

AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE À FRAGILIZAÇÃO POR HIDROGÊNIO DE JUNTAS SOLDADAS DO AÇO AISI 8630 ATRAVÉS DE ENSAIO DE IMPLANTE

Thierry Cordeiro Luna

Universidade Federal de Campina Grande
Rua: Frei Caneca, 266, Campina Grande-PB; CEP:58400-295
thierrycordeiro@outlook.com

Theophilo Moura Maciel

Universidade Federal de Campina Grande

Raimundo Quinderé Cruz Neto

Universidade Federal de Campina Grande

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo avaliar, o efeito da temperatura de pré-aquecimento, sobre a susceptibilidade à fragilização por hidrogênio na soldagem do aço AISI 8630 através do Ensaio de Implante. Para isto, corpos de prova na forma de implantes foram dopados com hidrogênio, implantados em chapas de aço, submetidos à soldagem e em seguida a tensões variadas de tração. Para induzir a presença do hidrogênio nos corpos de prova os mesmos foram imersos em uma solução de água salina artificial e submetidos a uma milivoltagem similar à aplicada nos sistemas para proteção catódica nos equipamentos offshore. Gráficos de tensão x tempo de ruptura foram gerados. Adicionalmente foram feitas análises microestruturais e de microdureza da superfície fraturada. A temperatura de pré-aquecimento de 280°C proporcionou os maiores valores de carga e tempo de ruptura e a microestrutura mais refinada na região fraturada.

Palavras Chave: Soldagem, Aço AISI 8630, Ensaio de Implante, Temperatura de pré-aquecimento.

INTRODUÇÃO

Os equipamentos para condução de petróleo do fundo mar para as plataformas marítimas são constituídos de aços forjados para válvulas de altíssima resistência mecânica, unidos às tubulações constituídas de aços mais tenazes adequados para tubulações, ou seja, com boas características de tenacidade. Os aços utilizados para as tubulações são basicamente do tipo C-Mn equivalentes aos aços da serie API (API 5L X65, X70 etc) enquanto que os aços utilizados nas válvulas são aços temperados e revenidos como os aços AISI 8630. Estes aços quando soldados ficam susceptíveis à fratura por hidrogênio na zona termicamente afetada.

Para a ocorrência da fratura, o hidrogênio deve estar associado a uma microestrutura frágil e/ou a um elevado nível de tensões residuais ⁽¹⁾. Estas microestruturas frágeis são provenientes da composição química dos aços de alta resistência e sua quantificação dependerá também dos parâmetros e procedimentos de soldagem utilizados.

A associação do ambiente marinho com o H₂S do petróleo já seria suficiente para se tomar precauções contra uma possível fragilização por hidrogênio na ZTA em juntas soldadas do aço AISI 8630, devido à sua estrutura martensítica de elevada dureza ⁽²⁾. Mas, além disso, estes sistemas submarinos são muitas vezes protegidos contra corrosão pela combinação de pintura e proteção catódica, que por sua vez libera hidrogênio, o que pode contribuir ainda mais para fragilização da região soldada ⁽³⁾.

O controle adequado da taxa de resfriamento da junta soldada através do controle dos parâmetros e procedimentos de soldagem é de fundamental importância para evitar a criação de ZTAs mais extensas, com maiores granulometria e maiores níveis de tensões residuais e, portanto, mais susceptíveis às trincas induzidas pelo hidrogênio.

Uma das formas mais utilizadas para reduzir a taxa de resfriamento de uma junta soldada é a aplicação de um pré-aquecimento, o qual, além de evitar a formação de microestruturas frágeis, facilita a saída do hidrogênio para fora da junta e reduz os níveis de tensões residuais ⁽⁴⁾.

Os principais parâmetros para especificar a temperatura de pré-aquecimento são: a espessura da peça e a composição química do aço, mais especificamente o valor do seu Carbono Equivalente (CE). Para a determinação do valor ideal da temperatura de pré-aquecimento, existem vários ensaios. Entre eles, o ensaio de Implante.

O Ensaio de Implante é um ensaio que avalia a susceptibilidade à fragilização por hidrogênio da ZTA de juntas soldadas, através da aplicação de cargas constantes em pinos confeccionados do material de interesse, implantados em chapas de um aço C-Mn, nos quais são depositados cordões de solda com condições que induzam a presença do hidrogênio na junta soldada, como por exemplo, variando a temperatura de pré-aquecimento ⁽⁵⁾. A região que corresponde à ZTA do aço ficará localizada na região rosquedada do pino, induzindo assim a nucleação da trinca naquela região. Este tipo de ensaio possibilita então a determinação da carga e do tempo de ruptura para uma determinada temperatura de pré-aquecimento utilizando uma pequena quantidade de material.

