

CRITERES ET MODELE D'ENDOMMAGEMENT EN FATIGUE DES LINERS EN POLYAMIDE 11 DE RESERVOIRS A HYDROGENE POUR L'AUTOMOBILE

Marc Ponçot*, Hugo Pierson, Abdesselam Dahoun

Université de Lorraine, CNRS, IJL, F- 54000 Nancy, France

* marc.poncot@univ-lorraine.fr

Mots-clés : Polyamide 11, réservoir hydrogène, fatigue, microstructure, spectroscopie Raman, WAXS.

Résumé :

Les réservoirs de stockage d'hydrogène de type IV, conçus pour les applications automobiles, sont constitués d'un revêtement en polyamide semi-cristallin (PA11 ou PA6) assurant l'imperméabilité à l'hydrogène, à l'intérieur d'une enveloppe composite en polymère renforcé de fibres de carbone assurant la résistance mécanique. Pendant son fonctionnement, le liner subit des cycles de pression sévères (jusqu'à 700 bars) à des températures variables (de -40 à 85°C), ce qui entraîne une fatigue thermomécanique et une dégradation potentielle de la microstructure. Il est essentiel de comprendre les mécanismes de déformation à long terme pour garantir durabilité et sécurité.

Une caractérisation thermomécanique a été menée pour étudier le comportement de ces revêtements en polyamide. Des essais VidéoTraction™ à différentes températures ont permis d'identifier les paramètres clés régissant leur sensibilité à la vitesse de déformation et leur réponse mécanique en fonction de la température. Les performances à long terme ont été évaluées par des essais de fluage et de fatigue oligocyclique, révélant une accumulation progressive des dommages par la formation de défauts microstructuraux.

Pour corréliser l'évolution microstructurale avec le comportement mécanique, la spectroscopie Raman¹ a été utilisée pour suivre les changements de cristallinité en temps réel, en particulier l'évolution des modes d'étirement de la liaison C=O, qui sert d'indicateur de l'orientation macromoléculaire, de la transition de Brill et des transformations de phase associées^{2,3}. Des expériences *in situ* de diffraction des rayons X aux grands angles (WAXS) sous charge thermique⁴ et mécanique⁵ confirment les variations de cristallinité et le développement de textures anisotropes.

Un modèle phénoménologique basé sur la loi de G'Sell & Jonas^{6,7} a été développé pour simuler la réponse mécanique à long terme d'un liner. Ses paramètres sont extraits des données de traction et permettent de prédire avec précision le comportement en fatigue du matériau sous charge cyclique. Ces résultats permettent d'améliorer les évaluations prédictives de la durée de vie des liners et d'optimiser leur conception structurelle. La mise en œuvre dans un logiciel d'IAO fournit une approche prédictive pour calculer le champ de déformation local à l'échelle du réservoir, ce qui facilite l'optimisation dimensionnelle pour les applications de stockage dans l'automobile.

Références :

- [1] : I. A. M. Royaud, W. F. Maddams, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular Spectroscopy* **1991**, 47, 1327.
- [2] : M. Bouita, J.-P. Tinnes, P. Bourson, M. Malfois, M. Ponçot, *Journal of Raman Spectroscopy* **2023**, 54, 225.
- [3] : M. Bouita, J.-P. Tinnes, M. Ponçot, *Journal of Raman Spectroscopy* **2023**, 54, 683.
- [4] : S. Tencé-Girault, S. Lebreton, O. Bunau, P. Dang, F. Bargain, *Crystals* **2019**, 9, 1.
- [5] : J. Pepin, V. Gaucher, C. Rochas, J.-M. Lefebvre, *Polymer* **2019**, 175, 87.
- [6] : C. G'sell, J. J. Jonas, *J Mater Sci* **1979**, 14, 583.
- [7] : C. G'Sell, J. J. Jonas, *J Mater Sci* **1981**, 16, 1956.