



## INFLUÊNCIA DO PRÉ E PÓS-AQUECIMENTO SOBRE A FORMAÇÃO DE TRINCAS INDUZIDAS POR HIDROGÊNIO NA SOLDAGEM DE REPARO DE AÇOS AISI D6

### INFLUENCE OF PRE-AND POST-HEATING ON THE FORMATION OF HYDROGEN-INDUCED CRACKS IN THE REPAIR WELDING OF AISI D6 STEELS

**Autores:** Gabriel Rover Barbieri, Aloysio Arthur Becker Fogliatto, Mario Wolfart Junior, Rodrigo Cardoso Costa.

**Identificação autores:** Bolsista Edital 004/2018 Extensão; IFC-Campus Luzerna; IFC-Campus Luzerna; IFC-Campus Luzerna.

#### RESUMO

Neste trabalho utilizou-se o processo SMAW para o reparo por soldagem de aços ferramentas, especificamente do aço AISI D6. Estes apresentam baixa soldabilidade, sendo que os ciclos térmicos da soldagem oferecem riscos de formação de trincas na região da solda. Foram utilizadas temperaturas de pré-aquecimento e modos de resfriamento pós soldagem, visando-se avaliar a formação de trincas nas regiões de solda, o perfil de dureza resultante e encontrar melhores condições de pré-aquecimento, controle de temperatura de interpasse e resfriamento pós soldagem, objetivando-se obter reparos isentos de trincas, além de manter os valores de dureza do reparo necessários para uma matriz.

**Palavras-chave:** Aço Ferramenta, SMAW, TIH.

#### ABSTRACT

*In this work, the SMAW process was used for the repair by welding of tools steels, specifically of the steel AISI D6. These have low weldability, and the thermal cycles of welding offer risks of cracking in the weld region. Pre-heating temperatures and post-welding cooling modes were used, aiming to evaluate the formation of cracks in the weld regions, the resulting hardness profile and to find better preheating conditions, temperature control of interpass and post-welding cooling, aiming to obtain cracks-free repairs, in addition to maintaining the hardness values of the repair required for an array.*

**Keywords:** Tool Steel; SMAW; TIH.

#### INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O reparo realizado por eletrodo revestido (SMAW) em matrizes de aço ferramenta que vieram a fraturar ou desgastar com o tempo é bem delicado, devido ao fato dos consumíveis possuírem grande suscetibilidade de conter hidrogênio difusível, Possebon et al. (2009), que pode ser absorvido do ambiente ou caso os consumíveis não sejam armazenados da maneira correta. Esse fator somado ao material apresentar uma microestrutura frágil, como a martensita, que é o caso do aço AISI D6, Braga (2015), favorece a formação da trinca induzida pelo hidrogênio (TIH).

De acordo com a literatura, Borghi (2010), Possebon et al. (2009) e Silveira et al. (2018), maneiras de evitar a ocorrência de TIH consistem em pré-aquecer e pós-

aquecer a peça, diminuindo a quantidade de hidrogênio difusível tanto dos consumíveis quanto do metal de base, além de diminuir a taxa de resfriamento do mesmo. Outro modo seria controlar a temperatura de interpasse, para que elas não atinjam valores inferiores a 200 °C, que é a temperatura de formação de martensita do aço AISI D6.

Para calcular a temperatura de pré-aquecimento, foram utilizadas três equações Modenesi; Marques; Santos, (2001):

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr+\%Mo+\%V}{5} + \frac{\%Ni+\%Cu}{15} \quad (1)$$

$$C_{eqtotal} = 0,005 * C_{eq} * espessura (mm) \quad (2)$$

$$Temperatura \text{ de pré - aquecimento } (^{\circ}C) = 350 * \sqrt{C_{eqtotal} - 0,25} \quad (3)$$

Carbono Equivalente ( $C_{eq}$ ) está relacionado com a soldabilidade dos aços, quanto maior o seu valor, maior sua tendência para formação de uma microestrutura martensítica, conseqüentemente, mais cuidados são necessários para soldar o material, segundo Yurioka (2000) a ocorrência de TIH também é influenciada pelo  $C_{eq}$ . No caso do aço D6, o valor do índice carbono equivalente resultou igual a 4,65. Segundo Modenesi; Marques; Santos, (2001), para aços que apresentam um alto valor de  $C_{eq}$ , é imprescindível o uso de pré e pós-aquecimento, para evitar a formação de TIH.

