

Soutenance de thèse

Yankuan LIU soutiendra sa thèse de doctorat préparée au sein de l'ICA et intitulée «*Durabilité des revêtements de barrière thermique pulvérisé au plasma atmosphérique dopés aux terres rares pour le diagnostic thermique et structurel*»

Le 20 janvier 2021 à 9h30, en distanciel Chine/France

devant le jury composé de

M. Mustapha JOUIAD	Professeur Université de Picardie Jules Verne	Rapporteur
M. Fernando PEDRAZA	Professeur Université de La Rochelle	Rapporteur
Mme Catherine MABRU	Professeure ISAE-SUPAERO	
M. Pierre BERTRAND	Ingénieur de recherche Université de Belfort Montbéliard	
M. Zhiping WANG	Professeur Civil Aviation University of China	
M. Philippe LOURS	Professeur IMT Mines Albi	Directeur de thèse

Résumé : Les revêtements de barrière thermique (BT) élaborés par APS sont couramment utilisés aujourd'hui dans le domaine des moteurs aéronautiques civils, en particulier sur les composants chauds des turbomachines tels que la chambre de combustion et les aubes de turbine. De nos jours, des moyens de diagnostic non intrusifs sont nécessaires pour surveiller et prédire la durée de vie des BT. Le dopage des BT avec des terres rares est une approche prometteuse pour atteindre cet objectif. Dans ce travail, CoCrAlY a été sélectionné comme bond coat, et les poudres YSZ vs YSZ:Eu (2mol% Eu³⁺ dopé) ont été choisies pour top coat. Trois BT avec différentes structures de dopage ont été préparées avec succès sur des substrats Hastelloy-X par APS. L'étude a comparé les changements de performance (ténacité apparente à la fracture interfaciale, morphologie TGO et mécanisme de rupture) des trois types d'échantillons, à savoir Type A (YSZ:Eu³⁺), Type B (YSZ:Eu³⁺ + YSZ) et Type C (YSZ), sous oxydation isotherme, choc thermique et oxydation cyclique. Dans le même temps, les propriétés de photoluminescence des échantillons ont été mesurées. Nous pouvons tirer les conclusions ci-dessous: (1) Le dopage Eu³⁺ à 2mol% n'a pratiquement aucun effet sur la densité et les propriétés mécaniques intrinsèques de la BT. Comme prévu, le dopage des ions Eu³⁺ réduit efficacement la conductivité thermique de la BT. (2) L'influence d'une faible quantité de dopage Eu³⁺ sur la microstructure et les propriétés mécaniques des YSZ BT sous traitement d'oxydation isotherme peut être négligée. Après avoir subi le même traitement d'oxydation isotherme, aucune inter-diffusion ne se produit entre les différentes couches, la ténacité interfaciale apparente et l'épaisseur de TGO des Types A et C sont approximativement les mêmes, et la défaillance de BT se produit principalement au niveau de l'interface entre TGO / top coat. (3) Le dopage de Eu³⁺ inhibe dans une certaine mesure la croissance et l'évolution de TGO pendant les essais de choc thermique et d'oxydation cyclique, ce qui a légèrement amélioré les propriétés mécaniques du BT. Le mode de défaillance du revêtement après traitement thermique cyclique est la défaillance interne à la top coat. (4) La BT de Type A est plus adaptée aux revêtements pour applications capteurs. L'intensité de photoluminescence détectée par Type B est nettement inférieure à celle de Type A, car dans le Type B, les ions Eu³⁺ ne sont incorporés que dans la moitié du revêtement à proximité de la bond coat et son signal lumineux est par conséquent partiellement absorbé / diffusé par la moitié supérieure de YSZ pur. (5) Il est possible d'utiliser Eu³⁺ comme élément marqueur de l'histoire thermique des YSZ BT pour la détection de l'histoire thermique in-situ. L'intensité lumineuse de Type A et B après traitement thermique diminue avec l'augmentation du temps d'oxydation isotherme (100 à 800 h) en raison de la pollution de surface du Cr₂O₃ et du CoO diffusant à partir de la bond coat après un traitement à haute température de longue durée. Cela réduit l'intensité lumineuse de la BT en raison de la re-modification de la propriété optique du revêtement. Parallèlement, l'augmentation de la porosité a également un rôle négatif pour diminuer la transmission lumineuse de la BT. A l'inverse, pour augmenter le nombre de chocs thermiques et de cycle d'oxydation, le temps de chauffage court favorise le comportement de transition de l'état amorphe à l'état cristallin, tout en améliorant le niveau de cristallinité et la croissance des cristallites à l'intérieur du revêtement, augmentant ainsi l'intensité de photoluminescence. (6) Les différences entre zone fissurée et zone non fissurée pourraient être détectées en utilisant la voie de photoluminescence. En général, l'intensité de photoluminescence

de la zone défectueuse interne est plus forte que la zone intacte, ce qui est dû à la réflectivité interne élevée du signal lumineux provoquée par la zone de délamination. Mais il convient de noter que la morphologie de la surface du revêtement, telle que la porosité, la rugosité et le changement d'épaisseur, peut affecter de manière significative le résultat de photoluminescence. À partir des résultats obtenus, nous pouvons conclure que ce type de BT fonctionnalisés pourrait être considéré comme un système de capteur intelligent permettant de mieux comprendre les conditions de dégradation en temps réel du système de BT. Grâce à ces propriétés mécaniques conservées et aux propriétés de photoluminescence nouvellement ajoutées, les revêtements barrières thermiques de nouvelle génération seront multifonctionnels et permettront le diagnostic des défauts et la prévision de la durée de vie de ces systèmes.

Mots-clés : barrière thermique, durabilité, photoluminescence, diagnostic, terres rares, ténacité

Summary: Rare earth doped thermal barrier coating is an advanced photoluminescent smart material. At present, there is a lack of systematic research on the mechanical properties of rare earth doped thermal barrier coatings under high temperature environment, TGO growth behavior and coating failure mechanism. Therefore, it is necessary to verify the durability of thermal barrier coatings through research. At the same time, the relationship between the photoluminescence signal intensity of the rare earth photoluminescent coating and the thermal history of the coating is rarely studied at home and abroad. It is necessary to establish a coating photoluminescence intensity - thermal history relationship through different high-temperature environments. This thesis prepares YSZ coating and YSZ:Eu coating by atmospheric plasma method (APS). The effect of rare earth Eu element doping on aero-engine thermal barrier coatings on mechanical properties and TGO growth behavior under high temperature environment (isothermal oxidation, oxidation cycle, thermal shock, etc.) are systematic studied. And through the comparative analysis of different coatings (YSZ and YSZ:Eu), the coating's failure mechanism and durability will be analyzed and revealed. At the same time, for different high temperature environment treated YSZ:Eu coating, photoluminescence intensity will be tested in order to establish the relationship between the coating's photoluminescence intensity and the coating's thermal history, forming a photoluminescence effect - thermal history relationship map, which is helpful for future coating condition monitoring and life cycle evaluation and forecasting. At last, the possibility of detection of the defects inside the coating by using the photoluminescence way are researched, proving the functionalized coating to be a potential coating material for non-destructive testing.

Keywords: TBCs, durability, photoluminescence, diagnosis, rare earth, toughness