

Elaboration et caractérisation mécanique de matrices de carbone

Preparation and mechanical characterization of carbon matrices

Amandine Raude¹, Arnaud Delehouzé^{1,2}, Guillaume Couégnat¹, Morgan Charron¹, Olivier Caty¹, Gérard L. Vignoles¹

1 : LCTS, Université de Bordeaux
3 allée de la Boétie, 33600 Pessac
e-mail : raude@lcts.u-bordeaux.fr

2 : Safran Ceramics
Rue de Touban, 33185 Le Haillan

Les composites carbone/carbone, employés pour l'aérospatiale sont constitués de fibres de carbone et de matrices de pyrocarbone. La connaissance de leurs propriétés thermomécaniques est fondamentale pour maîtriser la conception de pièces faites avec ces matériaux. Pour cela, il est nécessaire de disposer de mesures fiables sur les constituants élémentaires : fibres et matrice. Dans le cas des fibres, de nombreuses données sont disponibles dans la littérature [1-3] ; cependant, ceci est moins vrai pour les matrices [4] : une importante difficulté est qu'il existe plusieurs types nanotexturaux de pyrocarbone [5], avec des propriétés bien distinctes, et qui sont produits dans des conditions de fabrication différentes. Le type qui nous intéresse ici est le pyrocarbone hautement texturé [5]. Cette matrice a été caractérisée mais pas directement en température : seulement à l'ambiante en fonction de sa température de fabrication [4]. Le but de cette étude est d'obtenir un dépôt de pyrocarbone hautement texturé sur fibre unitaire puis de le caractériser mécaniquement jusqu'à 1600°C.

Afin d'obtenir un dépôt de pyrocarbone hautement texturé sur fibre unitaire, un dispositif de cage de diffusion a été mis en place afin d'associer des conditions de dépôt similaires à celle d'une préforme fibreuse. Composé de deux parties assemblables et usinées selon quatre cadrans, il permet de placer des fibres de carbone au milieu de ces deux zones. Celles-ci sont collées au centre de fentes de largeurs variables usinées dans du Papyex®, afin de faire varier le volume libre autour des fibres. L'ensemble est ensuite densifié par infiltration chimique en phase vapeur permettant d'obtenir un dépôt de pyrocarbone sur chacune des fibres.

Le type de pyrocarbone ainsi obtenu a été caractérisé par microscopie optique en lumière polarisée (MOLP) [5]. Cette technique permet d'obtenir l'angle d'extinction (A_e) ainsi que les orientations préférentielles du dépôt. Sur l'ensemble des échantillons caractérisés, les angles d'extinction correspondent bien à la structure de type pyrocarbone hautement texturé recherchée [6]. De plus, l'aspect colonnaire est également typique de cette structure (fig 1).

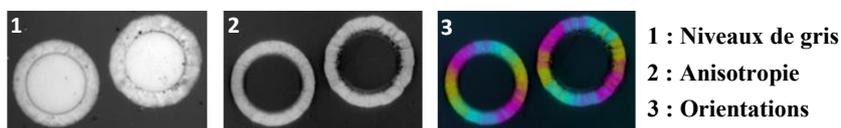


Fig. 1 Analyse MOLP d'un dépôt de pyrocarbone

Les dépôts de pyrocarbone obtenus ont été caractérisés mécaniquement. Pour y parvenir, un banc d'essai monofilamentaire a été utilisé [1]. Il permet de mesurer entre la température

ambiante et 1600°C des propriétés telles que le diamètre et le module de Young [2] sur fibres et microcomposites. Des essais ont été réalisés sur les microcomposites obtenus, permettant d'obtenir par inversion de la loi des mélanges les modules de Young de la matrice de pyrocarbone hautement texturé jusqu'à 1600°C, ce qui n'avait pas été fait jusqu'à présent. Les propriétés obtenues ont ensuite été comparées aux données disponibles à température ambiante [4], permettant ainsi de les valider. Elles ont ensuite été confrontées à des essais réalisés sur pyrocarbone peu texturé préparés par une autre méthode [7], permettant d'observer une augmentation de la rigidité lorsqu'on passe du pyrocarbone peu texturé, moins anisotrope, au pyrocarbone hautement texturé.

Les résultats de cette étude vont permettre d'affiner les prévisions de comportement mécanique et thermomécanique de composites carbone/carbone par une approche basée images [8].

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la société Safran Ceramics pour sa collaboration.

Références

- [1] C. SAUDER, J. LAMON, R. PAILLER, « The tensile behavior of carbon fibers at high temperatures up to 2400°C ». *Carbon*, Vol. **42**, pp. 715–725, 2004
 - [2] C. SAUDER, J. LAMON, R. PAILLER, « Thermomechanical properties of carbon fibers at high temperatures (up to 2000 °C) ». *Composites Science and Technology*, Vol. **62**, pp. 499–504, 2002
 - [3] C. PRADERE, J.-C. BATSALE, J.-M. GOYHENECHÉ, R. PAILLER, S. DILHAIRE, « Estimation of the transverse coefficient of thermal expansion on carbon fibers at very high temperature ». *Inverse Problems in Science and Engineering*, Vol. **15**, pp. 77–89, 2007
 - [4] C. SAUDER, J. LAMON, R. PAILLER, « The tensile properties of carbon matrices at temperatures up to 2200 °C ». *Carbon*, Vol. **43**, pp. 2054–2065, 2005
 - [5] G. L. VIGNOLES, P. WEISBECKER, J.-M. LEYSSALE, S. JOUANNIGOT, G. CHOLLON, « Carbones pyrolytiques ou pyrocarbones – des matériaux multi-échelles et multi-performances ». *Techniques de l'Ingénieur*, ref. NM3150
 - [6] A. GILLARD, G. COUEGNAT, O. CATY, A. ALLEMAND, P. WEISBECKER, G. L. VIGNOLES, « A quantitative, space-resolved method for optical anisotropy estimation in bulk carbons ». *Carbon*, Vol. **91**, pp. 423-435, 2015
 - [7] J. P DA COSTA, P. WEISBECKER, B. FARBOS, J.-M. LEYSSALE, G. L. VIGNOLES, C. GERMAIN, « Investigating carbon materials nanostructure using image orientation statistics ». *Carbon*, Vol. **84**, pp. 160-173, 2015
 - [8] O. CATY, G. COUEGNAT, M. CHARRON, T. AGULHON, G. L. VIGNOLES, « Image-based numerical simulation of thermal expansion in C/C composites ». Procs. HT-CMC8, Xi'An, Chine, 22-26 Septembre 2013, LT Zhang and DL Ziang eds, *Ceramic Transactions*, Vol. **248**, pp. 36-41, 2014
-