

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA HIDROGENAÇÃO NA TENACIDADE AO IMPACTO DO AÇO SAE 1045 PARA CONDIÇÕES VARIADAS DE PROCESSAMENTO TÉRMICO

Danrley Sena e Silva, danrleysena@hotmail.com
Adiana Nascimento Silva, adiana@ufersa.edu.br¹
Marcelo Batista de Queiroz, marcelo.queiroz@ufersa.edu.br¹

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Ufersa, Avenida Leto Fernandes/ RN 233, km 01 - Caraúbas/RN

Resumo: A busca incessante do homem por novas reservas de petróleo e gás o tem levado a águas cada vez mais profundas, exigindo níveis de segurança e confiabilidade operacional ainda mais elevados, para assim atingir maior eficiência operacional e evitar o acontecimento de falhas catastróficas como as acontecidas no golfo do México em 2006 na plataforma Thunder Horse. Entre as principais causas de falhas estruturais, tem-se o processo de fabricação, as condições operacionais e a fragilização pelo hidrogênio. Sendo a última causa muito crítica, pois pode levar a estrutura a falhar mesmo quando o carregamento aplicado é inferior ao limite de escoamento do material. Com o intuito de contribuir com pesquisas futuras na área de fragilização por hidrogênio em aços, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência da hidrogenação na tenacidade ao impacto do aço SAE 1045, para duas condições de processamento térmico, temperado e revenido, e, recozido, assim como, analisar a resposta do material na condição como fornecido. Contribuindo assim na avaliação do sistema de proteção catódica em aço de baixo custo amplamente aplicado na construção de elementos mecânicos. A proteção catódica ocorreu a temperatura ambiente com potencial de $-1100 \text{ mV}_{\text{ERC}}$, pelo período de 168 h. A tenacidade ao impacto foi avaliada por meio do ensaio Charpy com martelo pendular de 300 J. Os ensaios de impacto para os corpos de prova com e sem hidrogenação apresentaram as mesmas características, com valores médios de tenacidade de respectivamente, 13 J e 12 J para como fornecido, 28 J e 20 J para recozido e 62 J e 46 J para temperado e revenido. O material temperado e revenido se mostrou mais tenaz quando comparado com as condições recozido e como fornecido, esse resultado pode ter sido induzido pela precipitação de carbonetos na martensita revenida. De forma global os resultados do ensaio de impacto demonstram que o hidrogênio não gerou influências na absorção da energia de impacto em todas as condições analisadas.

Palavras-chave: Aço SAE 1045, Hidrogenação, Proteção catódica, Fragilização

1. INTRODUÇÃO

A necessidade por novas reservas de petróleo e gás natural tem levado o homem a explorar águas profundas do sistema *offshore*. Segundo Almeida (2014) esta exploração tornou-se um desafio científico e tecnológico para o setor petrolífero. Esse autor menciona que a severidade do ambiente e as dificuldades do processo tem ocasionado falhas catastróficas, gerando prejuízos econômicos, ambientais e ainda ocasionando mortes, especificando que os principais fatores de falhas nas estruturas *offshore* estão associados aos materiais utilizados, ao processo de fabricação dos componentes, as condições operacionais e a fragilização dos aços pelo hidrogênio. Como exemplo, destaca-se as falhas ocorridas no golfo do México em 2006 na plataforma Thunder Horse (Burk e Ribardo, 2010).

Araujo (2013) menciona que a fragilização nas estruturas pode ocorrer devido a átomos de hidrogênio presentes no processo de fundição e soldagem, ou ainda, devido a fatores eletroquímicos dos sistemas de proteção catódica a que as estruturas são submetidas. Silva (2020) ainda destaca que as estruturas fragilizadas pelo hidrogênio podem apresentar falhas em serviço mesmo estando submetidas a carregamentos inferiores ao seu limite de escoamento.

Visando uma contribuição no entendimento e busca por soluções para os problemas citados acima e relacionados com a fragilização por hidrogênio, vários estudos vêm sendo realizados, sendo a tenacidade ao impacto uma das formas de se estudar a fratura do material. No presente trabalho realizou-se o estudo da tenacidade ao impacto do aço SAE 1045, o qual é classificado pela NBR 172/2000 como aço carbono, aço para construção mecânica. De acordo com Azevedo (2002) este aço é amplamente aplicado em elementos mecânicos como engrenagens, dentre as suas aplicações destaca-se o seu uso em eixos de bombas de torres de destilação e eixos de ventiladores das refinarias de petróleo e gás, ambientes esses em que o material sofre um desgaste acentuado. Outro fato importante sobre o aço 1045 é seu ótimo custo benefício, o tornando um material muito acessível.

