

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE PRÉ-AQUECIMENTO EM CORDÕES DE SOLDA USANDO O TESTE G-BOP

Francisco Edson Nogueira Fraga

UNICAMP. Faculdade de Eng. Mecânica, Dep. de Eng. de Fabricação.

C P: 6122. Campinas - SP. Brasil.

nfraga@fem.unicamp.br

Roseana da Exaltação Trevisan

UNICAMP. Faculdade de Eng. Mecânica, Dep. de Eng. de Fabricação.

C P: 6122. Campinas - SP. Brasil.

roseana@fem.unicamp.br

Resumo. *O objetivo deste trabalho é avaliar como a temperatura de pré-aquecimento influencia os resultados do teste G-BOP. Esta avaliação foi feita quantificando-se a variável de resposta do teste, que é o percentual de trinca à frio no metal de solda. No desenvolvimento experimental do presente trabalho foram feitos cordões de solda utilizando o arame tubular AWS E71T-1 com proteção gasosa. Foram realizados ensaios à temperatura ambiente de 25°C e à temperatura de pré-aquecimento de 70°C, com oito réplicas para cada condição. O metal base utilizado nos corpos de prova foi o aço ASTM A-285 grau C. Foi realizada a medição do hidrogênio residual e medidas das taxas de resfriamento nos diferentes cordões de solda obtidos. Os resultados mostram que, apesar da temperatura de pré-aquecimento ter atuado sobre os resultados do teste através da taxa de resfriamento no metal de solda, não houve alterações significativas do teor de hidrogênio residual. A temperatura de pré-aquecimento influenciou os resultados dos ensaios de modo significativo, o que demonstra que este parâmetro deve ser mantido constante ao se comparar diferentes resultados obtidos com o teste G-BOP.*

Palavras chave. *Soldagem; Trincas de Hidrogênio; Teste G-BOP; Pré-aquecimento.*

1. INTRODUÇÃO

O aperfeiçoamento dos aços, a partir de melhoramentos na composição química e no processamento de fabricação destes, vem possibilitando uma redução do risco de ocorrência das trincas de hidrogênio na zona afetada pelo calor (ZAC) dos aços soldados. No entanto, estas passaram a ocorrer com mais frequência no metal de solda destes novos materiais ^(1, 2). O teste denominado como *Gapped Bead-on-Plate*, ou simplesmente G-BOP, surgiu como uma proposta para avaliar especificamente a ocorrência de Trincas Induzidas por Hidrogênio (TIH) no metal de solda ⁽³⁾.

No estudo da ocorrência de trincas de hidrogênio, três fatores de influência são levados em consideração como pré-requisitos para a ocorrência deste fenômeno: o nível de tensão na junta (restrição), a quantidade de hidrogênio na solda e a presença de uma ou mais microestruturas susceptíveis ^(4, 5, 6, 7).

O teste G-BOP atua de forma a induzir trincas de hidrogênio por meio do grau de restrição que o mesmo promove no cordão de solda (CS) durante o resfriamento. O teste G-BOP é conhecido como um teste auto-restritivo, pois não há uma tensão aplicada externamente, os níveis de tensões internas na solda são devido à contrações térmicas, redução de volume no CS e tensões de transformação microestrutural ^(1, 8).

As principais vantagens do teste G-BOP são: simplicidade na execução; baixo custo, quando comparado a outros testes e confiabilidade ao determinar a susceptibilidade ao trincamento por hidrogênio no CS ^(9, 10).

O corpo de prova (CP) para o teste G-BOP é constituído por dois blocos fixados um ao outro, sendo que um destes tem um entalhe usinado compreendido entre os dois blocos. A fixação deve prevenir movimentos relativos de um bloco em relação ao outro durante o andamento do ensaio. Na

execução do teste, um cordão de solda de 100mm de comprimento é depositado sobre os blocos transversalmente à região do entalhe, conforme é mostrado na Figura 1. Após a soldagem, os blocos são mantidos fixos por no mínimo 48 horas.

