

OFFRE DE THESE (Ph.D.)

Vers une maîtrise du lien poudre-microstructure en fusion laser sur lit de poudre de l'acier 316L (LPBF)

Contexte

Longtemps confiné à du prototypage rapide, la fabrication additive métallique LPBF (Laser Powder Bed Fusion) a fait d'important progrès ces dernières années, à tel point que des pièces issues de ce procédé sont aujourd'hui en opération dans le cœur de réacteurs nucléaires [1] et que des processus de qualification/codification sont en cours [2]. Malgré ces avancées significatives, le déploiement de cette technologie n'est pas complet puisque la maîtrise des variabilités de fabrication et la prédiction des microstructures résultantes doit être encore améliorée. Concernant ce dernier point, le lien entre le choix des poudres et la maîtrise des microstructures a fait l'objet de travaux de recherche, voir par exemple les travaux de thèse de A. Chniouel [3] puis de Léo Monier [4] qui ont montré que des microstructures très variées pouvaient être obtenues en fonction du lot de poudre choisi pour l'acier inoxydable austénitique 316L. Cette variabilité microstructurale est illustrée à la **Figure 1** avec d'une part une microstructure texturée du point de vue morphologique et cristallographique (**Figure 1a**) et d'autre part une microstructure plus fine constituée de grains plutôt équiaxes et peu texturée (**Figure 1b**). Cette variabilité microstructurale peut, le cas échéant, conduire à des propriétés mécaniques différentes. Ces variabilités, qu'elles soient microstructurales ou mécaniques, limitent aujourd'hui le déploiement de la fabrication additive dans des industries critiques telles que celle de l'énergie nucléaire.

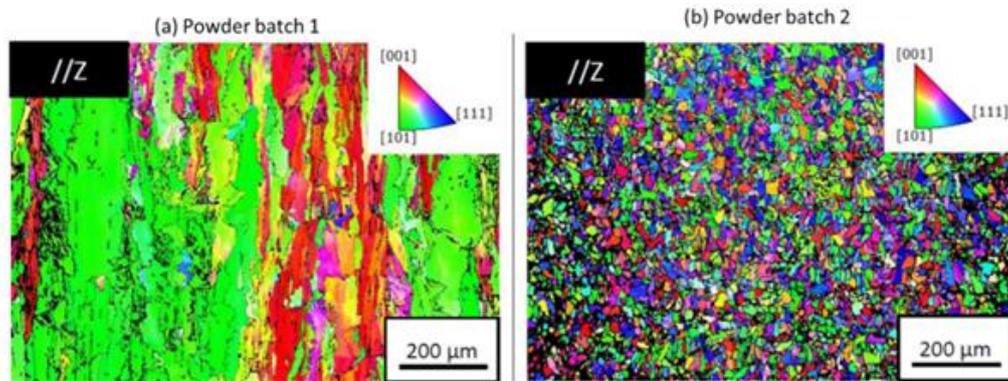


Figure 1: Cartographie EBSD en IPF-Z montrant une forte variation de microstructure en fonction du lot de poudre choisi [4] : (a) microstructure obtenue à partir du lot de poudre 1 et (b) du lot de poudre 2.

Des travaux récents ont cherché à clarifier l'origine de cette variabilité de microstructures, on peut par exemple citer les travaux de thèse de A. Chniouel [3], L. Monier [4], ou encore H. Roirand [5]. Différentes hypothèses ont pu être avancées et discutées dans ces différents travaux pour identifier les mécanismes sous-jacents : (i) une germination hétérogène exacerbée par la présence de nano-oxydes, (ii) une organisation du liquide à courte distance, ou encore (iii) la modification de la séquence de solidification conduisant in fine à une structure totalement austénitique. Néanmoins, aucun consensus sur le ou les mécanismes responsables de ces changements microstructuraux existe à ce jour. Les variations des paramètres et stratégies de fabrication, et les variations au niveau de la composition chimique, voire des caractéristiques physico-chimiques des poudres entre les différentes études complexifient d'autant plus les interprétations.

