Hidrogenação por Plasma em Descarga Luminescente de Ligas Fe-Cr-Ni

SPANSERKI, Fernanda Rodrigues[1]; de OLIVEIRA, Willian Rafael[1]; de SOUZA, Gelson Biscaia[1]

Universidade Estadual de Ponta Grossa – Departamento de Física[1]

fernandarspanserki@gmail.com[1]

Palavras-Chave: Difração de raios X; descarga luminescente; AISI 316L; IN 718.

Resumo

Este estudo investiga a formação e a metaestabilidade da fase austenita expandida por hidrogênio (γ_H) em duas ligas de interesse tecnológico: o aço inoxidável AISI 316L e a superliga Inconel 718, submetidas a tratamento por plasma em descarga luminescente. As modificações estruturais foram caracterizadas por difração de raios X (DRX), com monitoramento temporal pós-tratamento. Os resultados indicam a formação de γ_H em ambas as ligas, com maior intensidade no AISI 316L, sugerindo maior suscetibilidade à incorporação de hidrogênio. Observou-se decaimento gradual da fase expandida, evidenciando sua metaestabilidade à temperatura ambiente.

I. Introdução

A crescente demanda por hidrogênio verde como vetor energético de baixo carbono enfrenta desafios relacionados ao armazenamento e transporte, devido à fragilização por hidrogênio em materiais metálicos utilizados em dutos e tanques, o que pode comprometer sua integridade estrutural (LI et al., 2024). Nesse contexto, o estudo da interação hidrogênio-metal é essencial para o desenvolvimento de ligas mais resistentes, e o tratamento por plasma em descarga luminescente tem se mostrado uma ferramenta eficaz para introduzir hidrogênio de forma controlada em superfícies metálicas, permitindo simular condições reais de exposição (AKBAR et al., 2024).

Os materiais selecionados foram o aço inoxidável austenítico AISI 316L e a superliga de níquel Inconel 718, amplamente utilizados em setores que exigem alta resistência à corrosão e estabilidade mecânica. A difração de raios X (DRX) é empregada para identificar a formação da fase austenita expandida por hidrogênio (γ_H), caracterizada pelo deslocamento dos picos de difração para ângulos menores, e seu monitoramento temporal permite avaliar a estabilidade da fase e os mecanismos de desidrogenação

(CHUPROSKI et al., 2023). Este trabalho tem como objetivo investigar a formação da fase γ_H nas duas ligas submetidas ao tratamento por plasma, acompanhar sua evolução estrutural ao longo do tempo e estabelecer uma comparação direta entre seus comportamentos, contribuindo para a seleção de materiais mais resistentes à fragilização em ambientes ricos em hidrogênio.