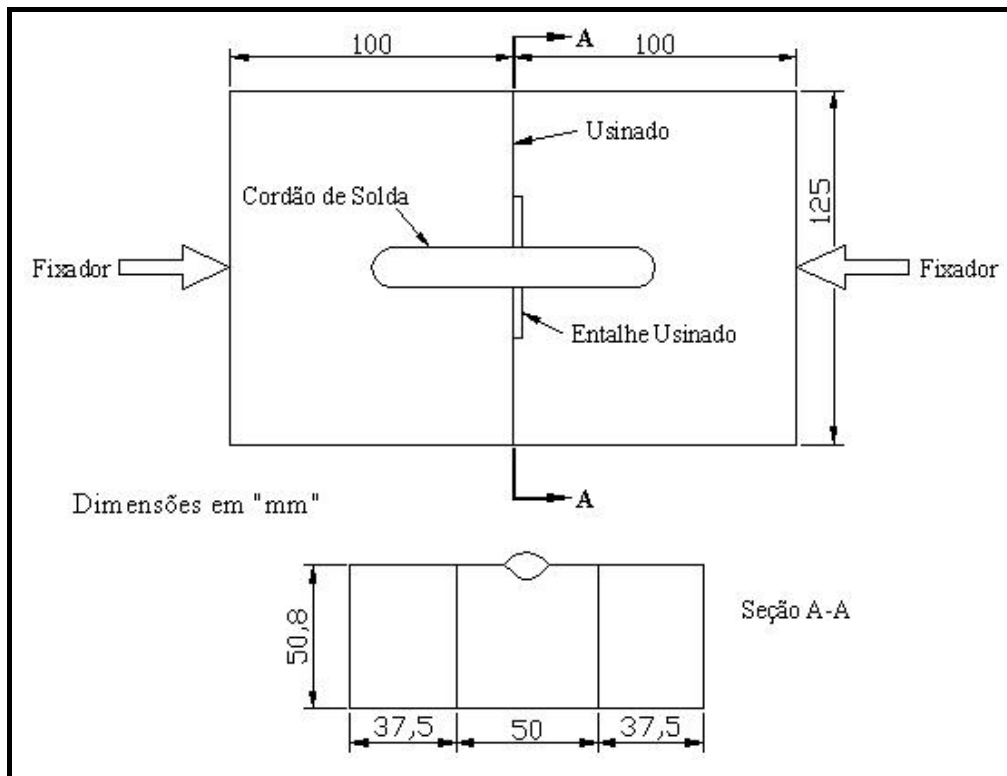


Figura 1. Desenho do corpo de prova ⁽⁹⁾.

Para revelar a trinca, a área da solda sobre o entalhe é aquecida por uma fonte de calor oxiacetilênica até o rubro, oxidando eventuais trincas que possam ter ocorrido naquela seção transversal do CS sobre o referido entalhe. O CP é deixado resfriando até a temperatura ambiente e então é aberto, rompendo o cordão de solda caso este não tenha trincado totalmente. Quando a secção transversal do CS apresentar uma superfície oxidada e outra fosca (resultante do rompimento), significa que a trinca de hidrogênio estava presente no cordão de solda antes do aquecimento ^(1, 2, 9, 10, 11).

A Figura 2 ilustra a seção rompida de um cordão de solda, apresentando uma região fraturada e uma região oxidada caracterizando a presença da trinca de hidrogênio no cordão de solda.

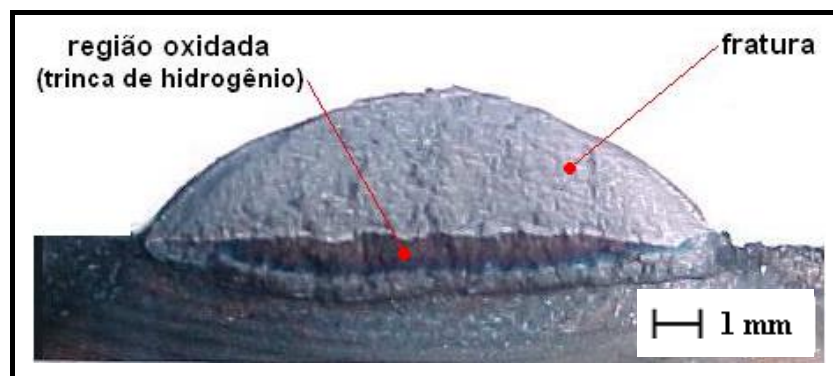


Figura 2. Região fraturada e região oxidada caracterizando a TIH na seção transversal do CS.

Visando contribuir com informações que possam colaborar com a normalização do teste G-BOP, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da temperatura de pré-aquecimento sobre os resultados do presente teste, que é o percentual de trinca à frio no cordão de solda.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento experimental utilizou-se o aço ASTM A-285 grau C para a confecção dos corpos de prova (CP), usinados com dimensões de 115mm x 110mm x 54mm e um rebaixo de 50mm de largura em uma das faces. A profundidade do rebaixo foi de 1,0mm. Tomou-se ainda o cuidado de confeccionar todos os CP's segundo uma mesma direção de laminação, perpendicular ao rebaixo. A Figura 3 ilustra as dimensões do CP para o teste G-BOP e a respectiva direção de laminação do material.

