

Étude de revêtements photoluminescents pour le diagnostic de l'histoire thermique de composants de moteurs d'hélicoptères

Problématique industrielle

Les zones chaudes des moteurs d'hélicoptère sont soumises en service à d'intenses sollicitations thermiques qui influencent la durée de vie de certains de leurs composants. De fait, la mesure des températures auxquels ces derniers sont exposés constitue une étape clé dans le développement de pièces de moteurs par les constructeurs. L'usage de peintures thermiques est dans ce domaine largement répandu, en particulier pour le dimensionnement des chambres de combustion. Ces revêtements subissent des changements de couleur définitifs en fonction de la température à laquelle ils ont été soumis, résultats de différentes transformations chimiques et cristallographiques. Ainsi, après un temps fixé de fonctionnement d'une turbine en conditions stationnaires, elles permettent après désassemblage de révéler les champs de température vus par les pièces revêtues. Cependant le faible nombre de virages (teintes différentes) et surtout leur caractère discret (7 à 10) limitent fortement la résolution à quelques dizaines voire centaines de degrés sur certaines plages de température. À cela s'ajoutent des contraintes liées à la détention de monopoles par un faible nombre de fabricants de peintures ainsi qu'à la toxicité de certains éléments entrant dans la composition des peintures (Cr, Pb, NiCo) qui font l'objet de directives Européennes restrictives. L'ensemble de ces contraintes pousse les constructeurs à rechercher et développer des solutions alternatives.

Contexte et objectifs du stage

Le projet FUI FRIMATT (2014-2017), piloté par Safran Helicopter Engines, a permis le développement et l'étude de différents marqueurs photoluminescents qui, sous forme de revêtements, permettent de déterminer l'histoire thermique de pièces de turbines d'hélicoptère revêtues lors d'essais moteurs de courte durée. Ces marqueurs présentent des évolutions continues de leurs propriétés de fluorescence avec la température à laquelle ils ont été exposés, offrant ainsi une bien meilleure résolution thermique que les peintures thermosensibles classiques. L'un de ces marqueurs développé à l'Institut Clément Ader, composé de zircone stabilisée à l'yttrine et dopée avec des ions erbium (YSZ:Er³⁺), est particulièrement prometteur pour la mesure indirecte de la température dans la plage 950°C-1150°C grâce à l'évolution significative de son intensité d'émission de fluorescence après une exposition de courte durée dans cette plage de température. L'exploitation de l'intensité de fluorescence pour déterminer des cartographies de l'histoire thermique nécessite néanmoins d'intégrer au revêtement un marqueur fluorescent de référence peu sensible à la température, par exemple un luminophore dopé avec des ions europium Eu³⁺. Un ratio d'intensité construit à partir des signaux de fluorescence des ions Er³⁺ et Eu³⁺ permet ainsi de s'affranchir en grande partie de l'influence des conditions expérimentales.

L'objectif de ce stage réalisé en collaboration avec Safran Helicopter Engines est d'étudier la sensibilité à l'histoire thermique de revêtements fluorescents en YSZ:Er³⁺ intégrant une nouvelle référence YSZ:Eu³⁺. Après la détermination des proportions optimales marqueur/référence sous forme de poudre, des revêtements seront déposés par voie sol-gel puis traités thermiquement à différentes température dans la plage 900-1200°C. Les propriétés d'émission de fluorescence seront déterminées pour tester la sensibilité à la température du ratio d'intensité construit à partir des émissions des ions

Er^{3+} et Eu^{3+} , et pour s'assurer de la robustesse de ce ratio vis à vis des conditions d'observation (type de source laser/LED, distance de travail, angle de vue etc.). Ces résultats seront complétés par une caractérisation microstructurale des revêtements (diffraction des rayons X, microscopie électronique etc.), afin de contrôler notamment la compatibilité et la stabilité de cette nouvelle référence. Enfin, la sensibilité du signal de fluorescence à la pression, variable importante dans un moteur d'hélicoptère, pourra également être étudiée grâce au pilote de formage superplastique présent à l'ICA.

Déroulement du stage

La démarche du stage consiste principalement en une approche expérimentale du problème:

- Étude de la cinétique de cristallisation et de la stabilité thermique de la poudre de YSZ:Eu^{3+} dans la plage de température visée (900°C - 1200°C), par diffraction des rayons X et caractérisation des propriétés de fluorescence,
- Détermination des proportions optimales de YSZ:Eu^{3+} et YSZ:Er^{3+} à intégrer dans les revêtements,
- Dépôts de revêtements YSZ:Er^{3+} / YSZ:Eu^{3+} par voie sol-gel,
- Traitements thermiques des revêtements à différentes températures dans la plage 900°C - 1200°C ,
- Caractérisation de l'évolution des propriétés de fluorescence avec la température de traitement thermique,
- Test de la robustesse du marqueur YSZ:Eu^{3+} / YSZ:Er^{3+} vis à vis des conditions expérimentales (sources d'excitation, conditions d'observation, etc.)
- Caractérisations microstructurales des revêtements (diffraction des rayons X, microscopie, etc.)
- Test de sensibilité des marqueurs au vieillissement et à la pression sur le pilote de formage lampes (sous pression).

Profil recherché : Ce stage s'adresse à des étudiants de niveau Master II recherche ou équivalent dans le domaine de la Science des Matériaux. Une expérience et des connaissances dans la caractérisation physico-chimique des matériaux sont nécessaires.

Laboratoire : Institut Clément Ader – IMT Mines Albi-Carmaux (lieu du stage)
Campus Jarlard, 81013 Albi
Possibilité de se loger sur place à la résidence de l'École des Mines

Partenaire industriel : Safran Helicopter Engines

Encadrement : Yannick Le Maoult (05 63 49 30 87) lemaoult@mines-albi.fr
Thierry Sentenac (05 63 49 30 61) sentenac@mines-albi.fr
Philippe Lours (05 63 49 30 78) philippe.lours@mines-albi.fr
Étienne Copin (05 63 49 32 82) etienne.copin@mines-albi.fr

Période : Février/Mars 2015 – Juillet/fin Août 2015 (6 mois)

Rémunération: 1499 € brut mensuel