

Modélisation des transferts thermiques dans les matériaux composites pyrolysables

Jérémy Chevalier^{1,3}, Bruno Dubroca², Antonio Cosculluela³, Jean Lachaud¹

1 Université de Bordeaux, Institut de mécanique et d'ingénierie (I2M) 33400, Talence, France

2 Université de Bordeaux, CNRS, CEA, laboratoire des composites thermostructuraux (LCTS) 33600, Pessac, France.

3 Commissariat à l'Energie Atomique, centre du CESTA, 33114 Le Barp, France.

L'exploration planétaire repose sur la capacité des véhicules spatiaux à entrer dans les atmosphères à des vitesses hypersoniques. L'énergie dissipée dans l'onde de choc génère des flux thermiques intenses. Des boucliers thermiques en composites carbone/résine sont souvent retenus pour protéger la charge utile. Ces matériaux sont le siège de divers phénomènes physiques et thermiques tels que la pyrolyse et la fissuration de la matrice modifiant ainsi le comportement thermique du matériau [1]. Dans cette étude, on considère des composites à fibres de carbone et à matrice polymère.

L'objectif de cette étude est de modéliser les transferts thermiques dans les matériaux composites pyrolysables soumis à des flux de chaleur élevés. La réalisation de cet objectif passe par la caractérisation du comportement physico-chimique du composite lors de sa dégradation par pyrolyse, ainsi que la caractérisation de son comportement mécanique. Cette thèse est en étroite collaboration avec la thèse expérimentale de Victor Asensio (LCTS). La base de développement est l'outil d'analyse PATO (Porous-Material Analysis Toolbox Based on OpenFOAM). [2] Une étude bibliographique a été menée en rapport avec la classe de matériau étudiée afin de déterminer les phénomènes chimiques et mécaniques au sein de celui-ci sous l'effet de forts flux thermiques. Les équations de transfert de chaleur ont été homogénéisées afin de quantifier l'impact d'un écoulement au sein d'un matériau sur sa conductivité thermique effective. Une analyse de sensibilité a été menée afin de déterminer les paramètres de poids dans la modélisation. Enfin, un modèle de pyrolyse unifié a été développé permettant d'utiliser des mécanismes complexes couplant les réactions chimiques gaz-gaz et les réactions de pyrolyse. L'homogénéisation des équations de transfert de chaleur, a permis de déterminer l'impact d'un écoulement sur la conductivité thermique de Calcarb. Ces résultats ont été présentés à la conférence FAR 2022 [3]. Le modèle de pyrolyse unifié développé a été validé en reproduisant des résultats de la littérature et permettra de modéliser la perte de masse du matériau d'étude pour plusieurs vitesses de chauffe.

References

- [1] G. Duffa. Ablative thermal protection systems modeling, AIAA Educ. Ser. (2013).
- [2] J. Lachaud & al. A generic local thermal equilibrium model for porous reactive materials submitted to high temperatures Int. J. Heat Mass Transf. 108 (2017) 1406–1417.
- [3] J. Chevalier & al. Effect of the internal gas flow velocity on the thermal conductivity of porous thermal protection systems, 2nd International Conference on Flight Vehicles, Aerothermodynamics and Re-entry Missions Engineering (FAR) (2022).