O estudo foi realizado com o aço nas condições como fornecido e com processamentos térmicos, sendo uma parte do material submetida a têmpera e ao revenido e a outra recozida. A propriedade de tenacidade ao impacto foi levantada nas condições sem e com proteção catódica, na temperatura ambiente e, com potencial de $-1100 \text{ mV}_{\text{ERC}}$. Esse potencial tem sido comumente empregado nos estudos de fragilização de aços aplicados nos sistemas *offshore*, favorecendo a atuação do hidrogênio e consequentemente a fragilização da estrutura (Silva, 2022).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Material

Utilizou-se tarugo de aço SAE 1045 com 22 mm de diâmetro e 2000 mm de comprimento. Nas Tab. 1 e Tab. 2, respectivamente, tem-se a composição química e as propriedades do aço, conforme norma. Esse material foi analisando nas condições como fornecido, temperado e revenido, e, recozido.

Tabela 1. Composição química do Aço SAE 1045.

Carbono (C)	Manganês (Mn)	Fosforo (P)	Enxofre (S)
0,43% - 0,50%	0,60% - 0,90%	0,040%	0,050%

Tabela 2. Propriedades mecânicas do aço SAE 1045 com fornecido.

Limite de escoamento	Dureza	Modulo de elasticidade	Redução
450 MPa	84 HRB	190GPa – 210GPa	40%

2.2. Processamento térmico

Os tratamentos térmicos de têmpera, revenido e recozimento foram realizados por meio de um forno do tipo mufla Lucadema modelo Luca-2000 G/DI, com taxa de aquecimento de aproximadamente $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

No tratamento térmico de têmpera empregou-se temperatura de $820 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 01h30min, seguido de resfriamento em água. Na sequência, o material foi submetido ao revenido, sendo realizado na temperatura de $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ com tempo de permanência de 2h e seguido de resfriamento ao ar.

Outra parte do material no estado como fornecido, passou pelo processamento térmico de recozimento, que teve temperatura de austenitização de $820 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e tempo de permanência de 1h30min, ou seja, parâmetros similares aos empregados na têmpera.

2.3. Confecção dos corpos de prova

A partir do tarugo de aço SAE 1045 confeccionou-se 18 corpos de prova (CP) de impacto Charpy, utilizando o torno mecânico Manrod modelo MR-302 e uma fresadora Eurostec modelo FTV-H6. As dimensões adotadas foram as exigidas pela norma ASTM E23-18.

A elaboração dos CPs seguiu a seguinte distribuição: 6 CPs para a condição como fornecido (CF), 6 CPs no estado temperado e revenido (TR) e por fim, 6 CPs no estado recozido (RC). Sendo que, para cada condição, CF, TR e RC, 3 corpos de prova foram ensaiados sem a realização do processo de proteção catódica, enquanto 3 corpos de prova restantes foram submetidos a este processo.

2.4. Proteção catódica

Para realização da proteção catódica que, conforme visto anteriormente, pode favorecer a hidrogenação do material, utilizou-se o aparato visto na Fig. 1. Este é composto de duas placas de titânio (ânodo inerte) que juntamente com os corpos de prova de impacto foram conectados a fonte de alimentação elétrica.

A proteção catódica por corrente impressa ocorreu a temperatura ambiente com potencial de proteção de $-1100 \text{ mV}_{\text{ERC}}$. Como eletrólito empregou-se solução aquosa de NaCl com concentração de 3,5% e pH 8,2, com relação ao tempo de hidrogenação, empregou-se processo contínuo com 168 h (7 dias). Tanto o pH quanto o potencial de proteção foram monitorados e ajustados diariamente durante todos os dias do experimento.



Figura 1. Sistema usado no processo de proteção catódica.

A fim de evitar a saída de hidrogênio dos corpos de prova, após o processo de hidrogenação, eles foram imersos em solução de CuSO_4 .

2.5. Ensaios mecânico e microestrutural

Os ensaios de impacto Charpy foram realizados a temperatura ambiente, para as condições com e sem proteção catódica. Esses ensaios foram realizados em máquina Time de modelo JB-W300A com martelo pendular de 300 J.

A análise da microscopia óptica foi feita utilizando o microscópio Olympus GX51 e para o processamento das imagens empregou-se o software analySIS getIT. Na preparação metalográfica as amostras foram embutidas em resina, posteriormente submetidas ao processo de lixamento, no qual empregou-se lixas de SiC com granulação variando de 80 a 1200. O polimento foi realizado com pasta de diamante de 3 e $\frac{1}{4}$ μ . Sendo a preparação das amostras finalizada com o ataque químico por imersão em Nital 2%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Processo de proteção catódica

Os corpos de prova de impacto foram submetidos a proteção catódica contínua por 7 dias, podendo ser percebido que, em praticamente todas as medições, o pH e a tensão atingiram valores próximos ao desejado, 8,2 e -1100 mVerc, respectivamente. Outro fato importante observado ao fim do processo, foi a eficiência do sistema de proteção, pois constatou-se que não houve oxidação de nenhum dos corpos de prova submetidos à proteção catódica.

