



International Conference for
Academia and Industry Co-operation

20/11/2023 – 24/11/2023

São Luis - Maranhão - Brasil



International Meeting in Materials
Science and Engineering of Maranhão

ESTUDO DA FRAGILIZAÇÃO POR HIDROGENIO EM AÇOS INOXIDÁVEIS UNS S41003 e ENDUR 300 SUBMETIDOS A HIDROGENAÇÃO ELETROLÍTICA.

STUDY OF HYDROGEN BRITTLEMENT IN STAINLESS STEEL UNS S41003 and ENDUR 300 SUBJECTED TO ELECTROLYTIC HYDROGENATION

**Pedro Q. Santiago^{1*}, Laryssa Coutinho², Franceleno Silva Pereira³, Carlos H.B.
Queiroz⁴, Ana A.C. Alcanfor⁵, Mauro A.C. Florez⁶, Walney S. Araújo⁷**

- 1 –Laboratório de Ensaios em Materiais (LEM), Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - DEMM, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
- 2 –Laboratório de Ensaios em Materiais (LEM), Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - DEMM, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
- 3 –Laboratório de Ensaios em Materiais (LEM), Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - DEMM, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
- 4 – Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LPC), Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - DEMM, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
- 5 – Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LPC), Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - DEMM, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
- 6 – Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LPC), Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - DEMM, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
- 7 – Laboratório de Pesquisa em Corrosão (LPC), Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - DEMM, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

pedroqueiros@alu.ufc.br

RESUMO

No atual contexto energético, a procura por combustíveis de baixo impacto ambiental, que ao mesmo tempo sejam uma fonte de energia viável para atender às altas demandas energéticas das metrópoles, tem sido um dos tópicos centrais nas conferências sobre mudanças climáticas. O hidrogênio verde emerge como uma alternativa de destaque em relação aos combustíveis fósseis, uma vez que é produzido a partir de fontes de energia renovável e possui um alto poder energético. No entanto, o armazenamento e transporte desse combustível requerem o uso de aços adequados, pois o hidrogênio revela uma grande afinidade por se difundir na estrutura metálica, ocasionando danos às propriedades mecânicas e metalúrgicas. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar os impactos do hidrogênio nos aços inoxidáveis UNS S41003 e ENDUR 300 quando submetidos aos ensaios de hidrogenação eletrolítica, ensaio de tração e ensaio dureza. Assim, os resultados aferidos a partir dos testes mostram que a fragilização por hidrogênio afeta diretamente na resistência mecânica e na deformação do material, além dos efeitos na ductilidade, representando um risco a estrutura do aço inoxidável, destacando a importância de conduzir investigações e análises mais aprofundadas visando a redução dos impactos do hidrogênio sobre os materiais.

Conforme os resultados alcançados, conclui-se que: A tensão limite de resistência a tração é maior nos aços liga Endur 300 aumentando com o tratamento por hidrogenação eletrolítica, enquanto a deformação plástica diminui. A microestrutura apresenta crescimento de grãos à medida que a temperatura aumenta, contribuindo para a diminuição da resistência mecânica e tornando o vergalhão mais macio. A microdureza do aço liga Endur 300 é maior que o da UNS S41003, revelando uma maior fragilidade. Os aços liga UNS S41003 apresentaram fratura dúctil, com superfície de fratura rugosa, presença de “empescoçamento” e alongamento expressivo nos corpos de prova. O diâmetro da superfície da fratura aumentou com o processo de hidrogenação eletrolítica.

Palavras-chave: Hidrogênio Verde; Comportamento Mecânico; Fragilização por Hidrogênio, Hidrogenação Eletrolítica.

