

EFEITO DA ESPESSURA DA CAREPA EM AÇO LAMINADO A QUENTE EM SOLDAS HFIW DE TUBOS COM COSTURA⁽¹⁾

Kleiner Marques Marra⁽²⁾
Gustavo Nascimento Batista⁽³⁾
Marcos Antônio Valadão⁽⁴⁾

RESUMO

O processo de soldagem por indução com corrente elétrica de alta frequência (HFIW: *High Frequency Induction Welding*) é bastante empregado na fabricação de tubos com costura, a partir de *slitters* de bobinas de aços laminados a quente.

Neste trabalho investigou-se o efeito da presença de carepa de laminação nas soldas HFIW de tubos de aço do tipo SAE1010. Foi constatado que, à medida que a espessura de carepa aumentou, o aquecimento das bordas a soldar dos tubos foi reduzido. Isso foi confirmado pela menor largura da zona afetada pelo calor (ZAC) e, também, pela menor remoção de material da região da solda durante a etapa de caldeamento das bordas dos tubos.

Palavras-chave: soldagem HFIW, carepa, aquecimento superficial.

(1) Contribuição Técnica ao 41^o Seminário de Laminação Processos e Produtos Laminados e Revestidos; Joinville, SC; 26 a 28 de outubro de 2004.

(2) Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, D.Sc.; Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas; Ipatinga, MG.

(3) Engenheiro Metalurgista, M.Sc.; Gerência da Laminação a Frio da Usiminas; Ipatinga, MG.

(4) Membro da ABM, Técnico Metalurgista; Gerência de Metalurgia e Garantia da Qualidade; Ipatinga, MG.

1 INTRODUÇÃO

O processo de soldagem por indução com corrente elétrica de alta frequência (HFIW: *High Frequency Induction Welding*) caracteriza-se por aplicar um fluxo de corrente induzida concentrado nas proximidades da superfície das peças a unir. Tubos de aço com costura com diâmetro entre 25 mm e 75 mm e com espessura de parede de até 10 mm são usualmente produzidos pela conformação contínua de *slitters* de bobinas de aços laminados a quente em perfis cilíndricos, seguida da soldagem longitudinal.⁽¹⁾ A figura 1 ilustra o processo.

A corrente de soldagem é gerada pela circulação de uma corrente elétrica alternada de alta frequência (usualmente acima de 100 kHz) na bobina de indução que envolve o perfil tubular.

No estabelecimento da corrente de soldagem, dois efeitos são importantes: o efeito de superfície e o efeito de proximidade.⁽²⁾

O efeito de superfície faz com que a corrente induzida flua preferencialmente pela superfície de um condutor. Esse efeito é mais pronunciado quanto maior for a frequência da corrente excitadora, ou seja, a profundidade de penetração da corrente de soldagem é inversamente proporcional à frequência da corrente alternada de excitação. Por isso, usualmente a espessura da camada aquecida, em aços, é da ordem de frações do milímetro.

Por sua vez, o efeito de proximidade faz com que a corrente num condutor seja atraída por um condutor de retorno colocado próximo a ele. Assim, quanto mais próximos estiverem os condutores, maior é a tendência da corrente ficar concentrada na superfície. Deve ser observado que na soldagem HFIW de tubos, as bordas a soldar podem ser consideradas como se fossem dois condutores colocados lado a lado.

O calor de soldagem é proveniente do efeito Joule, dependendo, portanto, da magnitude da corrente induzida nas peças e da resistividade elétrica do material a soldar. Deve ser observado também que o processo de união se dá primeiramente pelo aquecimento das bordas a unir e depois pelo caldeamento imposto pelo esforço de recalque, no ponto de solda, proveniente da ação dos rolos mostrados na figura 1.