II. Fundamentação Teórica/Materiais e Métodos

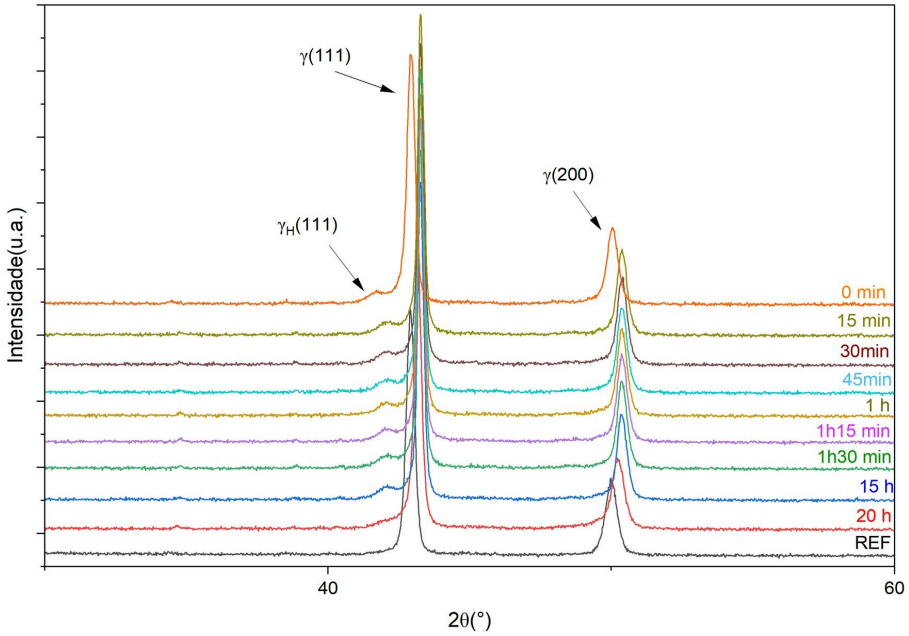
A hidrogenação por plasma em descarga luminescente promove a dissociação do H_2 e a incorporação de hidrogênio atômico na rede cristalina de ligas com estrutura cúbica de face centrada (CFC), como o AISI 316L e o Inconel 718, formando uma solução sólida supersaturada denominada austenita expandida por hidrogênio (γ_H), que causa expansão dos parâmetros de rede e altera propriedades como tensões residuais, dureza e resistência à fragilização (AKBAR et al., 2024; CHUPROSKI et al., 2023). A formação e a evolução temporal dessa fase são monitoradas por difração de raios X (DRX), que detecta o deslocamento dos picos para ângulos 2θ menores devido à expansão cristalina e permite acompanhar a liberação gradual do hidrogênio à temperatura ambiente, sendo essa técnica particularmente adequada por sua sensibilidade à camada superficial do material (CULLITY; STOCK, 2001).

Foram utilizadas amostras planas das ligas AISI 316L e Inconel 718, com superfícies preparadas por lixamento e polimento até acabamento espelhado, fornecidas pela Concordia University, Canadá, em parceria com a UEPG. Os tratamentos de hidrogenação foram conduzidos em câmara de plasma por descarga luminescente à temperatura de (210 ± 15) °C e pressão de (141 ± 17) Pa, durante 3 h, em atmosfera de 50% Ar e 50% H_2, mantendo-se amostras não tratadas como referência. A caracterização estrutural foi realizada por DRX no equipamento Rigaku Ultima IV (C-LABMU/UEPG), com radiação CuKα ($\lambda = 1{,}5418$ Å), sob tensão de 40 kV e corrente de 30 mA. Medidas sucessivas foram realizadas imediatamente após o tratamento, em intervalos subsequentes e após 24 horas para investigar a evolução temporal da fase γ_H e sua metaestabilidade.

III. Resultados

Os difratogramas obtidos para as amostras tratadas e de referência revelam informações importantes sobre as modificações estruturais induzidas pela hidrogenação. Em ambas as ligas, observa-se a predominância da fase austenita (γ), com estrutura CFC, evidenciada pelos picos característicos dos planos (111) e (200), localizados em $2\theta \approx 43°$ e 50°, respectivamente.

