

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Effet de l'érouissage sur la diffusion et le piégeage de l'hydrogène dans les alliages de nickel

Référence : **MAS-DMAS-2024-02**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 01/10/2024

Date limite de candidature : 01/10/2024

Mots clés

Hydrogène, métallurgie, microstructure, mécanique, diffusion, thermodynamique

Profil et compétences recherchées

Master recherche ou ingénieur en science des matériaux, de préférence spécialité métallurgie.

Capacité à effectuer des travaux expérimentaux indispensable. Compétences en calcul numérique souhaitées.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Diminuer les émissions polluantes dans l'aéronautique nécessite de recourir à des carburants alternatifs au kérosène. L'hydrogène est une des pistes envisagées par les industriels du secteur, en France comme à l'international. En particulier, Airbus et Safran travaillent au développement d'un démonstrateur d'avion à turboréacteur utilisant l'hydrogène comme carburant, prévu pour 2035. L'un des défis à relever concerne la résistance des matériaux : il est notamment nécessaire de déterminer comment leur comportement sera affecté par la présence d'hydrogène dans le circuit d'alimentation carburant. Dans ce contexte, l'ONERA met en place un programme de recherche sur les interactions hydrogène-matériaux.

La fragilisation par l'hydrogène des alliages métalliques est un phénomène complexe qui met en jeu de multiples interactions entre microstructure, mécanique et environnement. D'un côté, la présence d'hydrogène dans un alliage affecte l'émission et le mouvement des dislocations, et donc la capacité de l'alliage à se déformer plastiquement ; de l'autre, les dislocations constituent des pièges pour l'hydrogène, et ont donc une influence sur son transport et sa distribution dans l'alliage. Les cinétiques d'absorption/désorption de l'hydrogène dépendent fortement de la microstructure du matériau. Par ailleurs, les matériaux d'intérêt peuvent être sujet à des cycles thermomécaniques ; leur microstructure est donc susceptible de varier dans le temps et dans l'espace. En l'état actuel des connaissances, malgré de nombreuses études sur le sujet, la compréhension des phénomènes ainsi que la prédiction du comportement mécanique des alliages métalliques en présence d'hydrogène demeurent très incomplètes.

Ce sujet de thèse vise à étudier l'impact de l'hydrogène sur les matériaux utilisés entre le circuit d'alimentation carburant et la turbine (échangeur de chaleur, injecteur), en particulier, les alliages à base de nickel tels que l'Inconel 718. Le principal objectif sera d'améliorer la compréhension de l'effet de l'érouissage sur le transport et la distribution/redistribution de l'hydrogène au niveau des défauts microstructuraux. On s'intéressera en particulier à des conditions anisothermes, dans lesquelles l'alliage pourra visiter différents régimes de diffusion-piégeage. On cherchera également à déterminer les modèles et les paramètres thermo-cinétiques pertinents pour décrire l'interaction hydrogène-matériau dans ces conditions.

L'orientation de la thèse sera principalement expérimentale, bien que des simulations numériques soient également envisagées. La thèse sera organisée de la manière suivante :

- 1) Étude bibliographique de la fragilisation par l'hydrogène des alliages de nickel.
- 2) Préparation d'échantillons à différents degrés d'érouissage par des traitements mécaniques et thermiques.
- 3) Analyse des microstructures par microscopie électronique.
- 4) Chargement en hydrogène des échantillons par voie électrochimique ou gazeuse.

5) Mesure de la concentration d'hydrogène absorbé, des cinétiques de désorption et de la distribution de l'hydrogène dans les différents sites microstructuraux de l'alliage par analyses spécifiques couplées (dosage par fusion, thermodésorption - TDS, perméation).

6) Calcul des paramètres cinétiques de l'interaction hydrogène-matériau à partir des résultats expérimentaux, par simulation du phénomène de diffusion-piégeage.

Les travaux expérimentaux seront réalisés principalement par l'étudiant-e. En ce qui concerne l'analyse des résultats, l'étudiant-e pourra s'appuyer sur des outils logiciels déjà disponibles, et pourra également être amené à travailler à l'amélioration de ces outils. Il-elle sera amené-e à collaborer avec diverses équipes au sein de l'ONERA, mais aussi au CEA de Saclay. Les résultats de la thèse seront exposés lors de conférences nationales et internationales, et publiés dans des journaux scientifiques à fort impact.

Les résultats ainsi obtenus serviront à terme à alimenter des modèles couplés diffusion-mécanique, visant à simuler le comportement et la durée de vie des alliages de nickel en environnement hydrogène, particulièrement dans les applications aéronautiques. Les connaissances et démarches scientifiques acquises dans cette thèse pluridisciplinaire, à l'interface entre l'expérimental et la simulation, pourront être appliquées et valorisées dans les secteurs académique et industriels, au-delà du domaine aéronautique (spatial, nucléaire, métallurgie, chimie, ...).

L'étudiant-e sera basé-e à l'ONERA Châtillon, et sera amené à se rendre ponctuellement au CEA Saclay.

Collaborations envisagées

Frantz Martin, CEA Saclay

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Matériaux et Structures

Lieu (centre ONERA) : Châtillon

Contact : Thomas Gheno

Tél. : 01 46 73 46 99 Email : thomas.gheno@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Frantz Martin

Laboratoire : CEA / SCCME / LECA

Tél. : 01 69 08 48 86

Email : frantz.martin@cea.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>