

Soudage Laser par Transmission des Composites : Prédiction de la morphologie cristalline à l'interface et de la tenue mécanique des assemblages

Contexte :

Pour répondre à l'urgence écologique, l'industrie aéronautique affiche sa volonté d'introduire les composites thermoplastiques dans les structures. Pour y parvenir, le développement d'une technologie d'assemblage adaptée reste encore une étape à franchir. Parmi les technologies scrutées, le soudage se démarque par sa simplicité d'exécution. Le soudage par laser offre un potentiel certain : il est rapide, précis, écologique et peu coûteux. Utilisé pour l'emballage alimentaire, sa transposition aux composites reste un défi et fait l'objet de peu d'études. Le soudage laser par transmission consiste à envoyer un rayonnement dans l'infrarouge qui va traverser le premier élément pour être absorbé par le deuxième : la chaleur est concentrée à l'interface, ce qui entraîne sa fusion et l'adhésion des deux éléments lors du refroidissement par l'interdiffusion des chaînes de polymère. La réalisation de la soudure est tributaire des propriétés optiques et thermiques du matériau, mais aussi du comportement rhéologique et de sa cinétique de cristallisation. En effet, les thèses précédemment menées au LGP- ENIT ont montré une compétition entre diffusion macromoléculaire et cinétique de cristallisation à l'interface. En l'absence de cristallisation, c'est à dire pour les polymères amorphes, la tenue mécanique de l'interface est gouvernée par le nombre de liens moléculaires établis entre les deux éléments à souder, autrement dit par la diffusion des macromolécules. En revanche, pour les thermoplastiques semi-cristallins, la cristallisation des macromolécules doit être retardée pour permettre leur diffusion.

Descriptif détaillé du projet

L'objectif de ce projet de recherche est de proposer une approche innovante en combinant caractérisation expérimentale et simulation numérique pour prévoir l'histoire thermique vue par le matériau et les zones affectées thermiquement lors du soudage et ainsi, prédire la morphologie cristalline et la tenue mécanique des interfaces.

D'un point de vue expérimental, nous déterminerons les cinétiques de cristallisation aux interfaces et la dynamique de diffusion du matériau choisi. Pour cela, des essais d'analyse thermique (DSC) et de rhéométrie seront menés. Sur cette base, notre ambition est de proposer un modèle de dynamique macromoléculaire à partir du modèle de reptation de De Gennes. En effet, ce modèle n'étant valable que pour les polymères amorphes, il est nécessaire de le modifier pour prendre en compte la cristallinité qui réduit la diffusion des macromolécules. Les propriétés optiques des matériaux seront mesurées pour alimenter l'étude théorique de l'interaction rayon laser/matière, qui sera suivie par des simulations numériques pour prédire l'étalement du faisceau laser à l'intérieur du matériau. Ces informations donneront accès à l'histoire thermique locale et seront corrélées à la cinétique de diffusion et cristallisation. Les paramètres optimaux du procédé, puissance laser et temps seront déterminés par des tests de soudage et la tenue des assemblages par une étude des comportements mécaniques en statique et en fatigue. Les lois de comportement mécanique seront développées pour rendre compte des modifications microstructurales induites par le soudage. Enfin, une étude microstructurale de la morphologie cristalline des joints de soudure se fera par des techniques physico-chimiques (DSC, DRX) et de l'imagerie (microscopie optique à lumière polarisée, tomographie RX) afin d'alimenter et de valider les modèles de diffusion optique et de comportement mécanique.

Laboratoires d'accueil

Les travaux de thèse seront menés au Laboratoire de Génie de Production de l'ENI de Tarbes, à l'Institut Clément Ader sur le site de l'IMT Mines Albi et à l'IMT Mines Lille Douai. Des déplacements réguliers entre les trois sites sont à prévoir durant toute la durée de la thèse.

