



## APLICAÇÃO DE UMA TÉCNICA VARIANTE DA DUPLA CAMADA NA SOLDAGEM DO AÇO 5%Cr-0,5%Mo

### **Adriano de Resende Silva**

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica  
[resende@demec.ufmg.br](mailto:resende@demec.ufmg.br) - Belo Horizonte, MG, Brasil

### **Paulo Villani Marques**

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica  
[pvillani@demec.ufmg.br](mailto:pvillani@demec.ufmg.br) - Belo Horizonte, MG, Brasil

### **Alexandre Queiroz Bracarense**

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica  
[queiros@vesper.demec.ufmg.br](mailto:queiros@vesper.demec.ufmg.br) - Belo Horizonte, MG, Brasil

**Resumo.** A soldagem induz modificações na estrutura e propriedades de peças de aço, resultantes do aquecimento localizado e não uniforme durante a operação, sendo muitas vezes necessário o uso de tratamentos térmicos para restabelecimento de características estruturais e propriedades aceitáveis para certas aplicações, após sua realização. Estes tratamentos podem ser difíceis, onerosos ou mesmo inviáveis na soldagem de manutenção. Neste trabalho foi feito um estudo de técnicas de soldagem que dispensam o uso de tratamento térmico pós operação aplicáveis na soldagem de manutenção de equipamentos utilizados no refino de petróleo. Foram testadas seqüências especiais de soldagem com os processos SMAW e GTAW, de forma a se obter microestrutura adequada em soldas de aços com cerca de 5% de cromo (em peso), material típico utilizado em refinarias. Para isto, foram soldadas diversas chapas de teste (sem/com chanfro) pelo o processo SMAW, seguindo uma refusão pelo processo GTAW, com diferentes parâmetros, e retirados corpos de prova para ensaios metalográficos e de dureza. Os resultados mostraram que o uso de tal técnica pode dispensar o uso de tratamentos térmicos pós-soldagem em certos casos, simplificando o procedimento de reparo em equipamentos. Um controle rigoroso dos parâmetros de soldagem é necessário para garantir o sucesso da operação.

**Palavras-chave:** Soldagem de manutenção, Aços ferríticos, Alívio de tensões

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas dos equipamentos fabricados com materiais ferríticos do tipo Cr-Mo em empresas de processamento petroquímico é o surgimento de trincas após operações de soldagem. Sabe-se que a propagação dessas trincas é mais intensa na região de grãos grosseiros da zona termicamente afetada (ZTA-GG), favorecida pela maior área do contorno de grãos.

Tubulações de aços de baixa liga do tipo Cr-Mo reparadas por soldagem muitas vezes exigem a realização do tratamento térmico para refino de grão e alívio das tensões oriundas destas operações. Porém, apesar de minimizar o trincamento, o tratamento térmico é dispendioso não só pelo seu custo propriamente dito, mas, principalmente pelo tempo gasto para realizá-lo. Além disso, muitas vezes o reparo realizado no campo torna inviável o uso do tratamento térmico devido a problemas de espaço e acesso à peça a ser reparada.

É de suma importância que os prazos de paradas para execução dos serviços de manutenção e reparo de sistemas de tubulações das unidades industriais sejam os menores possíveis, de forma a aumentar os lucros cessantes da unidade.

Em vista disso, pesquisas têm sido realizadas em busca de um procedimento de soldagem que dispense o tratamento térmico nas situações citadas. O próprio código ASME, seção XI item IWB-4420 [1984] recomenda que seja empregada a “técnica da meia camada” (half bead) em situações onde seja impraticável o tratamento térmico. Esta técnica consiste no amanteigamento de toda a cavidade a ser reparada usando eletrodo de 2,4 mm. Essa camada é então esmerilhada até 50% de sua espessura, sendo posteriormente depositadas camadas subseqüentes com eletrodos de maior diâmetro (até 4 mm) para promover o refino e/ou revenimento da ZTA-GG da primeira camada.