Neste estudo pretende-se realizar o reparo em uma amostra de aço AISI D6 temperada e revenida, nas condições de uma matriz trincada, visando-se obter sucesso em sua recuperação, ou seja, após o reparo, não apresentar trincar e manter a dureza no intervalo de 58 a 62 HRC.

## METODOLOGIA

O aço AISI D6 apresenta a seguinte composição química: C – 2,25%; Si – 1,00%; P – máx. 0,04%; S – máx. 0,05%; Cr – 12%. Antes de realizar o reparo, as amostras foram temperadas e revenidas. Para têmpera, o tempo de encharque foi de 45 minutos à 1040 °C, com resfriamento em óleo, para o revenimento, o tempo de encharque foi de duas horas à 200 °C, deixando a peça resfriar dentro do forno. Após atingir a dureza necessária, entre 58 e 62 HRC, as amostras foram quebradas ao meio com o auxílio de um prensa hidráulica, para simular uma trinca e produzir tensões residuais na mesma. Para o reparo, as amostras foram preparadas com o auxílio de uma esmerilhadeira, realizando chanfros de aproximadamente 15°. Os consumíveis utilizados são o eletrodo revestido EutecTrode 680, que apresenta a seguinte composição: C – 0,1%; S – 0,001%; P – 0,02%; Si – 0,47%; Mn – 1,68%; Cr -29,4%; Ni – 9,2%, para a etapa de amanteigamento e o EutecTrode N – 12 CGS, que apresenta a seguinte composição: C – 0,69%; S – 0,01%; P – 0,02%; Si – 0,53%; Mn – 1,2%; Cr – 3,65%; Mo – 2,74%, para a etapa de revestimento duro.

Durante o reparo, foi evitado o contato direto entre revestimento duro e o metal de base, isso foi possível amanteigando toda a região do chanfro e, na hora de soldar

com o eletrodo de revestimento duro, foi deixado uma margem das bordas do amanteigamento, impedindo o contato. Segundo Borghi (2010) o amanteigamento funciona como uma armadilha, impossibilitando a difusão do hidrogênio para dentro da zona afetada pelo calor.

A tabela 1 mostra os parâmetros fixos que foram utilizados em todos os testes. Para o controle das temperaturas de interpasse e troca de eletrodos, foi utilizado um lápis térmico de 225 °C.

Tabela 1 – Parâmetros fixos

<b>1. Condição fratura</b>	Trincado
<b>2. Preparação</b>	Chanfro em 15 °
<b>3. Sequência de Soldagem Amanteigamento</b>	Sequência Corrida
<b>4. Parâmetros Amanteigamento</b>	Temperatura de Interpasse de 225 °C
<b>5. Troca de Eletrodos</b>	Temperatura da troca Eletrodos de 225 °C
<b>6. Sequência de Soldagem Revestimento Duro</b>	Sequência Corrida
<b>7. Parâmetros Revestimento Duro</b>	Temperatura de Interpasse de 225 °C
<b>8. Corrente de Soldagem</b>	60 A
<b>9. Tempo de encharque para Pré e Pós-Aquecimento</b>	45 minutos

Fonte: O autor

A tabela 2 mostra as variáveis que mudaram ao longo dos testes, variando as temperaturas de pré-aquecimento e pós-aquecimento e, o tipo de resfriamento das amostras, as temperaturas de pré-aquecimento dos testes 1,2 e 3 foram calculadas através das equações (1), (2) e (3). As temperaturas dos teste 4, 5 e 6 foram fornecidas através de um minicurso com fabricante.

Tabela 2 – Parâmetros Controlados

	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3	TESTE 4	TESTE 5	TESTE 6	TESTE 7
<b>Pré - Aquecimento</b>	207 °C	207 °C	207 °C	400°C	400 °C	400 °C	NA
<b>Pós - Aquecimento</b>	257 °C	NA	NA	450 °C	NA	NA	NA
<b>Tipo de Resfriamento</b>	No forno	Em areia	Ao ar	No forno	Em areia	Ao ar	Ao ar

Fonte: O autor

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 3 mostra os resultados obtidos nos ensaios de Líquido Penetrante (LP).