3.2. Ensaio de impacto Charpy

Na Tabela 3 tem-se os resultados dos ensaios de impacto para os corpos de prova (CPs) sem e com hidrogenação na condição como fornecido. Através dos valores da tabela, observa-se que o aço SAE 1045 nas duas condições ensaiadas apresentou baixa tenacidade ao impacto, com valores médios de 12 J e 13 J, respectivamente, para as condições sem e com hidrogenação. A proximidade entre os valores médios de tenacidade ao impacto, sugere que o hidrogênio não induziu fragilização ao aço no estado com fornecido.

Tabela 3. Tenacidade ao impacto do aço 1045 como fornecidos (CF)

Com hidrogenação		Sem hidrogenação	
Corpo de prova	Energia (J)	Corpo de prova	Energia (J)
1	13	1	10
2	11	2	12
3	15	3	12
Média e desvio padrão	13 ± 2	Média	$12 \pm 1,2$

Os resultados de tenacidade ao impacto do aço SAE 1045 recozido são apresentados na Tab. 4, e, similar ao aço como fornecido este também foi analisado sem e com hidrogenação. Comparando os resultados médios de tenacidade ao impacto do aço, sem hidrogenação, nos estados como fornecido e recozido tem-se, respectivamente, 12 J e 20 J, demonstrando que o recozimento conferiu tenacidade ao aço SAE 1045 num patamar de aproximadamente 40%.

Com relação os resultados médios de tenacidade do aço SAE 1045, recozido, sem e com hidrogenação tem-se valores de 20 J e 28 J, respectivamente. Assim, de forma similar ao material como fornecido, o recozido não apresentou redução de tenacidade após a proteção catódica.

Tabela 4. Tenacidade ao impacto do aço SAE 1045 recozido (RE)

Com hidrogenação		Sem hidrogenação	
Corpo de prova	Energia (J)	Corpo de prova	Energia (J)
1	30	1	22
2	26	2	20
3	28	3	20
Média e desvio padrão	28 ± 2	Média	$20 \pm 1,2$

Considerando os valores médios de tenacidade ao impacto do aço SAE 1045 temperado e revenido, Tab. 5, observa-se resultados superiores quando comparado as duas condições anteriormente consideradas. Sendo essa superioridade mais significativa quando a comparação considera o aço como fornecido, aço recozido com o aço temperado e revenido, tem-se um aumento na tenacidade ao impacto de 47%. Esse resultado, juntamente com a análise microestrutural do item 4.4, demonstra que a dispersão de carbonetos na martensita revenida favoreceu o aumento de tenacidade do aço SAE 1045.

Tabela 5. Tenacidade ao impacto do aço SAE 1045 temperado e revenido (TR)

Com hidrogenação		Sem hidrogenação	
Corpo de prova	Energia (J)	Corpo de prova	Energia (J)
1	62	1	46
2	62	2	42
3	63	3	58
Média e desvio padrão	$62 \pm 0,6$	Média	$46 \pm 8,3$

Para as condições sem e com hidrogenação os valores médios foram, respectivamente, 46 J e 62 J. Demonstrando que o processo de fragilização induzida pelo hidrogênio, do aço SAE 1045 na condição temperado e revenido não se mostrou evidente, já que os resultados médios de tenacidade ao impacto foram maiores para o material com hidrogenação.

Comparando-se os resultados de desvio padrão de todas as condições ensaiadas, observa-se que o aço SAE 1045 temperado e revenido, e sem hidrogenação, apresentou valor bem superior aos demais, esse fato, possivelmente, tem associação com a qualidade do entalhe, que se apresentou inferior nesses corpos de prova sem hidrogenação.

No gráfico da Fig. 3 observa-se os resultados médios de tenacidade ao impacto com seus respectivos desvios-padrão que foram citados nas Tabs 3, 4 e 5. Nesse verifica-se que, nas três condições analisadas, a tenacidade ao impacto apresentou valores médios para o material com hidrogenação. Esse comportamento pode estar relacionado a maior qualidade desses corpos de prova, já que aqueles com melhor acabamento foram submetidos a hidrogenação. No entanto é importante destacar que de acordo com Nova apud Wang (2018) a susceptibilidade a fragilização por hidrogênio de um aço depende de sua inerente tenacidade, quanto mais tenaz maior será o teor crítico de H necessário para a ocorrência de trinca a frio.

