

Ecole Nationale d'Ingénieurs de TARBES

Laboratoire Génie de Production

Proposition d'étude Post-doctorale portant sur :

Caractérisation de l'adhérence de revêtements électrolytiques de chrome pour l'aéronautique

Mots clés : revêtements, adhérence, interfaces, rupture, caractérisation microstructurale, traitement thermique, modélisation Éléments Finis, simulation numérique.

Contexte : Dans le secteur aéronautique, les traitements de protection des pièces métalliques comme notamment le traitement de chromage dur pour une protection anti-usure, mettent en œuvre des substances à base de chrome hexavalent classées CMR (Cancérogène, Mutagène, Reprotoxique) et visées par la directive européenne REACH. Ces substances sont soumises à autorisation depuis septembre 2017, pour une durée limitée de 7 ans, ce qui repousse leur interdiction d'utilisation à septembre 2024. En plus d'être limitée dans le temps, cette autorisation s'accompagne de nombreuses restrictions qui complexifient l'utilisation de ces substances, aboutissant à l'arrêt de ces traitements. La présente étude est une contribution à la qualification, pour le domaine aéronautique, de revêtements obtenus par un procédé de chromage non concerné par la directive REACH.

Ces travaux s'inscrivent dans le cadre du projet PROCZYMA (PROChain SYstème de Management d'Air) qui a pour objectif de développer les systèmes d'air et les briques technologiques associées qui équiperont les futurs avions, en vue de réduire l'empreinte environnementale et le coût d'opération par passagers. Plus précisément, ce travail post-doctoral s'inscrit dans l'axe « mise en œuvre de nouveaux procédés de fabrication » et surtout dans la caractérisation des propriétés des revêtements de chrome et de leur adhérence sur des substrats Inconel.

Méthodologie : Ces travaux concernent la caractérisation de revêtements obtenus par un procédé électrolytique à base de chrome trivalent permettant de former des dépôts de chrome métallique par application d'un courant continu. L'approche, principalement expérimentale vise à caractériser l'influence des paramètres opératoires sur les propriétés intrinsèques des revêtements et sur leur adhérence. Les dépôts seront réalisés par voie aqueuse. Des travaux similaires ont déjà été réalisés pour des revêtements de chrome sur substrats en acier ([1, 2, 3] et thèse R. Guillon). Dans le cadre de ce post-doc l'ambition est d'adapter le procédé pour réaliser des revêtements sur substrat Inconel.

Les analyses se focaliseront, d'une part, sur l'évolution de la microstructure des dépôts avant et après post-traitements thermiques, aux différentes échelles et d'autres parts sur leurs propriétés mécaniques. Différents moyens expérimentaux seront mis en œuvre pour caractériser les propriétés intrinsèques des couches élaborées mais aussi pour caractériser l'adhérence de ces couches à leur substrat. Dans ce but, différents types

d'essais utilisent des configurations mécaniques standards (traction, compression, etc.) pour fracturer la couche. Des essais *in-situ*, sous MEB sont aussi envisagés. Pour remonter aux propriétés d'adhérence, on utilise généralement des modèles analytiques issus de la mécanique de la rupture. Si ces méthodes sont souvent rapides et efficaces, elles sont basées sur des hypothèses simplificatrices fortes en termes de géométrie, conditions aux limites et lois de comportements des matériaux. Pour aller au-delà et enrichir les méthodologies, une alternative efficace pourra être la mise en œuvre de modélisation numérique non linéaire basée sur la méthode des éléments finis.

Profil & Conditions : personne titulaire d'un doctorat en mécanique des matériaux ayant une bonne culture expérimentale notamment concernant la caractérisation des couches minces et de leur adhérence. Une bonne aptitude aux travaux expérimentaux est fortement souhaitée des connaissances dans le domaine de la modélisation éléments finis seraient un plus.

- Statut salarié (CDD 1 an).
- L'emploi est basé au LGP, à l'École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes (ENIT).

Personnes à contacter : Envoyer CV, lettre de motivation, copie des diplômes et rapports de soutenance à Messieurs Olivier Dalverny (olivier.dalverny@enit.fr), Joel Alexis (joel.alexis@enit.fr) et Yannick Balcaen (yannick.balcaen@enit.fr) enseignants chercheurs au Laboratoire Génie de Production.

Bibliographie :

- [1] Guillon R, Balcaen Y, Fori B, Gazeau C, Dalverny O, Alexis J. Damage Mechanism of Trivalent Chromium Coatings under Tensile Stress. *Coatings*. 2023; 13(7):1194. <https://doi.org/10.3390/coatings13071194> (IF 3,4)
- [2] Guillon R, Stéphan C, Balcaen Y, Josse C, Fori B, Dalverny O, Alexis J. An Estimation of Local Residual Stresses in Amorphous and Crystallized Trivalent Chromium Coatings. *Coatings*. 2023; 13(1):124. <https://doi.org/10.3390/coatings13010124> (IF 3,12)
- [3] Guillon R., Dalverny O., Fori B., Gazeau C., & Alexis J. (2022). Mechanical Behaviour of Hard Chromium Deposited from a Trivalent Chromium Bath. *Coatings*, 12(3), 354. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/coatings12030354>