

THESE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE
COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

ECOLE DOCTORALE N° 596
Matière Molécules et Matériaux
Spécialité : Science des matériaux

Par

Mathieu HAUTESSE

**Amélioration des propriétés d'emploi de pièces en alliage de Ti-64
obtenues par fabrication additive métallique WAAM par contrôle in-situ
de la microstructure de solidification**

Thèse en préparation à Nantes
Unité de recherche : Institut des Matériaux Jean Rouxel de Nantes

Rapporteurs avant soutenance :

Éric HUG, Professeur des universités à l'université de Caen-Normandie
Frédéric DESCHAUX BEAUME, Professeur des universités à l'université de Montpellier

Composition du Jury :

Président :

Examineurs : **Joël ALEXIS**, Professeur des universités à l'école Nationale d'ingénieurs de Tarbes
Angeline POULON, Maitre de conférences à l'université de Bordeaux
Arnaud GIRAUDET, Docteur à Mécachrome Nantes

Dir. de thèse : **Pascal Paillard**, Professeur des universités à Nantes université

Co-dir. de thèse : **Emmanuel Bertrand**, Maitre de conférence à Nantes université
Laurent Couturier, Maitre de conférence à Nantes université

Invité(s) : **Valentine Legrand**, Docteur à l'institut de recherche et technologie Jules Verne (Nantes)

Titre : Amélioration des propriétés d'emploi de pièces en alliage de Ti-64 obtenues par fabrication additive métallique WAAM par contrôle in-situ de la microstructure de solidification

Mots clés : Ti-64, fabrication additive arc-fil, EBSD, raffinement de la microstructure, texture de solidification, grains β

Résumé: Les procédés de fabrication additive, permettent de construire des pièces par dépôt successif de matière. Dans cette famille de procédé, les procédés de fabrication additive par fusion de fil, dérivé du soudage (WAAM) offrent de bonnes perspectives pour les pièces de grandes dimensions. Cependant, des verrous technologiques persistent notamment au niveau des propriétés mécaniques et des nouvelles microstructures obtenues avec ses procédés. Dans le cadre des travaux de thèse, l'alliage Ti-64 a été étudié au cours d'une opération de fabrication additive arc-fil avec une torche TIG (Tungsten inert gas). Son emploi régulier dans l'industrie implique une utilisation en fabrication additive qui soulève de nombreuses problématiques. En effet, le titane est particulièrement sensible au grossissement de grain et à la reprise en épitaxie favorisés par le procédé de soudage.

Ceci amènent des propriétés mécaniques réduites et anisotropes et de plus, une fois la microstructure de solidification formée, il est particulièrement difficile de la modifier, d'où l'utilisation de méthode in-situ pour impacter la solidification. Dans un premier temps, l'objectif est de comprendre l'impact des différents paramètres sur la microstructure de solidification en faisant varier les paramètres du premier ordre définis en amont (vitesse d'avance, vitesse de dévidage et intensité de soudage). Puis, une fois les paramètres de fabrication fixés, des essais d'inoculation, d'ajout d'un fil supplémentaire et l'utilisation de vibrations hautes fréquences seront testés pour réduire la taille et la texture des grains β issue de la solidification. Enfin à terme, l'objectif est de tester ces améliorations d'un point de vu mécanique avec des essais de traction, pour confirmer ou infirmer l'amélioration de la microstructure.

Title : Improvement of the working properties of Ti-64 alloy parts obtained by WAAM metal additive manufacturing by in-situ control of the solidification microstructure

Keywords : Ti-64, additive manufacturing, EBSD, microstructure improvement, solidification texturation, β grains

Abstract: Additive manufacturing process allow the construction of parts by successive deposition of material. In this family of processes, wire additive manufacturing, derived from welding (WAAM), offer good prospects for large parts. However, technological barriers remain, particularly in terms of the mechanical properties and new microstructures obtained with these processes. As part of the thesis work, the Ti-64 alloy was studied during an arc-wire additive manufacturing operation with a TIG (Tungsten inert gas) torch. Its regular use in industry implies its application in additive manufacturing, which lead to many issues. Indeed, titanium is particularly sensitive to grain size increase and epitaxial rework favoured by the welding process.

This leads to reduced and anisotropic mechanical properties and moreover, once the solidification microstructure is formed in the part, it is particularly difficult to modify it, hence the use of in-situ methods to impact solidification. The first objective is to understand the impact of the different parameters on the solidification microstructure by varying the first order parameters defined upstream (feed rate, unwinding speed and welding intensity). Then, once the manufacturing parameters have been set, inoculation tests, the addition of an extra wire and the use of high frequency vibrations will be tested to reduce the size and texture of the β -grains resulting from solidification. Finally, the objective is to test these improvements from a mechanical point of view with tensile tests, to confirm or deny the improvement of the microstructure