A principal desvantagem desta técnica é a atividade manual de esmerilhamento, que além de lenta, depende muito da habilidade do soldador. Higuchi [1980] discute esta técnica e discorda da remoção de 50% da primeira camada, não importando a espessura de reforço dos cordões (que para um mesmo diâmetro de eletrodo pode variar largamente). Segundo ele, a primeira camada deve ser removida de modo a deixar uma espessura residual entre 2 e 2,5 mm, para que a zona de grãos grosseiros da primeira camada seja revenida pela segunda camada.

Niño e outros [1992] adotaram a técnica da dupla camada ou técnica do passe de revenido, que ao invés do esmerilhamento da primeira camada, procura controlar os parâmetros de soldagem de forma que a própria energia de soldagem do segundo passe produza o efeito de revenimento e/ou refinamento do passe anterior. Entretanto, a última camada fica sem a ação desses efeitos, tornando essa região mais propícia ao aparecimento de trincas em relação às demais.

Henke [1998] utilizou uma variante da técnica da dupla camada, na qual, além do amanteigamento usando material austenítico, após a soldagem, foi feito um reaquecimento com três passes de soldagem GTAW, com energias decrescentes sobre a última camada, a fim de promover o revenimento da ZTA. A eficiência de sua técnica foi comprovada pela análise de dureza que a partir de dados de outros autores atenderia os requisitos de tenacidade do material.

Este trabalho visa avaliar a viabilidade de se aplicar uma técnica variante da dupla camada (passe de revenimento + processo GTAW) de forma a produzir o refino e/ou revenimento da solda depositada pelo eletrodo revestido, num material com 5%Cr e 0,5%Mo. Este material é utilizado em equipamentos de usinas de refino de petróleo, em caldeiras a vapor e superaquecedores e apresenta problemas freqüentes de manutenção.

Inicialmente, cordões sobre chapa foram depositados, com parâmetros usuais do procedimento de reparo em uma refinaria de petróleo e feita a sobreposição de um único cordão GTAW, sem adição de metal, de maneira que a região de grãos refinados da ZTA devida ao processo GTAW refinasse e/ou revenisse a região de crescimento grãos da ZTA do processo SMAW. Tentou-se assim encontrar parâmetros ótimos para soldagem sobre chapa. O mesmo ensaio procedimento foi realizado em peças com um chanfro em V, usado em reparo em situações reais de campo. As soldas foram submetidas a ensaios de dureza e macrografia para avaliação da técnica.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Como metal base foi utilizado um tubo de aço ASTM A 335 P5 com 12,4 mm de espessura e diâmetro de 169,2 mm cuja composição química é mostrada na Tabela 1. O eletrodo revestido usado foi do tipo AWS E502-15, com  $\phi$  2,4 mm para a soldagem da 1ª camada e um  $\phi$  3,25 mm para as demais camadas.

Tabela 1 - Composição química do material utilizado.

	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo
Nominal	0,07	0,26	0,56	0,05	0,08	5,30	0,44
Real	0,10	0,92	0,48	0,05	0,06	6,66	0,55

Inicialmente corpos de prova nas dimensões de 50x150 mm foram cortados do tubo, lixados e preparados para soldagem. Foram depositados cordões sobre chapa na posição plana, com o eletrodo revestido inclinado a 80° em relação ao corpo de prova (“puxando” a poça de fusão), utilizando-se sempre CC+. Os parâmetros da soldagem SMAW são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de soldagem pelo processo SMAW.

$\phi$ [mm]	Pré-aquec. (°C).	Corrente CC+ (A)	Tensão (V)	Velocidade de soldagem (cm/min)	Energia de soldagem (kJ/cm)
3,25	250	110	24,0	16	10

Cordões de solda GTAW (sem deposição de material) foram feitos em corpos de prova similares, com comprimento de arco de 3 mm, velocidade de soldagem de 15 cm/min, vazão de argônio de 15 l/min e correntes de 160 a 230A, com intervalo de variação de 10A, para determinação da geometria do cordão em cada caso.

Todos os corpos de prova foram seccionados e preparados para exame metalográfico, seguindo-se de um ataque com o reagente Nital 5%.

