

THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE DE NANTES

ECOLE DOCTORALE N° 601

Mathématiques et Sciences et Technologies

de l'Information et de la Communication

Spécialité : *Génie Electrique*

Par

Mansor NDIAYE

Outils de modélisation et règles de conception globale de procédés d'assemblage de composites thermoplastiques par induction électromagnétique

Thèse présentée et soutenue à Saint-Nazaire, le 17 Février 2022

Unité de recherche : Institut de Recherche en Energie Electrique de Nantes Atlantique (IREENA)

Rapporteurs avant soutenance :

Anouar BELHACEN
Annie GAGNOUD

Professeur des Universités, Université Aalto, Finlande, EEA
Directrice de Recherche, Grenoble INP, Université Grenoble Alpes, SIMAP

Composition du Jury :

Présidente : Afef LEBouc
Examinateur : Brahim RAMDANE

Directrice de Recherche, Grenoble INP, Université Grenoble Alpes, G2ELab
Maitre de Conférences, Grenoble INP, ENSE3, G2ELab

Dir. de thèse : Didier TRICHET
Encadrant : Huu-Kien BUI
Co-encadrant : Antoine PIERQUIN

Professeur des Universités, Université de Nantes, IREENA
Maitre de Conférences, Université de Nantes, IREENA
Maitre de Conférences, Université de Nantes, IREENA

Invité

Florian TELLIER

Ingénieur de Recherche, IRT Jules Verne, Nantes

Titre : Outils de modélisation et règles de conception globale de procédés d'assemblage de composites thermoplastiques par induction électromagnétique

Mots clés : Induction électromagnétique, Composite thermoplastique renforcé de fibres de carbone, Homogénéisation, Méthode des éléments finis, Protection contre la foudre

Résumé : Aujourd'hui, les matériaux composites sont de plus en plus présents dans de nombreux secteurs industriels. L'intérêt et le développement de ces matériaux sont dus à leur légèreté et à leur importante résistance mécanique. Cependant, malgré des performances remarquables, il faut encore améliorer les performances des procédés utilisés. Dans un secteur tel que l'aéronautique, les pièces de composites sont souvent assemblées après fabrication. L'assemblage par soudage qui permet d'avoir des pièces compactes, solides avec une continuité de matière avec des techniques innovantes telles que l'induction électromagnétique est en plein essor. C'est une technique qui permet un chauffage rapide, sans contact et dans la zone d'intérêt.

Cette thèse proposée dans le cadre du programme PERFORM de l'IRT Jules Verne a pour objectif de

répondre à la problématique de la présence de la protection foudre (LSP) dans une configuration de soudage par induction d'un raidisseur sur une peau de fuselage d'avion. En effet, le LSP étant un très bon conducteur électrique, chauffe plus que l'interface lors du soudage pour des fréquences de quelques centaines de kHz. La fonctionnalisation de l'outillage est étudiée afin de limiter et contrôler le chauffage du LSP et de ramener la puissance de chauffe à l'interface. Cela passera d'abord par une meilleure connaissance des matériaux composites à fibres de carbone. Nous avons donc proposé une nouvelle approche d'homogénéisation consistant à trouver les propriétés longitudinales et transverse d'un UD grâce à un modèle mésoscopique 2-D et de déduire les propriétés dans le sens de l'épaisseur en comparant un modèle 3-D avec des mesures.

Title : Modeling tools and global design rules for thermoplastic composites assembly processes by electromagnetic induction

Keywords : Electromagnetic induction, Carbon Fiber Reinforced Polymer, Homogenization, Finite Element Method, Lightning Strike Protection

Abstract : Today, composite materials are increasingly present in many industrial sectors. The interest and development of these materials are due to their lightness and their high mechanical resistance. However, despite remarkable performance, it is still necessary to improve the performance of the processes used. In a sector such as aeronautics, composite parts are often assembled after manufacture. Welding assembly, which allows for compact, solid parts with continuity of material with innovative techniques such as electromagnetic induction, is booming. It is a technique that allows rapid heating, without contact and in the area of interest.

This thesis proposed as part of the PERFORM program of the IRT Jules Verne aims to answer the

problem of the presence of lightning strike protection (LSP) in an induction welding configuration of a stringer on a fuselage airplane skin. Indeed, the LSP being a very good electrical conductor, heats more than the interface during welding for frequencies of a few hundred kHz. The functionalization of the tool is studied in order to limit and control the heating of the LSP and to bring the heating power back to the interface. This will first require a better knowledge of carbon fiber composite materials. We therefore proposed a new homogenization approach consisting in finding the longitudinal and transverse properties of a UD-CFRP using a 2-D mesoscopic model and deducing the properties in the thickness direction by comparing a 3-D model with measurements.