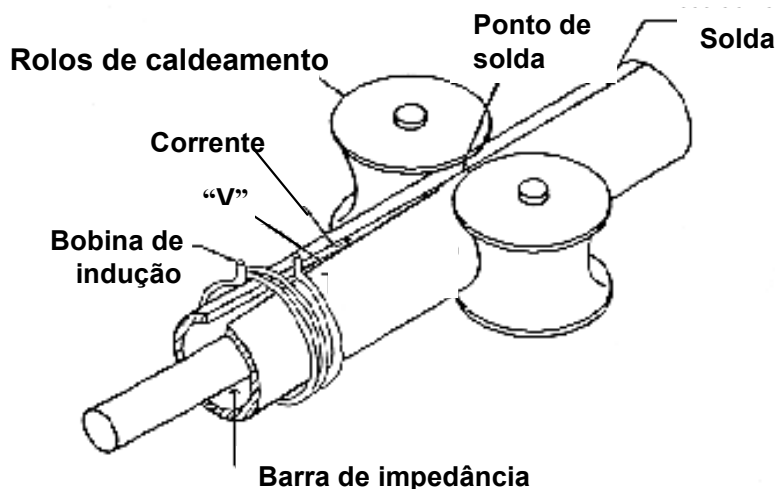


FIGURA 1 - Soldagem HFIW de tubos.

Os aços laminados a quente, matéria prima dos tubos com costura, possuem inerentemente carepa em sua superfície. Isso é resultante da oxidação superficial

que ocorre durante a laminação ou no resfriamento dos aços (carepa secundária e terciária). Como os óxidos de ferro são magnéticos (ferrimagnéticos), e ao mesmo tempo isolantes elétricos, a sua presença na superfície das chapas dos aços deve apresentar algum efeito negativo na soldagem HFIW. Esta suposição baseia-se no fato destes materiais consumirem energia de soldagem, para se magnetizar, sem gerar correntes induzidas (correntes parasitas), que são responsáveis pelo aquecimento da zona de solda.

Neste trabalho investigou-se o efeito da espessura de carepa de laminação na formação de soldas HFIW de tubos de aço da classe SAE1010.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Procedimento Experimental

Foi empregado um aço da classe SAE 1010, na espessura de 3,0 mm. Esse aço, na condição de laminado a quente, foi utilizado para a produção de tubos com costura, de diâmetro externo de 26,7 mm, soldados longitudinalmente pelo processo HFIW num grande fabricante nacional. As condições de soldagem podem ser vistas na tabela 1.

Foram tomados quatro diferentes tipos de bobinas a quente do aço SAE1010, com relação à espessura de camada de carepa, conforme mostra a tabela 2. O aço tipo 1 exibiu baixa espessura de carepa, os tipos 2 e 3 mostraram valores intermediários, enquanto o tipo 4 apresentou a maior espessura de carepa de óxidos. A variação da espessura de carepa foi obtida pela modificação da condição de acabamento na laminação.

A avaliação da espessura de carepa foi realizada em microscópio eletrônico de varredura. As amostras dos aços foram previamente revestidas por eletrodeposição com níquel para que a oxidação superficial fosse preservada na preparação metalográfica. Cada valor apresentado na tabela 2 foi resultado de 5 observações, em 3 diferentes seções transversais à direção de laminação.

TABELA 1 - Condição de soldagem dos tubos.

Frequência da corrente de indução (kHz)	Potência na bobina de indução (kVA)	Velocidade de soldagem (m/min)
180	280	60

TABELA 2 - Espessura da carepa presente nas amostras de tubos soldados.

Amostra	Espessura da camada de carepa (μm)	
	Média	Desvio padrão
1	2,4	0,7
2	6,8	1,2
3	9,8	0,9
4	15,7	1,3

A influência da espessura da camada de carepa foi avaliada através da intensidade de aquecimento na região da solda, que por sua vez foi indiretamente monitorada pela largura da zona afetada pelo calor (ZAC), no meio da espessura, e

pelo volume do reforço de solda, figura 2. A largura da ZAC indica a intensidade do aquecimento durante a circulação da corrente de soldagem. Já o reforço de solda representa a quantidade de material removida para fora da solda durante a etapa de caldeamento das bordas dos tubos. Quanto mais aquecidas as bordas maior é o volume de material no reforço.