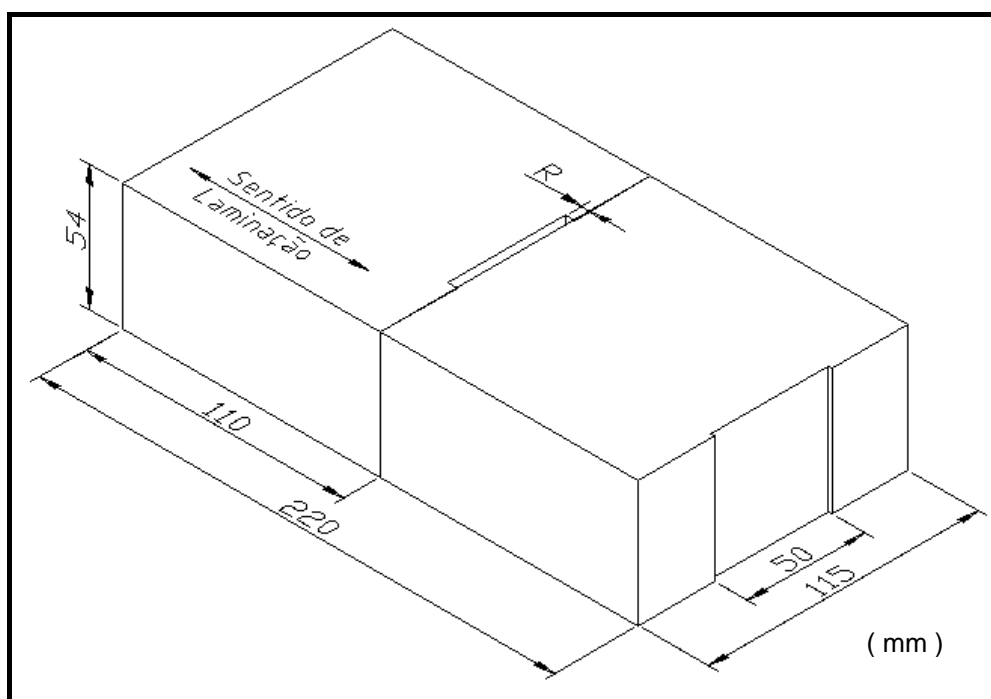


Figura 3. Dimensões em mm do corpo de prova G-BOP. Adaptado de McParlan e Graville⁽⁹⁾.

Foram adotados grampos de fixação para prender os blocos e, assim, prevenir movimentos relativos de um bloco em relação ao outro durante o ensaio. O torque de aperto foi controlado e medido com um torquímetro em 60N.m.

Realizou-se ainda o monitoramento e registro dos ciclos térmicos para o cálculo das taxas de resfriamento dos cordões de solda. A taxa de resfriamento é dada pela razão entre um intervalo de temperatura e um intervalo de tempo. As medições de temperatura/tempo foram feitas durante o processo de soldagem (com e sem pré-aquecimento) através de um sistema composto por um microcomputador, um programa de aquisição de dados, AqDados da Lynx Technology, com uma placa de conversão A/D, e um termopar mineral "Tipo K" (Cromo-Alumel) com diâmetro de 1,6mm. Foi utilizada apenas uma aquisição de dados de temperatura para cada condição analisada.

Para o posicionamento do termopar no corpo de prova, foi feito um furo passante de 1,7mm de diâmetro, perpendicular à linha de centro do CP na região a ser soldada e à 4,0mm de distância do rebaixo. A Figura 4 ilustra o furo para posicionamento do termopar no CP. O termopar foi inserido no furo pela parte inferior do corpo de prova com a extremidade posicionada à 1,5mm da superfície a ser soldada, de modo que, após a soldagem, a ponta do termopar tangenciou a raiz do cordão de solda. Este posicionamento exato em relação ao CS foi conseguido com análise prévia da morfologia do cordão.

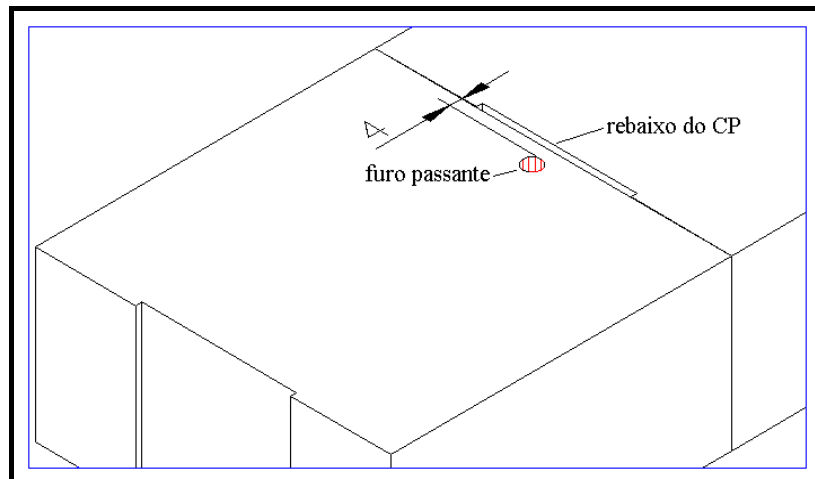


Figura 4. Furo passante para posicionar o termopar no corpo de prova.

