

# Comportement en flexion 4 points à température moyenne (350°C-550°C) d'alliage base nickel. Etude de la fissuration et du rôle de la vapeur d'eau

Abdallah Haouam

Laboratoire Roberval

Directeur(s) de Thèse : Pr Gérard Moulin (UTC) et Pr Bachir Merzoug (U. Annaba)

## Objectif

Les interactions mécaniques – oxydation des alliages base nickel font incessamment l'objet de travaux de recherche. L'influence de l'hydrogène sur la propagation des fissures, la sensibilité à la corrosion sous contrainte à haute température particulièrement de l'alliage 600, sont autant de facteurs suscitant la curiosité des scientifiques afin de cerner l'origine de la dégradation de ces matériaux et surtout suivre leur comportement en utilisation.

L'intérêt croissant porté de nos jours à l'émission acoustique (EA) dans le monde scientifique et industriel comme technique de suivi en temps réel de l'évolution des défauts actifs dans les matériaux nous a incités à considérer cette technique pour le suivi de l'alliage 600 sollicité en flexion 4 points, dans l'intervalle de température 350°C-550°C, afin de représenter les conditions de fonctionnement des générateurs de vapeur des centrales nucléaires, dans lesquelles cet alliage est utilisé. Pour cela, un montage spécifique adapté à une machine d'oxydation sous contrainte mécanique a été mis en oeuvre. En complément, les divers paramètres d'influence tels que la température, l'état de surface, ainsi que l'atmosphère (vide, air, oxygène et vapeur d'eau) ont été explorés. L'ensemble des résultats issus d'essais expérimentaux originaux ont permis d'élaborer un modèle de comportement thermomécanique de l'alliage base nickel 600.

## Méthodes et résultats

Méthodes expérimentales utilisées :

- > Thermogravimétrie
- > Observations microstructurales (MO, MEB...), caractérisation par DRX, EBSD et SDL
- > Sollicitations thermomécaniques (flexion 4 points dans l'intervalle 350°C- 550°C) sous atmosphère contrôlée
- > Suivi in-situ par émission acoustique des essais de flexion

Il ressort qu'à partir des essais d'oxydation isotherme effectués sous air synthétique, le gain de masse enregistré et l'épaisseur du film d'oxyde Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtenus respectivement par l'analyse thermogravimétrique (ATG) et la spectrométrie à décharge lumineuse (SDL) sont très faibles quelque soit la température (350°C à 800°C) ; ceci démontre la très faible réactivité du matériau dans de telles conditions. Quant à l'influence du chargement mécanique, les résultats des tests de flexion 4 points effectués sous vide secondaire suivis par émission acoustique sur des éprouvettes d'alliage 600, révèlent l'absence totale d'endommagement. La présence d'oxygène ou de vapeur d'eau révèle en revanche une modification du comportement du matériau caractérisé par des signaux acoustiques d'amplitudes élevées et des caractéristiques mécaniques atténuées, synonyme d'une attaque corrosive. Il s'agit d'une corrosion intergranulaire, localisée au niveau des joints de grains, confirmée par analyse DRX et MEB.

A l'aide des résultats de flexion 4 points, sous une atmosphère contrôlée, dans l'intervalle 350°C-550°C, un

modèle de comportement viscoplastique de l'Inconel 600, basé sur la loi de Norton est proposé.

## Retombées et valorisation

La démarche mise en œuvre grâce à différents outils d'investigations apporte une contribution originale à la compréhension des processus réactionnels et à leur impact sur le comportement mécanique, car elle associe expérimentations et simulations numériques.

L'implémentation du modèle dans le code Femlab, conduit à une approche intéressante de la déformation du matériau. Couplée à une démarche inverse, elle permet d'approcher avec une bonne précision les courbes Force/Déflexion expérimentales, permettant de proposer une loi de comportement mécanique du matériau.

### Communications :

Ce travail a fait l'objet de plusieurs communications, notamment :

> "Comportement mécanique de l'alliage 600 en flexion quatre points entre 350 et 550°C"

A.Haouam, H. Morillot, J. Favergeon, G.Moulin, B. Merzoug. CISGM 4 de Tlemcen Mai 2006

> "Analyse des signaux détectés par émission acoustique sur l'Inconel 600 sollicité en flexion 4 points sous atmosphère contrôlée"

A.Haouam, G.Moulin J. Favergeon, B. Merzoug 9eme Congrès de Mécanique de Marrakech Avril 2009

### Publications :

> "Comportement thermomécanique de l'alliage 600 en flexion 4 points"

A.Haouam, H. Morillot, J. Favergeon, G.Moulin, B. Merzoug. Revue Synthèse Vol.16, 87-95 Université d'Annaba 2007.

> "Caractérisation de l'inconel 600 sollicité en flexion 4 points"

A. Haouam, G. Moulin, J. Favergeon, B. Merzoug. Revue de Mécanique Appliquée et Théorique Vol.1, 10. 737-747 Marrakech 2008.



UMR UTC/CNRS 6253