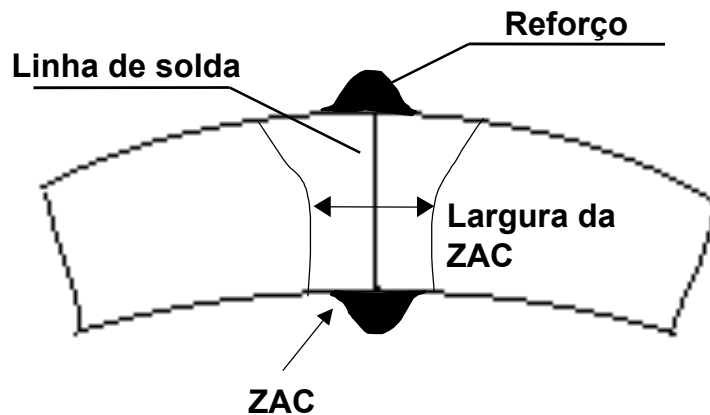


FIGURA 2 – Representação esquemática de uma seção transversal à solda de tubos com costura.

2.2 Resultados e Discussão

A tabela 3 mostra os valores médios, e os respectivos desvios padrões, da largura da ZAC verificados para os tubos produzidos com os aços 1, 2, 3 e 4. Já a figura 3 mostra que o aumento da espessura da camada de carepa causou estreitamento da largura da ZAC, indicando uma redução no aquecimento da solda. Esse efeito foi corroborado pela observação do volume do material no reforço de solda. Nesse caso, o reforço foi diminuído com o aumento da espessura de carepa. A figura 4 compara os reforços obtidos sob condições extremas, tubos fabricados com os aços dos tipos 1 e 4. Nota-se que o tubo 1, de menor espessura de carepa sofreu maior aquecimento que o tubo 4 pois a quantidade de material retirada da região da sua solda foi maior.

TABELA 3 - Largura da zona afetada pelo calor das amostras de tubos soldados.

Tubos	Largura da ZAC (mm)	
	Média	Desvio padrão
1	7,2	0,4
2	6,9	0,5
3	6,1	0,3
4	5,4	0,5

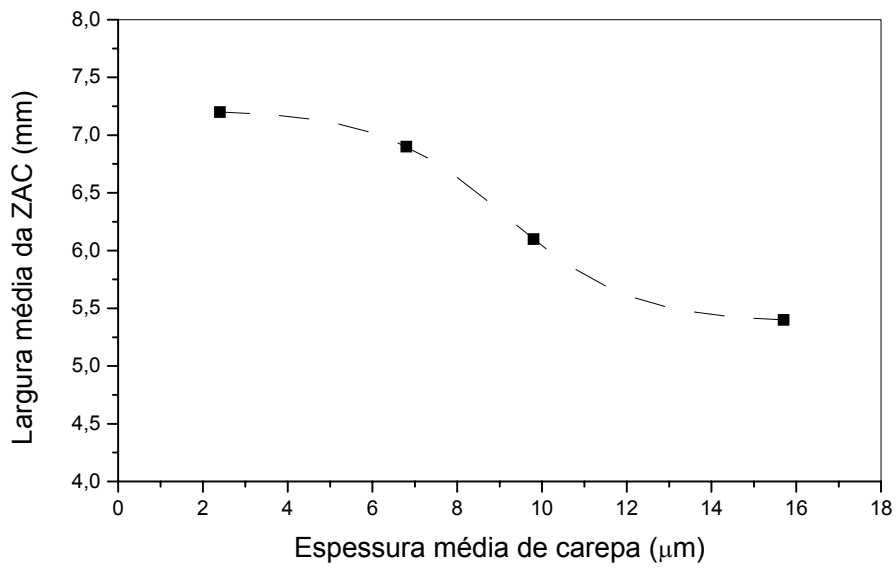


FIGURA 3 – Variação da largura da zona afetada pelo calor das soldas HIFW com a espessura de carepa dos tubos.