Neste trabalho foi avaliada a influência do valor da temperatura de pré-aquecimento sobre a susceptibilidade à fragilização por hidrogênio na ZTA do aço AISI 8630 utilizado na confecção de válvulas submarinas para condução de petróleo utilizando o Ensaio de Implante.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizado como metal de base o aço AISI 8630. A Tabela 1 apresenta a composição do metal fornecida pela empresa Aços Villares. O metal foi adquirido em forma de chapa com dimensões de 254 x 81 x 31 mm.

Tabela 1. Composição química nominal do aço AISI 8630

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
8630	0.28– 0.33	0.15– 0.35	0.70– 0.90	≤ 0.025	≤ 0.025	0.40 – 0.60	0.15– 0.25	0.40– 0.70	≤ 0.35	≤ 0.018

A Figura 1 apresenta o desenho do implante, usinado da chapa de aço, com as suas respectivas dimensões. A rosca maior para inserção dos pesos e a rosca menor para a sua inserção na chapa.

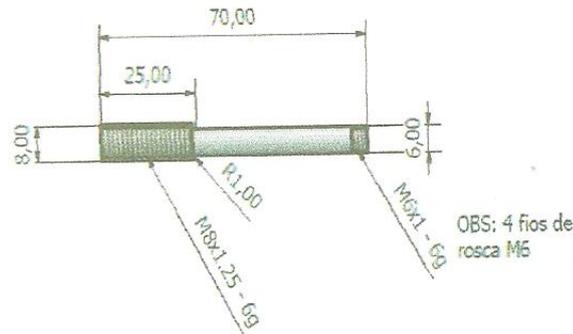


Figura 1. Desenho do implante e suas dimensões.

Para possibilitar a usinagem do aço AISI 8630 os tabletes foram submetidos a um tratamento de recozimento. Após a usinagem os pinos foram temperados e revenidos utilizando o mesmo ciclo térmico informado pelo fornecedor do aço.

Depois de usinados e tratados termicamente, os corpos de prova (implantes) foram submetidos a um sistema simulado de proteção catódica para indução de hidrogênio. Com auxílio de uma cuba acrílica, os implantes ficaram imersos em uma solução sintética de água marinha (confeccionada no laboratório de corrosão da UFCG), durante uma semana (7 dias), sob uma carga de -1100 mV (especificação da Petrobras) para a hidrogenação. O controle dessa carga foi feito através de uma fonte Agilent e de um multímetro que ficaram diretamente ligados aos corpos de prova submersos.

Para auxiliar no período de hidrogenação, foi confeccionada uma placa com 5 furos de 6 milímetros. A placa foi colada na parte superior da cuba, o que possibilitou a suspensão dos corpos de prova na altura correta e conseqüentemente o contato com a solução apenas da parte do implante que estaria envolvida no processo de soldagem. Em cada furo, um pino era posicionado ou substituído diariamente, para que, a cada dia fosse feito um ensaio com a garantia de que o pino havia sido dopado por 7 dias, e o experimento diário poderia superar as 18 horas estabelecidas como parâmetro para avaliação.

Devido às condições do processo de dopagem, a troca semanal da solução de água marinha sintética se fez necessária. Para facilitar esse processo de troca, foi instalada uma bomba d'água para aquários que jogava a solução em um recipiente externo para que uma solução nova fosse adicionada. A Figura 2 apresenta o esquema utilizado para a dopagem dos corpos de prova.

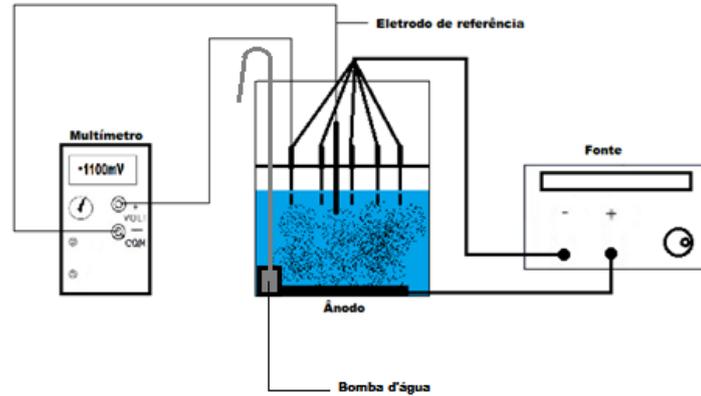


Figura 2. Esquema de proteção catódica utilizado para hidrogenação dos corpos de prova de implante.

