



Offre de thèse au LITEN/LCA (CEA-Grenoble) et Centre SMS – UMR CNRS 5307 (Mines Saint-Etienne)

Comportement en fatigue d'aciers faiblement alliés sous mélange de Gaz Naturel et d'Hydrogène sous pression

Contexte et présentation de la thèse

Dans le cadre de développements futurs, GRTgaz s'intéresse aux possibilités d'introduction d'hydrogène dans son réseau de gaz naturel. Afin de garantir la sécurité du réseau, il est nécessaire d'évaluer les effets du mélange gazeux hydrogéné sur le comportement des aciers constituant les canalisations, notamment sous sollicitations cycliques. Le laboratoire LITEN/LCA du CEA/GRENOBLE est actuellement impliqué dans une étude pour GRTgaz visant à déterminer le comportement de ces aciers dans des mélanges GN/H₂ afin d'améliorer la prédiction des durées de vie de ces composants en service. Pour ce faire, des essais de fatigue oligocyclique et de propagation de fissure de fatigue sont menés sous différentes pressions de ces mélanges. Le centre SMS de l'école des Mines de Saint-Etienne s'associe au laboratoire LITEN/LCA dans la réalisation de cette étude, avec pour objectif d'approfondir la compréhension des interactions hydrogène/plasticité cyclique et des mécanismes de fragilisation par l'hydrogène (FPH) de cette famille d'aciers faiblement alliés. Les résultats devraient permettre in fine une meilleure estimation des teneurs en hydrogène admissibles dans le réseau de GRTgaz.

Travaux de thèse

Le travail proposé dans cette étude consiste à caractériser de manière approfondie le comportement en fatigue d'aciers faiblement alliés en présence d'un mélange GN+%H₂; plusieurs teneurs en hydrogène seront explorées. Une première partie de l'étude concernera le comportement en fatigue propagation à l'échelle macroscopique à l'aide d'éprouvettes pré-fissurées de type mécanique de la rupture. Les conditions de chargement visées ici sont en déformation plane et les analyses s'appuient sur la Mécanique Linéaire de la Rupture. On déterminera en particulier les lois de Paris en fonction des diverses teneurs en hydrogène, et les ΔK_{th} de transition au-delà duquel les effets de l'hydrogène deviennent sensibles. Des analyses plus qualitatives s'intéresseront aux modes de fissuration caractéristiques. Ces résultats seront comparés au comportement sous air des aciers étudiés. Une deuxième partie aura pour objet l'étude plus approfondie des mécanismes d'amorçage et de propagation de fissures courtes de fatigue à partir d'essais de fatigue oligocyclique. Il s'agira dans un premier temps d'étudier la localisation de la déformation plastique en surface lors d'essais sous air. Les aciers seront sollicités sous diverses amplitudes de déformation plastique. Les lois d'écrouissage cyclique seront déduites de ces essais. Les bandes de glissement émergeant à la surface seront utilisées comme indicatrices de la déformation plastique. Une étude statistique basée sur la morphologie des bandes de glissement permettra de déterminer les paramètres cristallographiques et/ou morphologiques (zone perlitique ou ferritique) les plus favorables à la localisation de la déformation plastique, ce qui constitue le premier stade d'endommagement. Les outils d'analyse seront le MEB FEG, EBSD et AFM. Dans un deuxième temps, on étudiera les interactions entre l'endommagement en fatigue et l'action de l'hydrogène gazeux. Des essais de fatigue oligocyclique seront menés dans les différents milieux hydrogénés utilisés précédemment. Les essais seront



interrompus à différents nombre de cycles pour étudier l'endommagement jusqu'à l'amorçage des premières fissures de FPH, puis jusqu'à la rupture. Pour ce faire, différentes approches sont envisagées telles que microscopie 3D, MEB-FEG, EBSD, lames FIB observées au MET notamment pour mettre en évidence l'évolution des structures de dislocations avec le nombre de cycles et les effets de l'hydrogène sur celles-ci. Les résultats obtenus seront discutés et confrontés aux mécanismes proposés dans la littérature. L'accent sera porté sur les interactions hydrogène/plasticité, sans négliger l'importance possible des lacunes. En parallèle, des études de perméation gazeuse et de TDS permettront d'étudier les propriétés de diffusion/piégeage de l'hydrogène en fonction de l'évolution de la microstructure des dislocations et de la densité de lacunes.

Une dernière partie cherchera à transférer les informations ainsi obtenues pour adapter les critères d'analyse de défauts de GRTgaz à ces environnements particuliers. De ce fait, des séjours du thésard sont prévus au centre de recherche de GRTgaz (RICE) pour appréhender le guide d'analyse de défauts développé en interne.

Profil du candidat

Le candidat devra être intéressé à la fois par la compréhension des mécanismes physiques en sciences des matériaux et par le comportement mécanique des matériaux métalliques (Sciences des Matériaux, Mécanique, Endommagement).

Laboratoires d'accueil et contacts

- Laboratoire Composants et Assemblages, Liten, CEA/Grenoble
Liten/DTBH/LCA, CEA Grenoble, 17 rue des Martyrs, 38054 Grenoble Cedex 9
Laurent BRIOTTET / co-directeur de la thèse
tel. +33 4 38 78 33 15; e-mail : laurent.briottet@cea.fr
- Ecole des Mines de Saint-Etienne, centre SMS, 158 cours Fauriel – 42023 St-Etienne
Jacques STOLARZ / co-directeur de la thèse
tel. +33 4 77 42 02 70; stolarz@emse.fr
Cédric BOSCH / co-encadrement
tel. +33 4 77 42 00 38; bosch@emse.fr

Ecole doctorale

ED 488 - Ecole Doctorale Sciences, Ingénierie, Santé (SIS) Saint Etienne

Durée et date de début

3 ans, début au plus tôt le 1^{er} septembre