

# Proposition de projet de mastère spécialisé

## Design des Matériaux et des Structures

### Année 2018-2019

**Société partenaire** : Safran Tech

**Lieu de réalisation de l'étude** : Centre des Matériaux et Safran Tech

#### Encadrement

---

David Grange (Safran Tech), Christophe Colin (Centre des Matériaux -Mines ParisTech)

#### Titre

---

**Mise en forme d'Inconel 738 par fabrication additive : étude d'un traitement thermique de relaxation des contraintes**

#### Mots-clés

---

LBM, Fabrication additive, Superalliage à base nickel, traitement thermique, fissuration

#### Contexte de l'étude

---

La fusion laser sélective sur lits de poudres métalliques (Laser Beam Melting, LBM) est un procédé de fabrication additive permettant la construction de pièces complexes couche par couche avec des gains de masse conséquents et une réduction importante des temps de développement de pièces, grâce à une grande liberté de conception et l'absence d'outillage spécifique. L'Inconel 738 est un superalliage à base de nickel constitué d'une matrice austénitique  $\gamma$  renforcée par une haute fraction volumique de précipités intermétalliques de type  $\gamma'$ -Ni<sub>3</sub>(Al, Ti), rendant le matériau difficilement soudable [2]

Une problématique majeure rencontrée avec l'Inconel 738 est la fissuration du matériau lors du traitement thermique. En raison de la solidification rapide de la matière lors de la fabrication, le brut de fabrication est dans un **état hors équilibre** : les **contraintes résiduelles sont très élevées** et les **précipités  $\gamma'$  sont quasi absents**, alors que ceux-ci représentent 50% du volume à l'état d'équilibre. Lors de l'application du traitement thermique standard pour ce matériau, la relaxation des contraintes résiduelles s'effectue de manière simultanée à la précipitation de la phase  $\gamma'$ . Cette précipitation engendre un manque de ductilité du matériau, d'où une apparition de fissures. Par ailleurs, il est connu que l'état de contraintes peut avoir un impact important sur la cinétique de précipitation [1]. Pour éviter la fissuration lors du traitement thermique, une meilleure **compréhension des cinétiques de relaxation des contraintes et de précipitation** de la matière produite par LBM est nécessaire.

#### Objectif et travail proposé

---

L'objectif des travaux est d'étudier les cinétiques de relaxation des contraintes et de précipitation des phases durcissantes pour évaluer la possibilité de détensionner le matériau avant le traitement de remise en solution.

##### 1. Participation à la fabrication d'échantillons en fabrication additive

## 2. Caractérisation du détensionnement et de la précipitation

Les éprouvettes seront soumises à différents cycles thermiques, qui devront être choisis judicieusement afin de mettre en évidence le détensionnement des contraintes et les précipitations. Des mesures par calorimétrie différentielle à balayage permettront, par analyse des pics exothermiques (cf. Figure 1), de mesurer les températures caractéristiques et les énergies dégagées par ces réactions. Ces mesures seront complétées par des analyses post-mortem des échantillons : dureté, quantification de la précipitation par observation MEB/MET et des mesures de contraintes résiduelles par DRX (Diffraction des Rayons X).

## 3. Modélisation des cinétiques

L'étudiant se servira ensuite des mesures et observations pour proposer une loi de cinétique de précipitation de la phase  $\gamma'$  pour ce matériau fabriqué par LBM et d'une loi de la cinétique de relaxation des contraintes (loi de type Arrhenius). En fonction de l'ampleur de l'interdépendance entre les deux phénomènes, l'utilité de la prendre en compte dans le modèle sera discutée.

## 4. Proposition de pistes pour un traitement thermique optimisé

Les travaux effectués permettront de proposer des idées de traitements thermiques pour minimiser la fissuration : fenêtre de température et durée du traitement de détensionnement. En fonction du temps disponible, un traitement thermique pourra être testé sur une éprouvette technologique réalisée dans le cadre d'une thèse connexe à ce sujet.

**Ces travaux seront en interaction avec les travaux d'une thèse Safran en cours. L'étudiant pourra ainsi interagir avec le doctorant et apprécier sa contribution à un projet de recherche plus large.**

## Références

- [1] Durand-Charre, Madeleine, 1998, The Microstructure of Superalloys. CRC Press.
- [2] Danis, Yann, Eric Lacoste, and Corinne Arvieu, 2010, Numerical Modeling of Inconel; 738LC Deposition Welding: Prediction of Residual Stress Induced Cracking. Journal of Materials Processing Technology 210(14): 2053–2061.
- [3] Mercelis, Peter, and Jean-Pierre Kruth, 2006, Residual Stresses in Selective Laser Sintering and Selective Laser Melting. Rapid Prototyping Journal 12(5): 254–265