

# **Étude de l'oxydation de revêtements NiCrAlY déposés par fabrication additive (Fusion Sélective Laser) pour application en tant que barrière thermique aéronautique**

## **Contexte et problématique industrielle**

Les zones chaudes des moteurs d'avion, élaborées en superalliage base nickel, sont soumises en service à d'intenses sollicitations thermiques qui influencent la durée de vie de certains de leurs composants. Afin d'accroître les performances des moteurs et la durée de vie des composants, ceux-ci sont protégés de l'environnement des gaz chauds par des barrières thermiques. Il s'agit de revêtements multicouches de quelques centaines de micromètres à quelques mm d'épaisseur, qui se composent d'une couche de liaison intermétallique (bondcoat) et d'une couche supérieure en céramique jouant le rôle d'isolant thermique (topcoat). Le rôle de la sous-couche, typiquement composée de MCrAlY (M=Ni, Co ou Fe) ou de Ni(Pt,Al), est principalement de protéger le substrat de l'oxydation grâce à une barrière de diffusion issue de la formation d'une fine couche d'oxyde  $Al_2O_3$  à faible cinétique de croissance compacte et adhérente (appelée Thermally Grown Oxide ou TGO), entre le bondcoat et la couche céramique supérieure.

Selon l'application le topcoat est déposé - de façon incrémentale ou additive - par EB-PVD, APS ou Sol-Gel et des recherches visant à élaborer le substrat en superalliage ainsi que la couche de liaison par fusion sélective laser (SLM) sont actuellement développées au laboratoire.

L'un des principaux modes d'endommagement en service des systèmes de barrière thermique résulte de l'écaillage de tout ou partie de la couche céramique supérieure. Son origine est généralement l'amorçage, la propagation et la coalescence de réseaux de microfissure à l'interface entre topcoat et bondcoat liées aux différences de coefficient de dilation thermique entre les deux couches de nature différente. L'épaisseur et la morphologie de la couche TGO, où s'amorcent et se propagent ces microfissures, jouent un rôle prépondérant. La connaissance des cinétiques d'oxydation du bondcoat et des mécanismes d'écaillage de la couche de TGO, qui dépendent notamment de la composition et de la microstructure du bondcoat, est donc essentielle pour mieux comprendre et prédire l'endommagement des barrières thermiques aéronautiques.

## **Contexte et objectifs du stage**

L'Institut Clément Ader, au sein de sa composante présente sur le site de IMT Mines Albi, étudie depuis plus d'une quinzaine d'année le comportement sous oxydation isotherme et cyclique d'alliages métalliques et de système de barrières thermiques. ICA Albi étudie depuis 2017 - dans le cadre d'une thèse de doctorat - la possibilité d'utiliser de nouveaux procédés issus de la fabrication additive, notamment la Fusion Sélective Laser, pour la fabrication de composants en superalliages et d'une partie de leur système de barrière thermique (bondcoat). Ce dernier point notamment constitue une première au niveau scientifique et technique, et la résistance à l'oxydation des microstructures spécifiques résultant de la fabrication additive reste inconnue à ce jour.

L'objectif du stage, réalisé en collaboration avec l'université de Changwon en Corée du Sud (CWNU), est d'étudier le comportement en oxydation isotherme à haute température de revêtements NiCrAlY déposés par Fusion Sélective Laser sur des substrats en superalliage IN625 eux-mêmes fabriqués avec ce procédé, pour déterminer notamment la nature des oxydes formés, les cinétiques d'oxydation et les modes

d'écaillage. Dans un premier temps, les cinétiques d'oxydation des deux matériaux (IN625 et NiCrAlY) seront déterminées par analyse thermogravimétrique. Des traitements thermiques isothermes de longue durée seront ensuite appliquées à des échantillons en IN625 revêtus de NiCrAlY afin d'étudier les cinétiques d'oxydation et les mécanisme d'écaillage de ces systèmes bi-matériaux, à partir de bilan de masse régulier au cours du temps. La méthodologie de ces essais, notamment le développement et la validation d'un modèle simple permettant de déconvoluer les contributions des deux matériaux, sera à mettre en place. Parallèlement, une étude microstructurale en microscopie électronique à balayage et en diffraction des rayons X sera conduite afin d'identifier la nature et les microstructures des oxydes formés, ainsi que les modes d'écaillage. Les résultats de ces travaux pourront faire l'objet d'une publication dans une revue scientifique internationale.

### **Déroulement du stage**

Les matériaux à étudier (IN625, NiCrAlY, et IN625 revêtus NiCrAlY) seront fournis par le laboratoire, le candidat pourra directement se concentrer sur la réalisation des objectifs. La démarche du stage consiste principalement en une approche expérimentale comprenant :

- Une étude bibliographique,
- Une étude des cinétiques d'oxydation du IN625 et du NiCrAlY par analyse thermogravimétrique,
- La mise en place d'une méthodologie pour les tests d'oxydation isotherme sur les échantillons en IN625 revêtus de NiCrAlY,
- La conduite de tests d'oxydation isotherme, avec relevés réguliers des gains de masse par oxydation et/ou des pertes de masse par écaillage,
- La caractérisation microstructurale et chimique des échantillons (préparation métallographique, microscope électronique à balayage, analyse d'images, diffraction des rayons X).

**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

**Encadrement :** Philippe Lours (05 63 49 30 78) [philippe.lours@mines-albi.fr](mailto:philippe.lours@mines-albi.fr)  
Etienne Copin (05 63 49 30 74) [ecopin@mines-albi.fr](mailto:ecopin@mines-albi.fr)

**Période :** Mars 2019 – Juin/ Août 2019 (4-6 mois)

**Rémunération:** 531 €/mois