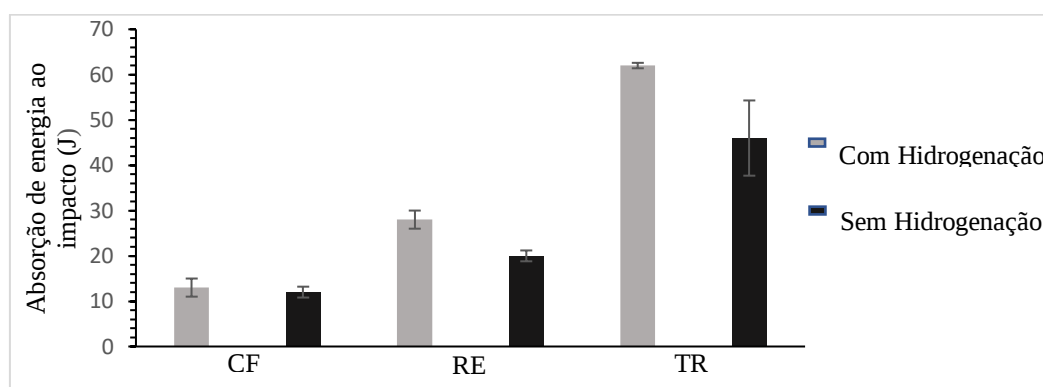


Figura 1. Resultados do ensaio de impacto do aço SAE 1045 como fornecido (CF), recozido (RE) e temperado e revenido (TR)

Vale salientar que, quando comparado ao ensaio de tenacidade a fratura, o ensaio de impacto tem a vantagem de ter um melhor custo benefício, devido a maior facilidade e rapidez de execução, no entanto sua sensibilidade no levantamento da fragilização por hidrogênio é inferior. Dessa forma não se pode afirmar que o hidrogênio, proveniente da proteção catódica empregada, não tenha induzido qualquer fragilização ao aço SAE 1045 nas condições de processamento térmico analisadas.

3.3. Superfície de fratura

Nas Figuras 4 (a) e (b) observa-se a superfície de fratura do aço SAE 1045 como fornecido (CF) sem e com hidrogenação, cujas faces da seção transversal apresentam aspecto cristalino e sem deformações plásticas, sendo condizente com o mecanismo de fratura frágil (Garcia et al., 2017). Esse comportamento já era esperado devido o baixo valor de tenacidade ao impacto do material na condição CF.

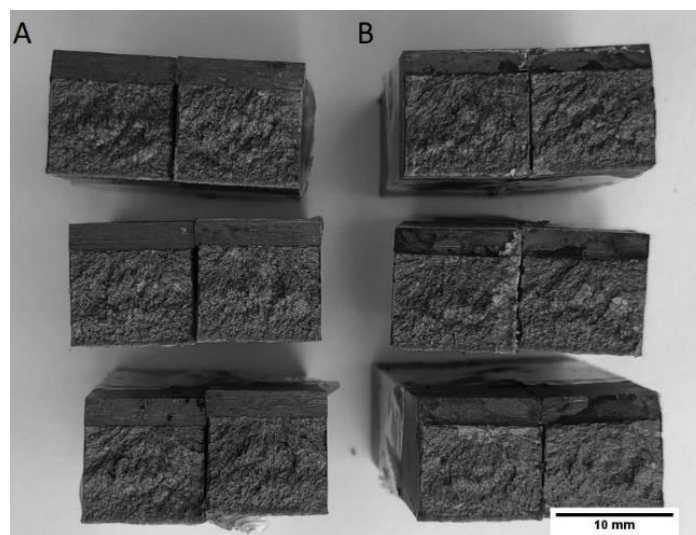


Figura 2. Superfície de fratura do aço SAE 1045 como fornecido (CF). A) sem hidrogenação, B) Com hidrogenação

O mecanismo de fratura frágil também foi predominante para os CPs recozidos Fig. 5 (a) e (b), sendo observada uma leve distorção nas laterais dos CPs, sendo as maiores destacadas pelos círculos vermelhos.

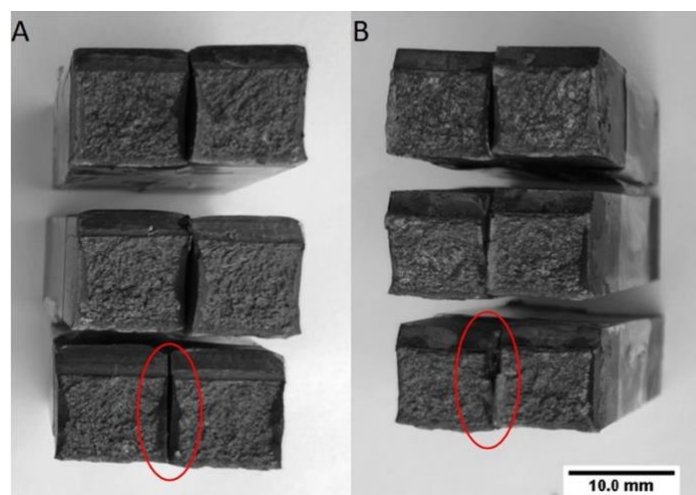


Figura 3. Superfície de fratura do aço SAE 1045 recozido (RE). A) sem hidrogenação, B) Com hidrogenação

Para as três condições analisadas, nos CPs temperados e revenidos Fig. 6, observou-se características de mecanismos de fratura dúctil, com presença de contração e expansão da seção transversal, destaque vermelho da Fig. 6. Dentre todas as condições analisadas, Figs 4, 5 e 6, observa-se que os mecanismos de fratura dúctil foram mais pronunciados. Por fim, esse resultado corrobora com o aumento de tenacidade mencionado anteriormente.

