

DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **06 novembre 2024**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur Baptiste FORGET**

Titre de la thèse : Développement de composites à matrice aluminium à renforts borés : De la poudre au matériau préparé par fabrication additive.

Résumé



L'aluminium est l'un des métaux les plus utilisés dans le monde en raison de son abondance sur Terre, de son faible coût, de sa bonne résistance à la corrosion et de sa faible densité. Les alliages d'aluminium en particulier peuvent offrir des propriétés spécifiques surpassant celles de l'acier, ce qui en font des matériaux de structure très utilisés dans l'industrie. En tant que matériaux à fort potentiel applicatif, les alliages d'aluminium sont également étudiés en Fabrication Additive (FA) des métaux. Une opportunité offerte par la FA et qui fait l'objet de nombreux sujets de recherche, est d'associer la complexité de forme permise par ces procédés, à l'utilisation de matériaux hautes performances adaptés à ces procédés. Si l'amélioration des performances des pièces produites en FA peut se faire via le design d'alliages (cas du Scalmalloy), un autre axe repose sur le développement des Composite à Matrice Aluminium (CMA). Les CMA sont particulièrement recherchés pour leur capacité à présenter des propriétés spécifiques très élevées en combinant la faible densité et la ductilité de l'aluminium avec la bonne résistance des renforts céramiques. De plus, les renforts riches en bore présentent un intérêt spécifique dans le domaine nucléaire pour leurs propriétés neutrophages. Une problématique pour l'élaboration de CMA en fonderie d'aluminium (i.e. stir casting) est de maîtriser la stabilité thermodynamique des renforts et les réactions interfaciales avec la matrice. Cette difficulté est exacerbée en fusion laser sur lit de poudre FLLP, procédé dans lequel les températures atteintes sont bien plus élevées qu'en fonderie. Pour ces raisons, les renforts céramiques connus et élaborés en fonderie d'aluminium (SiC, B₄C) se décomposent, au moins partiellement, aux températures du procédé FLLP. L'objectif de cette thèse est de transposer la technique de Synthèse Réactive Globale (SRG) au domaine de la Fabrication Additive, conduisant à la synthèse in-situ de la matrice aluminium et d'un renfort stables à haute température à partir de

précurseurs. En particulier, l'objectif est d'adapter à la Fusion Laser sur Lit de Poudre (FLLP) le brevet déposé par Dezellus et al., qui synthétisait le CMA Al- τ_3 (Al₃B₄Si₂) par le traitement thermique de AlB₂ en creuset graphite à 1400 °C suivant la réaction : $24\text{AlB}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Al}_3\text{B}_4\text{Si}_2 + 21\text{Al}$ Pour atteindre cet objectif, une stratégie de synthèse en plusieurs étapes a été employée. Premièrement, une poudre précurseure AlB₂ · C2%_m est mécano-structurée à l'aide d'un broyeur à billes. Cette poudre est alors soit directement lasée en FLLP, soit mélangée à l'aide d'un mélangeur à haut cisaillement avec une poudre d'aluminium pur atomisée gaz dédiée à la FLLP (90%_m Al et 10%_m du mélange de précurseurs). Cette dernière étape a pour objectif d'augmenter l'aptitude à l'écoulement de la poudre, mais aussi de moduler le taux de renfort final. Le lasage de la poudre mécano-structurée en FLLP a abouti au composite escompté, c'est-à-dire un CMA Al – τ_3 (Al₃B₄Si₂). La montée en température durant le lasage a établi la réaction de SRG. Cependant, le matériau présente encore au terme de l'étude des taux de porosité et de fissuration importants. La poudre précurseure mélangée avec 90%_m d'aluminium n'aboutit pas au CMA Al – τ_3 (Al₃B₄Si₂) malgré l'existence de la conode Al – τ_3 (Al₃B₄Si₂) en température pour cette composition. À la place, un CMA Al – AlB₂ a été obtenu. L'AlB₂ a été synthétisé in-situ durant la FLLP, par précipitation depuis la phase liquide. Ces précipités sont sub-micrométriques et répartis de manière homogène dans la matrice. Ce matériau a été caractérisé aussi bien du point de vue mécanique que thermique, et présente des propriétés prometteuses. De plus, un post-traitement thermique de mise à l'équilibre réalisé au-dessus du point de fusion de l'aluminium conduit à la formation des phases attendues Al et τ_3 (Al₃B₄Si₂).

Mots-clés : Composite à matrice aluminium, Fusion Laser sur Lit de Poudre, Synthèse Réactive Globale, Bore, Fabrication Additive, Métallurgie des poudres