

## **Tenacidade à fratura em atmosfera ambiente e sob fragilização por hidrogênio do aço API X70 soldado por FSW**

**Gabriel Severino de Almeida**

**Joseane Moreira Giarola**

**Prof. Dr. Marcelo Falcão de Oliveira**

Universidade de São Paulo – Apoio CNPq

[gabrielsdealmeida1@usp.br](mailto:gabrielsdealmeida1@usp.br)

### **Objetivos**

A partir de simulações em condições ambientais e sob fragilização de hidrogênio, observar os mecanismos de falha dos aços API 5L X70 soldados por FSW, soldagem por atrito com pino não consumível. Busca-se analisar a influência do hidrogênio na fragilização do material, possibilitada pela realização de ensaios de tenacidade à fratura, por CTOD, técnica de abertura da ponta de trinca em regime elastoplástico. Isto, com a visualização dos corpos de prova pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV) e observação do caminho de propagação da trinca.

### **Métodos e Procedimentos**

Para a obtenção de amostras fragilizadas por hidrogênio, corpos de prova do tipo SE(B) foram submetidos a um carregamento catódico, por diferentes tempos, sendo que estes eram feitos de duas, dentre as regiões apresentadas pelo material após a soldagem por FSW, sendo elas: metal base (MB) e zona de mistura (ZM). Os ensaios de tenacidade à fratura para todos os tipos de amostras foram realizados em uma máquina servo-hidráulica, e depois de fraturados, os corpos de prova sofreram uma análise de suas superfícies de fratura pelo MEV. Além disso, eles foram cortados e preparados, passando por lixamento, de granulometria 200 até 2000, e polimento, com o uso de pasta diamantada de  $3\mu$  e  $1\mu$ , sofrendo

também um ataque por Nital 2%. Com isto, as amostras foram para uma análise e geração de imagens pelo microscópio óptico (MO), o que permitiu a construção dos caminhos de propagação de trinca de cada uma das amostras em análise. O foco principal das análises se deu nas regiões próximas ao CTOD.

### **Resultados**

As amostras que passaram pelo carregamento catódico apresentaram uma redução nos valores de CTOD, o que indica redução de suas propriedades mecânicas, no entanto o tempo de carregamento não apresentou tanta influência sobre os resultados. Comparações a partir dos caminhos de propagação de trinca construídos reforçam a influência do hidrogênio na fragilização das amostras, conforme mostram respectivamente as Figuras 1 e 2. As análises do MEV apontaram para uma superfície de fratura com caráter dúctil, com maiores deformações plásticas, para as amostras livres de hidrogênio, enquanto as hidrogenadas apresentaram características da quase-clivagem, com caráter frágil e dúctil, Figura 3. Além disso, os resultados de CTOD e análises do MO apontaram para uma maior resistência à fragilização de hidrogênio pela ZM em relação a MB.

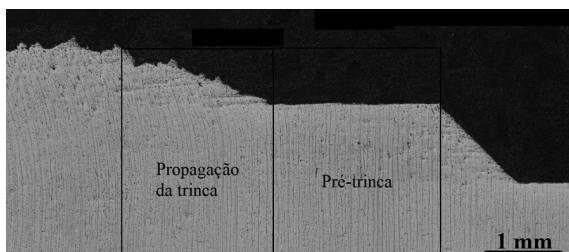


Figura 1: Caminho de propagação de trinca amostra MB livre de hidrogênio.

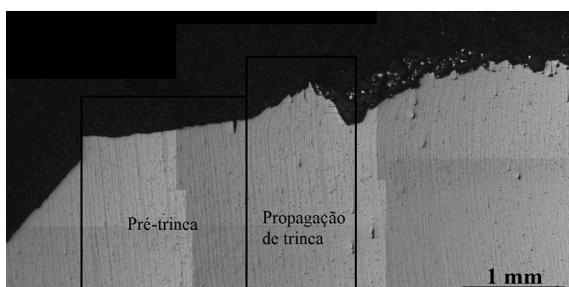


Figura 2: Caminho de propagação de trinca amostra MB hidrogenada.

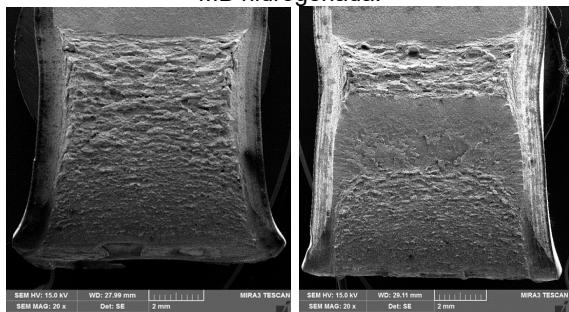


Figura 3: Análise do MEV, amostra em ar (esquerda) e hidrogenada (direita).

## Conclusões

O método de soldagem FSW traz uma menor preocupação com relação às falhas nas regiões soldadas, ainda que aconteça a fragilização por hidrogênio. No entanto, é necessário um maior número de investigações quanto a influência do hidrogênio no material base do aço X70, já que essa região foi mais suscetível a fragilização por hidrogênio, após o processo de soldagem. Em ambas as regiões do material, MB e ZM, o hidrogênio promoveu redução da tenacidade, e mudou o modo de fratura de dúctil para quase clivagem nos dois casos.

## Referências Bibliográficas

AVILA J. A. et al. Determinação da tenacidade à fratura de juntas soldados por atrito com pino

não consumível em chapas de aço API-5L-X80. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2016. DOWLING, N. E. Mechanical Behavior of Materials. 4th. ed. [S. l.: s. n.], 2013. GIORGETTI, V. et al. Stress corrosion cracking and fatigue crack growth of an API 5L X70 welded joint in an ethanol environment. International Journal of Pressure Vessels and Piping, [S. l.], p. 223-229, 9 jan. 2019. NGUYEN, T. T. et al. Hydrogen embrittlement susceptibility of X70 pipeline steel weld under a low partial hydrogen environment. International Journal of Hydrogen Energy. Miami, Florida, United States, p. 23739-23753. set. 2020.