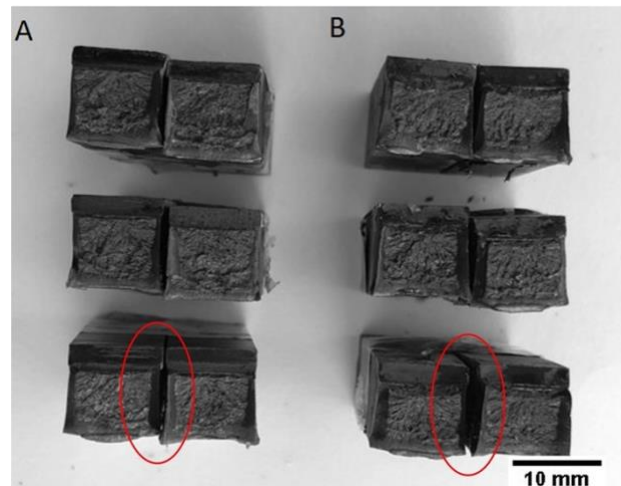


Figura 4. Superfície de fratura do aço SAE 1045 temperado e revenido (TR). A) sem hidrogenação, B) Com hidrogenação

3.4. Microestrutura

Nas imagens das Figs 7, 8 e 9 tem-se os resultados de microscopia óptica do aço SAE 1045 como fornecido (CF), recozido (RE) e temperado e revenido (TR), respectivamente. Nas Figs 7 e 8, observa-se a presença de perlita em cor mais escura e ferrita em cor mais clara com contornos bem definidos. Comparando-se os aços como fornecido (Fig. 7) e recozido (Fig. 8) observa-se um discreto refino de grão, o que segundo Assis *et al.* (2011) favorece o aumento da tenacidade, corrobora com os resultados de tenacidade ao impacto. Vale destacar que, nas duas condições analisadas, os resultados estão condizentes com a literatura.

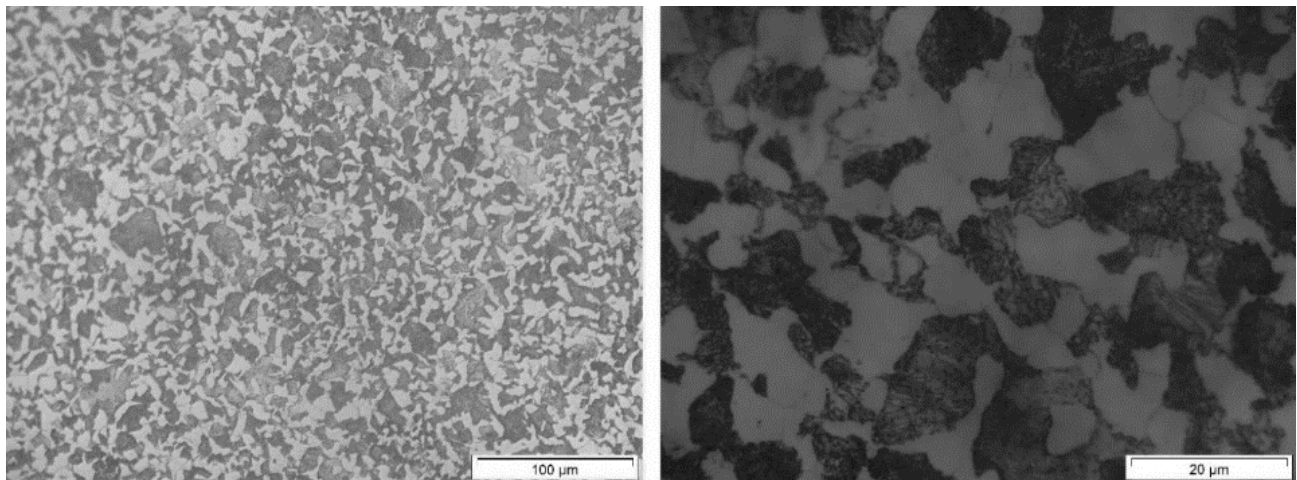


Figura 5. Microestrutura do aço SAE 1045 como fornecido (CF). Ataque Nital 2%.