Passado o período de hidrogenação, os corpos de prova eram tirados da cuba, posicionados no equipamento para ensaio de implante e imediatamente soldados em uma chapa de aço comercial SAE 1020. A chapa com pouco mais de uma polegada de espessura, possuía 4 furos de 6 milímetros de diâmetro que permitiam a passagem da parte superior do pino, que seria soldada. A Figura 3 ilustra o implante rosqueado na chapa e sendo submetido ao processo de soldagem e a Figura 4 apresenta um esquema da vista superior do cordão de solda, com 150 mm de comprimento, depositado sobre um pino e os outros furos para a inserção dos outros implantes na chapa.

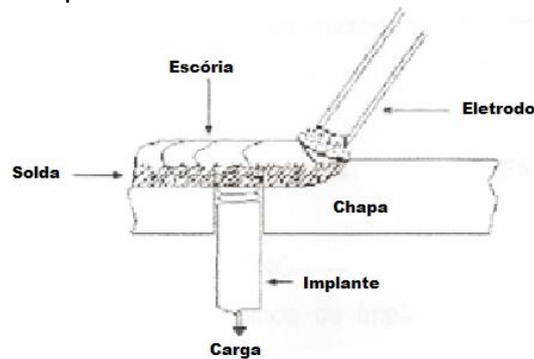


Figura 3. Esquema de soldagem sobre o implante inserido na chapa

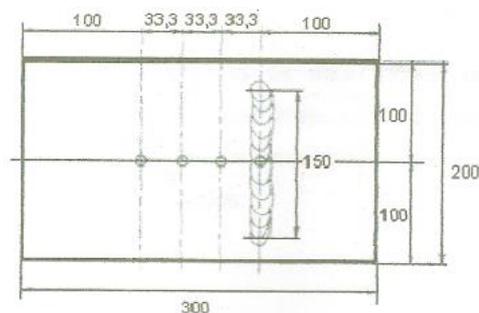


Figura 4. Vista superior do posicionamento do cordão de solda sobre o implante inserido na chapa de aço.

Para a escolha das temperaturas de pré-aquecimento utilizadas tomou-se como referência o valor do Carbono Equivalente (CE) do aço AISI 8630 e a espessura da chapa em que o implante estava inserido. Para a determinação do CE utilizou-se a equação (A).

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (A)$$

Equação A. Expressão utilizada para a determinação do CE

Utilizando a equação 1 e considerando os valores médios das faixas de composição de cada elemento químico apresentada na Tabela 1, o valor do CE do aço AISI 8630 foi 0,59%. Considerando o gráfico elaborado por Ed Craig ⁽⁶⁾, que sugere o valor da temperatura de pré-aquecimento em função da espessura e do CE, temos para chapa de aço com 31 mm de espessura, uma temperatura de pré-aquecimento a ser aplicada em torno de 250 °C. Por outro lado, as especificações de procedimentos de soldagem (EPI) para aplicação de camadas prévias neste aço antes da execução da solda de enchimento apresentam uma larga faixa de temperatura que vai de 230°C a 340°C ⁽⁷⁾.

Sendo assim, foi estabelecido avaliar uma faixa de temperaturas de pré-aquecimento iniciando com um valor um pouco abaixo do mínimo sugerido (180 °C) até um valor próximo do máximo sugerido pela FMS (330 °C). Entre estes dois valores utilizaram-se duas temperaturas intermediárias (230 °C e 280 °C). Portanto as temperaturas de pré-aquecimento avaliadas foram: 180°C, 230°C, 280°C e 330°C.

Os pré-aquecimentos foram feitos com controle da temperatura por um termômetro digital a laser. O processo de soldagem utilizado foi ao Arco Elétrico com Proteção Gasosa (GMAW) utilizando o arame AWS ER80 S-G com diâmetro de 1,2 mm, utilizado para aplicação de amanteigamentos no aço AISI 8630, como metal de adição e o Argônio como gás de proteção. A fonte de energia utilizada foi uma fonte AristoPower 460 da ESAB. Utilizou-se uma voltagem de 17V, uma velocidade do arame de 2,8 m/min e uma vazão de gás de 15 l/min.

Após a execução da soldagem esperava-se a temperatura cair até um valor de 150 °C, para aplicação da carga, seguindo a norma francesa –NF A 89 – 100.