ABSTRACT

In the current energy context, the search for low environmental impact fuels, which at the same time are a viable energy source to meet the high energy demands of metropolises, has been one of the central topics at climate change conferences. Green hydrogen emerges as a prominent alternative to fossil fuels, as it is produced from renewable energy sources and has a high energy power. However, the storage and transport of this fuel requires the use of suitable steels, as hydrogen has a great affinity for diffusing into the metallic structure, causing damage to mechanical and metallurgical properties. Therefore, the present work aims to characterize the impacts of hydrogen on UNS S41003 and ENDUR 300 stainless steels when subjected to electrolytic hydrogenation tests, tensile tests and hardness tests. Thus, the results obtained from the tests show that hydrogen embrittlement directly affects the mechanical resistance and deformation of the material, in addition to the effects on ductility, representing a risk to the stainless steel structure, highlighting the importance of conducting further investigations and analyzes in-depth efforts to reduce the impacts of hydrogen on materials. According to the results achieved, it is concluded that: The ultimate tensile strength is higher in Endur 300 alloy steels, increasing with treatment by electrolytic hydrogenation, while plastic deformation decreases. The microstructure shows grain growth as the temperature increases, contributing to a decrease in mechanical resistance and making the rebar softer. The microhardness of Endur 300 alloy steel is greater than that of UNS S41003, revealing greater fragility. The UNS S41003 alloy steels showed ductile fracture, with a rough fracture surface, presence of “necking” and significant elongation in the test specimens. The diameter of the fracture surface increased with the electrolytic hydrogenation process.

Keywords: Green Hydrogen; Mechanical Behavior; Hydrogen Embrittlement, Electrolytic Hydrogenation.

INTRODUÇÃO

A liga UNS S41003, denominada pela Aperam de 410D, é um aço inoxidável ferrítico de baixo carbono, com baixa adição de elementos de liga e baixo teor de cromo e níquel. Tal material apresenta elevada resistência mecânica à tração, soldabilidade moderada e bom desempenho em ambientes abrasivos e corrosivos quando comparado a aços baixo carbono comuns, de tal forma que as propriedades apresentadas juntamente com seu baixo custo de produção, em função da sua composição química relativamente simples, tornam-no uma

alternativa adequada à substituição de aços baixo carbono comuns em aplicações estruturais de inúmeros âmbitos industriais.

Já a liga Endur 300, denominada de 410T, é uma liga baixo carbono que apresenta uma composição química similar da liga UNS S41003, contendo níquel e teor 10,5 - 12,5% de cromo, além de possuir microestrutura predominantemente martensítica. Suas características apresentam boas propriedades mecânicas e uma dureza nominal de, aproximadamente, 300HB. Contudo, o aspecto diferencial está em conciliar boas propriedades de resistência à corrosão, alta resistência mecânica, não havendo perda de sua tenacidade, soldabilidade ou capacidade de conformabilidade. É recomendada para aplicações como caçambas rodoviárias/ferroviárias, estruturas de escavadeiras, retroescavadeiras, guindastes e diversas outras finalidades estruturais.

Assim, de acordo com o trabalho de ALBRETCH e HALL et. Al [1], em decorrência do crescente uso de aços inoxidáveis para diversas aplicações estruturais, pode-se apontar que esses aços estarão sujeitos a diferentes meios atmosféricos e aquosos, como: urbano, rural, industrial e marítimo e, conseqüentemente, estarão expostos a diferentes poluentes

Diante desse contexto, que se insere o objetivo deste trabalho que tem como finalidade estudar o comportamento mecânico das ligas UNS S41003 e Endur 300 quando submetidos a ensaios de hidrogenação eletrolítica e ensaio de tração, levando em consideração a influência de sua microestrutura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, os materiais utilizados foram os aços inoxidáveis UNS S41003 e Endur 300, consistindo no formato de placas retangulares nas dimensões de 300 mm x 257 mm x 5 mm para a liga UNS S41003 e, para a liga Endur 300, nas dimensões de 300 mm x 260 mm x 5 mm.

