

**Effet de la cicatrisation des fissures sur la durée de vie en fatigue statique des composites à matrice autocicatrisante
SiC_f/PyC/Si-B-C_m : essais et modélisation**

*Effect of cracks healing on static fatigue lifetime of
SiC_f/PyC/Si-B-C_m composites : experiments and modeling*

André EBEL¹, Coraline SIMON, Olivier CATY¹, Francis REBILLAT¹

1 : Laboratoire des Composites Thermostructuraux (LCTS)

UMR-5801

3 allée de la Boétie, 33600 Pessac, France

e-mail : ebel@lcts.u-bordeaux.fr, caty@lcts.u-bordeaux.fr, rebillat@lcts.u-bordeaux.fr

Les composites à matrice céramique (CMC) SiC/SiC commencent à être utilisés dans les turboréacteurs civils dans l'objectif de diminuer leur consommation et leurs émissions. Ayant une densité inférieure à celle des superalliages pour une meilleure résistance à haute température, ces matériaux permettent d'augmenter la température maximale de fonctionnement du turboréacteur, et ainsi son rendement, tout en diminuant sa masse. Cette classe de matériaux est envisagée pour remplacer progressivement les alliages métalliques pour les parties chaudes du turboréacteur. Bien que leur utilisation soit déjà d'actualité pour des pièces statiques dans la turbine et l'échappement [1,2], leur durabilité reste insuffisante pour une utilisation sur pièces mobiles à forte sollicitation thermique et mécanique telle que des aubes de turbine haute pression.

La durabilité du composite à haute température est en grande partie conditionnée par la durabilité des fibres et de l'interphase entre la fibre et la matrice dont dépendent les propriétés mécaniques du composite. Or, lorsque la matrice se fissure sous l'effet de la contrainte, l'interphase et la fibre sont exposés à l'environnement extérieur (O₂, H₂O). Pour les composites à interphase en pyrocarbone (PyC), la fissuration à haute température de la matrice provoque alors une consommation rapide de l'interphase par oxydation [3]. Cela a pour conséquence d'augmenter localement la charge appliquée aux fibres et de les exposer à l'environnement oxydant, ce qui accélère alors leur fissuration sous-critique et réduit progressivement leur contrainte à rupture [4]. Ces décohésions fibre-matrice engendrent une diminution du module élastique et, à contrainte constante, une augmentation de la déformation du composite [5].

Afin de limiter la pénétration des espèces oxydantes dans le réseau de fissure de la matrice, des matrices autocicatrisantes ont été conçues pour former des oxydes à bas point de fusion en présence d'oxygène qui permettent de combler les fissures.

Ces matrices autocicatrisantes sont constituées d'une alternance de couches de SiC, B₄C et Si-B-C et engendrent la formation de borate et de borosilicate liquides lors de leur oxydation [6]. Cependant, la formation de ce cicatrisant n'intervient qu'au-dessus de 450°C et réagit avec la vapeur d'eau pour former des hydroxydes volatils [7]. La durabilité du composite dépendant de la cicatrisation des fissures, celle-ci est fonction de la température et de l'environnement.

L'objectif global de ce travail est de comprendre et modéliser l'influence de la cicatrisation des fissures et de la consommation de l'interphase PyC sur la durée de vie en fatigue statique du CMC Cerasep A40C.

Pour cela, des essais de fatigue statique ont réalisés à 650 et 800°C sous balayage d'air sec et humide (10kPa H₂O) avec une contrainte de 100 MPa. Les éprouvettes utilisées lors de ces essais sont instrumentées de façon à suivre l'endommagement du composite pendant la déformation par émission acoustique et mesure de la résistance électrique (cf. Fig.1).

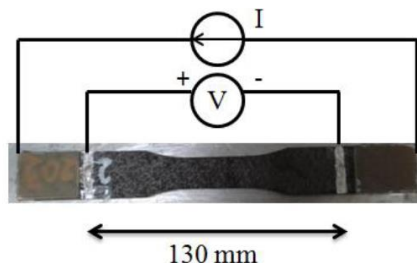


Fig. 1. Eprouvette haltère utilisée pour les essais de traction et représentation de la méthode quatre points de mesure de résistance électrique

Après une forte émission acoustique et une forte augmentation de la résistance lors de la mise en charge des éprouvettes du fait de la génération d'un réseau de fissure, l'émission acoustique augmente peu jusqu'à rupture alors que la résistance augmente continuellement. Cette augmentation est beaucoup plus importante sous air humide que sous air sec, ce qui montre que la consommation de l'interphase est plus importante et la cicatrisation des fissures moins efficace que sous air sec. La durée de vie est également inférieure sous air humide, ce qui montre que la cinétique de consommation des interphases conditionne la durée de vie du composite en fatigue statique.

Ces durées de vie ainsi que les déformations obtenues peuvent être calculées en couplant un modèle thermomécanique et un modèle physico-chimique permettant de modéliser la consommation de l'interphase en fonction de la cicatrisation des fissures.

Remerciements

Ces travaux sont réalisés dans le cadre de l'ANR VISCAP en collaboration avec Safran Ceramics.

Références

- [1] T. Kellner, Here's How Ceramic Matrix Composites Are Changing Aviation - GE, GE Rep. (2016).
 - [2] M. Montaudon, E. Bouillon, High temperature composite overview in France, Adv. Ceram. Matrix Compos. Sci. Technol. Mater. Des. Appl. Perform. Integr. (2017).
 - [3] R.R. Naslain, R.J.-F. Pailler, J.L. Lamon, Single- and Multilayered Interphases in SiC/SiC Composites Exposed to Severe Environmental Conditions: An Overview, Int. J. Appl. Ceram. Technol. 7 (2010) 263–275.
 - [4] W. Gauthier, F. Pailler, J. Lamon, R. Pailler, Oxidation of Silicon Carbide Fibers During Static Fatigue in Air at Intermediate Temperatures, J. Am. Ceram. Soc. 92 (2009) 2067–2073.
 - [5] C. Simon, Méthodologie pour le durcissement et l'accélération d'essais sur composites à matrice céramique aéronautiques, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 2017.
 - [6] R. Naslain, A. Guette, F. Rebillat, R. Pailler, F. Langlais, X. Bourrat, Boron-bearing species in ceramic matrix composites for long-term aerospace applications, J. Solid State Chem. 177 (2004) 449–456.
 - [7] X. Martin, Oxydation/Corrosion de matériaux composites (SiCf/SiBCm) à matrice auto-cicatrisante, Thèse de doctorat, Bordeaux, 2003.
-