

Etude de la diffusion de l'hydrogène dans les alliages de zirconium des gaines de combustibles nucléaires et de son interaction avec le chargement mécanique.

Contexte

Les crayons de combustible insérés dans le cœur des réacteurs nucléaires de puissance utilisent des gaines en alliage de zirconium assurant une étanchéité entre le combustible et l'eau du circuit primaire. Ces gaines s'oxydent et s'hydrurent progressivement lors de leur exploitation en réacteur. L'hydrogène a un effet néfaste reconnu sur la tenue mécanique des gaines de combustible générant des préoccupations de sûreté en situations accidentelles.

Sujet

La thèse proposée consiste à étudier l'incorporation puis la diffusion de l'hydrogène dans les gaines subissant des chargements mécaniques.

Un premier volet sera consacré à l'étude des mécanismes activés lors de l'incorporation de l'hydrogène dans la gaine. Les techniques de laboratoire actuelles s'appuient sur des hydrurations artificielles visant à obtenir différentes conditions d'intérêt pour la simulation du comportement des gaines en conditions de fonctionnement normal et accidentel des réacteurs. Lors de chargement en hydrogène par voie gazeuse, on constate un ensemble de phénomènes qui soulèvent encore de nombreuses questions sur les mécanismes activés. Ainsi on visera à caractériser les conditions et les raisons pour lesquelles on atteint des teneurs excédant sensiblement la solubilité connue en hydrogène des alliages de zirconium. On visera également à caractériser quantitativement la distribution en hydrogène dans l'épaisseur de la gaine à l'issue de ces chargements afin de déterminer le rôle de la formation d'une couche mince d'hydrures métalliques sur la diffusion de l'hydrogène dans le métal (rôle de barrière de diffusion suspecté). Une technique de caractérisation de ce profil radial en hydrogène dans un tube sera mise en œuvre et qualifiée. Une modélisation de l'incorporation et de la diffusion sera développée en support à l'interprétation et à la spécification des conditions de chargement. L'objectif de ce premier volet est la réalisation maîtrisée de dépôts d'hydrures de zirconium présentant une distribution dans l'épaisseur de la gaine ainsi qu'observé dans les gaines irradiées.

Le second volet portera sur la réalisation et l'interprétation d'essais de diffusion d'hydrogène dans les domaines de température de transformation de phase $\alpha/\alpha+\beta$, dans une gaine préalablement chargée uniformément en oxygène. En effet, dans le cadre des études sur les accidents de perte de réfrigérant primaire (APRP), les phénomènes associés à la diffusion d'hydrogène et à sa mobilité sont encore mal connus et on visera tout d'abord à les caractériser. On peut en particulier souligner que les joints de grains semblent jouer un rôle clef sur la diffusion de l'hydrogène. L'IRSN est engagé sur la modélisation du comportement de l'hydrogène et de l'oxygène dans une matrice de zirconium à l'échelle atomique et en particulier sur la modélisation des changements de phases précédemment évoqués. L'étude sera ensuite étendue à l'influence d'un chargement mécanique : des essais imposant des efforts mécaniques constants pendant la diffusion de l'hydrogène à haute température seront menés. Certains essais seront menés jusqu'à rupture des éprouvettes de façon à caractériser l'endommagement du matériau.

Profil recherché :

Etudiant ayant validé un Master recherche en **matériaux**. Une compétence en mécanique serait appréciée.

Le Laboratoire d'accueil : LE2M

L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire est un EPIC de 1400 employés environ disposant d'une Direction de Recherche en Sûreté au sein du Pôle Sûreté Nucléaire implantée sur le site du CEA Cadarache. Cette direction dispose d'un effectif d'environ 150 personnes afin de mener à bien les études et recherches sur le comportement des réacteurs en situation accidentelle. Le service d'accueil, le SEREX, réalise des études et recherches expérimentales. Le laboratoire d'accueil, le LE2M, élabore et réalise un important volet études sur le comportement des gaines de combustible en situation accidentelle.

Contact:

Encadrement: Jean Desquines
☎ 04 42 19 94 90
✉ jean.desquines@irsn.fr

Laboratoire : IRSN/DPAM/SEREM/LE2M
Bât. 702
B.P.3
13115 Saint-Paul-Lez-Durance Cedex

Moyens expérimentaux du LE2M mis en œuvre :

- Banc de chargement en hydrogène,
- Dilatomètre (transformation de phase $\alpha+\beta$ en présence d'hydrogène),
- Microsonde de Castaing,
- Four vertical APRP (Ottawa),
- Machine mécanique
- Analyseur ONH ,
- Equipements de laboratoire de métallographie

On pourra envisager de s'appuyer sur des équipements externes afin de caractériser les échantillons. Les techniques envisageables a priori sont : l'ERDA, l'utilisation de MEB et de MET.

Partenariat envisagé

INSA Lyon -
Marie-Christine Baietto
Directrice de Recherches CNRS
Equipe Mécanique des Solides et des Endommagements, spécialisée dans les études de couches minces.

Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures
INSA de Lyon - CNRS UMR5259
Bâtiment Jacquard 2ème étage
27 Av, Jean Capelle F69621 Villeurbanne Cedex
T. 33 4 72 43 84 49
F. 33 4 72 43 89 13

L'INSA de Lyon dispose d'un équipement complémentaire du dilatomètre du LE2M (machine « Gleeble » permettant l'application d'efforts mécaniques plus élevés que ceux du dilatomètre) qui sera notamment utilisé dans le second volet de la thèse.

Co-financement envisagé

EDF, dans le cadre de la fiche APRP du tripartite.