

Titre : Caractérisation d'empilements de tissu par analyse d'empreinte de pression et simulation d'écoulement à double échelle basée sur la squelettisation topologique : application aux procédés des matériaux composites

Mots clés : Empilements de tissu, Analyse d'empreinte de pression, Procédés de composites, Squelettisation topologique, Théorie du Moiré, Simulation d'écoulement à double échelle

Résumé : Dans cette thèse, nous nous intéressons aux préformes fibreuses dans le cadre du procédé Resin Transfer Moulding (RTM). L'objectif de la thèse est double : proposer une nouvelle méthodologie pour obtenir des données géométriques à la méso-échelle des préformes et fournir un nouveau modèle numérique capable de prédire la perméabilité ou d'effectuer des simulations d'écoulement efficaces à la méso-échelle.

Dans la première partie, l'accent est mis sur l'acquisition de données géométriques : nous proposons une nouvelle méthodologie basée sur l'analyse du champ de pression supporté par une préforme sèche sous compactage. Un film sensible à la pression mesure le champ de pression par un empilement de plis contre les parois du moule. Profitant de l'architecture périodique des textiles, les empreintes révélées par le champ de pression sont interprétées par analyse spectrale de Moiré pour mesurer l'orientation et la distribution spatiale de chaque couche dans l'empilement.

Dans la seconde partie, le modèle numérique de la préforme est utilisé pour effectuer des simulations numériques d'écoulement à l'échelle des fils, afin d'en caractériser la perméabilité ou d'effectuer directement des simulations de remplissage. La géométrie 3D de l'empilement est remplacée par un squelette préservant les propriétés topologiques nécessaires à la résolution numérique du problème d'écoulement bidimensionnel, réduisant considérablement le coût de calcul par rapport à une approche 3D complète. Ce modèle de réduction du volume poreux en squelette est d'abord formulé dans sa version simple échelle (écoulement inter-mèche), puis étendu en double échelle (écoulement inter- et intra-mèche). Le potentiel du modèle est illustré à travers plusieurs cas tests.

Cette recherche propose une méthodologie allant de l'acquisition de données géométriques à la simulation numérique double-échelle de l'écoulement au sein dans un empilement de tissus.

Title : Characterization of fabric layups by pressure print analysis and simulation of dual-scale flow based on topological skeletonization: application to composite materials processing

Keywords : Fabric layups, Pressure print analysis, Composites processing, Topological skeletonization, Moiré theory, Dual-scale flow simulation

Abstract : In this work, we study continuous fiber preforms in the context of Resin Transfer Moulding (RTM) processes. The aim of the thesis is two-fold: propose a new methodology to obtain mesoscale geometrical data from preforms and provide a new numerical model able to predict permeability or perform mesoscale filling simulations in a computationally efficient way.

In the first part, the focus is on the acquisition of geometrical data from preforms: we propose a novel methodology based on the analysis of the pressure field experienced by a dry preform under compaction. By using a commercial pressure-sensitive film, the pressure field exerted by a stack of layers against mould walls is captured and analyzed. Taking advantage of the periodic morphology of textiles, geometric patterns revealed by the pressure field are interpreted according to spectral Moiré analysis to recover the orientation and spatial distribution of each individual layer in the stack.

In the second part, the reconstructed digital architecture of the preform is used to carry out numerical flow simulations at the scale of the yarns, to characterize permeability of the stack or directly perform filling simulations. The stack geometry is replaced by a skeletonized representation of the same, on which a two-dimensional flow problem can be solved numerically, greatly reducing the computational cost when compared to a full 3D approach. This "medial skeleton" model is first formulated in its single-scale version (flow in channels) and then extended to dual-scale (flow in channels and yarns). The model potential is illustrated through several test cases.

This research establishes a pathway going from the non-destructive acquisition of data to the simulation of the dual-scale flow inside a multi-layer layup of textiles.