Mediu-se a extensão da ZTA-GG dos cordões feitos com o processo SMAW e da região de refino de grão dos cordões feitos com GTAW (ZTA-GF), como mostrado na Fig. 1, em três direções distintas, utilizando-se de um projetor de perfil com aumento de 10 vezes.

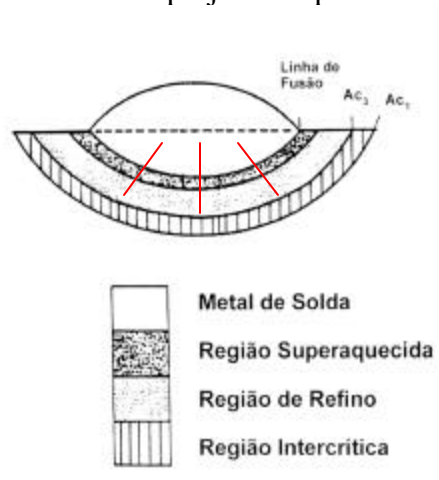


Figura 1: Direções de medição da extensão da ZTA-GG e ZTA-GF.

Dessa forma obteve-se uma curva que expressa o tamanho da região de grãos finos dos passes de solda GTAW em função da corrente, e conhecendo-se a extensão da ZTA-GG para o cordão de solda depositado pelo processo SMAW, é possível prever os parâmetros ótimos para se obter o revenimento/refino da última camada de solda depositada utilizando a técnica do passe de revenimento.

Para a técnica da dupla camada, os parâmetros adotados neste trabalho são mostrados na Tabela 3. O The Welding Institute [1991] recomenda uma sobreposição entre camadas entre 30% e 50%. Foram preparados corpos de prova com sobreposição nas duas extremidades da faixa recomendada.

Tabela 3: Parâmetros da Técnica da dupla camada.

Camada	Pré-aquec. (°C).	Corrente CC+ (A)	Tensão (V)	Velocidade de soldagem (cm/min)	Energia de soldagem (kJ/cm)
1 <sup>a</sup>	250	75	22	18	5,5
demais	250	110	24	16	10

O procedimento proposto e testado para reparo, usando uma junta com chanfro em V é mostrado na Fig. 2. Após o enchimento da junta pelo processo SMAW, foram feitos passes de revenimento com o processo GTAW. A região hachurada representa a região de grãos grosseiros da zona termicamente afetada, onde deveria haver o revenimento.

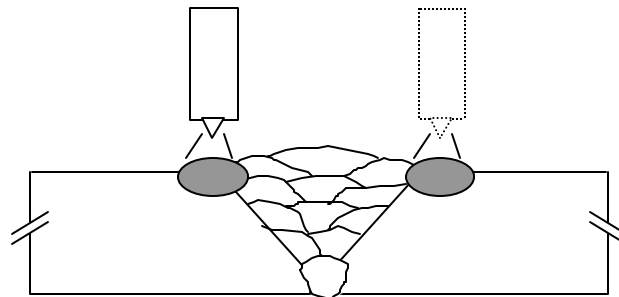


Figura 2: Desenho esquemático da junta em V.

Para a aplicação destes passes foi feita uma montagem para que o movimento linear de uma tartaruga oxi-corte fosse transformado em movimento de giro, de modo a garantir uma maior uniformidade do cordão (Fig. 3).

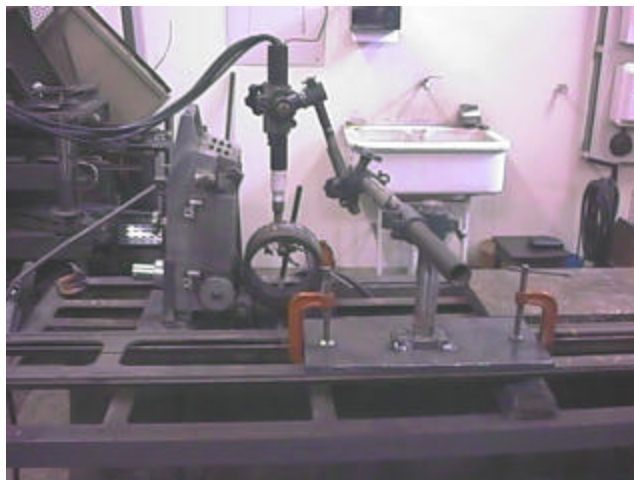


Figura 3: Montagem do dispositivo para a aplicação dos passes de revenimento.