Para fazer o pré-aquecimento dos corpos de prova utilizou-se um equipamento para soldagem oxiacetilênica. O corpo de prova foi apoiado sobre pastilhas de cerâmica para reduzir a perda de calor para a bancada. A Figura 5 ilustra o corpo de prova unido pelo grampo de fixação, disposto sobre as pastilhas de cerâmica durante o pré-aquecimento com maçarico de oxiacetileno.

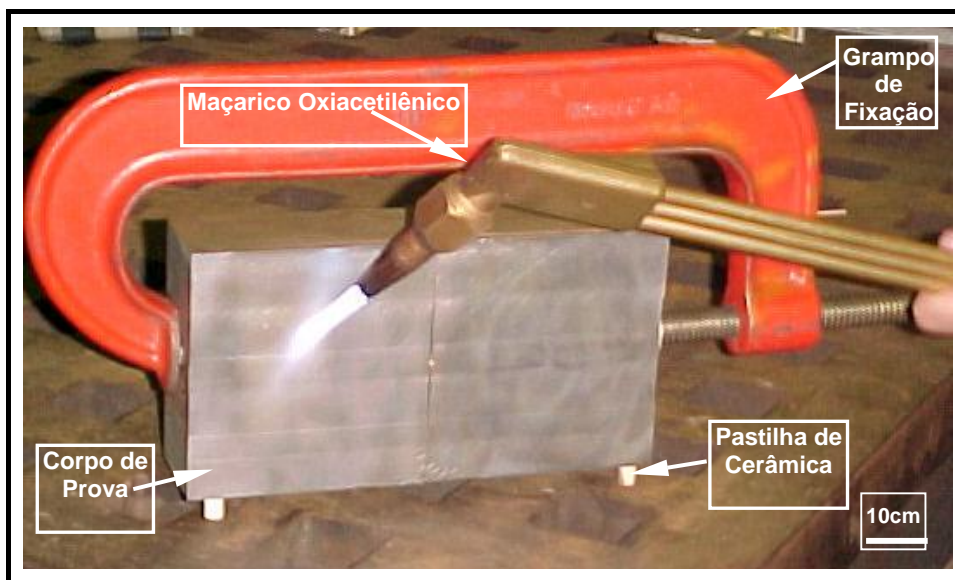


Figura 5. Corpo de prova posicionado sobre as pastilhas cerâmicas durante o pré-aquecimento.

A temperatura, durante o pré-aquecimento do CP, foi controlada com um termômetro portátil de sensor infravermelho, modelo RP. O termômetro foi amparado manualmente, próximo às superfícies dos corpos de prova.

Os cordões de solda foram feitos usando o processo de soldagem a arco com arame tubular (*flux cored arc welding – FCAW*). O metal de adição selecionado foi o AWS E71T-1, diâmetro de 1,6mm e hidrogênio difusível de 5,6ml/100g, indicado pelo fabricante.

As trincas de hidrogênio avaliadas pelo teste G-BOP foram quantificadas a partir da Equação 1, que relaciona a área trincada (região oxidada) e área total (região oxidada + região fraturada) da seção transversal do cordão de solda. As respectivas áreas foram medidas usando o *software* AutoCAD 2000i.

$$T_H = (A_T / A_{cs}) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde T_H = Trincas de hidrogênio (%), A_T = Área da trinca e A_{cs} = Área total do cordão de solda.

No desenvolvimento dos ensaios e avaliação estatística dos resultados utilizou-se um planejamento aleatorizado por níveis (PAN) com um modelo de efeitos fixos. No planejamento experimental, a temperatura de pré-aquecimento (T) foi considerada a variável de influência e o percentual de trincas a variável de resposta (VR).

Foram realizadas inicialmente 4 réplicas para cada nível de temperatura. Observou-se um alto desvio padrão nos resultados. Realizou-se então mais 4 réplicas, com o objetivo de tentar minimizar o alto desvio padrão. Somando, assim, 8 ensaios para cada condição. A metodologia adotada para avaliar os resultados obtidos consistiu de uma análise de variância com nível de significância de 10%, o que indica uma confiabilidade de 90%⁽¹²⁾.

Considerou-se como critério para a determinação dos valores da variável do ensaio (temperatura de pré-aquecimento), bem como dos parâmetros de soldagem, que as trincas de hidrogênio no MS deveriam ocorrer e que esta ocorrência não fosse de 100%. Se a seção do cordão de solda não trincasse ou trincasse em 100%, não seria possível avaliar o quanto cada nível da variável influenciou no teste.

A primeira temperatura selecionada foi de 25°C, correspondente à temperatura ambiente, uma vez que todos os parâmetros de soldagem foram otimizados nesta temperatura.