A carga trativa constante era aplicada a cada implante por no mínimo 18 horas. A norma NF A 89 – 100 (AFNOR)⁽⁸⁾ sugere 16 horas, porém, o tempo de 18 horas foi escolhido para haver uma margem maior de segurança, já que não há um consenso. Por exemplo, Bouverot ⁽⁹⁾ considera que a carga deve ser mantida por no mínimo 70 horas, enquanto Piza ⁽¹⁰⁾ considera que se o implante não romper em até 2 horas de aplicação de carga ele não romperá mais. Sendo assim, no caso de ocorrência de fratura, o tempo até a fratura do implante era determinado através de uma placa de aquisição ligada a um computador e célula de carga do equipamento. Caso as 18 horas fossem atingidas e não ocorresse a fratura do implante, a montagem chapa/implante era desfeita.

Uma série de testes era executada com a diminuição progressiva da carga até que o implante não fraturasse. Esse nível de carga era então considerado como a medida da resistência do material ao trincamento a frio para aquela condição de soldagem.

A tensão imposta ao implante no primeiro carregamento era de cerca de 2/3 do seu limite de escoamento do aço AISI 8630.

Para a aplicação da carga o equipamento dispunha de um braço onde eram colocadas anilhas com diferentes pesos, conforme ilustrado na Figura 5.

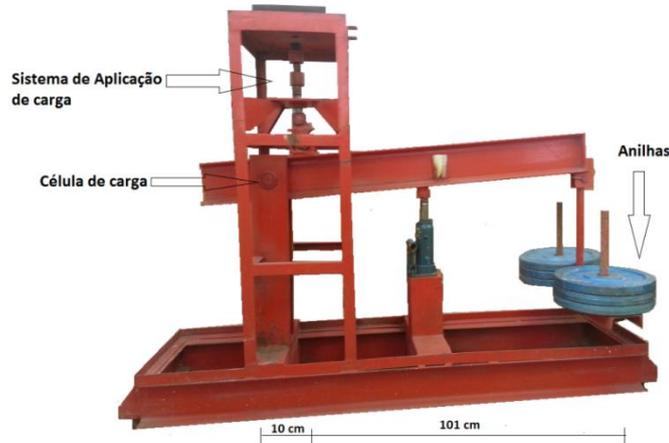


Figura 5. Sistema de aplicação de carga do Ensaio de Implante.

O valor da carga atuando no pino foi calculada considerando os momentos do sistema devido às distâncias indicadas na Figura. Como os implantes ficaram com um furo na parte superior devido ao processo de usinagem, para o cálculo da tensão considerou-se apenas as partes do pino que suportaram as cargas, ou seja, o diâmetro externo (D_e) menos o diâmetro interno do implante (D_i), conforme ilustrado na Equação (B).

$$\bullet \quad T = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{\frac{\pi(D_e^2 - D_i^2)}{4}} \quad (B)$$

Onde: D_e = Diâmetro externo do implante.

D_i = Diâmetro interno do implante.

Equação B. Cálculo da tensão (T) no implante.

Foram usinados 37 implantes. A divisão de pinos para cada pré-aquecimento ficou: 10 para 180°C, 9 para 230°C, 9 para 280°C e 9 para 330°C. Para cada nível de tensão, 2 pinos eram analisados em uma mesma carga. Para um par de resultados de tempo de ruptura semelhantes, a carga era alterada. Para dois resultados diferentes em mesmas condições, um terceiro ensaio era feito na mesma condição para confirmação do resultado correto.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras de 6 a 9 apresentam os gráficos tensão x tempo de ruptura para cada uma das temperaturas de pré-aquecimento (T_0) utilizadas.

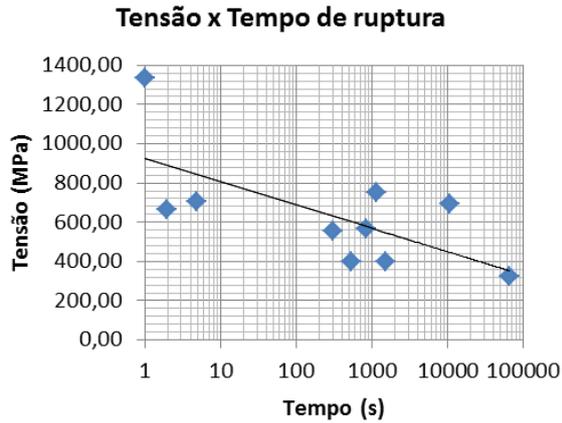


Figura 6. Gráfico Tensão x Tempo de ruptura para um pré-aquecimento de 180°C.

