

**CENTRE DE MISE EN FORME
DES MATERIAUX**

UMR CNRS 7635

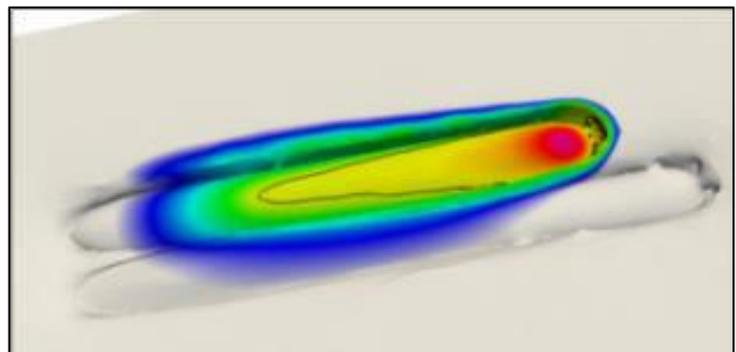
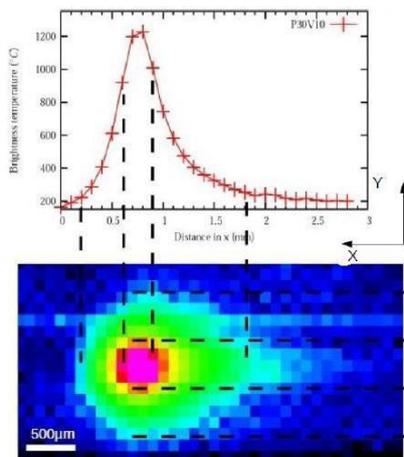


**Fissuration à chaud en fabrication additive. Simulation numérique et validation
pour contrôler le procédé**

Michel Bellet – Gildas Guillemot (CEMEF Sophia Antipolis)

Enjeux

La fabrication additive par fusion de lit de poudre (procédé SLM ou LBM) est en plein essor. Son application à la fabrication de composants techniques est à l'étude dans les secteurs R&D de nombreuses industries. Dans le cadre du développement des futures générations de turboréacteurs, le groupe Safran envisage de produire des pièces en Inconel 738 par ce procédé. Cependant, ce superalliage base nickel est sensible au défaut de fissuration, notamment en cours de fabrication. Les contraintes mécaniques qui conditionnent la fissuration trouvent leur origine dans le gradient thermique à l'œuvre lors de la solidification et du refroidissement du métal, après la fusion de la poudre par le faisceau laser. Pour relier ces gradients aux paramètres de fabrication (puissance et vitesse de balayage du laser...), le Centre des Matériaux de Mines ParisTech à Evry (CdM) a développé un système permettant d'accéder au champ thermique en surface du bain de métal liquide par imagerie infra-rouge au cours de cette étape. Cependant, les contraintes mécaniques dépendent essentiellement du gradient thermique dans l'épaisseur. Celui-ci n'est évidemment pas directement mesurable. Il peut toutefois être déterminé grâce à la simulation numérique, à condition que cette dernière soit bien en accord avec les mesures de surface obtenues par caméra IR. Le CEMEF de Mines ParisTech, sur le site de Sophia Antipolis, a développé récemment une simulation numérique thermo-hydraulique du procédé (Chen et al., 2017, 2018). L'idée est donc d'associer ces ressources d'imagerie et de calcul pour développer des outils de contrôle du procédé en vue de prévenir le risque de fissuration. C'est ce qui fait l'objet du projet de mastère spécialisé proposé.



Exemple de simulation thermique (Chen et al., 2017)

Imagerie thermique en surface en cours de FA (Vilaro, 2011)

CENTRE DE MISE EN FORME DES MATERIAUX

UMR CNRS 7635



Objectifs

L'objectif principal consistera à valider la simulation thermohydraulique et faire le lien entre champ thermique de surface et champ thermique en fond de bain. Pour cela on comparera les prédictions du modèle numérique aux mesures pouvant être effectuées pendant le procédé de fabrication additive (mesures en surface par caméra infra-rouge) et à des analyses des échantillons après fabrication. Les essais de fabrication et la caractérisation des éprouvettes seront réalisés au Centre des Matériaux de Mines ParisTech à Evry, dans le cadre d'une thèse en cours.

Suite à cette validation, et compte tenu du temps restant disponible d'ici la fin du master, on pourra éventuellement viser d'autres objectifs, dans la perspective d'établir des indicateurs de déclenchement des fissures. De tels indicateurs devraient jouer un rôle essentiel dans le contrôle du procédé afin de produire des pièces saines.

Contenu et programme de travail

L'étudiant(e) master sera basé(e) principalement au CEMEF à Sophia Antipolis et sera encadré(e) par des personnels du CdM et du CEMEF :

- Pour le CEMEF : Michel Bellet et Gildas Guillemot
- Pour le CdM : Christophe Colin, Jean-Dominique Bartout, et David Grange (doctorant)

L'étudiant(e) master travaillera sur le projet à raison d'une semaine sur trois pendant les 6 premiers mois (d'octobre à mars), puis à temps plein d'avril à septembre. Le programme de travail prévisionnel sur le projet peut se décomposer comme suit :

- Participer (si possible) à la réalisation d'essais de fabrication additive sur machine Concept Laser M2 au CdM Evry. Ces essais seront réalisés par le doctorant, dans le cadre d'un plan d'expériences faisant varier les conditions de fonctionnement du laser (puissance, vitesse), et les conditions de lasage (trajectoires, géométries). Exploiter l'imagerie thermique : profils thermiques axiaux et transversaux, vitesses de refroidissement, et les analyses après fabrication : forme des zones fondues (largeur, profondeur).
- Réaliser au CEMEF les simulations correspondant aux expériences, comparer les résultats, et proposer une procédure de calage du modèle numérique par ajustement de certains paramètres (facteur de réflexion du faisceau, paramètres gouvernant le caractère volumique de la source de chaleur). Les données matériau seront issues de caractérisations faites précédemment, de la littérature ou de l'utilisation de bases de données thermodynamiques.
- Faire le lien entre le gradient thermique observé en surface et le gradient thermique en fond de bain dans l'espace paramétrique étudié (fonction de transfert ou abaque).
- Tenter de définir un indicateur thermique pour l'apparition des fissures, basé sur les observations expérimentales de l'apparition de ces fissures et de leur importance.



CENTRE DE MISE EN FORME DES MATERIAUX

UMR CNRS 7635



Références

Chen Qiang, Guillemot Gildas, Gandin Charles-André, Bellet Michel, Three-dimensional finite element thermomechanical modeling of additive manufacturing by selective laser melting for ceramic materials, Additive Manufacturing 16 (2017) 124-137

Chen Qiang, Thermomechanical numerical modeling of additive manufacturing by selective laser melting of powder bed

– Application to ceramic materials, Thèse de Doctorat, PSL Research University, 10 avril 2018

Vilaro Thomas, Fabrication directe de pièces aéronautiques et spatiales en Nimonic 263 et A360 par le procédé de fusion sélective par laser : approche thermique, microstructurale et mécanique, Thèse de Doctorat, Mines ParisTech, 2011