

Apport de la tomographie dans l'étude de la fragilisation par l'hydrogène d'un acier de fonderie

A. Yaktiti^{1,3}, O. Valfort², F. Christien¹, J.F Carton³

¹ Mines Saint-Etienne, Univ Lyon , CNRS, UMR 5307 LGF, Centre SMS, F-42023, Saint-Etienne France

² Mines Saint-Etienne, Univ Lyon , CNRS, UMR 5307 LGF, Centre SPIN, F-42023, Saint-Etienne France

³SafeMetal 1 Boulevard de la Boissonnette, 42110 Feurs, France

Courriel : ahmed.yaktiti@emse.fr

La fragilisation par l'hydrogène (F.P.H) est un phénomène complexe dont de nombreux aspects sont encore mal compris à l'heure actuelle. Il a cependant été confirmé que ce phénomène peut provoquer des ruptures brutales de pièces [1] [2].

Dans ce travail, le type d'endommagement qui sera traité est provoqué par l'hydrogène dissous lors de l'élaboration des pièces. Ce type de dégradation est dit endommagement par une source d'hydrogène interne [3]. En effet, pendant l'élaboration des aciers moulés, l'hydrogène provient de différentes sources telles que les ferro-alliages, la chaux, les moules en sables, etc [4]. Cet hydrogène présente généralement une teneur de l'ordre de quelques ppm à l'état liquide (Tableau 1) et il va être "piégé" dans l'acier après solidification.

Tableau 1. Exemples de mesure de concentration d'hydrogène à l'état liquide dans deux nuances d'aciers.

Nuance	H(ppm)
12MnMoV6	4.2
G18NiCrMo3-6	3.9

Lors des essais de traction, les faciès de rupture obtenus présentent des zones de forme circulaire à caractère transgranulaire (Figure 1) [5]. Ce sont des défauts nommés « œils de poisson » qui occasionnent une perte de ductilité [6] [7].

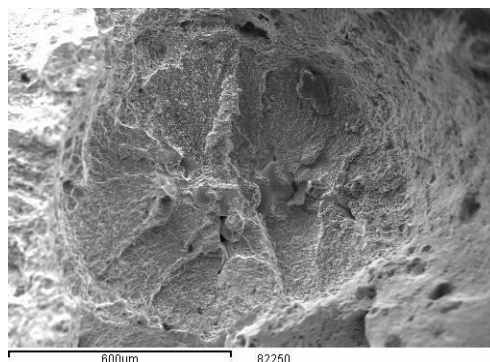


Figure 1. Oeil de poisson sur une surface de rupture d'un acier faiblement allié.

Jusqu'à présent, le mécanisme proposé pour expliquer la formation des œils de poisson est basé sur la théorie de la pression d'hydrogène à l'intérieur des cavités. L'hydrogène atomique diffuse à l'intérieur des cavités pour former de l'hydrogène moléculaire ce qui engendre une augmentation importante en pression. Une fois que cette pression dépasse la limite de résistance du matériau, une fissure se produit et peut conduire à la rupture de la pièce [8] [9].

Les aciers moulés, contrairement aux aciers forgés ou laminés, comportent des porosités d'où l'importance d'investiguer le lien entre les cavités et la formation des œils de poisson. Dans ce travail,

une étude comparative entre des échantillons bruts de fonderie et des échantillons de fonderie forgés à chaud sera réalisée. Ces échantillons sont pris dans la même pièce et ils ont subi les mêmes traitements thermiques, donc, la seule différence doit être la porosité. Afin de vérifier cette hypothèse, il nous faut une technique fiable et robuste de mesure de la porosité. Pour cette raison, on a fait appel à la tomographie à rayons X qui représente un outil incontournable dans notre étude.

La Figure 2 représente deux coupes tomographiques : la tomographie a permis de détecter les cavités présentes dans l'échantillon brut (à gauche) et elle a confirmé l'absence des cavités dans l'échantillon forgé (à droite). Dans un premier temps, cette analyse nous a permis de confirmer que le forgeage à chaud est un moyen sûr pour éliminer la porosité. Ce résultat permettra de mettre en évidence le lien entre la porosité et la formation des oeils de poisson lors des essais de traction, sous chargement en hydrogène, sur des éprouvettes brutes de fonderie et d'autres forgées.

Dans un second temps, grâce à l'analyse tomographique, une reconstruction en 3D est possible ce qui permettra d'estimer le volume des cavités. Cette estimation est très utile afin de corréliser la concentration d'hydrogène à la porosité.

Tous ces informations sont fondamentales afin d'interpréter judicieusement les essais de traction sous chargement en hydrogène et par la suite de pouvoir conclure sur l'effet des cavités dans le processus de F.P.H.

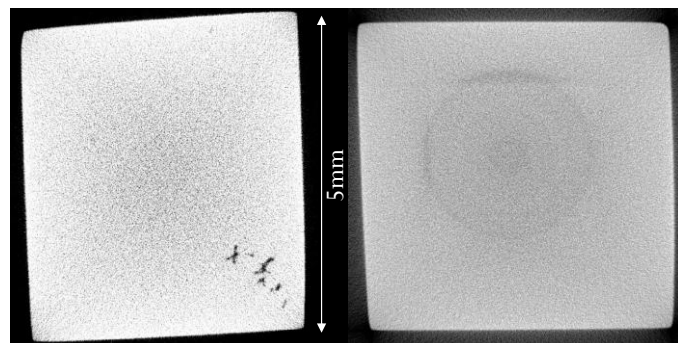


Figure 2. Coupe tomographie X. A gauche, l'échantillon brut de fonderie et à droite l'échantillon forgé

Références

- [1] A.-M. BRASS, J. CHÊNE, et L. COUDREUSE, 10-juin-2000 « Fragilisation des aciers par l'hydrogène : étude et prévention », « *Corrosion Vieillessement* ».
- [2] S. Yamasaki, T. Manabe, et D. Hirakami, 2017 « Analysis of Hydrogen State in Steel and Trapping Using Thermal Desorption Method », n° 116, p. 6.
- [3] J.-G. Sezgin, 2017 « Modélisation de la formation des décohésions dues à l'hydrogène dans l'acier 18MND5 », phdthesis, Université de Lyon.
- [4] J.-M. MASSON, 10-mars-2007 « Élaboration de l'acier moulé - Analyse des processus métallurgiques », « *Mise en forme des métaux et fonderie* ».
- [5] B. I. Voronenko, nov. 1997 « Hydrogen and flakes in steel », *Metal Science and Heat Treatment*, vol. 39, n° 11, p. 462- 470.
- [6] J. Sojka, J. Galland, M. Sozanska, L. Hyspecká, et M. Tvrđy, sept. 2000 « Contribution à l'étude du mécanisme de formation des « œils de poisson » dans les aciers », *Revue de Métallurgie*, vol. 97, n° 9, p. 1083- 1091.
- [7] J. Fan, H. Chen, W. Zhao, et L. Yan, avr. 2018 « Study on Flake Formation Behavior and Its Influence Factors in Cr5 Steel », *Materials*, vol. 11, n° 5, p. 690.
- [8] J. Fan, L. Yan, H. Zhou, et E. Cao, mars 2017 « Variation of cavity hydrogen pressure in the forming process of heavy forging », *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 89, n° 5, p. 1259- 1267.
- [9] S. K. Dwivedi et M. Vishwakarma, nov. 2018 « Hydrogen embrittlement in different materials: A review », *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 43, n° 46, p. 21603- 21616.