

Simulation multi-échelles par EF² de structures composites périodiques en régime viscoélastique-viscoplastique- endommageable avec couplage thermomécanique fort

Résumé: Une approche de simulation numérique multi-échelles EF² fondée sur la théorie de l'homogénéisation périodique a été développée pour prédire la réponse globale couplée mécanique et thermomécanique fortement non linéaire des structures composites 3D. La stratégie de calcul intègre les effets de la microstructure périodique en introduisant l'architecture des renforts et les lois constitutives locales. Les lois de comportement des constituants utilisées obéissent aux lois de matériaux standards généralisées et sont formulées dans un cadre de la thermodynamique des processus irréversibles (TPI). Les équations caractéristiques (équilibre et lois de la thermodynamique) sont formulées sous l'hypothèse des petites déformations et rotations, et résolues simultanément de façon incrémentale aux deux échelles (microscopique et macroscopique). Sur le plan numérique, une implémentation au moyen de routines UMAT imbriquées (Méta-UMAT) a été développée et combinée à une technique de parallélisation dans le code de calcul Abaqus/Standard. La stratégie de calcul multi-échelles est appliquée pour simuler la réponse globale de structures composites 3D soumises à des trajets de chargement thermomécaniques complexes. Les structures composites sont constituées d'une matrice polymère thermoplastique viscoélastique-viscoplastique avec endommagement ductile et renforcées par différents types de renforcements (fibres courtes ou tissus). L'endommagement anisotrope dans les torons de tissu est modélisé à travers une approche micromécanique permettant de suivre l'évolution de la densité de micro-fissures transverses. Cette stratégie de calcul peut être déployée sur les structures en matériaux composites ayant une microstructure périodique et dont les phases présentent différents types des lois de comportement non linéaires (rhéologie, mécanismes d'endommagement et couplage thermomécanique). Les capacités de l'approche multi-échelles sont démontrées en comparant les prédictions numériques aux résultats expérimentaux en termes de réponse globale et de champs de déformation macroscopiques et microscopiques. Les performances de l'approche sont également illustrées à travers l'accès aux répartitions spatio-temporelles des variables internes à l'échelle de la microstructure ainsi que la dissipation intrinsèque dans les phases constitutives.

Mots clés: Calcul multi-échelles par EF, processus thermo-mécanique, homogénéisation périodique, composite tissé, matrices thermoplastiques, méthode des EF².

Multiscale FE² simulation of periodic composite structures in viscoelastic-viscoplastic-damageable regime with strong thermomechanical coupling

Abstract: A multi-scale FE² approach based on the periodic homogenization theory is developed to predict the overall response of nonlinear mechanical and fully coupled thermomechanical 3D composite structures. The computational strategy integrates the periodic microstructure effects by introducing the architecture of the reinforcement and the local constitutive laws. The considered constituents' constitutive laws obey generalized standard materials laws and are formulated within the framework of thermodynamics of irreversible processes. The characteristic equations (equilibrium and thermodynamics laws) are formulated under the assumption of small strains and rotations. They are solved simultaneously at both scales (microscopic and macroscopic) using an incremental scheme. For the numerical implementation, an advanced Meta-UMAT subroutine is developed and combined with a parallelization technique in the finite element commercial software Abaqus/Standard. The multi-scale computational strategy is applied to simulate the overall response of 3D composite structures under complex thermomechanical loading paths. The composite structures consist of thermoplastic polymer matrix with viscoelastic-viscoplastic behavior and ductile damage, reinforced by different types of reinforcements (short fibers or woven fabrics). The anisotropic damage within the yarns is modeled through a micromechanical approach to follow the transverse microcracks density evolution. This computational strategy is deployed on composite structures having periodic microstructure, whose phases exhibit different types of nonlinear behavior laws (rheology, damage mechanisms and thermomechanical coupling). The capabilities of the multi-scale approach are demonstrated (i) by comparing numerical predictions with experimental results in terms of global response, macroscopic and microscopic strain fields, and (ii) through the access to spatio-temporal distributions of internal variables at the microstructure scale as well as the intrinsic dissipation in the constitutive phases.

Keywords: Multi-scale FE computation, thermo-mechanical processes, periodic homogenization, woven composites, thermoplastic matrices, FE² method.

