

Soutenance de thèse

Arthur HELLOUIN DE MENIBUS

Formation de blisters d'hydrures et effet sur la rupture de gaines en Zircaloy-4 en conditions d'accident d'injection de réactivité

Titre anglais : Hydride Blister Formation and Induced Embrittlement Zircaloy-4 Cladding Tubes in Reactivity Initiated Conditions

Date de soutenance: lundi 3 décembre 2012 à 14h00

Adresse de soutenance : Amphithéâtre de Neurospin CEA Saclay - DSV / I²BM / NeuroSpin
Bâtiment 145 91 191 Gif-sur-Yvette cedex -

devant le jury composé de :

Clothilde Berdin	Professeur	Université Paris-Sud 11	Rapporteur
François Hild	Directeur de recherche CNRS	LMT-Cachan	Rapporteur
Martine Blat-Yrieix	Ingénieur	EdF R&D	Examineur
Jean-Marc CLOUÉ	Docteur	AREVA	Examineur
Arthur Motta	Professeur	The Pennsylvania State University	Examineur
Quentin Auzoux	Docteur	CEA Saclay	Examineur
Jacques Besson	Directeur de recherche CNRS	Centre des Matériaux, Mines ParisTech	Examineur

Mots clés en français : Zircaloy-4,RIA,Thermodiffusion,Hydrogène et blister d'hydrures,Dissipation du travail plastique,Taux de biaxialité

Mots clés en anglais : Zircaloy-4,RIA,Thermodiffusion,Hydrogen and hydrides blister,Plastic work dissipation,stress state

Résumé de la thèse en français

Ce travail vise à étudier la rupture du gainage avec des essais mécaniques plus représentatifs des conditions RIA, en prenant en compte les blisters d'hydrures ainsi que le niveau élevé de biaxialité du chargement mécanique et des vitesses de déformation. Nous avons formé par thermodiffusion en laboratoire des blisters similaires à ceux observés sur des gaines de Zircaloy-4 irradiées en réacteur. Les caractérisations par métallographie, nanodureté, DRX et ERDA ont montré qu'un blister est constitué d'hydrures delta dont la concentration dans la matrice varie entre 80% et 100%, et que la matrice sous-jacente contient des hydrures radiaux. Nous avons modélisé la cinétique de croissance des blisters avec l'hystérésis de la limite de solubilité de l'hydrogène, puis défini le gradient thermique seuil permettant leur formation.

Notre étude sur le comportement dilatométrique du zirconium hydruré montre le rôle important de la texture cristallographique du matériau, ce qui peut expliquer des différences de morphologie des blisters. En parallèle, des essais suivis par caméra infrarouge ont montré que des vitesses de déformation supérieures à 0,1/s induisent des échauffements locaux importants qui favorisent la localisation précoce de la déformation. Enfin, nous avons optimisé l'essai d'Expansion Due to Compression pour atteindre un niveau de biaxialité de déformation plane (essais HB-EDC et VHB-EDC), ce qui réduit fortement la déformation à rupture à 25°C et 350°C, mais seulement en l'absence de blisters. Un critère de rupture est proposé pour rendre compte de la baisse de ductilité des gaines en Zircaloy-4 non irradiées en présence de blisters.

Résumé de la thèse en anglais

Our aim is to study the cladding fracture with mechanical tests more representative of RIA conditions, taking into account the hydrides blisters, representative strain rates and stress states. To obtain hydride blisters, we developed a thermodiffusion setup that reproduces blister growth in reactor conditions. By metallography, nanohardness, XRD and ERDA, we showed that they are constituted by 80% to 100% of delta hydrides in a Zircaloy-4 matrix, and that the zirconium beneath has some radially oriented hydrides. We modeled the blister growth kinetic taking into account the hysteresis of the hydrogen solubility limit and defined the thermal gradient threshold for blister growth. The modeling of the dilatometric behavior of hydrided zirconium indicates the important role of the material crystallographic texture, which could explain differences in the blister shape. Mechanical tests monitored with an infrared camera showed that significant local heating occurred at strain rates higher than 0.1/s. In parallel, the Expansion Due to Compression test was optimized to increase the biaxiality level from uniaxial stress to plane strain (HB-EDC and VHB-EDC tests). This increase in loading biaxiality lowers greatly the fracture strain at 25°C and 350°C only in homogeneous material without blister. Eventually, a fracture criterion of unirradiated Zircaloy-4 cladding tube taking into account the blister depth is proposed.