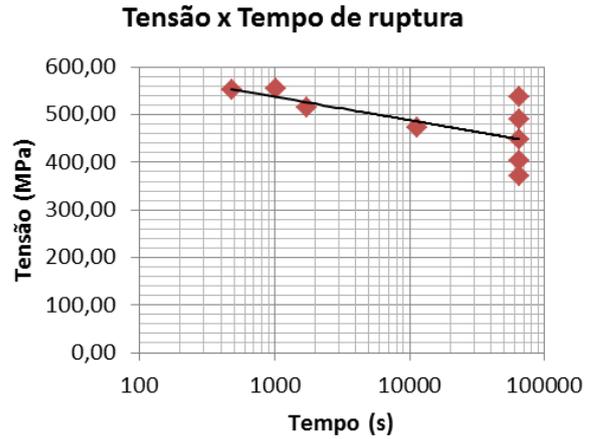


Figura 7. Gráfico Tensão x Tempo de ruptura para um pré-aquecimento de 230°C.

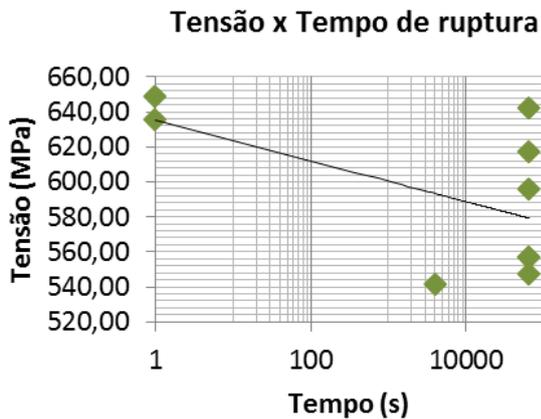


Figura 8. Gráfico Tensão x Tempo de ruptura para utilizando-se um pré-aquecimento de 280°C.

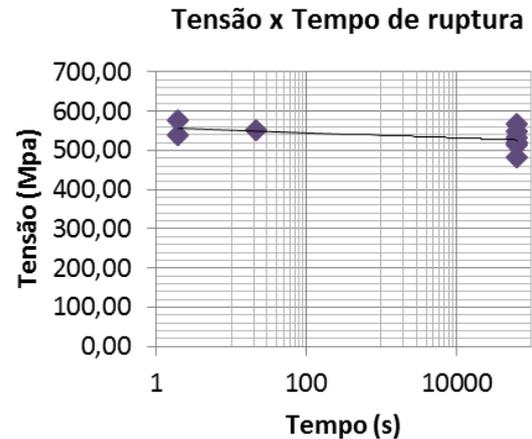


Figura 9. Gráfico Tensão x Tempo de ruptura para utilizando-se um pré-aquecimento de 330°.

Pode-se observar que para T0 de 180 não houve uma grande homogeneidade de resultados, principalmente para cargas mais altas, como foi o caso da carga de 80 Kg. Além disso, para que se atingisse o objetivo de 18 horas sem ruptura do implante, a carga teve de ser reduzida até 40 Kg.

Utilizando-se a temperatura de pré-aquecimento de 230 °C (Figura 7), observa-se resultados mais próximos entre si, além disso, tiveram implantes que superaram a barreira das 18h sem ruptura com tensões acima de 500 MPa, mostrando assim que o segundo pré-aquecimento obteve melhores resultados que o primeiro.

Os resultados obtidos com a temperatura de pré-aquecimento de 280 °C (Figura 8) foram ainda melhores que o primeiro e o segundo. À excessão das primeiras cargas que correponderam a tensões de 600 MPa todos os pinos suportaram tensões superiores a 540 MPa acima de 18h sem ruptura.

Os resultados dos ensaios de implante com maior pré-aquecimento (330 °C) estão apresentados na Figura 9. Observa-se que os pinos que conseguiram suportar

18 horas sem ruptura estavam com tensões entre 480 e 566 MPa, ou seja, com valores menores do que os obtidos com as temperaturas de pré-aquecimento de 280 °C.

Os valores de microdureza das regiões onde ocorreram as rupturas das amostras estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de Microdureza Vickers para amostras de diferentes pré-aquecimentos.

Amostra	HV média	Pré-aquecimento(°C)	Tensão(Mpa)	Tempo (s)
3	604,26	180	666	2
9	558,86	180	398	1560
11	545,54	230	551	480
15	450,59	230	491	>64800
25	341,27	280	595	>64800
27	402,3	280	635	1
33	445,16	330	519	>64800
37	444,49	330	566	>64800

Observando a tabela, observa-se que os valores de microdureza apresentaram uma tendência de redução nos seus valores com o aumento da temperatura de pré-aquecimento, em função da redução da taxa de resfriamento. Esta redução de dureza implica em uma redução da fragilidade da martensita e conseqüentemente no aumento do tempo e da carga de ruptura.

