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

Nantes Université

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 602
Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes
Spécialité : *Génie mécanique*

Par

Anas RASSANE

Analyse de la microstructure, des propriétés mécaniques et des contraintes résiduelles d'un acier inoxydable duplex obtenu par fabrication additive arc-fil (WAAM) sous conditions thermiques contrôlées

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 3 décembre 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

Rapporteurs avant soutenance :

Thierry GLORIANT	Professeur des universités	INSA Rennes
Julie MARTEAU	Maître de conférences (HDR)	Université de Technologie de Compiègne

Composition du Jury :

Président :	Rémy DENDIEVEL	Professeur des universités	Université Grenoble Alpes - INP
Examinateurs :	Thierry GLORIANT	Professeur des universités	INSA Rennes
	Julie MARTEAU	Maître de conférences (HDR)	Université de Technologie de Compiègne
Dir. de thèse :	Bruno COURANT	Maître de conférences (HDR)	Nantes Université
Co-dir. de thèse :	David GLOAGUEN	Professeur des universités	Nantes Université
	Emmanuel BERTRAND	Maître de conférences (HDR)	Nantes Université
Invité			
	Grégoire BAZIN	Docteur	Responsable d'équipe de recherche PMM - IRT Jules Verne

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

Nantes Université

Titre : Analyse de la microstructure, des propriétés mécaniques et des contraintes résiduelles d'un acier inoxydable duplex obtenu par fabrication additive arc-fil (WAAM) sous conditions thermiques contrôlées

Mots clés : fabrication additive arc-fil, acier inoxydable duplex, cycles thermiques, microstructure, contraintes résiduelles, modélisation numérique

Résumé : La fabrication additive arc-fil (WAAM) présente un fort intérêt industriel grâce à sa capacité à produire des pièces métalliques de grandes dimensions et de géométries complexes. Cependant, l'accumulation thermique au cours de l'empilement des couches constitue un frein à la productivité du procédé, puisqu'elle nécessite des temps d'attente (temps inter-passes) prolongés pour limiter l'échauffement des dépôts. Elle peut également modifier leur géométrie, leur microstructure, leurs propriétés mécaniques et leur état de contraintes résiduelles. Cette thèse vise ainsi à étudier et à maîtriser l'influence de l'accumulation thermique sur les dépôts en acier inoxydable duplex fabriqués par WAAM, en faisant varier le temps inter-passes et en appliquant un refroidissement forcé par aérosol.

Les résultats expérimentaux mettent en évidence l'influence des conditions thermiques sur la géométrie des dépôts, l'équilibre entre les phases, les propriétés mécaniques et la distribution des contraintes résiduelles. Le refroidissement forcé par aérosol permet de limiter l'accumulation thermique et d'obtenir des caractéristiques géométriques, microstructurales et mécaniques comparables à celles obtenues avec des temps inter-passes prolongés, tout en réduisant la durée de fabrication.

Enfin, un modèle thermique 3D du procédé WAAM a été développé sous COMSOL. Il permet de reproduire l'évolution des températures au cours de la fabrication sous différentes conditions de refroidissement.

Title: Analysis of the microstructure, mechanical properties, and residual stresses of a duplex stainless steel produced by wire arc additive manufacturing (WAAM) under controlled thermal conditions

Keywords: Wire Arc Additive Manufacturing, duplex stainless steel, thermal cycles, microstructure, residual stresses, numerical modeling

Abstract: Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) offers significant potential for industrial applications due to its high deposition rates and ability to manufacture large, geometrically complex metal components. However, heat accumulation during the deposition process remains a major challenge, often requiring long inter-pass waiting times that reduce overall productivity. Excessive heat build-up can also affect deposit geometry, microstructure, mechanical properties, and residual stress distribution. This thesis investigates the effects of heat accumulation on duplex stainless-steel components produced by WAAM and explores two approaches to controlling the thermal conditions: adjusting the inter-pass time and introducing external aerosol cooling.

Experimental investigations reveal how thermal conditions influence deposit geometry, mechanical behavior, and residual stress distribution. Aerosol cooling effectively limits heat accumulation, enabling the production of deposits with geometric, microstructural, and mechanical characteristics comparable to those obtained using extended inter-pass times, while significantly reducing manufacturing time.

In addition, a 3D thermal model of the WAAM process was developed using COMSOL. This model provides a numerical framework for investigating the effects of inter-pass time and cooling conditions on the thermal history of WAAM deposits.