

CARACTERISATION ET MODELISATION DE LA PROPAGATION DE FISSURE DANS DES STRUCTURES EN ACIER DUPLEX REPARÉES PAR FABRICATION ADDITIVE LP-DED

Contexte :

La réparation et/ou la maintenance prédictive pour des structures mécaniques soumises à des chargements statiques, répétés ou accidentel est une problématique centrale dans de nombreux secteurs industriels, à l'heure où la généralisation des capteurs permet d'analyser les spectres de chargements et d'estimer l'endommagement et les besoins de maintenance.

Dans le même temps, des procédés de dépôt métallique sous haute densité d'énergie comme la projection Cold Spray, le WLAM (Wire Laser Additive Manufacturing) et le WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) ou le LP DED (Laser Powder Direct Energy Deposition) atteignent des niveaux de maturité suffisants pour pouvoir être utilisés dans un but de reconstruction, de rechargement voire d'optimisation fonctionnelle de structures métalliques et deviennent concurrentiels de solutions plus éprouvées.

Les méthodologies de calcul tout comme les protocoles de caractérisations expérimentales de résistance à la propagation de fissure sont quant à eux aujourd'hui généralisés pour de nombreuses pièces industrielles massives tant sous chargement statique que cyclique. Dans un cadre de rechargement/reconstruction, de nombreux challenges scientifiques et techniques restent à relever à la fois pour optimiser le procédé de réparation puis pour caractériser le comportement de la structure obtenue après avoir été endommagée au préalable. Les procédés de fabrication additive impliquent également des post-traitements thermiques ou mécaniques indispensables à l'optimisation des propriétés mécaniques et microstructurales. L'hybridation ou la réparation accroît la complexité de ces traitements, en raison de la coexistence, au sein d'une même pièce, de zones issues de procédés distincts, souvent associées à des microstructures et des comportements matériaux hétérogènes.

Dans ce cadre, le projet QUADS (2020-2024), financé par l'Agence Innovation Défense et regroupant 4 laboratoires de recherche, s'est intéressé à des structures produites en acier duplex par 2 procédés de fabrication additive, L-PBF (Laser Power Bed Fusion) et LP-DED (Laser Powder Direct Energy Deposition). Ce projet a ainsi permis de montrer que, malgré leurs différences (ratio ferrite-austénites, taille et morphologie des grains), les microstructures duplex générées par chacun des deux procédés de fabrication additive (LP-DED et L-PBF) induisent des propriétés mécaniques parfois supérieures et des propriétés électrochimiques identiques à la microstructure forgée. De plus, l'application de traitements thermiques bien calibrés offre la possibilité de contrôler les caractéristiques de la microstructure. L'ensemble de ces degrés de liberté permettent alors au métallurgiste de concevoir la microstructure duplex qui répond aux exigences multiples d'un cahier de charge. Cependant, plusieurs questions scientifiques et techniques restent encore sans réponse surtout lorsqu'il s'agit de réparer des pièces industrielles complexes nécessitant l'hybridation de deux procédés (conventionnel/additif ou additif/additif). Le projet QUADS2 regroupant les mêmes partenaires vise à aller plus loin en optimisant les stratégies de réparation et d'hybridation pour le même alliage.

Proposition de thèse :

Dans le cadre de ce projet, une thèse est proposée en collaboration entre le LMS (École Polytechnique) et l'IMSIA (ENSTA campus de Paris Saclay) pour mieux comprendre le comportement de structures réparées par LP-DED, essentiellement vis-à-vis de la propagation de fissure dans les microstructures hybrides/réparées sous chargements cycliques. En effet, lors de précédents travaux, un dispositif expérimental, instrumenté par corrélation d'images, permettant d'étudier finement la propagation d'une fissure dans des éprouvettes planes a déjà permis d'évaluer le comportement sous charge statique de l'acier duplex imprimé par LP-DED en parallèle du projet QUADS. Cette première étude expérimentale, effectuée sous chargement

monotone, a montré un impact significatif de la direction d'impression sur le chemin de fissuration, qui a été rationalisé par une étude précise de la microstructure avec différentes méthodes d'observation (microscopie, MEB, profilomètre). Lors de la thèse, il s'agira de capitaliser sur cette étude et de l'étendre au cas de la propagation sous chargement cyclique, au duplex imprimé par LP-DED, L-PBF ainsi qu'à des éprouvettes réparées et potentiellement traités thermiquement. Le rôle de l'interface d'hybridation/réparation dans la propagation de fissure sera particulièrement regardé tandis que l'enveloppe des chargements sera discutée en relation avec une autre thèse du projet consacrée à la fatigue et à la corrosion sous contrainte. Les principales étapes du projet seraient ainsi les suivantes :

- Définition puis production d'éprouvettes 100% imprimées et réparées et observations des microstructures caractéristiques des zones réparées en fonction des conditions choisies pour la production (module d'Young, taille de grain, orientation cristalline, etc.) ;
- Caractérisation expérimentale et modélisation de la propagation de fissure sous chargement cyclique pour des éprouvettes totalement produites par fabrication additive dans le cadre de la mécanique linéaire de la rupture;
- Caractérisation expérimentale de la propagation de fissure sous chargement cyclique pour des éprouvettes totalement produites par fabrication additive dans le cadre de la mécanique linéaire de la rupture, Analyse du rôle de l'interface dans le processus de propagation;
- Proposition d'une modélisation de la propagation de fissure dans le cas d'une structure réparée avec prise en compte des paramètres de réparation.

Dans le cadre de ces travaux, des essais pourront également être réalisés sous MEB.

Profils recherchés :

Un fort attrait pour la mécanique expérimentale et la modélisation est recherché et des connaissances préalables en métallurgie et sciences des matériaux sont nécessaires. Une grande curiosité scientifique ainsi qu'une bonne autonomie sont également souhaitables.

Contacts :

Candidatures à envoyer à projet.quads@gmail.com