et via une méthode de réduction de modèle.

2. Caractérisation mécanique

2.1. Modèle de comportement

Le matériau choisi pour l'étude est l'alliage de titane TA6V4. Une thèse précédente [2] a fourni un modèle de comportement thermomécanique de ce matériau, prenant en compte l'écrouissage cinématique avec un modèle non linéaire. En complément de ces données, des essais d'écrouissage cyclique sont en cours de réalisation pour déterminer les paramètres d'écrouissage isotrope d'une loi telle que :

$$R(p) = R_\infty[1 - \exp(-bp)] \tag{1}$$

où R désigne la taille du domaine élastique, p la déformation plastique cumulée et $b > 0$.

2.2. Essais mécaniques sur pièces avec défauts

Des essais mécaniques sur des éprouvettes présentant des défauts volontaires sont prévus afin de valider les résultats obtenus par simulation. Les défauts semblant réalisables sont des séries de trous traversants (Figure 2), ou des défauts surfaciques obtenus en focalisant un faisceau de soudage.

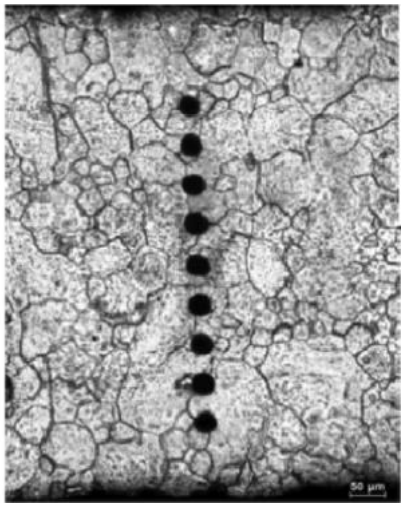


***Figure 2**. Série de trous traversants dans une éprouvette plate de magnésium d'après [3]*

De plus des essais *in situ* en tomographie X sont envisagés afin d'étudier les phénomènes d'endommagement et de définir un critère d'endommagement pertinent d'un point de vue physique.

3. Étude de la population de défauts

Des analyses par tomographie X permettront d'obtenir la morphologie des défauts rencontrés dans des soudures et des pièces obtenues par fabrication additive (Figure 3). Ces données serviront dans

un premier temps comme données d'entrée pour des simulations numériques, afin d'avoir des résultats sur des configurations réelles de défauts.

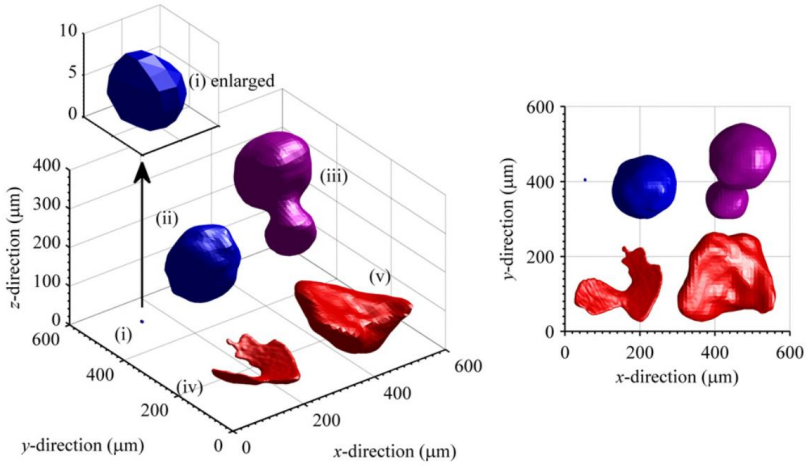


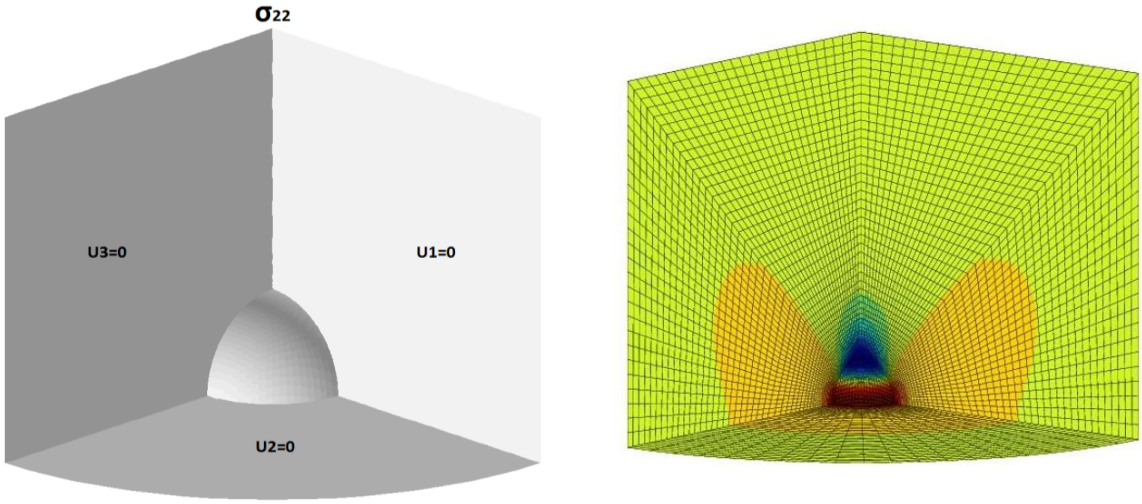
Figure 3. *Reconstruction 3D des défauts observés par tomographie X sur des pièces en TA6V4 obtenues par Selective Electron Beam Melting d'après [1]*