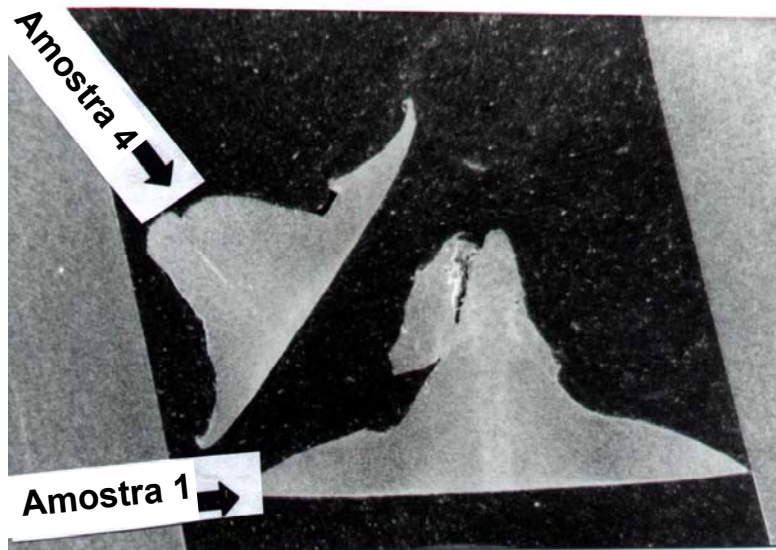


FIGURA 4 – Reforço de solda dos tubos produzidos com os aços 1 e 4.

Conforme susposto inicialmente, ficou evidenciado que a presença da camada de óxidos superficiais nos aços destinados a tubos com costura tem influência relevante sobre o aquecimento da região da solda HFIW. Assim, foi observado que houve um maior aporte térmico de soldagem nos tubos do aço SAE1010 com menores espessuras de carepa. Isso, certamente, teve origem no consumo ineficaz da energia de magnetização por parte da carepa. Essa energia é responsável pela geração da corrente elétrica de soldagem na matriz metálica. No entanto, a carepa, por ser constituída por substâncias ferrimagnéticas,⁽³⁾ que são os óxidos de ferro (wustita, magnetita e hematita) dispostos em camadas quase

distintas sobre a matriz metálica, figura 5, consome parte da energia de soldagem para ser magnetizada. Ao mesmo tempo, esses óxidos são isolantes elétricos e, por isso, ao contrário da matriz metálica, não produzem correntes elétricas parasitas (correntes induzidas na região da solda). Com isso, a presença dos óxidos reduz a quantidade de energia térmica gerada e diminui o aquecimento da solda.

É sabido que a magnitude da densidade de corrente elétrica induzida decai exponencialmente da superfície para o interior da parede dos tubos. A literatura define o parâmetro δ , profundidade percorrida pela corrente induzida, pela equação 1. ⁽⁴⁾ Esse parâmetro representa a distância a partir da superfície externa do tubo para qual há uma queda de 74% na densidade de corrente.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu \sigma}} \quad (\text{eq. 1})$$

Onde:

f = frequência elétrica no indutor;

μ = permeabilidade magnética do aço;

σ = condutividade elétrica do aço.

O parâmetro δ é de 21 μm para as condições de produção dos tubos, sendo considerados:

$f = 180 \text{ kHz}$;

$\mu = 2,51 \times 10^{-3} \text{ T/A/m}$ (para aços da classe SAE1010);

$\sigma = 5,0 \times 10^6 \text{ S/m}$ (para aços da classe SAE1010).

Esse valor para δ , como mostra a figura 6, é bem maior que a espessura de carepa do tubo 1, tornando-se cerca de 2 a 3 vezes maior para os tubos 2 e 3, e quase se igualando à camada oxidada no tubo 4. Com isso, pode-se dizer que houve, com o aumento da espessura da carepa, um contínuo acréscimo da quantidade de óxidos de ferro que absorveu energia magnética sem produzir aquecimento na região da solda. Como consequência, o aumento da espessura de carepa reduziu o calor disponível para a produção da solda.

Portanto, uma maneira de compensar a presença de carepas mais grosseiras em aços soldados por HFIW é a utilização de maiores valores de corrente na bobina de indução da máquina de soldagem, de modo a compensar a energia dissipada ineficazmente na carepa.

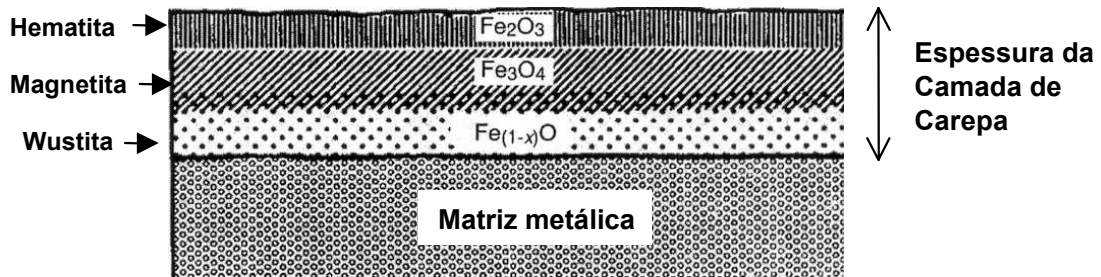


FIGURA 5 – Desenho esquemático mostrando a distribuição estratificada dos óxidos componentes da carepa em material laminado a quente.