Foram realizados dois passes em extremidade do chanfro, com corrente de soldagem decrescente, determinadas a partir da curva obtida anteriormente para o tamanho da ZTA-GF.

Foram feitas medições de dureza Vickers na região revenida pelos passes GTAW com a ajuda de uma máquina Heckert, usando uma carga de 10 kgf por 20 segundos.

### 3. Resultados e discussão

O resultado das medições da extensão da ZTA-GG dos cordões de solda SMAW é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Extensão da ZTA-GG (cm).

Processo	Direção1	Direção 2	Direção 3	Média
SMAW-110A	6,81	8,04	7,34	7,40 ± 0,61

A Figura 4 mostra a variação da extensão da ZTA-GF dos cordões de solda GTAW com a corrente de soldagem. Observa-se que uma corrente de 170 A seria a corrente mínima para se obter o revenimento da ZTA-GG do cordão depositado pelo eletrodo revestido. Contudo, como existe o reforço do cordão de solda depositado pelo processo SMAW, optou-se por uma corrente de 190A para o passe de revenimento.

As Figuras 5a e 5b mostram o perfil dos cordões obtidos com sobreposição de 30% e 50% dos cordões em cada camada, respectivamente. A região hachurada mostra as em ilhas não revenidas pelo ciclo térmico da 2ª camada. Note-se que uma sobreposição de 50% é a mais indicada, visto que a área não revenida neste caso é bem menor se comparada com a de 30%.

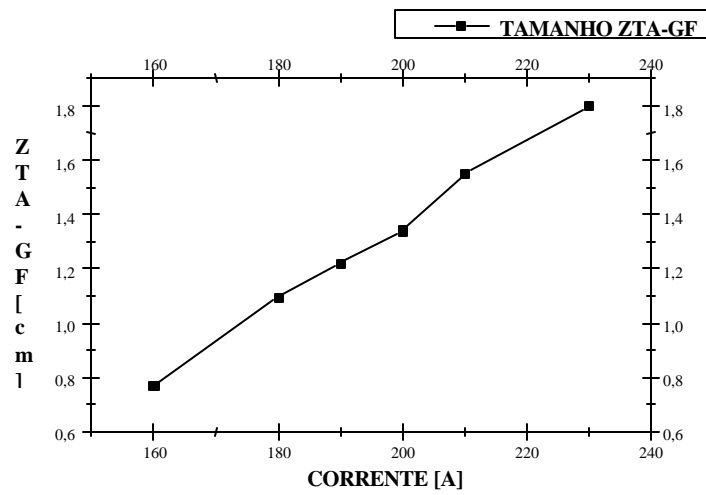
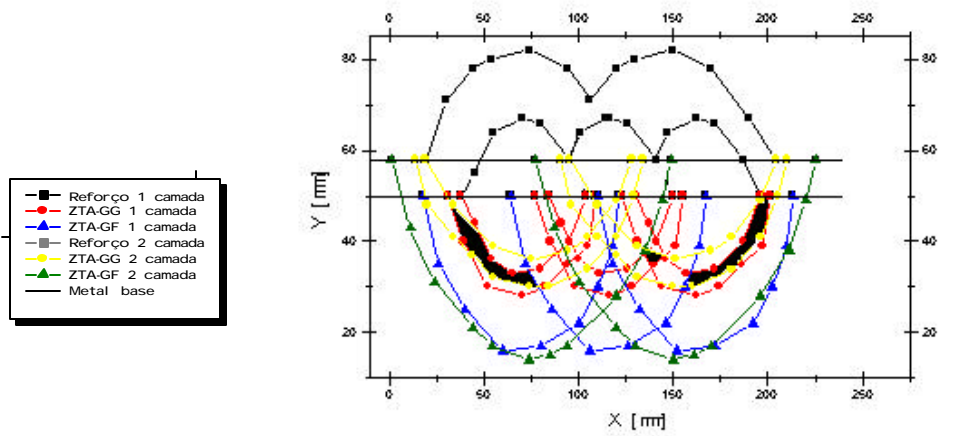
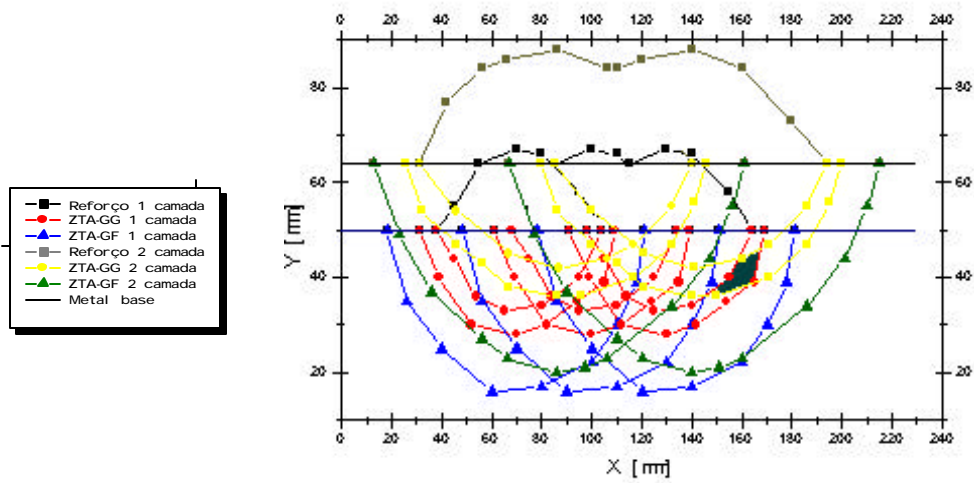