Elemento	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	N
% p	0,03	1,50	1,00	10,5 – 12,5	1,00	0,04	0,015	0,03

Tabela 1: Composição em %p da liga UNS S41003

Metalografia

As amostras de cada liga metálica em estudo, passaram pelo processo de preparação metalográfica, sendo previamente cortadas e embutidas com resina polimérica a quente. O procedimento de preparação metalográfica de amostras consistiu na sequência de lixamento utilizando lixas d'água de 80, 120, 220, 320, 400, 600, 1200, 2000 mesh utilizando água como agente lubrificante. Em seguida, o polimento foi realizado com pasta de diamante aplicada em pano de polimento de 6 μ , 3 μ e 1 μ com água destilada e detergente como lubrificantes. Já o ataque químico foi realizado com o reagente Vilela com imersão da peça durante 50 segundos seguido da secagem. Finalizando com a obtenção da micrografia utilizando um microscópio ótico Leica DMI 3000 M.

Ensaio de Microdureza

O ensaio de microdureza foi realizada com o microdurômetro SHIMADZU HMV-2. Foram realizadas 10 medições para cada corpo de prova. O ensaio é realizado na seguinte sequência: selecionar o script adequado, posicionar o corpo de prova, zerar a medição, aplicar a carga, realizar a medição das diagonais e aguardar o resultado da medida.

Ensaio de tração

Os ensaios mecânicos de tração foram desenvolvidos no Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEM) da Universidade Federal do Ceará (UFC), utilizando a máquina de ensaios universais EMIC DL-1000, figura 1, seguindo a norma padrão regulamentadoras. [2]



Fig. 1 – Máquina de Ensaios Universais EMIC DL – 1000.

Foram ensaiados 12 corpos de prova, com comprimento de medida inicial (L_0) de 100 mm, realizados em pressão e temperatura ambiente nas condições como recebido (CR) e tratadas por hidrogenação eletrolítica (THE) de cada material. Em cada uma das condições, o ensaio foi realizado em triplicata a fim de configurar segurança nos resultados experimentais. Assim, o objetivo de se obter os dados para elaboração das curvas Tensão x Deformação. As matrizes de dados obtidos foram utilizadas para a construção de gráficos Tensão x Deformação utilizando programação computacional na linguagem Python desenvolvido no LEM.

Ensaio de Hidrogenação Eletrolítica

O ensaio de hidrogenação eletrolítica foi utilizado para introduzir hidrogênio no aço através da aplicação de potencial catódico. Para a hidrogenação tanto dos corpos de prova de tração uniaxial quanto das amostras, utilizou-se um potenciostato/galvanostato Metrohm AUTOLAB modelo PGSTAT 100N em conjunto com o software de controle NOVA versão 2.1. Como eletrodo de referência foi utilizado o eletrodo Ag/AgCl- e como contra-eletrodo foi utilizado uma placa de platina. Como eletrólito foi utilizada solução de 50 NaCl 3,5 M e como célula de hidrogenação foi utilizado um béquer.

Ensaio de Fractografia

Em seguida, foram feitas fractografias a região da fratura após o ensaio de tração com auxílio do estereoscópio OLYMPUS SZ61TR equipado com guia de luz modelo LG – PS2. Além disso, foram realizadas 10 medidas de diâmetro da superfície da fratura em cada amostra utilizando o estereoscópio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 mostra as curvas *Tensão x Deformação* para obtidas através das matrizes de dados de cada ensaio.

