

PROJETS PHARE

FABRICATION ADDITIVE

LA FUSION SÉLECTIVE PAR LASER APPLIQUÉE À DES MATÉRIAUX CÉRAMIQUES

À MINES ParisTech, le Centre des matériaux (CdM) et le Centre de mise en forme des matériaux (Cemef) conjuguent leur expertise pour mettre au point la fabrication additive des matériaux céramiques. Ils ouvrent la voie à de nouvelles applications industrielles dans les champs médical, aéronautique ou spatial. Échéance 2025.

La fusion sélective de lit de poudre

Le matériau de base est la poudre d'alumine ou un eutectique alumine-zircone. La technique est celle de la fabrication additive par fusion sélective d'un lit de poudre, dénommée LBM (*Laser Beam Melting*) ou EBM (*Electron beam melting*). C'est un procédé qui consiste à élaborer une pièce couche après couche. L'addition de matière résulte de la fusion – au moyen d'une source d'énergie, laser ou faisceau d'électrons – d'une fine couche de poudre, dont l'épaisseur est de l'ordre de quelques dizaines de micromètres (soit environ la moitié du diamètre d'un cheveu). Les premières applications de «l'impression 3D» (version grand public de la «fabrication additive») visent le design et le prototypage rapide, et la technologie LBM connaît un véritable essor dans l'industrie. Elle permet en effet de produire des pièces métalliques de forte complexité géométrique, pour lesquelles des méthodes de mise en forme plus conventionnelles (usinage, fonderie, compaction de poudres, moulage par injection) sont mises en échec ou se révèlent trop coûteuses.

La technologie LBM reste encore difficile à maîtriser : on n'obtient pas toujours la forme visée et des fissures ou des porosités peuvent rendre les pièces inutilisables. Relier ces défauts aux paramètres du procédé est donc vital pour le contrôler et assurer une qualité reproductible. D'où l'intérêt du développement de la simulation numérique du procédé, ainsi qu'une

caractérisation de la thermique et de la mécanique des matériaux en condition de fabrication additive. Ces deux volets sont assurés par le Cemef, d'une part, et le CdM, d'autre part.

Le choix de la céramique

La fusion sélective par laser n'a encore jamais été appliquée aux céramiques. MINES ParisTech a choisi d'explorer cette voie, car les céramiques pourraient, à l'avenir, représenter une solution très intéressante grâce à leur faible poids et leur excellente performance à haute température. Il s'agit d'une recherche relativement amont par rapport aux débouchés industriels, les céramiques n'étant pas des candidates idéales pour le LBM, du fait d'une certaine transparence au rayonnement des lasers Nd : YAG et de leur forte susceptibilité aux chocs thermiques. Ces premiers développements ont donc été entrepris au sein de l'Institut Carnot M.I.N.E.S (projet Cefale).

Expérimentation et modélisation

Le Centre des matériaux s'est concentré sur la mise en forme par fusion sélective de lit de poudre conduisant à une fenêtre de construction stable pour la réalisation de formes tridimensionnelles. Des observations au MEB et au MET de bains alumine-zircone de composition eutectique ont permis de révéler d'ores et déjà des microstructures fines très intéressantes pour la tenue mécanique à chaud de ce matériau.

Le Cemef s'est engagé, quant à lui, dans le développement de méthodes numériques de simulation. Un premier modèle thermomécanique par éléments finis est mis en œuvre à l'échelle de l'apport élémentaire de matière, pour traiter l'interaction laser / lit de poudre, la fusion, l'hydrodynamique de la zone fondue et la solidification sous forme de cordons juxtaposés ou superposés. Cette approche vise à prédire la microstructure ainsi que les défauts prévalant au voisinage immédiat de l'apport d'énergie, pendant la construction : fissuration, porosités. Mais cette approche a ses limites si on réalise que la construction de quelques cm³ peut requérir des longueurs de « lasage » de l'ordre du km. C'est pourquoi un second modèle numérique, plus « macro », est développé pour calculer le transfert thermique et la mécanique à l'échelle de la pièce en cours de construction.

> Contacts : Christophe Colin et Michel Bellet

Q. Chen, G. Guillemot, Ch.-A. Gandin, M. Bellet, *Finite element modeling of deposition of ceramic material during SLM additive manufacturing*, Proc. NUMIFORM2016, 12th Int. Conf. on Numerical Methods in Industrial Forming Processes, Troyes, 4-7 July 2016

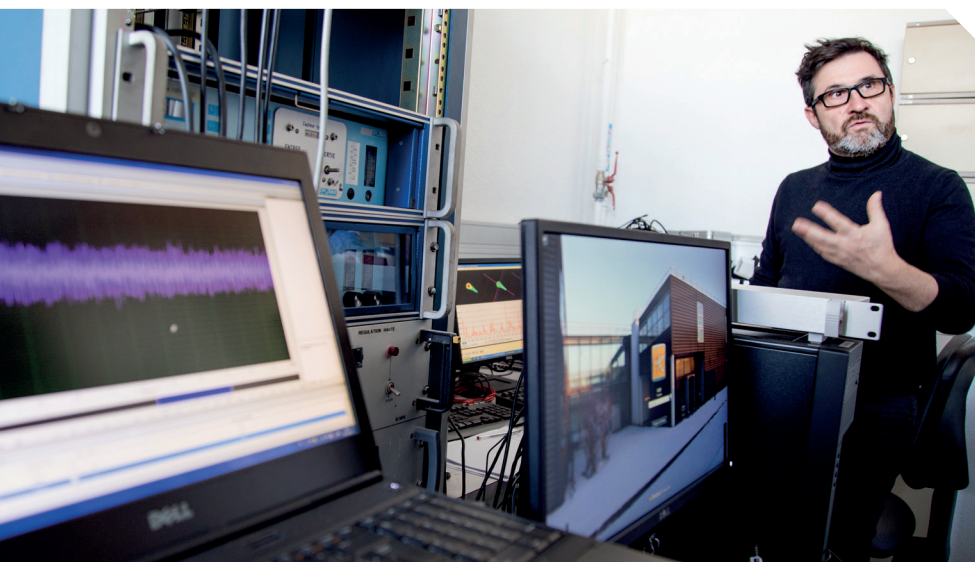
Y. Zhang, M. Bellet, G. Guillemot, Ch.-A. Gandin, *Macroscopic finite element modelling of laser beam melting of Inconel 718*, Int. Conf. on Additive Manufacturing in Products and Applications (AMPA), Zürich, 13-15 September 2017

L. Moniz, C. Colin, M.H. Berger, J.D. Bartout, *Fusion laser sélective de pièces céramiques oxydes à hautes performances*, Journées Annuelles SF2M, Albi, 25-27 Octobre 2016

RETROUVEZ
LE PROJET EN VIDÉO SUR
MINES-PARISTECH.FR



www.mines-paristech.fr/WebTV/



Jean-Dominique Bartout, ingénieur au centre des matériaux, explique l'interaction laser-matière.