As Figuras 10 a 13 apresentam as microestruturas das superfícies fraturadas dos pinos utilizando-se as diferentes temperaturas de pré-aquecimento.

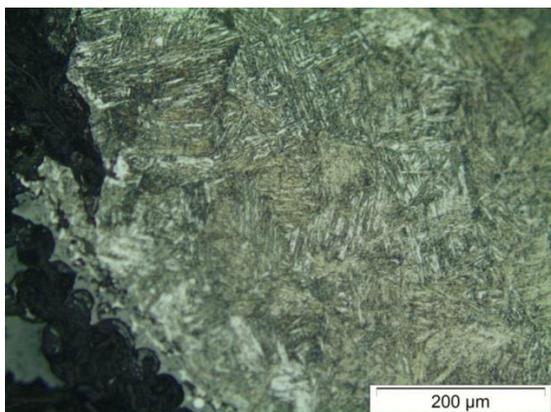


Figura 10. Microestrutura da superfície fraturada utilizando um pré-aquecimento de 180°C. HV(média) = 604,26.

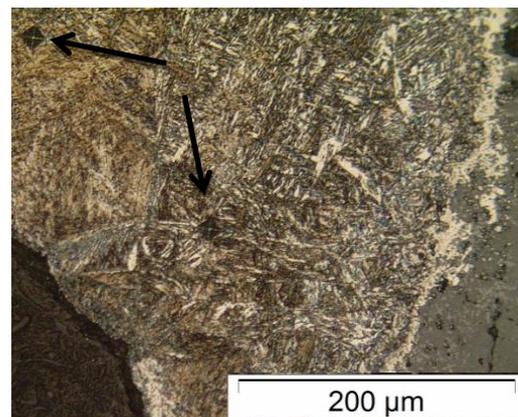


Figura 11. Microestrutura da superfície fraturada utilizando um pré-aquecimento de 230°C. HV(média) = 450,59.

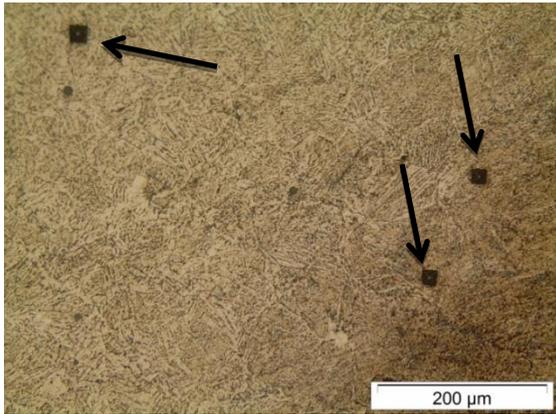


Figura 12. Microestrutura da superfície fraturada utilizando um pré-aquecimento de 280°C. HV(média) = 341,27.

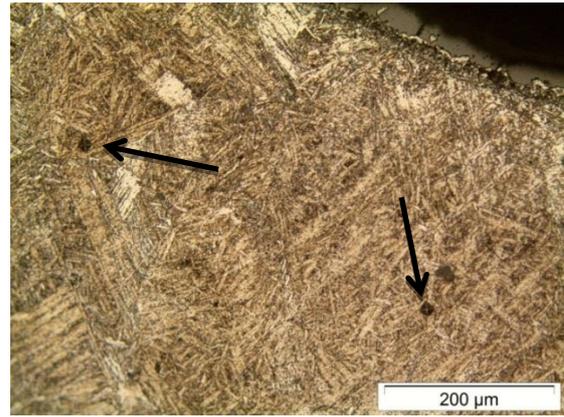


Figura 13. Microestrutura da superfície fraturada utilizando um pré-aquecimento de 330°C. HV(média) = 445,16.

Nas imagens das microestruturas, as setas indicam as endentações de microdureza. As manchas escuras nos extremos das imagens são partes do embutimento das amostras.

Observamos que as microestruturas martensíticas das superfícies dos pinos apresentaram morfologias similares, à exceção da microestrutura do pino pré-aquecido com 280 °C, que apresentou uma aparência mais refinada e com menor valor médio de dureza. Essa amostra também apresentou os melhores resultados com relação à carga suportada e o tempo de ruptura, demonstrando assim a influência do tamanho de grão e dureza da martensita nos resultados obtidos. Microdurezas mais baixas têm estruturas mais refinadas e, portanto, são mais resistentes à propagação de trincas. Microestruturas mais grosseiras e mais duras, por sua vez, apresentam maior fragilidade ⁽¹⁾.

