Titre en français :

Etude de l'intégration de transducteurs piézoélectriques à cœur de matériau composite de type aéronautique pour le contrôle santé intégré par ondes de Lamb

Résumé en français :

Des systèmes CSI sont actuellement à l'étude pour vérifier l'intégrité des matériaux composites des aéronefs. Ils permettent d’optimiser la maintenance, en donnant la possibilité de suivre l’état des structures en temps réel ou de contrôler ponctuellement des pièces difficiles d’accès par les méthodes de CND courantes. Les matériaux composites offrent la possibilité d’intégrer un système CSI directement à cœur du matériau. De cette façon, l’instrumentation est protégée de l’environnement et les problématiques de collage en surface sont résolues. L'objectif de cette thèse est de déterminer les effets de l'intégration de transducteurs ultrasonores piézoélectriques à cœur d'un composite PRFC stratifié de type aéronautique sur leur comportement en émission et en réception afin de montrer les avantages et inconvénients d'une telle intégration à cœur pour le monitoring de ces structures par ondes de Lamb. Les transducteurs PZT minces se sont révélés être les transducteurs les plus adaptés à l'intégration, car ils supportent les conditions d'élaboration d'un composite de structures aéronautiques élaboré en autoclave (7 bar et 180°C) et sont capables d'émettre et de recevoir des ondes guidées se propageant dans les plaques. La méthode d'intégration a été adaptée pour préserver l'intégrité des PZT et optimiser leur capacité d'émission d'ondes dans un composite. A cette occasion, la capacité des mesures d'impédance électromécanique à vérifier rapidement l'efficacité de la mise en œuvre de l'intégration a été validée. La caractérisation du champ d'onde qA0 a été réalisée expérimentalement, grâce aux déplacements hors plan mesurées avec un vibromètre laser suite à l'excitation de disques PZT intégrés à des fréquences comprises entre 30 et 200 kHzLa capacité du PZT intégré à détecter un défaut simulé de type aimant est aussi étudiée en essai d'émission-réception et est comparé avec le comportement de PZT couplés en surface de composite. Une étude par modélisation fréquentielle multiphysique a ensuite été réalisée afin de mettre en évidence les phénomènes physiques mis en jeu par l'intégration d'un PZT à cœur de composite. Ainsi, la direction des plis en contact du PZT intégré, la profondeur d'intégration et le couplage du PZT au composite influent sur le mécanisme de transduction ultrasonore. De plus, les contraintes induites par l'actionneur PZT ne permettent pas d'être simplifiées sous forme d'un modèle de type pin-force habituellement utilisé comme chargement d'un PZT en surface de matériau isotrope. En effet, les contraintes induites localement par l'excitation du PZT intégré ne sont pas radiales et dépendent de l'électrode du PZT considérée ainsi que des fréquences de génération d'ondes.

Mots clés en français :

Contrôle Non-Destructif (CND), Contrôle Santé Intégré (CSI), composite en polymère renforcé de fibres de carbone (PRFC) stratifié, disques minces intégrés en Titano-Zirconate de Plomb (PZT), ondes de Lamb, mode qA0, impédance électromécanique

Titre en anglais :

Study of the integration of piezoelectric transducers into composite aeronautical material for structural health monitoring with Lamb waves

Résumé en anglais :

SHM systems are currently being developed to check the integrity of aircraft composite materials. These systems will help optimize maintenance by enabling real-time monitoring of structural condition, or spot-checking of parts that are difficult to access using conventional NDT methods. Composite materials offer the possibility of integrating a SHM system directly into the material. In this way, the instrumentation is protected from the environment and surface bonding issues are resolved. The aim of this thesis is to determine the effects of integrating piezoelectric transducers into the core of an aeronautical laminated CFRP composite on their Lamb-wave emission and reception abilities, in order to demonstrate the advantages and disadvantages for the design of a defect detection SHM system. Thin PZT transducers proved to be the most suitable ones for integration, as they can withstand the processing conditions of an autoclave-processed composite (7 bar and 180°C). They are also capable of transmitting and receiving guided waves, which are propagating in the plates. Moreover, the integration method was adapted to preserve the integrity of the PZTs and to optimize their ability to transmit waves in a composite. In order to assess the effectiveness of the integration, electromechanical impedance measurements were made a fast checking process. Characterization of qA0 mode wavefield transmitted by embedded PZT was carried out experimentally. Surface-bonded and embedded PZT were excited at frequencies between 30 and 200 kHz, while out-of-plane displacements were measured with a laser vibrometer. The ability of the embedded PZT to detect a simulated magnet-type defect are also studied in pitch-catch tests, and compared with the behavior of surface-bonded PZT to the composite surface. A dynamic finite element modelling study was then conducted to highlight the physical phenomena induced by the integration of a PZT in the composite core. The direction of the plies in contact with the embedded PZT, the depth of integration and the coupling of the PZT with the composite are influencing the ultrasonic transduction mechanism. Furthermore, it appears that the stresses induced by the PZT actuator cannot be simplified by the pin-force model usually used to load a PZT on an isotropic material surface in flaw detection models. These stresses are not radially oriented and depend on the PZT electrode considered, as well as on the wave generation frequencies.

Mots clés en anglais :

Non-Destructive Testing (NDT), Structural Health Monitoring (SHM), composite laminate in Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), thin embedded Lead Zirconate Titanate (LZT) disk, Lamb waves, qA0 mode, ElectroMecanical Impédance (EMI)