Objectifs

Du point de vue académique, l'objectif principal de ce sujet de thèse consistera à revisiter les hypothèses mis en avant dans les études précédentes [3] [4] [5] afin de déterminer quels sont le ou les mécanismes métallurgiques à l'origine du raffinement de la microstructure. Il faudra ensuite identifier les leviers permettant la maîtrise des microstructures via le contrôle de la composition chimique et/ou des paramètres procédés [6] [7] [8] [9]. Un objectif secondaire consistera à caractériser l'effet de traitements thermiques (TTH) sur l'évolution de paramètres clés de la microstructure « as-built » tel que la texture, la taille de grain, la densité de dislocation, et les microségrégations.

Du point de vue industriel, il s'agira de reconsidérer les spécifications des lots de poudres, notamment au niveau de la composition chimique afin de limiter au maximum la variabilité des microstructures et des propriétés résultantes.

Pour remplir ces objectifs le(la) candidat(e) sera amené(e) à :

- Bâtir des plans d'expérience permettant de tester différents jeux de paramètres procédés, et plusieurs lots de poudres pour identifier des conditions (composition, fabrication) menant à des microstructures différentes.
- Mettre au point des expérimentations innovantes (fonctionnalisation de poudre, fabrication de matériaux à gradients de composition) permettant le découplage des paramètres influents et consolider ou infirmer les hypothèses quant aux mécanismes conduisant à des microstructures fines et isotropes.
- Caractériser les microstructures depuis l'échelle du bain de fusion jusqu'à l'échelle nanométrique, voire atomique (métallographie, MEB/EDS/EBSD, MET, Sonde atomique).
- Etablir des spécifications robustes notamment sur la composition chimique et/ou les paramètres de fabrication pour s'assurer que les variations inhérentes au procédé garantissent un niveau de qualité équivalente du produit.

Profil des candidat(e)s

Le (la) candidat(e) doit être titulaire d'un master 2, d'un titre d'ingénieur ou de tout autre cursus équivalent en science des matériaux ou mécanique. Ce travail de thèse sera essentiellement expérimental. Des connaissances en métallurgie sont requises. Une expérience ou des notions en fabrication additive constitue un vrai plus. Le (la) candidat(e) devra prendre des initiatives aussi bien au niveau des procédures expérimentales que dans le traitement des résultats. La capacité à interagir avec l'équipe encadrante coté FRAMATOME et avec le personnel du laboratoire SIMaP est cruciale pour mener un travail collaboratif.

Laboratoires, financement et encadrement

Ce sujet est proposé par FRAMATOME via une bourse CIFRE. Cette thèse se déroulera essentiellement au laboratoire SIMaP (Science et Ingénierie des Matériaux et Procédés, UMR CNRS 5266 - Université de Grenoble Alpes) avec des périodes passées au sein de l'entreprise. L'encadrement sera assuré par des enseignants-chercheurs du SIMaP : Arthur Despres, Muriel Veron, Hugo Van Landeghem et Guilhem Martin. Un début de thèse à l'automne 2024 est visée pour une durée de 3 ans. Des heures supplémentaires d'enseignements sont possibles.

Contacts pour candidater

Guilhem MARTIN: guilhem.martin@simap.grenoble-inp.fr

Arthur DESPRES: arthur.despres@simap.grenoble-inp.fr

Références

[1] D. Bardel et al. Top Fuel Conference, Santander, 24-28th October 2021.

[2] G. Badinier et al. Metal AMS conference, Senlis, 20-21 march 2024.

[3] A. Chniouel. Thèse CEA, 2019.

[4] L. Monier. Thèse Grenoble INP, 2023.

[5] H. Roirand. Thèse INP Toulouse, 2023.

[6] M.J. Heiden et al. Materialia 21, 101356, 2022.

[7] A.R. Riensche et al. Materials & Design 237, 112540, 2024.

[8] Gao et al. Nature communication 14, 6752, 2023.

[9] Th. Camus et al. Materialia 30, 101804, 2023.