

Rupture par clivage des aciers inoxydables ferritiques 18Cr-2Mo : influence de la précipitation et de la taille des grains

Lucie JACQUET

Sous la direction de M. Mantel, R. Estvez et M. Braccini
Co-encadrée par N. Meyer et M. Libert (Ugitech)

Jeudi 11 février 2021 à 10h00

Amphithéâtre MJK / visioconférence

Jury :

Anne-Françoise GOURGUES-LORENZON, Professeur, Mines ParisTech, rapporteur
Eric ANDRIEU, Professeur, CIRIMAT-ENSIACET, rapporteur
Damien FABREGUE, Professeur, INSA Lyon, examinateur
Jean-Hubert SCHMITT, Professeur émérite, Centrale-Supelec, examinateur

Résumé : Parmi les nombreuses nuances d'aciers inoxydables, les nuances ferritiques sont utilisées dans de nombreux secteurs grâce à leur résistance à la corrosion et à des propriétés spécifiques comme leur conductibilité thermique ou leurs propriétés ferromagnétiques. Leur teneur résiduelle en nickel en font des aciers économiques en comparaison des aciers austénitiques, plus massivement produits. Toutefois, l'utilisation de cette famille d'aciers en dessous de la température ambiante est limitée par sa fragilité mécanique, la moindre mobilité des dislocations dans le réseau cubique centré rendant l'écoulement plastique plus difficile aux basses températures. La précipitation et la taille des grains sont deux des paramètres microstructuraux qui influent sur la température de transition ductile/fragile des aciers ferritiques. L'objectif de cette thèse est d'étudier et de comprendre l'effet de ces paramètres sur cette température de transition et sur la rupture par clivage des aciers à matrice 100% ferritique contenant 18% de chrome et 2% de molybdène.

Pour ce faire, trois coulées ont été élaborées avec la même teneur en carbone et en azote à laquelle s'ajoute, pour deux d'entre elles, du titane ou du niobium. La gamme de traitements thermomécaniques a été choisie pour fabriquer six microstructures distinctes pour lesquelles varient la taille des grains, la nature et la localisation de la précipitation et la teneur en carbone et en azote en solution solide. Ces microstructures sont caractérisées par microscopies optique et électronique et par diffusion centrale des neutrons aux petits angles. La mise en place d'un essai de traction avec des éprouvettes axisymétriques entaillées permet de déterminer la contrainte de rupture par clivage de chaque microstructure à 20°C et à -40°C, puis de discuter des mécanismes qui régissent la rupture fragile.

Les microstructures élaborées sont finalement classées en deux catégories. Pour les microstructures Ti, Nb et NbG, pour lesquelles l'ajout de titane ou de niobium permet d'éviter la précipitation de carbures et nitrures de chrome, la contrainte de rupture par clivage est dépendante de la taille et de la morphologie des particules intragranulaires. Les Ti(N,C), de 4 à 5 µm au maximum, dont la forme s'apparente à celle d'un cube, rendent la microstructure Ti plus fragile que la microstructure Nb

caractérisée par des Nb(C,N), certes plus nombreux mais de plus petites dimensions. La taille des grains est un facteur de deuxième ordre sur la contrainte de rupture par clivage de ces microstructures comme cela est mis en évidence avec l'étude de la rupture fragile de la microstructure NbG, pour laquelle la taille des grains a été multipliée par 10 par rapport à celle de la microstructure Nb.

Dans les microstructures CrP, Cr et CrO, la présence ou non de carbone et d'azote en solution solide sursaturée et les précipitations intra et intergranulaires sont les conséquences des traitements thermiques choisis. Les précipités dans les joints de grains, même s'ils sont de petites dimensions (quelques dizaines à quelques centaines de nm), modifient significativement l'amorçage de la rupture par clivage. La température de transition ductile/fragile est, au premier ordre, dépendante de la limite d'élasticité des microstructures. La contrainte de rupture par clivage n'est plus dépendante de la taille des particules intragranulaires comme c'est le cas pour les microstructures Ti, Nb et NbG mais de la précipitation aux joints de grains et de la dépendance de la contrainte de friction de réseau à la solution solide (modèle de Smith).

Au vu de ces résultats, des pistes pour limiter la fragilité des nuances ferritiques sont proposées.