



Multiscale analyses of the failure mechanisms of polymer composite materials

Pedro Ponces Camanho

The accurate prediction of the onset and growth of damage mechanisms in laminated polymer composite materials, as well as the final collapse of composite structures, has been challenging the scientific community over the last decades. In this presentation, several analysis models, developed at different spatial and temporal scales, that predict inelastic deformation and fracture of composite materials will be described. Computational micromechanical models enable the detailed representation of the damage mechanisms at the scale of the reinforcing fibers, however this level of detail is associated with high computational costs, especially when using direct numerical simulations. This calls for the development of mesomechanical models that use information obtained at smaller scales. Mesomechanical models typically combine continuum damage mechanics, which represent ply damage, with cohesive zone models, which represent delamination. While being a methodology that properly balances accuracy with reasonable computing times, mesomechanical models are not well-suited to perform uncertainty quantification and management analysis, as the computational cost would be far too high. This calls for macromechanical models, developed at the length scale of the laminate, and their combination with machine learning techniques. This presentation will show how to use theory-guided machine learning to generate design allowables used in the certification of spacecraft composite structures.

Análises multiescala dos mecanismos de fratura de materiais compósitos

A simulação rigorosa da nucleação e da propagação de mecanismos de dano em materiais compósitos laminados tem sido objeto de estudo da comunidade científica internacional ao longo das últimas décadas. Nesta apresentação, serão descritos vários modelos de previsão da deformação inelástica e da fratura de materiais compósitos laminados, abrangendo diferentes escalas temporais e espaciais. Os modelos computacionais desenvolvidos à escala micromecânica permitem uma representação detalhada dos mecanismos de dano nos vários constituintes de um material compósito: fibra, resina e interface fibra-resina. No entanto, este nível de detalhe comporta elevados custos computacionais, especialmente quando se utilizam simulações numéricas diretas. Esta situação motivou o desenvolvimento de modelos mesomecânicos que utilizam informação obtida em escalas espaciais

inferiores. Os modelos mesomecânicos combinam a mecânica do dano contínuo, que representa mecanismos de dano nas camadas de um compósito laminado, com modelos de zona coesiva, que representam a separação entre as suas várias camadas. Os modelos mesomecânicos asseguram resultados com uma excelente precisão, mas não são adequados para quantificar as incertezas inerentes ao projeto aeroespacial, uma vez que o seu custo computacional é demasiado elevado para este fim. Para permitir simulações que incluam aspetos estocásticos associados à variabilidade do material e da geometria, torna-se necessário desenvolver modelos físicos macromecânicos e combiná-los com técnicas de aprendizagem de máquina. A comunicação terminará com um exemplo de utilização da aprendizagem de máquina guiada por modelos físicos na certificação de estruturas aeroespaciais fabricadas em materiais compósitos laminados.

Academia das Ciências de Lisboa, 30 de março de 2023