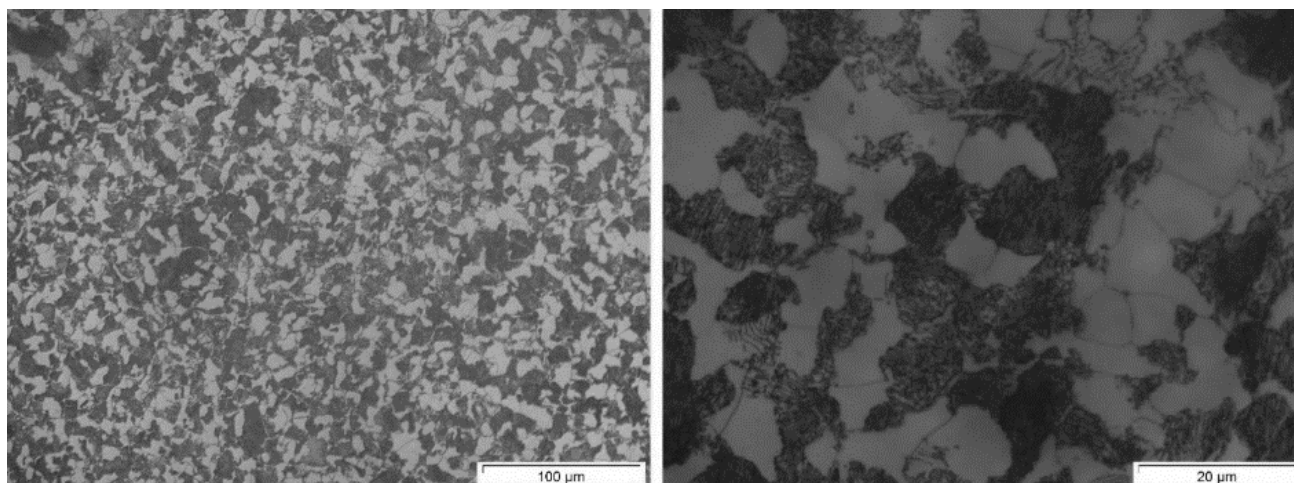


Figura 6. Microestrutura do aço SAE 1045 recozido (RE). Ataque Nital 2%.

Para o aço na condição temperado e revenido, Fig. 9, observa-se que toda a ferrita e perlita existente no aço foi transformada em martensita revenida, se apresentando na forma de finas agulhas, o que segundo Gallo apud Nicoletti (2006) é uma característica de aços com teor de carbono acima de 0,25%. Os autores Askeland e Phulé (2008) comentam que a martensita revenida confere ao aço um aumento de tenacidade.

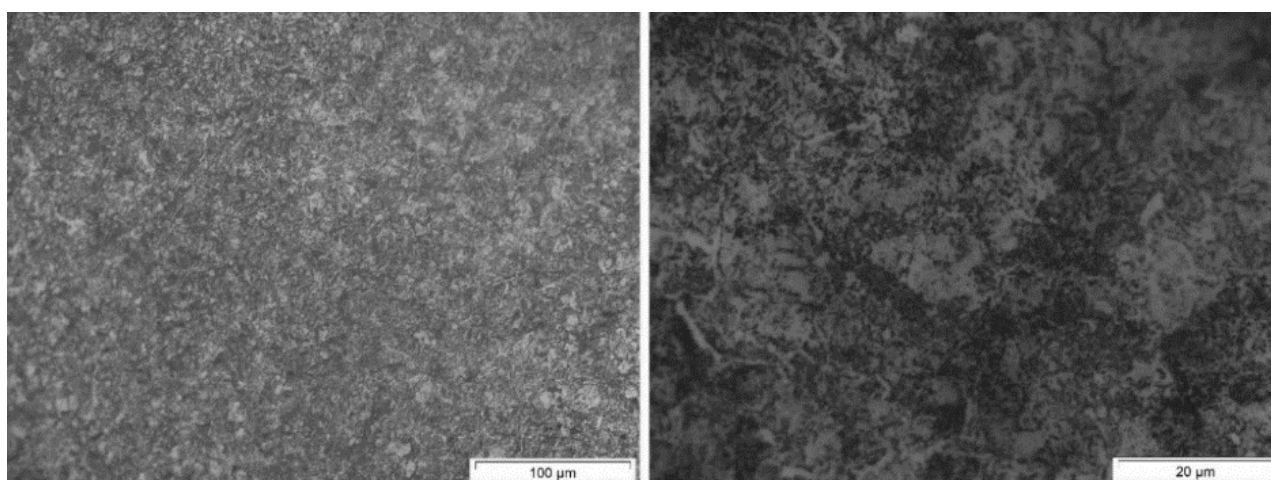


Figura 7. Microestrutura do aço SAE 1045 temperado e revenido (RV). Ataque Nital 2%.

Por fim pode ser observado que os resultados expostos para as microestruturas corroboram com os ensaios de impacto, o qual tem valores de tenacidade consideravelmente diferentes para cada situação.

