

Effet de vieillissements thermique et acide sur la tenue en fatigue de polyamides renforcés de fibres de verre courtes

Résumé :

Les enjeux environnementaux actuels poussent les constructeurs automobiles à utiliser de plus en plus de pièces en matériau thermoplastique renforcé de fibres de verre courtes (SFRP), parfois même dans des conditions sévères vis-à-vis de la durabilité des pièces. C'est dans ce cadre qu'a lieu ce travail, centré sur des SFRP à matrice en polyamides 6/66 utilisés dans l'automobile pour des composants sous capot. Plusieurs SFRP ont été étudiés pour cibler plus particulièrement l'effet du taux de renfort (par comparaison d'un PA66GF 35 et 50) dans le cas du vieillissement thermique et l'effet de la matrice (par comparaison d'un PA66 et d'un PA6 GF35) dans le cas du vieillissement acide. Le premier objectif est de caractériser et de comprendre les effets de vieillissements sévères sur le comportement et la tenue en fatigue : vieillissement thermique d'une part (typiquement 500h à 200°C) et vieillissement en milieu aqueux acide d'autre part (typiquement 1000h à pH=2,5). Le second objectif est d'intégrer cette connaissance dans une approche numérique d'estimation de la durée de vie intégrant l'orientation locale des fibres (TPM (Through Process Modelling)). L'enjeu est de préciser à quel(s) stade(s) de la démarche prendre en compte le vieillissement : la loi de comportement de la matrice en entrée du critère ? le critère lui-même ?

Les pré-endommagements induits par vieillissements ont d'abord été analysés par DSC, fractographie MEB, μ Tomo-RX. Toute la démarche repose ensuite sur la caractérisation expérimentale du comportement en fatigue dans chaque état (non vieilli et vieilli) avec prise en compte de l'effet d'orientation des fibres (0, 45 et 90°), et quelquefois de l'effet de structure cœur-peau. L'étude est restreinte au cas uniaxial avec des essais menés en amplitude constante pour un seul rapport de charge ($R=0,1$). Une attention particulière est portée aux environnements d'essais, volontairement choisis pour se rapprocher des conditions réelles d'utilisation qui peuvent influencer sur la réponse du matériau vieilli. À cet effet, une enceinte résistante aux environnements corrosifs a été spécialement conçue pour faire des essais en immersion dans l'acide chauffé, dans le but de d'étudier l'existence de couplages entre le chargement mécanique et le milieu d'essai.

L'analyse des pré-endommagements a permis d'une part, dans le cas du vieillissement thermique, de mettre en évidence une évolution importante du composite, cristallinité de la matrice et formation de microfissures en surface favorisée localement par le contraste de propriétés cœur-peau et, d'autre part, une faible sensibilité apparente à l'acide indépendamment de la matrice considérée. Les essais mécaniques ont permis de confirmer certaines de ces tendances, sensibilité à l'orientation et au taux de fibres lors de la thermo-oxydation, tout en révélant une sensibilité au pH qui accélère la réaction d'hydrolyse et dépend donc de la nature de la matrice. Dans ce dernier cas, aucun couplage significatif n'a été observé. Ces mécanismes ont été attribués à une différence de cinétique de dégradation dans les deux cas. Enfin, l'analyse des faciès de rupture couplée à celle des indicateurs de fatigue ont permis de justifier la validité d'une approche en amorçage, et ce, malgré l'existence d'endommagements locaux comme la couche oxydée (thermique) et une zone dégradée au niveau de l'adhésion des fibres (acide), toutes deux localisées en surface des échantillons.

Sur la base de ces essais, les performances de plusieurs critères de fatigue issus de la littérature (énergie de déformation élastique, d'hystérèse et de fluage) ont ensuite été évaluées, puis comparées aux capacités prédictives de la TPM, après identification, via méthode inverse, du comportement viscoélastique de la matrice dans chaque état. Il a été montré que l'introduction des effets des vieillissements à travers le comportement matriciel permet, dans une certaine mesure, de prédire les durées de vie. Toutefois, la thermo-oxydation est fortement dépendante de l'orientation, ce qui est difficile à capter avec la même loi de comportement de la matrice pour toutes les orientations.