O aumento da temperatura de pré-aquecimento, além de influir na proporção e granulometria da martensita contribui para facilitar a saída do hidrogênio para fora da junta. O aumento progressivo da temperatura de pré-aquecimento, faz com que o teor de hidrogênio evolua mais para o meio ambiente, reduzindo a sua quantidade na poça de fusão de solda diminuindo o risco de fragilização causada por esse elemento.

Porém, o aumento da temperatura pode fazer com que a zona de grãos grosseiros aumente cada vez mais para o interior da peça, e esse fator pode ter implicado no fato de o pré-aquecimento de 280°C ter tido resultados melhores que o pré-aquecimento de 330°C. O pré-aquecimento de 330°C pode ter sido suficiente para expandir a zona de grãos grosseiros, para uma rosca abaixo da qual normalmente o implante romperia, criando-se uma zona de fragilidade num local diferente, conforme ilustrado na Figura 14. Sendo assim, o pré-aquecimento de 280°C proporcionou os melhores resultados por combinar uma elevada saída de hidrogênio para fora da junta com uma microestrutura mais refinada com menor valor de dureza.

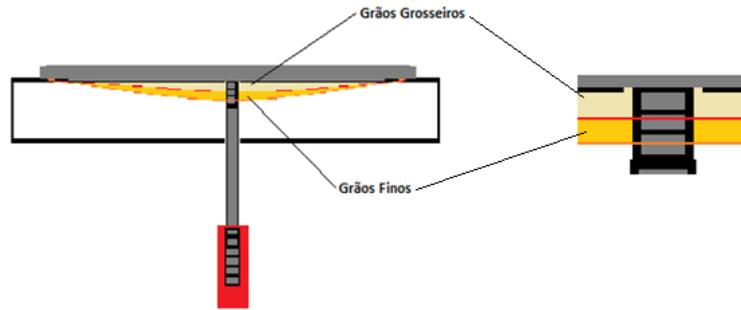


Figura 14. Ilustração das zonas de diferentes microestruturas geradas pelo Pré-aquecimento.

A Figura 15 apresenta o conjunto das curvas tensão x tempo de ruptura para todas as temperaturas de pré-aquecimento utilizadas. Nela pode-se verificar mais claramente o efeito do valor do pré-aquecimento sobre os resultados obtidos, levando em consideração também o efeito deste parâmetro de soldagem sobre os valores da microdureza da região rompida para cada caso.

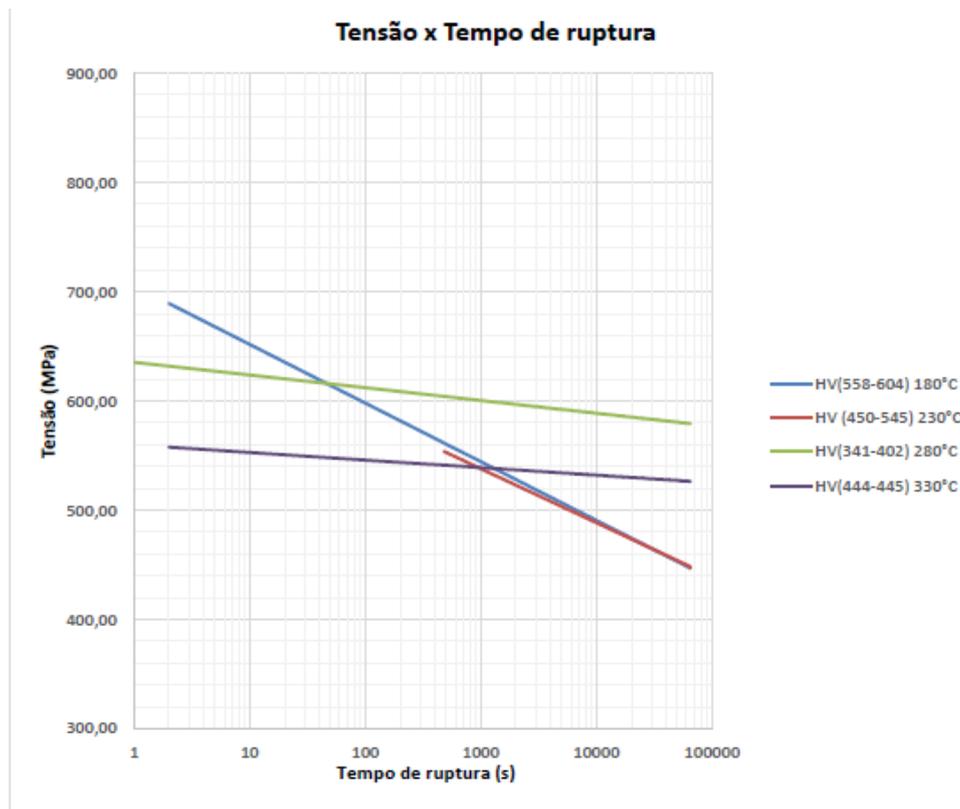


Figura 15. Curvas tensão x tempo de ruptura utilizando-se diferentes temperaturas de pré-aquecimento.

