

Proposition de projet de Mastère spécialisé

Design des Matériaux et des Structures

Année 2019-2020

Société partenaire : Safran

Lieu de réalisation de l'étude Centre des Matériaux et Safran PFX

Encadrement

Virginie Jaquet (Safran), Henry Proudhon (Centre des Matériaux -Mines ParisTech)

Titre

Simulation d'un système de diffraction de Laue en transmission lors de la mesure d'aubes de turbines à géométries complexes.

Résumé

Ce stage a pour objectif de réaliser un modèle de simulation de diffraction Laue en transmission sur pièces industrielles à géométries complexes.

Contexte de l'étude

Les aubes de turboréacteur qui subissent les plus importantes sollicitations mécaniques endurent des températures de l'ordre de 1700 °C et des vitesses de plus de 20000 tours par minutes. Pour que ces aubes en superalliages base nickel puissent fonctionner dans ces conditions extrêmes, elles sont fabriquées avec un procédé de solidification particulier leur permettant d'être constituées d'un unique cristal. Ce type de procédé permet d'une part d'avoir une orientation cristalline idéale par rapport aux sollicitations mécaniques que les aubes subiront en vol, et d'autre part, l'absence de joints augmente considérablement la résistance au fluage. La perfection du monocristal est donc cruciale pour la tenue mécanique de ces pièces. Or, lors de la croissance des monocristaux, des défauts peuvent apparaître conduisant à la présence de grains étrangers plus ou moins gros. Une méthode de contrôle optique après attaque électrochimique existe mais celle-ci reste manuelle et limitée à la surface de la pièce.

La diffraction des rayons X est utilisée depuis de nombreuses années pour qualifier l'orientation de monocristaux. Lorsqu'un faisceau de rayons X polychromatique illumine un cristal, les plans cristallins en condition de Bragg vont dévier le faisceau principal et ainsi générer des faisceaux diffractés. L'ensemble des faisceaux diffractés par l'échantillon peuvent être captés par un détecteur de rayons X. L'image finalement obtenue est appelée figure de diffraction Laue. Des travaux de thèse ont démontré la faisabilité d'une telle technique pour contrôler l'état cristallin en volume d'aube de turbine, mais a jusqu'ici été appliqué sur des pièces de géométrie assez simple.

Objectif et travail demandé

Le but de ce stage est de simuler la diffraction de Laue en transmission d'aubes en superalliage base nickel sur un système industriel et d'en déduire les conditions optimales du système. Cela devrait permettre de définir les résolutions théoriques du système, notamment en termes de limites de détectabilité des indications. L'impact de la forme de l'indication sera un élément de complexité de cette problématique.

Pour arriver à ces résultats, le modèle numérique déjà initié en langage Python devra être dans un

premier temps étudié afin de comprendre l'impact des différents phénomènes influençant la diffraction : facteur de diffusion, facteur de structure, spectre diffracté, focalisation ... et validé en effectuant des mesures sur une paroi simple.

Ensuite il devra être étendu à la simulation de figures de Laue en transmission sur géométrie complexe, par exemple à partir de la donnée de la géométrie 3D de la pièce et d'une configuration expérimentale de référence. Une fois ce nouveau modèle validé par comparaison avec des images expérimentales pour différentes configurations, des plans tests numériques devront être réalisés pour fixer les capacités d'un système industriel. Il s'agira par exemple de définir la meilleure combinaison entre la source et le détecteur pour analyser une pièce donnée.

Profil demandé

De bonnes connaissances en métallurgie, avoir des bases de programmation en python (bibliothèques numpy, scipy, skimage) ou encore les bases de la diffraction des rayons X (Bragg). Autonomie et force de proposition

Références bibliographiques

- [1] Wenk, H. R., Heidelbach, F., Chateigner, D., & Zontone, F. (1997). Laue orientation imaging. *Journal of Synchrotron Radiation*, 4(2), 95-101.
- [2] Bastie, P., & Hamelin, B. (1996). La méthode de Laue refocalisée à haute énergie: une technique d'étude en volume des monocristaux. *Le Journal de Physique IV*, 6(C4), C4-13. <https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/254285/filename/ajp-jp4199606C402.pdf>
- [3] Leroy, M. (2013). Étude de la nocivité d'un défaut de fonderie sur la durée de vie en fatigue à haute température d'une aube monocristalline, cas du joint de grains (Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris).