

THÈSE

Pour l'obtention du titre de :

DOCTEUR de L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Spécialité : Science des Matériaux

Présentée par :

Catherine SCHNEIDER-MAUNOURY

Application de l'injection différentielle au procédé de fabrication additive DED-CLAD® pour la réalisation d'alliages de titane à gradients de compositions chimiques

Thèse soutenue publiquement le **13 décembre 2018** à Metz devant le jury composé de :

M. Frédéric PRIMA	Professeur des universités, Chimie-ParisTech, Paris	Rapporteur
M. Philippe BERTRAND	Professeur à l'ENISE, Saint-Etienne	Rapporteur
Mme. Wafa ELMAY	Docteur / Ingénieur Projet, CTIF, Sèvres	Examinatrice
M. Patrice PEYRE	Directeur de Recherche CNRS, Paris	Examineur
M. Nouari CHAOUI	Professeur à l'Université de Lorraine, Forbach	Examineur
M. Didier BOISSELIER	Responsable technique, IREPA LASER, Illkirch	Examineur
M. Pascal LAHEURTE	Maître de conférences HDR, LEM3, Université de Lorraine, Metz	Directeur
M. Laurent WEISS	Maître de conférences, Université de Lorraine, Metz	Co-directeur

IREPA LASER, 320 Boulevard Sébastien Brant, 67400 Illkirch-Graffenstaden

LEM3, 7 Rue Félix Savart, 57073 Metz

Université de Lorraine - Pôle M4 : matière, matériaux, métallurgie, mécanique

Résumé

Depuis 1984, les matériaux à gradients de fonction (FGM) permettent de former une barrière thermique et réduire les fortes discontinuités des propriétés entre deux matériaux de nature différente. Ces multi-matériaux, qui consistent en une variation intentionnelle de la composition chimique entraînant par conséquent une modification des propriétés microstructurales, chimiques, mécaniques et thermiques, permettent de lisser la distribution des contraintes thermiques. L'élaboration *in situ* de ces alliages sur mesure est rendu possible grâce à l'utilisation de procédés de fabrication additive tel que le procédé par dépôt de poudres DED-CLAD®. Ces procédés connaissent un essor considérable depuis les années 1980 et sont idéaux dans la fabrication de FGM. Dans le cadre de cette thèse CIFRE, des développements techniques ont été effectués pour adapter le procédé DED-CLAD® et permettre la réalisation de FGM. Grâce à plusieurs collaborations industrielles, une étude complète à été réalisée sur les alliages titane-molybdène et titane-niobium. Ces alliages permettent dans le premier cas de réaliser des pièces résistantes à de fortes sollicitations thermiques (secteur spatial), et dans le second cas d'associer les propriétés mécaniques et la biocompatibilité (secteur biomédical). L'originalité de cette thèse repose sur l'étude d'un gradient complet, c'est-à-dire que l'ajout en élément d'alliage varie de 0% à 100%. En effet, les études reportées dans la littérature ne font pas mention des alliages titane-matériaux réfractaire pour des taux élevés en élément réfractaire. Les analyses microstructurale (DRX, structure cristallographique par EBSD, microstructure), chimique (EDS) et mécanique (microdureté, tests de traction et essais d'indentation instrumentée) ont mis en évidence une évolution des propriétés le long du gradients de composition. La caractérisation mécanique des échantillons par indentation instrumentée s'est par ailleurs révélée particulièrement pertinente dans les cas de ces multi-matériaux.

Abstract

Since 1984, the Functionally Graded Material (FGM) allow to create a thermal barrier and to reduce the strong discontinuities of properties between two materials of different composition. These multi-materials, whose consist of an intentional variation in the chemical composition and, consequently, modify the microstructural, chemical, mechanical and thermal properties, lead to a smooth distribution of the thermal stress. The *in-situ* development of these custom-made alloys is made possible by the use of additive manufacturing processes such as the DED-CLAD® powder deposition process. These processes have grown substantially since the 1980s and are optimal for the manufacture of FGM. During this industrial thesis, technical developments have been carried out to adapt the DED-CLAD® process and to allow the manufacturing of FGM. Thanks to two industrial collaborations, a full study was carried out on titanium-molybdenum and titanium-niobium alloys. These alloys make it possible, in the first case, to produce parts resistant to strong thermal stress (space sector), and in the second case to combine mechanical properties and biocompatibility (biomedical sector). The originality of this thesis rests on the study of a complete gradient, that is the addition in alloy element varied from 0% to 100%. In fact, studies reported in the literature do not mention titanium-refractory material for high levels of refractory element. Microstructural (XRD, crystallographic analysis by EBSD technique), chemical (EDS) and mechanical (microhardness, tensile test and instrumented indentation) analyses revealed an evolution of the properties along the chemical gradient. The mechanical characterization of the sample by instrumented indentation has also proved particularly relevant in the case of these multi-material.