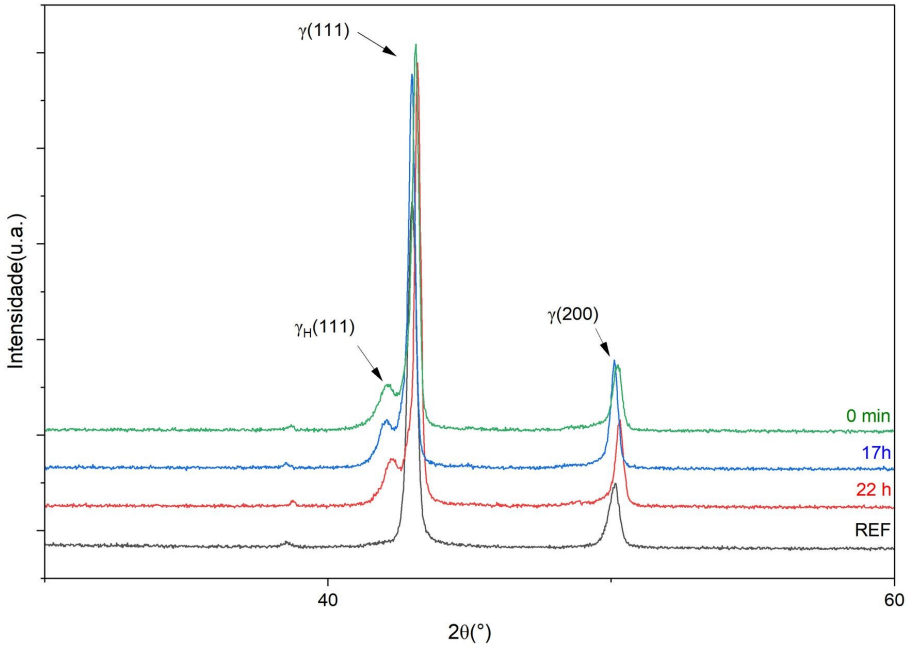
Fig. 1. Difratogramas de raios X da liga Inconel 718 em condição de referência (REF) e após hidrogenação, com monitoramento temporal.



Fonte: A autora.

Para o Inconel 718, Figura 1, a amostra hidrogenada apresenta alargamento assimétrico do pico $\gamma(111)$, com surgimento de um ombro em ângulos ligeiramente menores. Essa nova contribuição é atribuída à formação de regiões cristalinas com parâmetros de rede expandidos, correspondentes à solução sólida intersticial de hidrogênio (γ_H). A intensidade do pico é mais acentuada nas medidas realizadas imediatamente após o tratamento e diminui com o tempo, evidenciando a liberação progressiva do hidrogênio e o retorno à estrutura original.

Fig. 2. Difratogramas de raios X do aço AISI 316L em condição de referência (REF) e após hidrogenação, com monitoramento temporal.



Fonte: A autora.

Para o aço AISI 316L, Figura 2, observa-se comportamento qualitativamente semelhante, porém com diferenças significativas. O ombro associado à γ_H apresenta intensidade relativa maior do que no Inconel 718, sugerindo que a austenita do 316L incorpora uma quantidade mais expressiva de hidrogênio durante o tratamento. Essa maior suscetibilidade pode estar associada à composição química da liga, com menor teor de elementos de liga que poderiam atuar como barreiras à difusão, bem como à maior mobilidade atômica do hidrogênio na matriz austenítica (TURNBULL; HUTCHINGS, 1994).

IV. Conclusões

O tratamento por plasma em descarga luminescente formou a fase γ_H no AISI 316L e no Inconel 718, sendo o 316L mais suscetível à hidrogenação e o Inconel 718 mais estável devido à sua microestrutura complexa. O monitoramento temporal confirmou a metaestabilidade da γ_H à temperatura ambiente, com evolução gradual para a austenita original. Os resultados contribuem para a seleção de materiais mais resistentes à fragilização, prevendo-se futuros estudos com EBSD e microscopia eletrônica para correlacionar modificações estruturais com orientação cristalina e deformações.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao C-LABMU/UEPG pelo suporte técnico. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

AKBAR, M. F. et al. Global hydrogen supply chain: A review. **Energy Conversion and Management**, v. 297, p. 117765, 2024.

CHUPROSKI, R. F. et al. In situ structural and mechanical analysis of the hydrogen-expanded austenite. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 48, n. 23, p. 8685–8695, 2023.

CULLITY, B. D.; STOCK, S. R. **Elements of X-ray Diffraction**. 3. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001.

LI, X. et al. Green hydrogen: A sustainable alternative to fossil fuels. **Energy Conversion and Management**, v. 297, p. 117765, 2024.

TURNBULL, A.; HUTCHINGS, R. B. Analysis of hydrogen diffusion in austenitic stainless steels. **Materials Science and Engineering: A**, v. 177, n. 1–2, p. 161–171, 1994.