

CONFIDENTIEL

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602

Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes

Spécialité : Génie Productique et Mécanique

Par

Pauline ARNOULIN

Maîtrise de la thermique pour optimiser le taux de dépôt en fabrication additive arc-fil (WAAM).

Application à des mélanges d'aciers inoxydables par TIG double fil : optimisation de la microstructure et de la répartition des contraintes.

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 5 Novembre 2026

Unité de recherche : Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM), UMR CNRS 6183
Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel (IMN), UMR CNRS 6502
Institut de Recherche Technologique (IRT) Jules Verne

Rapporteurs avant soutenance :

Damien FABREGUE
Émilie LE GUEN

Professeur des Universités (HDR)
Maître de Conférences (HDR)

INSA Lyon
Université de Bordeaux

Composition du Jury :

Président :	Prénom NOM	Fonction	Établissement d'exercice
Examineurs :	Salima BOUVIER Damien FABREGUE David GLOAGUEN Émilie LE GUEN Patrice PEYRE	Professeur des Universités (HDR) Professeur des Universités (HDR) Professeur des Universités (HDR) Maître de Conférences (HDR) Directeur de Recherche (HDR)	UTC INSA Lyon Nantes Université Université de Bordeaux Laboratoire PIMM
Dir. de thèse :	Bruno COURANT	Maître de Conférences (HDR)	Nantes Université
Co-enc. de thèse :	Emmanuel BERTRAND Laurent COUTURIER	Maître de Conférences (HDR) Maître de Conférences	Nantes Université Nantes Université
Invité :	Simon MORVILLE	Docteur Ingénieur	IRT Jules Verne

Titre : Maîtrise de la thermique pour optimiser le taux de dépôt en fabrication additive arc-fil (WAAM). Application à des mélanges d'aciers inoxydables par TIG double fil : optimisation de la microstructure et de la répartition des contraintes.

Mots clés : Fabrication additive arc-fil à double fil, taux de dépôt, aciers inoxydables, transformations de phase à l'état solide, microstructures, déformations, contraintes résiduelles

Résumé :

La fabrication additive arc-fil (WAAM) permet de produire des pièces de plusieurs mètres cubes, de moyenne complexité, en déposant du métal couche par couche. Ce procédé, compétitif et adapté aux besoins industriels, se distingue par une haute productivité avec des étapes à forte valeur ajoutée. Or, l'utilisation inévitable d'une source de chaleur intense et locale génère des phénomènes physiques complexes à l'origine des effondrements, déformations et contraintes résiduelles, défavorables aux performances du procédé et des pièces ainsi fabriquées. Afin de minimiser ces défauts, une première stratégie innovante développée dans ce travail consiste à positionner les fils d'apport dans l'arc électrique pour répartir l'énergie d'apport de façon optimale avec le métal de base.

Cette méthode permet d'améliorer le taux de dépôt instantané, passant de 1 à 5,2 kg/h. Une approche également étudiée concerne le pilotage des transformations de phase à l'état solide pour réduire les distorsions volumiques au sein de la pièce, qui conduisent aux déformations et contraintes résiduelles. Pour cela, de nouveaux alliages sont élaborés *in situ* en mélangeant deux aciers inoxydables simultanément, générant ainsi des microstructures et comportements thermomécaniques prometteurs. Ces alliages permettent, selon les conditions, de réduire les déformations jusqu'à 45% et l'amplitude des contraintes résiduelles à hauteur de 61%, et finalement d'affiner la microstructure de 99% (atteignant une dizaine de μm), améliorant ainsi les performances des pièces fabriquées par procédé WAAM-TIG.

Title: Thermal management for optimized deposition rate in wire arc additive manufacturing (WAAM). Application to stainless steel blends via Dual-Wire TIG: microstructure and residual stress distribution optimization.

Keywords: Double-Wire Arc Additive Manufacturing, deposition rate, stainless steels, solid-state phase transformations, microstructures, strains, residual stresses

Abstract:

Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) enables the production of moderately complex parts measuring several cubic meters by depositing metal layer by layer. This cost-effective and industry-adapted process stands out due to its high productivity, with high value-added steps. However, the inevitable use of an intense and localized heat source generates complex physical phenomena that lead to collapses, deformations, and residual stresses, which are detrimental to the performance of both the process and the parts produced. To address these issues, the first innovative strategy developed in this work involves positioning the filler wires within the electric arc to optimally distribute the input energy with the base metal.

This approach significantly improves the instantaneous deposition rate, increasing it from 1 to 5.2 kg/h. Another method under investigation focuses on controlling solid-state phase transformations to minimize volumetric distortions in the part, which are responsible for deformations and residual stresses. To achieve this, new alloys are developed *in situ* by simultaneously blending two stainless steels, resulting in promising microstructures and thermomechanical behaviors. Depending on the conditions, these alloys can reduce deformations by up to 45% and the magnitude of residual stresses by 61%, while also refining the microstructure by 99% (reaching a scale of around ten μm), ultimately enhancing the performance of parts manufactured using the GTAW-WAAM process.