4. CONCLUSÕES

O intuito deste trabalho foi verificar a influência da proteção catódica e consequente hidrogenação, na tenacidade ao impacto do aço SAE 1045 nas condições como fornecido, recozido, e, temperado e revenido. A partir dos resultados já expostos é possível afirmar que:

- O sistema e parâmetros de proteção catódica empregados se mostraram eficientes, evitando que os corpos de provas, nas três condições analisadas, sofressem oxidação.
- A energia absorvida nos corpos de prova com hidrogenação de modo geral foi maior que a dos corpos sem hidrogenação. Com isso é possível chegar à conclusão que o hidrogênio não promoveu fragilização do aço SAE 1045 para os parâmetros de proteção empregados.
- O modo de fratura observado no ensaio Charpy apresentou para as condições como fornecido e recozido, características predominantemente frágeis, enquanto nos CPs temperado e revenido foi observado características de ductilidade. Assim como a energia absorvida os mecanismos de fratura, se mantiveram similares para o aço SAE 1045 com fornecido, temperado e revenido e recozido, nas condições sem e com hidrogenação.

- Através da tenacidade dos corpos de prova pode ser observado que os tratamentos térmicos foram bem-sucedidos, principalmente os tratamentos térmicos de têmpera e revenido, já que nestas condições observou-se aumento significativo em torno de 40% quando comparado ao material recozido, e, 74% com relação ao aço como fornecido.
- Por fim pode ser observado que os resultados expostos para as microestruturas corroboram com os ensaios de impacto, o qual tem valores de tenacidade consideravelmente diferentes para cada situação.

5. REFERÊNCIAS

- Almeida, José Gonçalves. Influência do Hidrogênio na Tenacidade Quase Estática de uma Junta Soldada Dissimilar Constituída de Aços ARBL e Metal de Adição BS NA 21 (INCONEL 625). 2014. 191 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.
- American society for testing and materials. ASTM E23-18, Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. West Conshohocken, 2018.
- American society for testing and materials. ASTM E18:2007: Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials. West Conshohocken, 2007. 36 p.
- Araújo, Bruno Allison. Avaliação Do Nível De Tensão Residual e Susceptibilidade à Fragilização Por Hidrogênio Em Juntas Soldadas De Aços Api 5l X80 Utilizados Para Transporte De Petróleo E Gás. 2013. 210 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013
- Araujo, Paula Rafaella Simão. Influência do processo de hidrogenação na tenacidade ao Impacto do aço ASTM A182 F22. 2019. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia - Campus Caraubas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraubas (Rn), 2019.
- Askeland, Donald; PHULÉ, Pradeep P.. Ciência e Engenharia dos Materiais. 5. ed. São Paulo: Cengage, 2008. 594 p.
- Assis, Cleiton Lazaro Fazolo de *et al.* REFINO DE GRÃO EM AÇOS BAIXO CARBONO: UMA REVISÃO CRÍTICA. Abcm, Caxias do Sul, v. 1, n. 1, p. 1-8, 15 abr. 2011. Disponível em: <https://www2.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/cobef2011a.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- Associação brasileira de normas técnicas. Critério de Classificação dos Aços, NBR NM 172/2000. Rio de Janeiro, 2000.
- Associação brasileira de normas técnicas. Aços Carbono e Ligados para Construção Mecânica - Designação e Composição Química, NBR NM 87/2000. Rio de Janeiro, 2000.
- Azevedo, Alessandra Gois Luciano de. Aplicação da técnica da dupla camada na soldagem do aço ABNT 1045. 2002. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências de Materiais, Departamento de Engenharia Mecânica e Produção, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.
- Baxter, Richard; BRITTON, Jim. Proteção Catódica Offshore: o que é e como funciona?. Disponível em: <https://www.cathodicprotection101.com/protecao-catodica.htm>. Acesso em: 14 jan. 2021.
- Burk, J. D.; Ribardo, C. L. *Thunder Horse: Materials, Welding and Corrosion Challenges and Solutions*. Offshore Technology Conference, 2010.
- Callister, William D. Jr.; RETHWISCH, David G. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 612 p.
- Cavalcante, Fabrício José Nóbrega. Influência do hidrogênio na tenacidade quase estática de uma junta soldada dissimilar constituída de aço AISI 8630m amantegado com er80s-d2. 2014. 127 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.
- Chakraborty, Gopa; REJEESH, R.; ALBERT, S.K. Study on hydrogen assisted cracking susceptibility of HSLA steel by implant test. Sciencedirect, [s. l], v. 1, n. 1, p. 490-495, 30 jul. 2016.
- Chiaverini, Vicente. Aços e ferros fundidos: características gerais tratamentos térmicos principais tipos. 7. ed. São Paulo: Abm, 2012.
- Colpaert, Hubertus. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2008. 652 p.
- Gallo, Giulliano Batelochi. INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO SOBRE A TENACIDADE DE UM AÇO AISI SAE 1045 COM MÉDIO TEOR DE CARBONO, AVALIADA POR ENSAIOS DE IMPACTO. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Projetos e Materiais., Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2006.
- Gauto, Marcelo; ROSA, Gilberto. Química industrial. Rio Grande do Sul: Bookman, 2013. 283 p. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837613/cfi/279!/4/4@0.00:50.1>. Acesso em: 20 maio 2021.
- Garcia, Amari; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre. Ensaio de Materiais. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 365 p.
- Gentil, Vicente, 1928-2008 Corrosão / Vicente Gentil. - 6.ed. - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro : LTC, 2017.il.
- Luiz, Gelson. Aço SAE 1045 Propriedade Mecanicas e composição química. Blog Materiais [s. l]