O outro nível de temperatura adotado foi com pré-aquecimento de 70°C. Este valor foi definido baseado nos estudos de Hart⁽¹³⁾, que propõem uma equação para determinar a temperatura de pré-aquecimento necessária para prever um valor teórico mínimo de 10% de trinca no metal de solda - 10%CPT (*Crack Preheat Temperature*). Esta equação relaciona composição química, quantidade de hidrogênio difusível e taxa de resfriamento no metal de solda. A Equação 2 apresenta a equação desenvolvida por Hart⁽¹³⁾. Na equação 2, Cew é o carbono equivalente.

$$10\%CPT = 188,4 \times CEw - 108,3 \quad (^\circ C) \quad (2)$$

Onde:

$$CEw = C + 0,378 \times Mn + 0,145 \times Ni + 0,468 \times Cr + 0,299 \times Mo - 0,012 \times \Delta t_{800-500} + 0,039 \times H_2$$

com a seguinte faixa de variação para os elementos da equação:

C: 0,03 a 0,09 %	Cr: 0,0 a 1,8 %	$\Delta t_{800-500}$: 3 à 10 s
Mn: 1,0 a 1,7 %	Mo: 0,0 a 1,0 %	Nível de H ₂ : 5 a 10 ml/100g
Ni: 0,0 a 2,9 %		

Os parâmetros de soldagem foram otimizados de modo a obter-se cordões de solda com arco estável, bom acabamento superficial, sem respingos e com penetração da ordem de 30%, além de atender ao critério de ocorrência de trincas, mencionado acima. Os parâmetros de soldagem estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de soldagem.

Energia de Soldagem	Vel. de soldagem (mm/min)	Tensão (V)	Corrente (A)	Vel. do arame (m/min)	DBCP (mm)	Gás (CO ₂) Vazão (l/min)
1,6 kJ/mm	200	26,5	206	4,0	20	17

Realizou-se medições do hidrogênio residual no metal de solda a fim de identificar a presença deste em quantidades significativas para a ocorrência de TIH.. O mesmo foi quantificado através de análise por diferença de termocondutividade pelo Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais da UFSCar/UNESP. Estes resultados foram da ordem de 6 ppm tanto para as amostras ensaiadas a 25°C como para 70°C.

Também realizou-se análise microestrutural, onde foram identificadas presença de microestruturas susceptíveis a ocorrência de TIH nas condições ensaiadas. Foram identificadas presença da ferrita de contorno de grão, prejudicial ao trincamento a frio, e a presença de ferrita de segunda fase alinhada, que favorece a nucleação de trincas, reduzindo a tenacidade da solda⁽⁷⁾.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O percentual médio de trincas no CS e o desvio padrão amostral (S) foram obtidos a partir de 8 ensaios com o teste G-BOP, para cada nível de temperatura (25°C e 70°C). Os resultados estão dispostos na Tabela 2. Observa-se nesta tabela, para a condição de 25°C, que a média dos resultados percentuais de trinca foi maior que a média obtida com a temperatura de pré-aquecimento de 70°C. O que demonstra a menor susceptibilidade à TIH quando utilizado o pré-aquecimento.

Tabela 2. Resultados percentuais de TIH na seção transversal dos cordões de solda.

Temperatura de pré-aquecimento	Quantidade de TIH no CS (%)							
	25° C				70° C			
Resultado dos	33,4	33,0	34,3	31,5	19,1	11,3	25,5	31,8
Ensaio – TIH (%)	39,7	48,6	28,4	27,7	9,3	9,0	26,0	15,1
Média (%)	34,6				18,4			
S	6,8				8,6			

Como já mencionado no item Materiais e Métodos, inicialmente foram feitos quatro ensaios para cada uma das duas condições (25°C e 70°C). Em seguida, aumentou-se o número de ensaios para 8 em cada condição, a fim de tentar reduzir o alto desvio padrão inicialmente obtido. Apesar do número de réplicas ter sido aumentado de 4 para 8, o desvio padrão manteve-se alto da mesma forma, ou seja, a dispersão dos resultados não se alterou significativamente.

Também como já citado no item Materiais e Métodos, os resultados apresentaram confiabilidade de 90%. Esta mesma confiabilidade foi constatada, do mesmo modo, para apenas 4 réplicas.

Os desvios padrões obtidos, mesmo sendo considerados altos, estão coerentes com os dados estatísticos encontrados na literatura^(1, 2, 8, 14), onde observa-se os resultados de trincas de hidrogênio como sendo sempre muito dispersivos.

Com os desvios padrões (S) obtidos (Tabela 2), as médias tornam-se estatisticamente muito próximas. Desta forma, para poder afirmar, se houve, de fato, diferença significativa no percentual médio de trincas entre os dois níveis de temperatura, fez-se necessário aplicar um teste de hipótese no planejamento aleatorizado por níveis, equações 3 e 4. Este teste de hipóteses é previsto no planejamento estatístico adotado, quando as médias apresentam-se próximas por conta de desvios padrões altos⁽¹²⁾.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad (3)$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad (4)$$

Onde: μ_1 e μ_2 estão relacionados às médias dos resultados dos ensaios e H_0 e H_1 são as hipóteses possíveis.

