COLLEGE ED SCIENCES
DOCTORAL DE L'INGENIERIE
PAYS DE LA LOIRE ET DES SYSTEMES

Nantes Université

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	Professeur des Universités (HDR)	INSA Lyon
Émilie LE GUEN	Maître de Conférences (HDR)	Université de Bordeaux

Composition du Jury :

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

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.