



Sujet de stage M2 ou équivalent

## **Optimisation des traitements thermiques post-fabrication pour l'inconel 625 issu de la fabrication additive par SLM**

Les procédés de mise en forme des superalliages issus de la métallurgie des poudres présentent un très fort potentiel, entre autre pour les applications aéronautiques, en permettant le développement de pièces dites « Near Net Shape » impliquant moins de matière première tout en offrant une bonne reproductibilité de fabrication. Parmi ces procédés, on s'intéresse plus particulièrement à la fabrication additive par lit de poudre (dite SLM). Ce procédé s'accompagne néanmoins d'importantes variations locales de température, à l'origine d'une microstructure hétérogène, et de contraintes résiduelles difficiles à maîtriser. Les pièces issues de ce procédé ont un comportement mécanique très peu maîtrisé à ce jour.

De plus, la qualité des pièces résultantes de ce procédé (morphologie de la surface, défauts surfaciques et volumiques, contraintes résiduelles) les classe très voisins des ébauches nécessitant des traitements thermiques (TT) très coûteux (de détentionnement, d'homogénéisation, de vieillissement,...). Les études de recherche réalisées à ce jour sur ce procédé innovant avaient pour objectif d'obtenir une pièce dont les propriétés mécaniques sont semblables aux pièces forgées. Ils ont donc souvent agit sur la microstructure en employant des procédés de post-fabrication principalement thermiques et thermochimiques souvent dans un environnement contrôlé et/ou à haute pression (HIP). Ces post-traitements sont très coûteux et augmentent exponentiellement les prix des pièces issues de la fabrication additive, un procédé qui reste lui aussi très onéreux.

Dans le cadre de ce stage, on s'intéressera principalement à ces traitements thermiques post-fabrication additive appliqués à un superalliage base Nickel largement utilisé en aéronautique : l'inconel 625. L'objectif étant d'optimiser les traitements thermiques permettant aux pièces issues de ce procédé de rejoindre les propriétés mécaniques obtenues par les procédés conventionnels. Ensuite, d'agir sur la microstructure en dissolvant les composants de microstructure inhérents à la ductilité du matériau (les précipités delta) et en formant des précipités permettant d'améliorer les propriétés mécaniques (les précipités gamma).

Plusieurs types de traitement seront appliqués à des éprouvettes laboratoires : TT simples ou étagés en variant chaque fois certains paramètres (temps de maintien, température). Une description des gradients de microstructure entre la surface et le cœur sera réalisée après chaque TT en utilisant les techniques d'observation (microscopie optique, microscopie électronique). Des essais mécaniques locaux (dureté, nanoindentation) et globaux (traction) seront également mis en place pour établir des relations entre les paramètres clefs de la microstructure et les propriétés mécaniques. L'interaction entre ces paramètres sera également analysée à travers des plans d'expériences complets et simplifiés.

Enfin, la chaîne de TT optimisée sera comparée à une chaîne de TT conventionnels. Cette étude appliquée permet de mettre en place des modèles empiriques sur les liens entre les propriétés microstructurales et les propriétés mécaniques de cet alliage.

Mots clés : SLM ; IN625 ; traitement thermique ; microstructure ; comportement mécanique



Candidat :

Le candidat recherché doit avoir des connaissances solides en métallurgie : caractérisation expérimental, microscopie,...

Encadrement et contact:

Merci d'envoyer vos dossiers de candidature (CV, lettre de motivation, relevées des notes) à :

- Etienne Copin : [etienne.copin@mines-albi.fr](mailto:etienne.copin@mines-albi.fr)
- Anis HOR : [anis.hor@isae-superaero.fr](mailto:anis.hor@isae-superaero.fr)

Lieux du stage : L'Institut Clément Ader Albi, Allée des sciences, 81000 Albi

Durée : 6 mois (entre février et juillet 2019).