No teste de hipóteses, caso μ_1 seja igual à μ_2 , a hipótese H_0 será verdadeira e as médias serão consideradas estatisticamente iguais. Caso H_0 seja rejeitada ($\mu_1 \neq \mu_2$), as médias serão, portanto, diferentes⁽¹²⁾.

A partir do teste de hipóteses, para um nível de confiabilidade de 90%, foi identificado que as médias são estatisticamente diferentes ($\mu_1 \neq \mu_2$). Desta forma pode-se afirmar que a utilização da temperatura de pré-aquecimento de fato influenciou nos resultados do teste G-BOP, ou seja, uma maior temperatura dos CP's gerou um percentual menor de trinca na seção transversal do MS.

Um fator importante que foi levado em consideração para avaliar os resultados do teste G-BOP foi o teor de hidrogênio residual no metal de solda. Uma vez que a quantidade de hidrogênio no MS é fundamental para a ocorrência de TIH^(2, 5, 6, 7).

Como apresentado no item Materiais e Métodos, foram feitas medições do hidrogênio residual no metal de solda. Os valores (da ordem de 6ppm) foram considerados altos e suficientes para possibilitar a ocorrência de TIH. Analisando dados encontrados na literatura¹⁴, para o mesmo arame tubular (AWS E71T-1) e parâmetros de soldagem próximos aos utilizados aqui, os referidos dados caracterizaram a ocorrência de TIH com uma quantidade de hidrogênio residual de 2ppm, para ensaios executados à temperatura ambiente (25°C) e 1,33ppm para pré-aquecimento de 100°C.

Entretanto, considerou-se que o pré-aquecimento utilizado aqui não foi suficiente para alterar significativamente os níveis de hidrogênio residual no metal de solda.

De acordo com a literatura^(10, 15), ensaios executados com o teste G-BOP devem ser capazes de impor e reproduzir no cordão de solda taxas de resfriamento que sejam suficientes para induzir TIH no cordão de solda, no tocante à suscitar níveis de tensão para a ocorrência destas.

A elevada taxa de resfriamento no teste G-BOP é devido a grande massa do CP em relação à massa do CS depositado, suficiente para dissipar grande parte do calor aplicado durante a soldagem. Baseado nisto, foi feita uma avaliação no comportamento da velocidade de resfriamento para as diferentes temperaturas (25°C e 70°C), visando justificar como o pré-aquecimento influenciou nos resultados do teste G-BOP, uma vez que o hidrogênio residual manteve-se constante, as microestruturas susceptíveis foram às mesmas e que a única variável alterada nos ensaios foi a temperatura de pré-aquecimento.

Na Figura 6 são apresentados os ciclos térmicos obtidos para os cordões de solda executados à temperatura ambiente (25°C) e com pré-aquecimento de 70°C.