2017. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1045-propriedades-mecanicas.html>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2021
- Metals handbook. Heat Treating of Steels. 10ed. Ohio: American Society for Metals, v.4, 1991.
- Nova, Antônio Marcos Vila. Influência da Corrente de Soldagem e da Composição do Metal de Adição Sobre o Comportamento Mecânico de Juntas Soldadas Dissimilares. 26 de janeiro 2018. 116 f. Dissertação. Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba.
- Park, Y.D.; Maroef, I.S.; Olson, D.L. Retained austenite as a hydrogen trap in steel welds. *Welding Journal*, vol. 81, p. 27S-35S, 2002.
- Ruiz, Eduardo Alberto Perez; NEGRÍN, Luis Iván. Effect of machining fluid like quenching media on the friction and wear behavior of AISI 1045 steel. *Researchgate*, [s. l], v. 9, n. 1, p. 146-154, jul. 2018.
- Silva, André Luiz V. da Costa e; MEI, Paulo Roberto e. Aços e ligas especiais. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 664 p
- Silva, Adiana Nascimento; Costa, Esdras Carvalho; Silva, Roneles De Santana; Almeida, José Gonçalves de; Lima, Severino Jackson Guedes de; Passos, Tibério Andrade dos. Butter-weld Interface Microstructural Analysis Employing NCS and LAMS Sections. *Materials Research-Ibero-american Journal of Materials*, v. 22, p. 1-13, 2020.
- Silva, Adiana Nascimento; Costa, Esdras Carvalho; Almeida, José Gonçalves de; Maciel, Theophilo Moura; Cavalcante, Danielle Guedes de Lima; Passos, Tibério Andrade dos. Effect of Hydrogen on the Mechanical Properties of ASTM A182 F22 and ASTM A36 Steels Welded Joint Using Inconel 625 as Filler and Buttering Metal. *MATERIALS RESEARCH*, v. 25, p. 1, 2022.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF HYDROGENATION ON THE IMPACT TENACITY OF SAE 1045 STEEL FOR VARIOUS THERMAL PROCESSING CONDITIONS

Danrley Sena e Silva, danrleysena@hotmail.com
Adiana Nascimento Silva, adiana@ufersa.edu.br¹
Marcelo Batista de Queiroz, marcelo.queiroz@ufersa.edu.br¹

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Ufersa, Avenida Leto Fernandes/ RN 233, KM 01 - Caraúbas/RN

Abstract. *The unceasing pursuit of man for new oil and gas reserves has led him to deeper and deeper waters, demanding even higher levels of safety and operational reliability, in order to achieve greater operational efficiency and avoid the occurrence of catastrophic failures such as those that occurred in the Gulf of Mexico in 2006 on the Thunder Horse platform. Among the main causes of structural failures, there is the manufacturing process, operating conditions and hydrogen embrittlement. The latter being a very dangerous cause, as it can cause the structure to fail even when the applied load is below the yield strength of the material. In order to contribute to future research in the area of hydrogen embrittlement in steels, the present work aims to evaluate the influence of hydrogenation on the tenacity to the impact of SAE 1045 steel, for two conditions of thermal processing, quench and tempered, and, annealed, as well as, analyze the response of the material in the condition as supplied. Thus contributing to the evaluation of the low cost steel cathodic protection system widely applied in the construction of mechanical elements. Cathodic protection occurred at room temperature with a potential of -1100 mV_{SCE}, for a period of 168 hours. Impact toughness was assessed using the Charpy test with a 300 J pendulum hammer. The impact tests for specimens with and without hydrogenation showed the same characteristics, with mean values of tenacity of respectively, 13 J and 12 J for as supplied, 28 J and 20 J for annealed and 62 J and 46 J for quench and tempered. The quench and tempered material proved to be more tenacious when compared to the annealed conditions and as provided, this result may have been induced by the precipitation of carbides in the tempered martensite. Overall, the results of the impact test show that hydrogen did not influence the absorption of impact energy in all conditions analyzed.*

Keywords: SAE 1045 steel. Hydrogenation. Cathodic protection. Embrittlement.