

THESE

Pour l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE LORRAINE

Spécialité : Science des matériaux

Présenté par :

PAUL LOHMULLER

Matériaux mésostructurés et Infiltration Métallique avec Optimisation du Squelette Architecturé

Thèse soutenue publiquement le 29/11/2019 à Metz devant le jury composé de :

M. Samuel FOREST, Directeur de recherche CNRS, MAT - Centre des matériaux, Mines Paristech, Paris	Rapporteur
M. Rémy DENDIEVEL, Professeur des universités, SIMAP/GPM2, Grenoble INP, Grenoble	Rapporteur
M. Christophe DESRAYAUD, Professeur des universités, LGF, Mines St Etienne, St Etienne	Examineur
Mme. Emilie GAUDRY, Professeur des universités, IJL, Mines Nancy, Nancy	Examineur
M. Christophe COLIN, Maitre de conférences, MAT - Centre des matériaux, Mines Paristech, Paris	Examineur
M. Pascal LAHEURTE, Maitre de conférences HDR, LEM3, Université de Lorraine, Metz	Directeur de thèse
M. Julien FAVRE, Maitre assistant, LGF, Mines St Etienne, St Etienne	Co-directeur de thèse
M. Samuel KENZARI, Ingénieur de recherche CNRS, IJL, Mines St Nancy, Nancy	Co-directeur de thèse
M. Marco MONTEMURRO, I2M, Maitre de conférence HDR, Art et Métiers Paristech, Bordeaux	Invité

Matériaux mésostructurés et Infiltration Métallique avec Optimisation du Squelette Architecturé

Composites, Infiltration, Allègement de structure, Matériaux poreux, Architecture

La recherche constante d'allègement de structure et d'optimisation des performances est à l'origine des matériaux hybrides. Ils sont définis comme la combinaison de deux matériaux (ou plus), ou la structuration d'un matériau dans un volume donné, selon une organisation et une échelle prédéterminée en vue de répondre à une application spécifique. De plus, l'essor récent de la fabrication additive permet d'entrevoir une liberté de conception inégalée. Ceci est à l'origine de matériaux hybrides tels que les structures lattices ; il s'agit d'un assemblage de micro-poutres ordonnées ou non visant à remplir un volume donné. Ce travail de thèse porte sur l'élaboration d'un matériau hybride métallique à squelette architecturé optimisé. Dans un premier temps, nous nous intéresserons à l'optimisation du squelette. Pour ce faire un modèle original de génération de structures lattices périodiques inspiré de la cristallographie sera proposé. Il permettra la génération d'une base de données de structures à laquelle seront ajoutées des structures lattices quasipériodiques. Dans un second temps, nous nous intéresserons aux performances de ces structures du point de vue du : comportement mécanique et de l'infiltration de réseau poreux par un liquide. Dans les deux cas, des relations phénoménologiques seront déterminées afin de relier la rigidité à la densité relative, ou la remontée d'un front d'infiltration en fonction des caractéristiques géométriques d'un squelette. Ces relations, via les paramètres qui les gouvernent, permettent de dégager l'influence de la topologie et donne lieu à des outils de sélection sous forme de cartes 2D. Les étapes de contrôle des structures par tomographie X, d'évaluations des propriétés mécaniques expérimentales et d'infiltration de réseaux poreux, rendent possible la confrontation avec les modèles proposés. Ces différents outils valident la topologie et l'échelle du squelette optimisé du point de vue mécanique et de l'infiltration. Pour finir, des composites associant un alliage d'aluminium et un squelette en Ti-6Al-4V produit par fusion laser sélective, sont élaborées par creuset froid. Une analyse des porosités et de la métallurgie à l'interface Ti/Al révélera la viabilité du procédé, ainsi que l'influence des conditions d'élaborations sur les microstructures.

Metal infiltrated mesostructured materials with optimization of architected scaffold

Composites, Infiltration, Structural lightening, Porous materials, Architecture

The constant search for structural lightening and performance optimization is at the origin of hybrid materials. They are defined as the combination of two (or more) materials, or the structuring of a material in a given volume, according to predetermined organization and scale in order to respond to a specific application. In addition, the recent growth of additive manufacturing offers a new unmatched design freedom. This is at the origin of hybrid materials such as lattices; it is an assembly of micro-beams ordered or not to fill a given volume. This PhD work focuses on the development of a hybrid metallic material with optimized architected skeleton. At first, we will focus on the optimization of the skeleton. To do this, an original model generation of periodic lattices inspired by crystallography will be proposed. It will allow the generation of a database of structures to which will be added quasiperiodic lattices structures. In a second time, we will focus on the performances of these structures from the point of view of: mechanical behavior and porous network infiltration by a liquid. In both cases, phenomenological relations will be determined in order to relate the rigidity to the relative density, or the rise of an infiltration front according to the geometric characteristics of a skeleton. These relationships, via the parameters that govern them, make it possible to identify the influence of the topology and give rise to selection tools in the form of 2D maps. The X-ray tomography control steps, evaluations of the experimental mechanical properties and infiltration of porous networks make possible the confrontation with the proposed models. These different tools validate the topology and the scale of the optimized skeleton from the mechanical point of view and the infiltration. Finally, composites combining an aluminum alloy and a Ti-6Al-4V skeleton produced by selective laser melting are produced by a cold crucible. Porosity and metallurgical analysis at the Ti / Al interface will reveal the viability of the process, as well as the influence of the processing conditions on the microstructures