

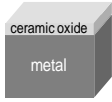
Matériaux Ultra Haute Température : Optimisation thermomécanique d'un Matériau à Gradient de Propriétés (MGP)

L. Sévin (louise.sevin@onera.fr)

A. Julian-Jankowiak (ONERA), J.F. Justin (ONERA), N. Pelletier (ONERA), P. Bertrand (ICB), C. Langlade (ICB), T. Lienart (CNES)

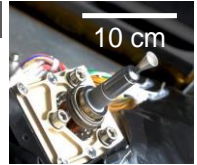
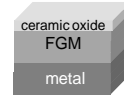
Contexte

Repositionnement orbital des satellites par propulsion chimique → Hydrazine (composé CMR) → Restriction par REACH
Développement d'un nouvel ergol à faible innocuité et performances améliorées → $T_{\text{flamme}}=2700^{\circ}\text{C}$ et espèces oxydantes



Système actuel (technologie 1990')
dé laminage de la couche en céramique oxyde
procédé CVD

Futur système
gradient de propriétés
autre procédé



Objectif : Optimiser un MGP réalisé par projection plasma sous air résistant au cyclage thermique haute température sous espèces oxydantes

Faisabilité d'un MGP (métal réfractaire/céramique oxyde) via la projection plasma sous air (APS)

- Faible coût
- Forme complexe
- Matériaux réfractaires
- Variance des paramètres

- Oxydation de la poudre métallique

- Influence de la densité de la poudre

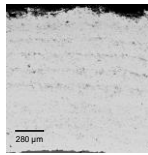
Observation d'un dépôt
métallique post-APS

Mise en place d'un TT spécifique

Projection bi-poudre (pure/poudre composite)

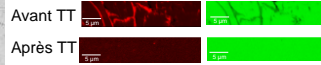


Dépôt sur un substrat sacrificiel

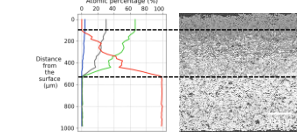


Observation EDX

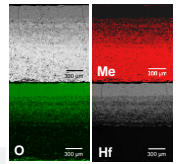
Oxygen (Ka) Metal (Ka)



→ Elimination des oxydes



→ MGP homogène, fissures verticales



Etude expérimentale des mécanismes de dégradation et de l'influence du design sous cyclage thermique

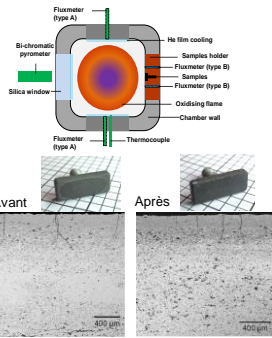
Paramètres de design étudiés : épaisseurs du gradient et de la céramique, transition du gradient, température de TT

Sur banc de combustion (4x25sec)

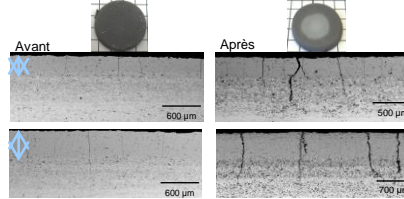
H_2/O_2 produits de combustion (74% in mass. of H_2O) et 10 bar, $T_{\text{échantillon}} = 1200^{\circ}\text{C}$ avec $T_{\text{flamme}} = 1700^{\circ}\text{C}$

Sur banc laser haute puissance (3x100sec)

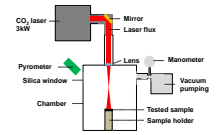
sous atmosphère neutre, $T_{\text{échantillon}} = 1800^{\circ}\text{C}$



- Pas de discrimination du design
- Pas de fissures horizontales
- Pas de dé laminage
- Pas d'oxydation
- Pas de variation de masse ou de dimension



- Après quelques cycles (sous atmosphère oxydante ou gaz neutre) pas de dé laminage
- Fermeture des fissures (avec blocage potentiel de l'oxydation ?)
- Pas de discrimination des variables, augmentation du nombre de cycles..., atmosphère plus agressive...



- Pas de discrimination du design
- Pas de fissures horizontales
- Pas de dé laminage

Optimisation numérique du design défini par les mécanismes de dégradation observés

Mesure des propriétés thermo-mécaniques des matériaux élaborés

Identification des mécanismes de dégradation
- création de fissures au TT
- fissures horizontales?
- oxydation/dégradation de la couche métallique?

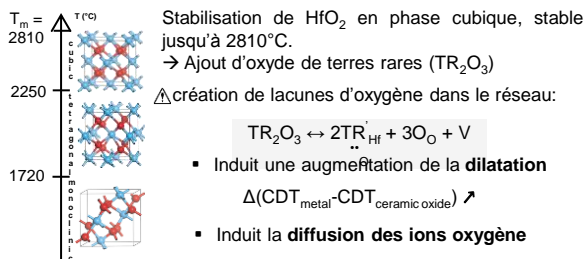
Modélisation par éléments finis du mécanisme de dégradation le plus préjudiciable

COMSOL MULTIPHYSICS
Analyse des contraintes thermo-mécaniques résultantes

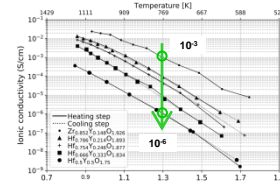
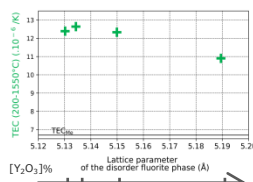
Optimisation par un algorithme génétique

Fonction objectif déterminée à MATLAB
analyse des mécanismes de dégradation

Optimisation des propriétés intrinsèques de la céramique (HfO_2) afin de minimiser les dégradations



Influence du taux de dopant (HfO_2 -x%mol. Y_2O_3)



- ↑ taux de dopant
- ↘ dilatation
- ↘ conductivité

Influence de la nature du dopant : ↑ rayon ionique ↑ dilatation ↘ conductivité

Influence du nombre de dopant : ↑ complexification du système ~conductivité ~dilatation

→ Un fort taux de TR_2O_3 avec un rayon ionique proche de l'ion hôte :

- faible distorsion (faible dilatation)
- association de paires de défauts (pièges à oxygène, faible conductivité)