Figura 4: Extensão da ZTA-GF em função da corrente de soldagem.



(a) sobreposição de 30%



(b) sobreposição de 50%

Fig. 5 – Perfil dos cordões obtidos com diferentes sobreposições.

A Figura 6, obtida em um projetor de perfil com 10 vezes de aumento, apresenta um corte transversal da junta soldada com uma sobreposição de 50%, parâmetros de soldagem mostrados na Tabela 3 e passes de revenimento GTAW feitos com os parâmetros da Tabela 5.

Visando um melhor resultado na aplicação da técnica variante da dupla camada, foram feitos dois passes de revenimento nas extremidades do chanfro, com energias decrescentes de soldagem. A tensão usada nestes passes foi ligeiramente maior que a usada para obtenção da curva da figura 4, para se conseguir um formato do cordão mais adequado à superposição da ZTA-GF GTAW à ZTA-GG SMAW. Pode-se observar uma razoável uniformidade na realização do passe de revenido.

Tabela 5: Parâmetros do passe de revenimento TIG.

Corrente [A]	Tensão [V]	Velocidade [cm/min]
200	13,5	20
190	13,5	20

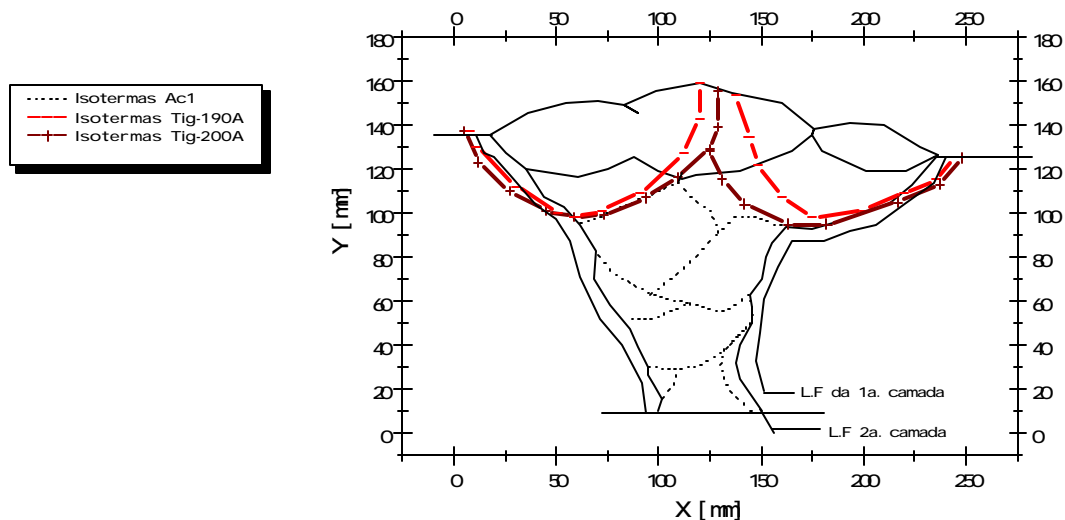


Figura 6: Perfil da junta soldada com chanfro em V.

A dureza na ZTA-GG da última camada (região hachurada indicada na Fig. 2) atingiu valores sempre inferiores a 330 Vickers, significativamente inferior à de uma junta sem a realização do passe de revenido na última camada, que alcançava valores de dureza da ordem de 400 Vickers.

#### 4. CONCLUSÃO

O revenimento da ZTA de um cordão de solda depositado com eletrodos revestidos com a deposição de passes subsequentes não é uma tarefa fácil. Um rígido controle dos parâmetros de soldagem deve ser mantido, particularmente uma movimentação precisa do arco é exigida para se manter uma sobreposição sempre próxima a 50% e um revenimento adequado da última camada pelo processo GTAW. O passe de revenido reduziu a dureza para cerca de 330 Vickers na ZTA-GG da última camada, dureza esta inferior à máxima recomendada (350 Vickers) para a soldagem dos aços 5%Cr-0,5%Mo; que têm uma temperabilidade muito elevada para teores de carbono acima de 0,07%. Para atingir níveis de dureza inferiores e a

