

Interactions hydrogène–plasticité dans des aciers ferrito-perlitiques, avec et sans microalliage

Mathias Lamari^{1*}, Anne-Françoise Gourgues-Lorenzon¹, Gaurav R. Joshi²,
Emmanuelle Trela-Baudot², Yazid Madi¹

¹*Mines Paris-PSL University, Centre des Matériaux, CNRS UMR 7633, 78000, Versailles, France*

²*IFP Energies Nouvelles, Rond-Point de l'échangeur de Solaize BP3, 69360, Solaize, France*

**mathias.lamari@minesparis.psl.eu*

Résumé pour : oral

Dans le contexte de la décarbonation des systèmes énergétiques et du développement des infrastructures de transport de l'hydrogène, la fragilisation par l'hydrogène des aciers de pipeline constitue un enjeu scientifique et industriel majeur. Ce travail vise à étudier les interactions entre environnement hydrogène gazeux, mécanismes de plasticité et processus d'endommagement et de rupture dans des aciers ferrito-perlitiques proches des nuances industrielles, pour lesquels les effets couplés plasticité/hydrogène restent encore mal caractérisés.

Deux aciers ferrito-perlitiques de pipeline sont étudiés : l'un microallié au Nb et V, l'autre sans microalliage [1]. En raison de la faible épaisseur et des fortes courbures possibles des structures réalisées avec ces aciers, une méthodologie expérimentale originale a été développée, reposant sur l'utilisation d'éprouvettes miniaturisées [1]. Des mini-éprouvettes ont été testées en traction jusqu'à rupture, soit à l'air, soit sous hydrogène gazeux. Afin de favoriser l'entrée de l'hydrogène, certaines éprouvettes ont été palladiées, et une pré-exposition à l'hydrogène a été appliquée avant les essais.

Les essais ont été réalisés à l'aide d'un dispositif dédié combinant une machine servo-hydraulique et une enceinte pressurisée compacte (jusqu'à 250 bar), équipée d'une extensométrie optique externe et de contrôles stricts de la pureté du gaz. Cette configuration permet une caractérisation fiable de la réponse mécanique des aciers sous hydrogène gazeux [1,2].

Les analyses microstructurales post-mortem par microscopie électronique en transmission (MET) et à balayage (MEB) mettent en évidence l'influence de l'hydrogène sur les mécanismes de déformation plastique, notamment à travers l'évolution des structures de dislocations et la localisation de la déformation à l'échelle microstructurale. L'effet du microalliage Nb–V est analysé en lien avec ces mécanismes. En parallèle, les sites de piégeage de l'hydrogène sont caractérisés par perméation électrochimique et spectroscopie de désorption thermique (TDS) [3]. Les mécanismes de déformation plastique sont ensuite corrélés aux processus d'endommagement et de rupture identifiés par analyses fractographiques. L'ensemble de ces résultats contribue à une meilleure compréhension des mécanismes physiques gouvernant la fragilisation par l'hydrogène des aciers de pipeline.

[1] Y. Madi, L.M. Santana, S. Belkacemi, V. Farrugia, A. Meddour, P-J. Marchais, M. Bertin, J. Furtado, 'Mechanical characterization of hydrogen embrittlement in a gaseous environment: An innovative test setup using sub-size specimens', *Engineering Failure Analysis*, vol. 162, 108362, Aug. 2024

[2] L. M. Santana, V. Okumko, A. King, T. F. Morgeneyer, J. Besson, and Y. Madi, 'Investigating the influence of strain rate on hydrogen embrittlement in steel sub-size tensile specimens using 3D X-ray tomography', *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 138, pp. 626–647, Jun. 2025,

[3] T. Zakroczymski, E. Owczarek, 'Electrochemical investigation of hydrogen absorption in a duplex stainless steel', *Acta Materialia*, vol. 50, pp. 2071-2713, Mar. 2002