Tabela 3 – Resultados Ensaio LP

TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3	TESTE 4	TESTE 5	TESTE 6	TESTE 7
Ñ Trincou	Ñ Trincou	Ñ Trincou	Ñ Trincou	Ñ Trincou	Ñ Trincou	Trincou

Fonte: O autor

Todos os ensaios de LP foram realizados no mínimo 72hrs após o reparo, com a intenção de que fosse dado tempo necessário para que o hidrogênio provocasse trincas.

Através da tabela 3, pode-se observar que o pré-aquecimento é suficiente para evitar o problema com TIH, pois, em todos os testes em que a amostra foi pré-aquecida, não foram detectadas trincas através do ensaio de LP. Somente foi detectada trinca no teste em que não realizou-se pré-aquecimento. Isto pode ser explicado visto que ao aquecer a amostra antes do reparo, diminuiu consideravelmente a quantidade de hidrogênio difusível presente na peça, conforme Possebon et al. (2009), além de reduzir as tensões de contração e sua taxa de resfriamento evitando a formação de microestruturas frágeis.

O controle da temperatura de interpasse e da troca de eletrodos também foi importante para esses resultados, dado que a temperatura durante o reparo não baixou de 200 °C, temperatura de formação de martensita do aço AISI D6, segundo Borghi (2010).

Outro fator que contribuiu para reduzir a TIH, foi manter os eletrodos armazenados em estufa, aproximadamente a 40 °C, reduzindo-se, assim, o teor de hidrogênio difusível dos consumíveis.

Quanto às durezas, estão sendo providenciados cortes transversais nas amostras, visando-se esclarecer os perfis de dureza da zona fundida, zona de ligação, zona afetada pelo calor e metal de base.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos até este momento, é possível afirmar que fazer um pré-aquecimento na peça antes de realizar o reparo é suficiente para evitar a formação de TIH, como mostra os resultados dos ensaios de LP.

Apenas o teste 7 apresentou trincas, visto que a porcentagem de hidrogênio difusível tem uma boa redução em relação a uma peça que não foi feito o pré-aquecimento, além da sua taxa de resfriamento após o reparo também ser reduzida.

Outro fator importante foi o controle da temperatura através do lápis térmico, pois desse modo foi evitado a formação de martensita durante o reparo, uma microestrutura com alta dureza e frágil, que também favoreceria a formação de trincas. Em relação às durezas, como comentado anteriormente, serão feitas mais análises, para verificar a dureza de cada região.

Os autores agradecem a empresa parceira INDUCAL, pelo fornecimento de todos os consumíveis necessários para os testes e pelo suporte técnico disponibilizado ao longo de todas as etapas do projeto. E também ao IFC, pelo suporte financeiro por meio do edital Nº 004/2018.

## REFERÊNCIAS

BORGHI, Giovana Blaziza. **SOLDAGEM DE REPARO DE FERRAMENTA EM AÇO D6 PARA CONFORMAÇÃO A FRIO.** 2010. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Ufsc, Florianópolis, 2010.

BRAGA, Cintia. **ANÁLISE DA DUREZA E MICROESTRUTURA DOS AÇOS AISI D2 E AISI D6 SUBMETIDOS A TÊMPERA CONVENCIONAL E TRATAMENTO CRIO-GÊNICO.** 2015. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

LIMA, A. A. DE; CAMARGO, S. D. B. **SOLDAGEM TIG APLICADO NA RECUPERAÇÃO DE MATRIZES DE CORTE DE AÇO VC-131 TEMPERADO.** p. 21–28, [s.d.].

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V; SANTOS, D. B. Metalurgia da Soldagem. **Metalurgia da Soldagem**, p. 47, 2001.

POSSEBON, Silvano et al. Utilização do MIG/MAG com Curto-Circuito Controlado e MIG/MAG Pulsado na Soldagem de Dutos em Operação. In: XXXV CONSOLDA - CONGRESSO NACIONAL DE SOLDAGEM, 35., 2009, Piracicaba. **Utilização do MIG/MAG com Curto-Circuito Controlado e MIG/MAG Pulsado na Soldagem de Dutos em Operação.** Piracicaba: ABS, 2009. p. 1 - 8.

THOMPSON, Steve. Handbook of mold, tool and die repair welding. Cambridge: Abington Publishing, 1999. 211 p.

YURIOKA, Nobutaka. Physical Metallurgy Of Steel Weldability. **Isij International.** Japão, p. 566-570. 22 dez. 2000.