patamares mais seguros quanto à utilização da técnica variante da dupla camada em condições reais de reparo, sugere-se a especificação de aços com teores inferiores a 0,07%C e um treinamento específico dos soldadores na técnica proposta.

## REFERÊNCIAS

- Henke, L. S., 1998. *Desenvolvimento de Procedimento de Soldagem de Aço Inoxidável Martensítico Tipo CA-6NM Sem Tratamento Térmico Posterior*. Dissertação de Mestrado – DEMC-UFSC, Santa Catarina.
- Higuchi, M. et al., 1980. *A study on weld repair through half bead method*. IHI Engineering Review, vol.13, n.2, pp. 15 – 19.
- Niño, C.E.; et al., 1992. Técnicas de Reparo por Soldagem em Aços 5Cr-0,5Mo, *Soldagem & Materiais*, vol.4 (2), pp. 28-33.
- The American Society of Mechanical Engineers, ASME-1993. *Repair Procedures*, Boiler and Pressure Vessel, ANSI/ASME, Section XI, Article IWB.
- Welding Institute, 1991. *Welder Training and Qualification Procedure for Controlled Deposition Repair Welds to Chrome-Moly Steels*.

### APPLICATION OF A VARIANT DOUBLE LAYER TECHNIQUE IN THE WELDING OF 5%Cr-0.5%Mo STEEL

**Abstract.** *The localized and non-uniform heating due to welding operations can result in structural and properties changes in steel parts. The use of post-welding heat treatments is often needed to recover structural characteristics and properties desirable in several applications. These treatments may be difficult, expensive or even unfeasible in maintenance welding. A welding technique that dispenses the use of post-welding heat treatments applicable in maintenance welding of petroleum refining plants are presented in this paper. Procedures involving sequences of SMA and GTA welding were tested in order to obtain an adequate microstructure in welds of 5% weight Cr steel, a typical material used in refinery equipment. Plates welded with processes SMAW and it after refused with process GTAW were evaluated in metallographical and hardness tests. Results showed that such techniques yields to acceptable welding procedures in some cases, simplifying the maintenance practice. A rigorous welding parameter control is necessary to assure a successfully operation.*

**Keywords:** *Maintenance welding, Ferritic Steel, Stress relief.*