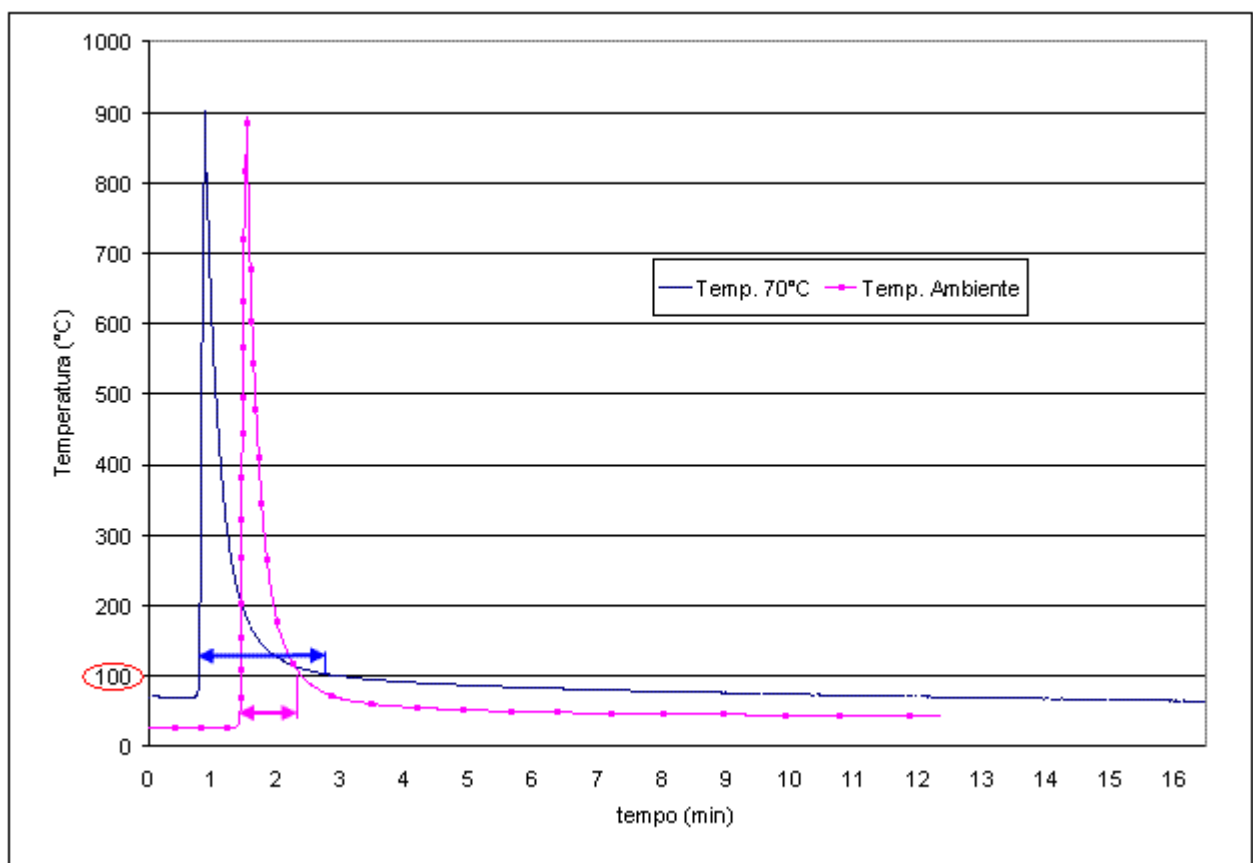


Figura 6. Ciclos térmicos para os cordões de solda executados à 25°C e 70°C.

É destacada na Figura 6 a diferença entre os intervalos de tempo de resfriamento desde o pico de temperatura medido até 100°C, para as duas condições ensaiadas. Verifica-se que o cordão de solda executado à temperatura ambiente (25°C) promoveu um resfriamento mais drástico quando comparado com o cordão feito com pré-aquecimento de 70°C. Pode-se observar que houve um intervalo de tempo de resfriamento maior para a condição à 70°C em relação a condição de soldagem à 25°C, indicando que a curva à 70°C apresentou uma taxa de resfriamento menor.

Na Tabela 3 estão quantificadas as reduções das taxas de resfriamento entre as temperaturas de 800°C e 500°C ($\Delta T_{8-5}/\Delta t$) e de 300°C e 100°C ($\Delta T_{3-1}/\Delta t$) em função da temperatura de pré-aquecimento do corpo de prova. A taxa de resfriamento é a razão entre um intervalo de temperatura (ΔT) e um intervalo de tempo (Δt). Estes valores foram obtidos durante a aquisição de dados nos ensaios. Na Tabela 3 também são destacados os percentuais médios de TIH nos cordões de solda, para comparação com as variações das taxas de resfriamento.

Tabela 3. Redução das taxas de resfriamento e do percentual de TIH em função do aumento da ES.

Temperatura de Pré-aquecimento do corpo de prova	TAXA DE RESFRIAMENTO		Percentual médio de TIH (%)
	$(\Delta T_{8-5}/\Delta t)$	$\Delta T_{3-1}/\Delta t$	
25°C	46,1°C/s	5,9°C/s	34,6
70°C	36,9°C/s	2,0°C/s	18,4
Redução na taxa de resfriamento	20%	66%	

Pode-se observar nesta tabela que a redução do percentual médio de trinca de hidrogênio está diretamente relacionada com a redução nas taxas de resfriamento.

Ainda de acordo com a tabela 3, a taxa de resfriamento entre as temperaturas de 800°C e 500°C ($\Delta T_{8-5}/\Delta t$) para a temperatura do corpo de prova de 25°C, foi de 46,1°C/s e de 36,9°C/s para a temperatura do corpo de prova de 70°C, o que representa uma redução na taxa de resfriamento de 20%. Entre as temperaturas de 300°C e 100°C a taxa de resfriamento ($\Delta T_{3-1}/\Delta t$) foi de 5,9°C/s para a temperatura de 25°C, e de 2,0°C/s para a temperatura de 70°C, correspondendo a uma redução de 66% na taxa de resfriamento do metal de solda. Estes resultados estão de acordo com o estudo de Chakravarti & Bala ⁽¹⁾ que, estudando pré-aquecimento usando o teste G-BOP, observaram que aumentando o intervalo de tempo de resfriamento entre as temperaturas de 300°C e 100°C (Δt_{3-1}), ou seja, reduzindo a taxa de resfriamento, ocasionava uma diminuição da porcentagem de trincas ocorridas no cordão de solda.

Constatou-se que houve a redução do percentual de trincas quando da aplicação da temperatura de pré-aquecimento no teste G-BOP. A temperatura de pré-aquecimento promoveu alteração significativa na taxa de resfriamento, que, por sua vez, minimizou as tensões no metal de solda. Tensões estas, que são um dos pré-requisitos necessários para a ocorrência das TIH.

