



Séminaire du 25 Mai 2018



Fabrication additive par fusion laser et cold spray

Fabrication Additive par « cold spray »

Margaux BUNEL ^a, Michel JEANDIN ^a, Francesco DELLORO ^a, Kevin Roche ^b, Gilles SURDON ^b, Erick EILLOT ^c, Antoine BACCIOCHINI ^d, Pascal LEMEILLE ^d

^a MINES ParisTech, PSL Research University, MAT – Centre des Matériaux, UMR CNRS 7633, BP 87, 91003 Evry Cedex, France

^b DASSAULT AVIATION, 1 avenue du parc, 95100 Argenteuil

^c CAE Le Ripault, 37260 Monts

^d MALLARD, 117 route de Lillebonne, 76170 Saint Antoine La Forêt

La projection dynamique par gaz froid (cold spray) est un procédé de projection thermique à haut rendement. De plus, la température est suffisamment faible pour que les particules restent à l'état solide. Cela en fait un procédé attractif pour la fabrication additive, que ce soit pour la réparation de pièces, le rechargement ou la création de préforme de pièce.

L'objectif pratique de cette étude est de construire des dépôts épais avec une géométrie précise d'Al2024, un matériau couramment utilisé dans le domaine aéronautique de par ses bonnes propriétés mécaniques. Pour cela, des dépôts ont été réalisés sur différentes installations et avec différents jeux de paramètres afin de pouvoir être caractérisés. Cela permet de connaître l'influence des différents paramètres sur les propriétés des revêtements.

Malheureusement, même après optimisation des paramètres, le rendement est trop faible pour envisager des dépôts épais donc de la fabrication additive telle qu'on l'entend. La solution choisie pour résoudre ce problème est d'appliquer un traitement thermique à la poudre afin de modifier ces propriétés et de la rendre plus facilement projetable.

Pour ce qui est de la précision géométrique du revêtement après projection, un modèle de construction du dépôt, se fondant sur les profils d'un cordon et du rendement relatif lié à l'angle de projection, a été développé. Il permet de simuler un profil en 2D ou une surface en 3D dans certaines limites, afin de prédire la forme finale du dépôt en fonction des paramètres cinétiques choisis.

Interaction Laser – Zone fondue – lit de poudre en fabrication additive SLM

Patrice PEYRE, Valérie GUNENTHIRAM, Matthieu SCHNEIDER, Morgan DAL,
Frédéric COSTE, Rémy FABBRO

Laboratoire PIMM, UMR 8006 CNRS- ENSAM-CNAM, 151 Bd de l'Hôpital, 75013 PARIS

La fabrication additive SLM permet d'élaborer des pièces métalliques complexes, denses ou architecturées, par fusion laser séquentielle d'un lit de poudre d'épaisseur généralement comprise entre 20 et 100 μm . Si le procédé présente un bon degré de maturité et si les applications industrielles se multiplient, la physique du procédé à l'échelle de l'interaction laser-poudre-zone fondue reste encore insuffisamment décrite, et l'influence des propriétés thermo-physiques du matériau sur la stabilité du procédé est mal comprise.

L'étude présentée ici est composée de deux volets : (1) une analyse des zones fondues sur lit de poudre basée sur de l'imagerie rapide et réalisée sur banc instrumenté pour deux matériaux : un acier 316L et un alliage d'aluminium, (2) une analyse des modes de densification pour une large gamme de paramètres procédé (puissance, vitesse, diamètre de faisceau, épaisseur de couche) réalisée sur une machine de SLM pour le 316L.

Les conditions de formation de différentes instabilités comme les éjections de métal liquide, la dénudation en poudre ou les phénomènes de balling ou humping sont clairement identifiées dans la première partie, de même que la présence d'une colonne de vapeur métallique constituée de particules nanométriques se détendant depuis la surface de la ZF. La présence de cette vaporisation locale qui conduit le plus souvent à un mode de fusion proche du soudage par key-hole est clairement identifiée comme étant le moteur principal des instabilités identifiées en SLM. Toutefois, la limitation des éjections métalliques identifiées sur alliage aluminium fait encore débat, de même que les mécanismes physiques (absorption ou diffusion) impliqués lors de l'interaction entre la colonne de vapeur et le gaz de protection.

