



OFFRE DE THESE

Sujet : Microstructure, résistance mécanique et propriétés physiques d'un alliage de Cuivre à durcissement structural obtenu par fusion laser sur lit de poudre : caractérisation et simulation

Résumé

Parmi les alliages de Cuivre, les alliages à durcissement structural tel que les Cuivre-Chrome-Zirconium présentent, après un traitement de vieillissement, une conductivité thermique, une conductivité électrique et une résistance mécanique élevées. Le CuCrZr a jusqu'à présent été très peu étudié en fabrication additive en général et en fusion sur lit de poudre en particulier. Peu de données mécaniques, électriques, thermiques sont disponibles dans la littérature pour cet alliage. De même, aucune étude ne s'est intéressée à la modélisation de la solidification et de la microstructure (orientations, texture, taille de grains) à l'échelle du grain. L'objectif de cette étude vise à combler ce manque via : (i) la caractérisation fine de la microstructure et des propriétés physiques et mécaniques correspondantes, (ii) la modélisation de la microstructure en fonction des paramètres principaux du procédé.

Contexte et problématique

Le CEA-LITEN (http://www-liten.cea.fr/fr/activites_rd/activites_rd.htm) développe, en partenariat avec des industriels, de nouveaux alliages métalliques par fabrication additive. Ce procédé de fabrication est une véritable révolution industrielle puisqu'il permet de réaliser de petites et moyennes séries de pièces de grande complexité sans utiliser de moule et avec une vitesse de développement accrue. La technologie de construction des pièces étudiée dans le cadre de ce projet est la fusion laser sur lit de poudre (ou SLM, Selective Laser Melting). Elle consiste à empiler des lits de poudres, à les fondre au moyen d'un laser aux emplacements prédéfinis par un fichier CAO. Le domaine de compétences du LITEN va de la sélection et la caractérisation des poudres métalliques à la caractérisation microstructurale et mécanique des matériaux massifs obtenus.

Les pièces en Cuivre et alliages de Cuivre représentent un marché encore peu exploré par la fabrication additive, alors qu'il s'agit du troisième métal le plus consommé en tonnage mondial après l'acier et l'aluminium. Les principaux atouts du Cuivre sont ses conductivités électrique et thermique élevées, sa résistance à la corrosion et sa ductilité. Parmi les alliages de Cuivre, les alliages à durcissement structural tel que le Cuivre-Chrome-Zirconium (CuCrZr) présentent, après un traitement de vieillissement, une conductivité thermique élevée (>300W/m.K), une conductivité électrique élevée (>75% IACS) et une résistance mécanique élevée (>250 MPa) jusqu'à 300-500°C. Ils ont des applications thermiques dans les aimants et appareils à haut flux thermique, les moules de coulée refroidis à l'eau, les électrodes de soudage par points ou les parois des réacteurs de fusion thermonucléaire.

Le CuCrZr a jusqu'à présent très peu été étudié en fabrication additive. Du fait de la faible absorption du laser par le Cuivre et la conductivité thermique élevée du Cu, de fortes densités d'énergie, de l'ordre de 200-300 J/mm³, sont requises pour fondre complètement la poudre et atteindre des densités de 98-99%

^[1,2]. Aucun fabricant de machine SLM ne propose pour l'instant d'alliages de Cuivre faiblement alliés ; peu de données mécaniques (traction, résilience, dureté, fatigue), électriques (résistivité), thermiques (diffusivité, chaleur spécifique) sont disponibles dans la littérature pour ces alliages SLM à 20°C et en température. De même, aucune étude ne s'est intéressée à la modélisation de la solidification et de la microstructure (orientations, texture, taille de grains) à l'échelle du grain. Ces données peuvent néanmoins être importantes pour prévoir la tenue mécanique de pièces fortement allégées grâce à ce procédé. Le travail proposé vise à combler ce manque.

