

École doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l'ingénieur

Doctorat ParisTech

THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité "Mécanique des matériaux"

présentée et soutenue publiquement par

Nicolas DESPRINGRE

le 17 décembre 2015

Analyse et modélisation des mécanismes d'endommagement et de déformation en fatigue multiaxiale de matériaux composites : polyamide renforcé par des fibres courtes.

Directeur de thèse : **Fodil MERAGHNI**

Co-encadrement de la thèse : **Yves CHEMISKY**

Jury

M. Djimédo KONDO, Professeur, Institut Jean le Rond d'Alembert, UPMC
M. Frédéric JACQUEMIN, Professeur, E3M - GeM, Université de Nantes
M. Issam DOGHRI, Professeur, IMMC, Université catholique de Louvain
M^{me} Noelle BILLON, Professeur, CEMEF, Mines ParisTech
M. Gilles ROBERT, Docteur, Solvay Engineering Plastics - Saint-Fons
M. Fodil MERAGHNI, Professeur, LEM3, Arts et Métiers ParisTech - Metz
M. Yves CHEMISKY, Maître de conférences, LEM3, Arts et Métiers ParisTech - Metz
M. Joseph FITOUSSI, Maître de conférences, PIMM, Arts et Métiers ParisTech - Paris

Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur
Examineur
Examineur
Examineur

T
H
È
S
E

Analyse et modélisation des mécanismes d'endommagement et de déformation en fatigue multiaxiale de matériaux composites : polyamide renforcé par des fibres courtes

RESUME : Le présent travail de thèse se consacre au développement d'un nouveau modèle micromécanique pour les composites en thermoplastique renforcé par des fibres de verre courtes. L'objectif est notamment la modélisation du comportement visco-endommageable en fatigue du PA66-GF30. Ce matériau, particulièrement utilisé dans l'industrie automobile, est sujet à une microstructure spécifique issue du procédé de moulage par injection. L'approche multi-échelles développée consiste en une méthode de Mori-Tanaka modifiée, appliquée à des renforts avec enrobage et prenant en compte l'évolution de l'endommagement à l'échelle microscopique. La description des mécanismes d'endommagement se base sur une investigation expérimentale poussée préalablement menée au sein de l'équipe. Des scénarios d'endommagement ont été proposés et incluent trois processus locaux différents : la décohésion de l'interface, la microfissuration de la matrice et les ruptures de fibres. Ceux-ci sont spécialement affectés par la microstructure. L'approche développée intègre ces cinétiques d'endommagement ainsi que la viscoélasticité non-linéaire de la matrice et la distribution d'orientation des inclusions due au procédé de fabrication. Chaque mécanisme d'endommagement est modélisé par une loi d'évolution basée sur les contraintes locales calculées à l'échelle microscopique. La loi constitutive finale, à l'échelle du volume élémentaire représentatif, est implémentée dans une bibliothèque scientifique en C++, *SMART+*, et est conçue pour être compatible avec une analyse de structures par éléments finis. L'identification du modèle est réalisée par rétro-ingénierie, en tirant profit de résultats expérimentaux multi-échelles, dont notamment des tests in-situ au MEB ainsi qu'une analyse qualitative et quantitative par μ CT.

Mots clés : Matériau composite, thermoplastique, fibre de verre courte, fatigue, modélisation multi-échelles, visco-endommagement

Analysis and modeling of the damage and deformation mechanisms under multiaxial fatigue of thermoplastic composites: polyamide reinforced by short fibers

ABSTRACT: The current work focuses on a new micromechanical high cycle fatigue visco-damage model for short glass fiber reinforced thermoplastic composites, namely: PA66/GF30. This material, extensively used for automotive applications, has a specific microstructure which is induced by the injection process. The multi-scale developed approach is a modified Mori-Tanaka method that includes coated reinforcements and the evolution of micro-scale damage processes. Their description is based on the experimental investigations of damage mechanisms previously performed by the team. Damage chronologies have been proposed involving three different local degradation processes: fiber-matrix interface debonding/coating degradation, matrix microcracking and fiber breakage. Their occurrence strongly depends on the microstructure. The developed model integrates these damage kinetics and accounts for the complex matrix viscoelasticity and the reinforcement orientation distributions induced by the process. Each damage mechanism is introduced through an evolution law involving local stress fields computed at the microscale. The developed constitutive law at the representative volume element scale is implemented into a C++ scientific library, *SMART+*, and is designed to work with Finite Element Methods. The model identification is performed via reverse engineering, taking advantage of the multiscale experimental results: in-situ SEM tests as well as quantitative and qualitative μ CT investigations.

Keywords : Polymer-based composite, short glass fiber, fatigue, multiscale modeling, visco-damage