Dans un second temps, via une étude paramétrique réalisée sur des cubes en 316L, une formulation analytique de la densification de matière est proposée, dépendant soit d'une énergie volumique VED, soit de la dimension des zones fondues, en accord avec des modèles de soudage. Une telle formulation simplifiée permet de prédire l'évolution des taux de porosité, et en particulier ceux liés aux manques de fusion à faible VED.

Enfin, un nouveau régime de fusion laser basse intensité est proposé, et validé sur quelques couches, permettant de limiter les éjections de métal liquide.

Fusion Laser Sélective de céramiques oxydes

Liliana MONIZ^a, Christophe COLIN^a, Marie-Hélène BERGER^a

^aMINES ParisTech, PSL Research University, MAT – Centre des Matériaux, UMR CNRS 7633, BP 87, 91003 Evry Cedex, France

La mise en forme par fusion laser sélective de céramiques oxydes ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ et Al_2O_3) devrait à terme permettre l'obtention de pièces aux formes complexes, limitant fortement les coûts d'usinage par rapport au procédé classique de frittage. Par leur légèreté et leur excellente tenue en température et à l'oxydation, les pièces céramiques ainsi produites pourront alors répondre aux problématiques d'allègement et d'augmentation des températures des turboréacteurs, en comparaison aux pièces métalliques revêtues de céramiques.

Les procédés additifs accessibles aujourd'hui pour la mise en forme de céramiques sont indirects et reposent le plus souvent sur l'utilisation d'un liant polymère qu'il convient, lors d'une première étape, de pyrolyser, suivie d'une étape de densification par frittage conventionnel. Ces procédés additifs indirects accroissent alors les temps et les coûts de fabrication. En revanche et malgré une meilleure maîtrise de la fissuration des céramiques oxydes, les conditions thermiques induites par le procédé direct de fusion sélective par laser sont telles qu'elles engendrent une rapide solidification dirigée dans l'axe de fabrication. Cela mène d'une part à des microstructures spécifiques très fines favorisant la tenue au fluage, et d'autre part à une densité relative améliorée des pièces par rapport aux procédés indirects.

La combinaison matériau/procédé repose sur l'ajout d'un absorbant aux poudres céramiques oxydes, permettant de pallier leur quasi-transparence au rayonnement laser Yb:YAG. L'étude menée vise alors à identifier l'impact des paramètres du procédé, de la nature et la teneur de l'absorbant et de la compacité du milieu à fusionner sur ses propriétés optiques et sur la stabilité de construction. Pour ce faire, des mesures spectrométriques innovantes en réflexion et en transmission ont été réalisées en cours de fabrication et sous différentes conditions opératoires. Des modèles analytiques d'interaction volumique laser-matière et de consolidation des lits de poudre ont notamment été développés. Ces modèles s'appuient essentiellement sur les observations entreprises pendant et après la formation de cordons dans un lit de poudre (formation de zones dénudées de poudre de part et d'autre du cordon suite au retrait et à l'éjection de particules du lit de poudre).



Vous pouvez nous contacter :

- Par courrier postal :

Centre des Matériaux Pierre-Marie Fourt
Mines ParisTech
CNRS UMR 7633, BP 87 91003 Evry, France

- Par téléphone : +33 (0)1 60 76 30 00
- Par fax : +33 (0)1 60 76 31 50
- Par courrier électronique : semteam@mat.mines-paristech.fr
- Site web : <http://www.mat.mines-paristech.fr>

Equipe séminaire :

Patrizio LOMONACO
Rossen TCHAKALOV
Chloé VARENNE