Démarche scientifique

La thèse s'articulera de la façon suivante :

- un axe « Elaboration et Caractérisation », constitué de trois parties :

- Les teneurs en éléments d'addition et les impuretés des poudres seront estimés par spectrométrie à plasma induit et émission optique couplée (ICP-OES) et par analyse instrumentale des gaz (IGA). Leurs états de surface ainsi que la nature des espèces présentes en surface sera étudiée par spectroscopie Auger (AES) et par spectrométrie de photoélectrons induits par rayons X (XPS) ; la réactivité de surface des matériaux pourra également être étudiée en fonction de la température et de gaz (réactifs ou non réactifs) grâce à un dispositif spécifique compatible avec les spectromètres.

- l'élaboration de pièces par SLM visera à obtenir des densités supérieures ou égales à 99% ; une fois cet objectif atteint, l'analyse fine de la microstructure permettra de mesurer la taille des grains, leurs orientations, la texture, l'anisotropie, la localisation des précipités et les défauts tels que les porosités. Les résultats seront confrontés à ceux de la modélisation. Les outils utilisés seront le MEB haute résolution-EDX, l'EBSD pour la texture, les orientations et les phases présentes, le MET pour l'analyse des précipités et la DRX pour les phases présentes et leurs orientations.

- l'évaluation de l'effet de traitements thermiques Recuit, Trempe et Vieillessement sur les propriétés thermiques (diffusivité, chaleur spécifique), électriques (résistivité) et mécaniques (traction, résilience, dureté) à 20°C. Ces dernières seront également mesurées à 200°C et 400°C. Les résultats obtenus seront comparés à ceux du CuCrZr obtenu par laminage à chaud.

- un axe « Modélisation », qui a pour objectif de prédire les caractéristiques microstructurales en fonction des paramètres principaux du procédé SLM (Puissance, Vitesse, Epaisseur de Couche, Distance inter-cordons, Stratégie de Lasage) à partir d'un champ thermique numérique.

- Dans ce but, le doctorant travaillera sous le logiciel CAST3M et mettra en œuvre une modélisation couplant éléments Finis et automates cellulaires (développée par le LTA au CEA/Saclay) afin de prédire la taille et l'orientation cristalline des grains en fin de procédé.

- On cherchera d'autre part à instrumenter la machine SLM du laboratoire pour mesurer in-situ la température et le profil du bain de fusion ; ces données sont importantes pour définir les conditions initiales des calculs. En l'absence de ces données, l'énergie fournie par le laser pourra être extrapolée à l'aide des données de la littérature ou fournie par des essais de solidification laser ex-situ.

Laboratoires d'accueil

La thèse se déroulera entre quatre laboratoires du LITEN ; le LRVM est spécialisé dans la caractérisation fine des poudres métalliques (densités, coulabilité, granulométrie, morpho-granulométrie) ; le L3M dispose des machines de fabrication SLM, des outils de caractérisation métallographique initiale (découpe,

¹ A.Popovich et al., « Microstructure and mechanical properties of additive manufactured copper alloy », Materials Letters 179 (2016) 38-41

² E.Uhlmann et al., « Qualification of CuCr1Zr for the SLM process », 7th International Conference on High Speed Forming (ICHSF 2016) is held in Dortmund, Germany on April 27th – 28th, 2016

polissage, Microscopie Optique, Dureté) et des outils de caractérisation physique (diffusimètre thermique, mesures électriques) ; le LCA apporte son expertise en métallurgie des alliages de Cuivre, en modélisation et en caractérisation mécanique et le L2N ses compétences en caractérisation chimique et microstructurale des matériaux. Ces dernières seront réalisées sur la plateforme nanocaractérisation de Minatec.

Profil du candidat recherché

Pour cette thèse, le CEA-LITEN recherche un(e) élève Ingénieur 3^e année ou Master Recherche 2^e Année en Science des Matériaux, ayant une expérience pratique du développement de procédés, de préférence en métallurgie des poudres métalliques et idéalement en fabrication additive métallique de type SLM et/ou en modélisation. Il / Elle a obtenu de très bons résultats au cours de ses études (classement demandé) et possède une bonne qualité rédactionnelle.

Contacts : (de préférence répondre aux 2 contacts)

Dr Thierry Baffie, Encadrant, L3M

Tel : 04 38 78 93 79

E-mail : thierry.baffie@cea.fr

Dr Laurent BRIOTTET, Dir. de Thèse, LCA

Tel : 04 38 78 33 15

E-mail : laurent.briottet@cea.fr