

Titre : Modélisation thermomécanique structurale des profils FRP exposés au feu

Mots clés : multi-physique, éléments finis non linéaires, composites FRP pultrudés, modèles de coque géométriquement exacts, viscoélasticité finie anisotrope, comportement au feu.

Résumé : Les polymères renforcés de fibres (FRP dans la désignation anglaise) forment une large classe de matériaux composites constitués d'une matrice polymère renforcée de fibres. En raison de leurs propriétés remarquables et de leur coût relativement faible, ces matériaux se retrouvent aujourd'hui dans la plupart des domaines de l'ingénierie, avec des applications bien établies dans les industries navale, aérospatiale et automobile. Ce succès ne s'est toutefois pas répercuté sur le secteur de la construction de bâtiments, où, en raison d'une mauvaise performance globale au feu, l'utilisation des composites PRF reste considérablement limitée.

Dans le but d'étendre plus largement le domaine d'application de ces matériaux, un nouveau modèle thermomécanique est proposé pour la simulation de profilés en PRF soumis au feu. Dans le but d'alléger le coût de calcul global associé au problème, le processus de modélisation est subdivisé en deux parties principales. Tout d'abord, le problème thermique est résolu de manière indépendante pour les sections de profil bidimensionnelles, afin d'obtenir la distribution de température du composant. Par la suite, les données de température obtenues sont utilisées comme entrée du problème mécanique dans une stratégie de couplage unidirectionnel. Considérant la nature générale des parois minces des profils en question, une nouvelle théorie de coque géométriquement exacte, incluant simultanément des variations d'épaisseur et des géométries initialement courbes, est proposée pour le modèle structural du problème.

Alors que la caractéristique initialement incurvée facilite la représentation de géométries plus complexes, les variations d'épaisseur permettent l'utilisation de relation constitutives tridimensionnelles complètes, évitant l'application de l'hypothèse de contrainte plane (qui est non linéaire et exigeante en calcul). Profitant de ce dernier, un nouveau modèle de matériau tridimensionnel, basé sur une théorie viscoélastique anisotrope existante, est également proposé pour les composites FRP sous des températures extrêmes. Ceci est défini pour prendre en compte : (i) les déformations finies, (ii) le comportement viscoélastique résultant à la fois des matériaux de fibre et de matrice et (iii) la dégradation anisotrope des propriétés mécaniques avec l'augmentation des températures.

Le modèle thermomécanique complet a finalement été évalué en tentant de reproduire des expériences d'incendie réalisées à l'IST-Lisbonne pour un profil GFRP disponible dans le commerce. Alors que la partie thermique a montré un bon accord avec les données mesurées, la partie mécanique a présenté des résultats globaux modestes, que l'auteur attribue principalement à une caractérisation matérielle manquante du profil expérimenté. Néanmoins, le modèle proposé est vérifié et, compte tenu d'une caractérisation plus complète des matériaux, peut être utilisé pour élargir les connaissances globales sur les matériaux composites FRP sous feu.

Title : Thermo-mechanical structural modelling of FRP profiles subjected to fire

Keywords : multi-physics, non-linear finite elements, pultruded FRP composites, geometrically exact shell models, anisotropic finite viscoelasticity, fire behaviour

Abstract : Fiber-reinforced polymers (FRP's) are a wide class of composite materials consisting of a polymeric matrix reinforced with fibers. Due to their remarkable properties and relative low cost, these materials can nowadays be found in most engineering fields, with well-established applications in the naval, aerospace and automotive industries. This success, however, did not carryover to the building construction sector, where, due to an overall poor fire performance, the use of FRP composites remains significantly limited. With the objective of further extending the application range of such materials, a new thermomechanical model is proposed for the simulation of FRP profiles subjected to fire.

Aiming to reduce the overall computational cost associated with the problem, the modelling process is sub-divided into two main parts. First, the thermal problem is independently solved for two-dimensional profile sections, in order to obtain the component's temperature distribution. Hereafter, the obtained temperature data is used as input to the mechanical problem in a one-way coupling strategy.

Considering the general thin-walled nature of the profiles in question, a new geometrically exact shell theory, simultaneously including thickness variations and initially curved geometries, is proposed for the problem's structural model.

While the initially curved feature facilitates the representation of more complex geometries, thickness variations allow the use of full three-dimensional constitutive relations, avoiding the enforcement of the plane-stress assumption (which is non-linear and computationally demanding). Profiting from the latter feature, a new three-dimensional material model, based on an existent anisotropic viscoelastic theory, is also proposed for FRP composites under extreme temperatures. This is set to take into account: (i) finite strains, (ii) viscoelastic behaviour arising from both fiber and matrix materials and (iii) anisotropic degradation of mechanical properties with the increasing temperatures.

The complete thermo-mechanical model was finally assessed by attempting to reproduce fire resistance experiments carried out at the IST-Lisbon for a commercially available GFRP profile. While the thermal part showed good agreement with the measured data, the mechanical part presented modest overall agreement, which the author mainly attributes to an insufficient material characterization of the experimented profile. Nevertheless, the proposed model is verified and, given a more complete material characterization, it can be used to broaden the overall knowledge on FRP composite materials under fire exposure.