Ensuite, un des objectifs de la thèse sera de construire une population statistique de défauts. Ce modèle de géométrie stochastique permettra de générer, de manière artificielle, des configurations réalistes de défauts dans les structures.

4. Calcul intensif et réduction de modèle

4.1. Calcul intensif sur des configurations simples

Des calculs intensifs sont réalisés sur des configurations simples de défauts (Figure 4). Les résultats obtenus seront comparés à ceux de la méthode de réduction de modèle. Ils constitueront pour la suite de l'étude une base de données afin d'explorer des configurations plus complexes de défauts.

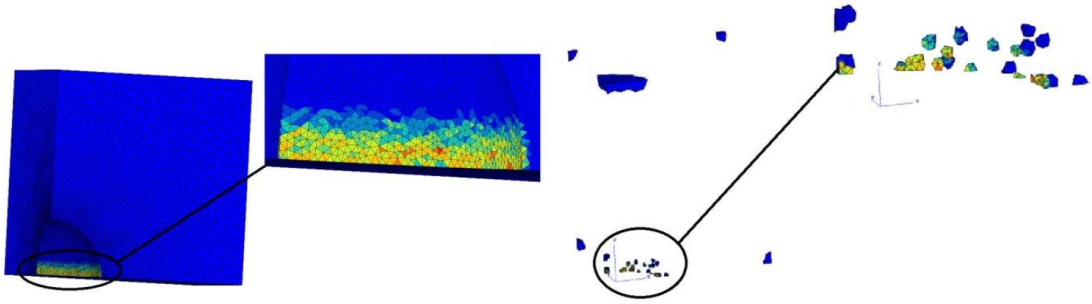


(a) (b)

Figure 4. *Sphère au cœur d'un massif cylindrique : (a) volume d'intérêt et (b) résultats en élasticité avec le code Z-set*

4.2. Apport de la réduction de modèle

La méthode d'hyper-réduction de modèles permet en un temps raisonnable de réaliser des calculs sur un très grand nombre de cycles, en réduisant le domaine d'intégration (Figure 5). Cette diminution du temps de calcul est d'un intérêt majeur pour l'industriel qui pourrait utiliser ces outils dans un bureau d'études.
Cette méthode se prête bien à la réalisation d'études paramétriques complexes pourvu que les paramètres présentent une certaine régularité. Il est donc envisagé d'étudier l'influence de la taille, de l'orientation ou de la densité de défauts via cette méthode.



(a) (b)

Figure 5. *Domaines d'intégration pour (a) un calcul EF classique et (b) en utilisant la méthode d'hyper-réduction*

5. Conclusion

L'objectif de la thèse est de fournir un outil de calcul de durée de vie prenant en compte les défauts qui auront été détectés par contrôle non destructif. Pour pouvoir être utilisé dans un bureau d'étude en production, cet outil devra être capable de donner des résultats fiables avec un temps de calcul réduit. Cet aspect motive les volets de réduction de modèle et d'analyse morphologique de défauts afin d'avoir à disposition une « bibliothèque » de cas simples desquels il sera possible de se rapprocher.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives pour son soutien financier.

Références

[1] S. Tammas-Williams, H. Zhao, F. Léonard, F. Derguti, I.Todd, P.B. Prangnell, XCT analysis of the influence of melt strategies on defect populations in Ti-6Al-4V components manufactured by Selective Electron Beam Melting, Materials Characterization, 102 (2015) 47-61

[2] Y. Robert, Simulation numérique du soudage du TA6V par laser YAG impulsionnel : caractérisation expérimentale et modélisation des aspects thermomécaniques associés à ce procédé, Thèse, École des Mines de Paris, 2007

[3] M.J. Nemcko, H. Qiao, P. Wu, D.S. Wilkinson, Effects of void fraction on void growth and linkage in commercially pure magnesium, Acta Materialia, 113 (2016) 68-80