Titre : Influence du procédé de fabrication additive arc-fil (WAAM) sur les propriétés matériaux des alliages de Ti-6Al-4V : approche numérique et expérimentale

Mots clés : fabrication additive arc-fil (WAAM-CMT), Ti-6Al-4V, modélisation thermofluidique, histoire thermique, microstructure, dureté

Résumé : Le procédé **Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)**, mis en œuvre en **Cold Metal Transfer (CMT)**, permet de fabriquer des composants métalliques de **grandes dimensions** et de **géométries complexes** avec des taux de dépôt élevés, tout en limitant les pertes de matière. Le **Ti-6Al-4V** est particulièrement adapté à ces applications en raison de son excellent rapport résistance/densité, et son coût matière renforce l'intérêt de cette efficience. Sa forte réactivité à haute température impose cependant un contrôle rigoureux de l'environnement et de la protection contre l'oxydation, tandis que les apports importants de matière et d'énergie peuvent favoriser l'accumulation thermique. Cette thèse a pour objectif l'étude de l'influence des **conditions opératoires** et de **l'histoire thermique** sur la **formation des dépôts** et l'évolution de la **microstructure** et de la **dureté** du Ti-6Al-4V, à travers une approche expérimentale et numérique.

Un **modèle thermofluidique tridimensionnel** du **WAAM-CMT**, fondé sur une source de chaleur équivalente, a été développé et appliqué à des dépôts **élémentaires** et **multicouches**. Les signaux expérimentaux de **puissance instantanée** ont été intégrés au modèle et comparés à une **puissance moyenne**, montrant qu'une représentation simplifiée de l'apport énergétique permet de conserver une géométrie globale issue de la simulation comparable tout en réduisant le coût de calcul. Dans ce cadre, la maitrise du débit d'apport de matière est un point important pour la justesse des prédictions. L'étude de la **vitesse d'avance** et du **temps interpasse** met en évidence leur influence sur l'accumulation de chaleur, la microstructure et la dureté. Ces travaux ouvrent des perspectives vers l'exploitation des **champs thermiques**, la **modélisation multi-échelle** et l'étude expérimentale et numérique du **refroidissement actif**.

Title : Influence of the Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) process on the material properties of Ti-6Al-4V alloys: A numerical and experimental Approach

Keywords : Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM-CMT), Ti-6Al-4V, thermofluidic modelling, thermal history, microstructure, hardness

Abstract : The **Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)** process, implemented using **Cold Metal Transfer (CMT)**, enables the manufacturing of **large metallic components** with complex geometries at high deposition rates, while minimizing material waste. **Ti-6Al-4V** is particularly well-suited for these applications due to its excellent strength-to-density ratio, and its high material cost further underscores the value of this process efficiency. However, its high reactivity at elevated temperatures requires rigorous environmental control and oxidation protection, while the significant material and energy inputs can promote heat accumulation. The objective of this thesis is to study the influence of **operating conditions** and **thermal history** on **deposit formation**, as well as the evolution of the Ti-6Al-4V **microstructure** and **hardness**, through both experimental and numerical approaches.

A **three-dimensional thermofluidic model of the WAAM-CMT** process, based on an equivalent heat source, was developed and applied to **single-track** and **multi-layer** deposits. Experimental **instantaneous power** signals were integrated into the model and compared with an **average power** approach. This comparison demonstrated that a simplified representation of the energy input yields a comparable overall simulated geometry while reducing computational costs. In this context, precise control of the material deposition rate is crucial for the accuracy of the predictions. The study of **travel speed** and **interpass time** highlights their influence on heat accumulation, microstructure, and hardness. This work opens up new perspectives for the exploitation of **thermal fields, multi-scale modeling,** and the experimental and numerical study of **active cooling**.