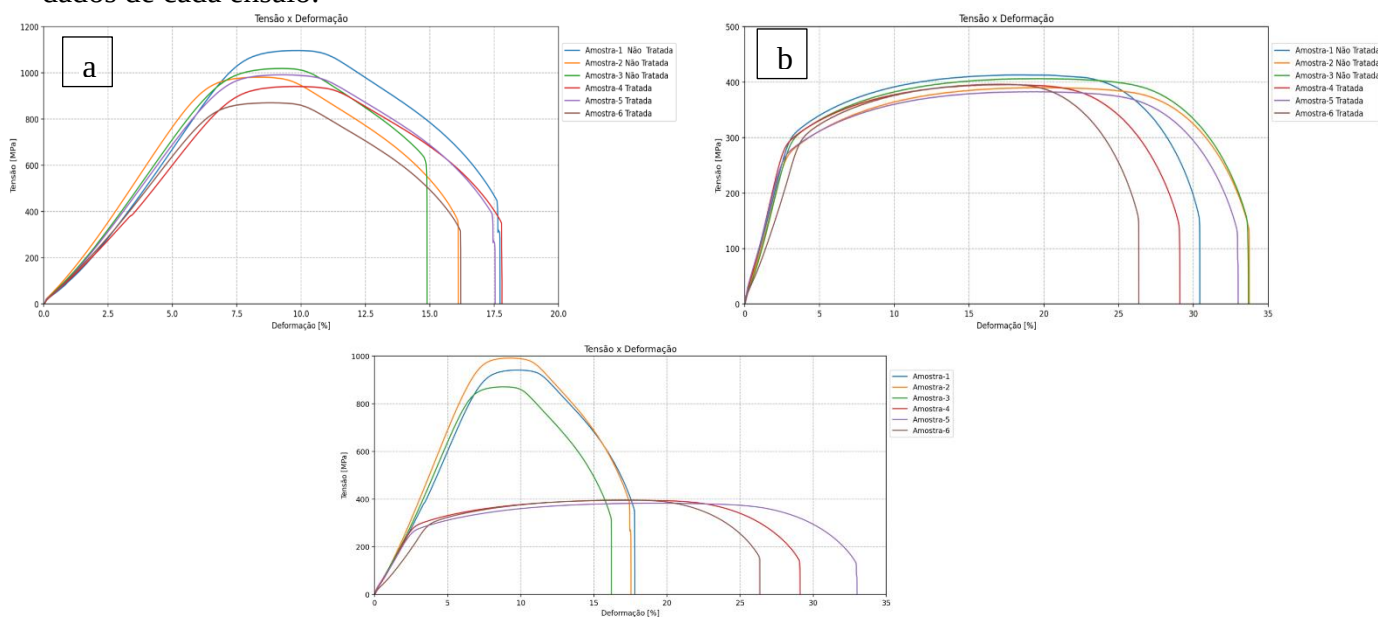


Fig. 2 – Curvas tensão x deformação obtidas para cada condição dos corpos de prova, a) 410T (CR e THE), b) 410D (CR e THE), c) 410D e 410T (THE).

Na pressão e temperatura ambiente, a liga UNS S41003 apresentam o comportamento comum a sua classe de materiais metálicos inoxidáveis apresentando uma regime elástico inicial onde a tensão aumenta linearmente com a deformação e, após o limite de proporcionalidade entra na região de escoamento plástico no qual a tensão alcançará um máximo e decairá até atingir o ponto de ruptura. Na figura que faz a comparação entre as amostras como recebidos (CR) e tratadas por hidrogenação eletrolítica (THE), nota-se que o comportamento típico de materiais dúcteis do corpo de prova (CR), em contrapartida, os corpos de prova (THE) apresentam um comportamento frágil.

De uma forma interessante, foi notado para a liga Endur 300, que tanto para as amostras como recebidos (CR), quanto para as tratadas por hidrogenação eletrolítica (THE) apresentaram um comportamento relativamente mais frágil que a liga UNS S41003.

CONCLUSÕES

Conforme os resultados alcançados, tem-se que:

- 1 – A tensão limite de resistência a tração é maior nos aços liga Endur 300 aumentando com o tratamento por hidrogenação eletrolítica, enquanto a deformação plástica diminui;
- 2 – A microdureza do aço liga Endur 300 é maior que o da UNS S41003, revelando uma maior fragilidade;
- 3 – Os aços liga UNS S41003 apresentaram fratura dúctil, com superfície de fratura rugosa, presença de “empescoçamento” e alongamento expressivo nos corpos de prova. O diâmetro da superfície da fratura aumentou com o processo de hidrogenação eletrolítica.

REFERÊNCIAS

- [1] ALBRECHT, P.; HALL, T. T., Jr. Atmospheric Corrosion Resistance of Structural Steels. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 15, n. 1, p. 2–24, fev. 2003.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 6892-1: Ensaio de Tração - Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente. Rio de Janeiro: ABNT, 2013^a
- [3] APERAM. 410D para taliscas de esteiras transportadoras. Biblioteca técnica. Fichas Técnicas.