Profil du candidat recherché

De formation Bac+5 (Master Universitaire ou école d'ingénieur) en génie mécanique avec des connaissances en sciences des matériaux et modélisation. Le candidat devra pouvoir justifier de compétences en matériaux polymères, composites et/ou en mise en œuvre des matériaux. Des notions d'optique et de thermique seront appréciées. Un bon niveau de communication en anglais est exigé.

Date de début de thèse

Démarrage des travaux de thèse prévu en octobre 2021.

Candidature

Les candidatures (CV et lettre de motivation) sont à envoyer simultanément à:
France CHABERT, LGP-ENI Tarbes, france.chabert@enit.fr
Benoît COSSON, IMT Mines Lille Douai, benoit.cosson@mines-douai.fr

Through-Transmission Laser welding of Composites : Prediction of the interfacial crystallinity and mechanical strength of assemblies

Context :

As an option to answer to the environmental emergency, the aerospace industry is showing its willingness to introduce thermoplastic composites in structural parts. To achieve this, the development of suitable assembling technology is still a step to be overtaken. Among the technologies examined, welding stands out for its simplicity of execution. Laser welding offers a great potential: it is fast, precise, environmentally friendly and cheap. Used for food packaging, its transposition to composites remains a challenge and it has been the subject of few studies. Through-transmission laser welding consists of sending infrared beam which will pass through the first element to be absorbed by the second one: the heat is concentrated at the interface, which causes its melting and the adhesion of the two elements during cooling by interdiffusion of polymer chains. The quality of the weld depends on the optical and thermal properties of the material, but also on the rheological behavior and its crystallization kinetics. Indeed, the studies previously carried out at LGP-ENIT have shown a competition between macromolecular diffusion and crystallization kinetics at the interface. In the absence of crystallization, i.e. for amorphous polymers, the mechanical strength of the interface is governed by the number of molecular bonds established between the two welded elements, in other words, by the diffusion of macromolecules. On the other hand, for semi-crystalline thermoplastics, the crystallization of the macromolecules must be delayed to allow their diffusion.

Project description

The aim of this PhD thesis is to combine experimental characterization and numerical simulation to predict the thermal history seen by the material and the thermally affected zones during welding and thus, to predict the crystalline morphology and the mechanical resistance of the welds.

For the experimental work, we will determine the crystallization kinetics at the interfaces and the dynamics of diffusion of the chosen polymeric material. To do this, thermal analysis (DSC) and rheometry tests will be carried out. On this basis, our ambition is to propose a model of macromolecular dynamics based on the model of reptation. Indeed, this model being valid only for amorphous polymers, it is necessary to modify it to consider the crystallinity which reduces the diffusion of macromolecules. The optical properties of the materials will be measured to feed the theoretical study of the laser beam / material interaction, which will be followed by numerical simulation to predict the spread of the laser beam inside the material. This information will provide access to the local thermal history and will be correlated with the kinetics of diffusion and crystallization. The optimal parameters of the process, laser power and time will be determined by welding tests and the resistance of the assemblies by mechanical characterization by static and fatigue tests. The mechanical laws will be developed to account for the microstructural modifications induced by welding. Finally, a microstructural study of the crystalline morphology of the welds will be carried out by physicochemical techniques (DSC, DRX) and imaging (optical polarized light microscopy, X-ray tomography) in order to feed and validate the models of optical diffusion and mechanical behavior.

Laboratories

The PhD student will work at Laboratoire de Génie de Production of ENI de Tarbes, at Institut Clément Ader (IMT Mines Albi) and at IMT Mines Lille Douai. Frequent travels are expected on the three locations during the contract.

Skills

We seek a highly-motivated and talented student holding a Master degree (or equivalent) in Mechanical Engineering with knowledge in materials science and modelling. Skills in polymeric

materials, composites materials or materials processing are required. Notions of optics and thermal engineering will be appreciated. Good communication skills in English are necessary.

Starting date

Starting expected in October 2021.

Applications

Applications (CV et cover letter) must be sent to :

France CHABERT, LGP-ENI Tarbes, france.chabert@enit.fr

Benoît COSSON, IMT Mines Lille Douai, benoit.cosson@mines-douai.fr