A condição auto-restritiva no teste G-BOP é devido a grande espessura dos blocos, que promove uma alta taxa de resfriamento no cordão de solda ensaiado, sendo responsável pela magnitude da tensão residual na raiz do cordão de solda ⁽¹⁵⁾. A temperatura de pré-aquecimento atua, portanto, diretamente na redução dessa taxa de resfriamento ao aumentar a temperatura do bloco e reduzindo, consecutivamente, o coeficiente de condução térmica do material.

As informações obtidas neste trabalho podem contribuir para uma posterior normalização do teste G-BOP, destacando-se a temperatura de pré-aquecimento, que deve ser levada em consideração durante a realização de ensaios com o referido teste.

4. CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A temperatura de pré-aquecimento tem influência significativa nos resultados do teste G-BOP.
- A variação da temperatura do corpo de prova de 25°C para 70°C causou uma redução de 34,6 % para 18,4% no percentual médio de trinca.
- A temperatura de pré-aquecimento atuou na redução das tensões no cordão de solda através da redução da taxa de resfriamento.
- É importante utilizar um número mínimo de 4 réplicas na realização dos ensaios com o teste G-BOP devido à alta dispersão observada nos resultados com este teste.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro à pesquisa.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. CHAKRAVARTI, A. P.; BALA, S. R. Evaluation of weld metal cold cracking using G-BOP test. **Welding Journal**, 68 (1), p. 1s-8s, January 1989.
2. DAVIDSON, J. L. Hydrogen-induced cracking of low carbon – low alloy steel weldments. **Materials Forum**, v. 19, pp. 35-51, 1995.
3. GRAVILLE, B. A., McPARLAN, M. **Metal Construction**, 6 (2), pp. 62-63, February 1974.
4. SAWHILL JR., J. M.; DIX, A. W.; SAVAGE, W. F. Modified implant test for studying delayed cracking. **Welding Journal**, p.554s-559s, December 1974.
5. SAVAGE, W. F.; NIPPES, E. F.; TOKUNAGA, Y. Hydrogen induced cracking in HY-130 steel weldments. **Welding Journal**, p. 118s-126s, April 1978.
6. EASTERLING, K. E. **Introduction to the physical metallurgy of welding**. 1st ed. Butter Worths & Co Ltd, 1983. Cap 3 and 4.
7. LINNERT, G. E. **Welding Metallurgy – Carbon and Alloy Steels**. 4th ed. Miami: American Welding Society, 1994. Vol. 1. Cap 7 and 9.
8. VUIK, J. An update of the state-of-arte of weld metal hydrogen cracking. **Welding in the Word (Le Soudage Dans Le Monde)**, v. 31, n. 5, p. 308-321, 1993.
9. McPARLAN, M., GRAVILLE, B. A. Development of the G-BOP test for weld metal cracking. **IIW Doc. n. IX-922**, 1975. 12p.
10. ATKINS, G. et al. Welding process effects in weldability testing of steel. **Welding Journal**, 81 (4), p. 61s-68s, April 2002.
11. ADONYI, Y. Weldability of High Performance Steels. In: **CONFERENCE OF HIGH PERFORMANCE STEEL, 2000**, Baltimore, Maryland. p. 1-15, 2000.
12. MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. New Yory, John Wiley e Sons, 1996.

13. HART, P. H. M. Resistance to Hydrogen cracking in steel weld metals. **Welding Journal**, 65 (1), pp. 14s-22s; January 1986.
14. SILVA, J. H. F. TREVISAN, R. E. A Study on Hydrogen Induced Cracking in API Steel Weld Using the Modifiede G=BOP Test. In: **18th International Congress of Mechanical Engineering, 2005**, Ouro Preto. Anais do 18th International Congress of Mechanical Engineering. Rio de Janeiro : ABCM, 2005.
15. ADONYI, Y. **Espessura dos blocos para o teste G-BOP**. [mensagem pessoal] <jhilton@fem.unicamp.br> em 08/04/2003.

INFLUENCI OF THE WELDING HEAT ON THE OUTPUT RESULTS OF THE G-BOP TEST TO HYDROGEN CRACKING EVALUATION

Abstract. *The Gapped bead-on-plate test (G-BOP) stands out from several other self-restraint tests for its great application to evaluate HIC only on the weld metal. The objective of this study is to evaluate the influence of the temperature of the preheating on the output variable (HIC %) of the G-BOP test. On the experimental development the ASTM A-285 grade C steel was used as base metal as well as AWS E71T-1 flux core and CO₂ shielding. It was adopted two temperatures, 25°C (ambient temperature) and 75°C (preheating) and carried out eight sample for each on. It was concluded that the preheating have significant influence in the test result due to cooling rate on the bead.*

Key-words. *G-BOP test – hydrogen cracking - welding heat.*