CONCLUSÕES

O Ensaio de Implante se mostrou eficaz na avaliação da influência da presença do hidrogênio em juntas soldadas do aço AISI 8630, promovendo resultados de fácil avaliação e obtenção, com uma quantidade relativamente pequena de materiais.

O aumento da temperatura de pré-aquecimento proporcionou aumentos significativos na carga e no tempo de ruptura nos ensaios de implante.

Os melhores resultados de carga suportada e tempo de ruptura foram obtidos para implantes pré-aquecidos a temperaturas de 280 °C cujas superfícies fraturadas apresentaram uma martensita mais refinada e com valores de microdureza entre 341 e 402 HV.

AGRADECIMENTOS

Ao PRH 25 da UFCG pelo apoio financeiro, à UFMG na pessoa do professor Alexandre Bracarense pelo empréstimo do equipamento para o Ensaio de Implante, ao professor Renato Alexandre Costa de Santana da UFCG pela orientação na montagem e controle dos ensaios para dopagem de hidrogênio.

REFERÊNCIAS

- (1) ATKINS, G. et al. Welding Process Effects in Weldability Testing of Steels. Welding Journal, v. 81, n. 4, p. 61-s – 68-s, abr. 2002.
- (2) LANCASTER, J. F. Metallurgy of Welding. 5. ed. Londres: Chapman & Hall, 1993. 389 p. ISBN 0 412 47810 2.
- (3) REIS, A. C. Fragilização de aços pelo Hidrogênio liberado da proteção catódica de equipamentos submarinos. Monografia apresentada ao Curso de Graduação, em Engenharia de Produção com ênfase em Engenharia de Instalações no Mar, da Faculdade Salesiana Maria Auxiliadora. Macaé/RJ, 2009.
- (4) BAILEY, N. et al. Welding Steels Without Hydrogen Cracking. 2 ed. Cambridge: Abington Publishing, 1973. 150 p. ISBN 1 85573 014 626.
- (5) SILVA, C. A. Desenvolvimento de metodologia para avaliação do procedimento de soldagem para recuperação de equipamentos de aço de baixo teor de carbono expostos a grande quantidade de hidrogênio. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais/MG, 2001.
- (6) CRAIG, Ed. Welding and steels info on ASTM - A36 TO A391. Disponível em: <http://www.weldreality.com/ASTM_A36-A389.htm >. Acesso em 15 de março de 2016.
- (7) FMS Technologies - Doc No: EPS11186 –(10/07/2008).
- (8) AFNOR, Fissuration à froid sur implants. NF A 89 100 December 1991, 11p.

- (9) BOUVEROT, R. Essais de soudabilité par implants effectués au Laboratoire de la Société Babcock. Laboratoire de la Société Babcock, Atlantique, mar. 1971.
- (10) PIZA, M. T. P. Estudo da suscetibilidade ao trincamento a frio, através da técnica de implantes, de dois aços estruturais usados na indústria offshore. Rio de Janeiro, 1992. 222 p. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

EVALUATION OF THE SUSCEPTIBILITY TO HYDROGEN EMBRITTLEMENT OF AISI 8630 STEEL WELDED JOINTS THROUGH THE IMPLANT TEST

Abstract: This study aimed to evaluate the effect of preheating temperature on the susceptibility to hydrogen embrittlement in AISI 8630 steel welded. To this threaded pin machined from AISI 8630 steel were immersed in artificial sea water solution and subjected to a mv similar to those applied in cathodic protection systems used for corrosion protection in off shore installation for oil transportation. Afterwards the pins were implanted in a carbon steel plate on which were deposited weld. Rupture stress x time curves were generated by separating the samples by preheating temperature values. In addition, microstructural analyses and hardness test were done at the ruptured surface. The longer times and higher rupture load were obtained for preheating of 280 ° C which generated fractured surfaces with a finer martensite.

Key-Words: *Welding, AISI 8630 Steel, Implant Test, Preheat temperature.*