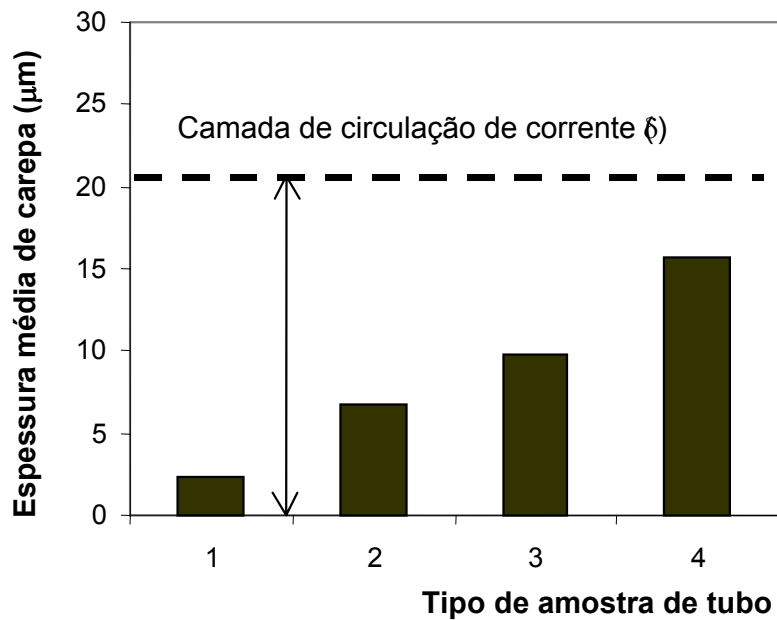


FIGURA 6 – Comparação da espessura de carepa dos tubos 1, 2, 3 e 4 com a “penetração” da corrente de soldagem (δ).

4 CONCLUSÕES

Foi constatado que, à medida que a espessura de carepa aumentou, o aquecimento das bordas a soldar dos tubos foi reduzido. Isso foi confirmado pela menor largura da zona afetada pelo calor (ZAC) da região soldada e, também, pela menor remoção de material da região da solda durante a etapa de caldeamento das bordas dos tubos. Este efeito foi associado à magnetização da carepa, que consome energia sem produzir correntes elétricas parasitas e que, conseqüentemente, reduz a geração de calor na região da solda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MOZHARENKO, I. P. et al. - Preventing the Formation of Cracks in High-frequency Welding of Joints in Pipes Made of Low-carbon and Low-alloy Steels - Welding International, No 11, 1989, p.: 970-972.
2. MAZZOLA, G. & TORINESE, T. - High Frequency Welding of Carbon Tubes - Tube International, March, 1996, p.: 147-152.
3. SHACKELFORD, J. F. - Ferrimagnetism - IN: Materials Science for Engineers, Ch 18.3, Prentice-Hall, USA, 2000, p.: 683-685.
4. SCOTT, P., Mayer, P., Jones, R. - The Key Parameters of High Frequency Welding - Tube International, November, 1995, p.: 313-318.

EFFECT OF SCALE THICKNESS OF A HOT-ROLLED STEEL UPON HFIW WELDS OF SEAM WELDED TUBES⁽¹⁾

**Kleiner Marques Marra⁽²⁾,
Gustavo Nascimento Batista⁽³⁾,
Marcos Antônio Valadão⁽⁴⁾**

ABSTRACT

The High Frequency Induction Welding (HFIW) process is widely applied in the production of seam welded tubes from slitters of hot rolled steel coils.

In this study the effect of the presence of scale on HFIW welded tubes of SAE1010 steel was investigated. It was shown that an increase on the scale thickness resulted in a decrease of the edge heating on the tubes to be welded. This was confirmed by the narrower heat affected zone (HAZ) and also by the smaller material removal from the welding region during pressing of the tube edges.

Key words: HFIW welding, scale, superficial heating.

(1) Technical Contribution to the 41st Rolling Seminar of Brazilian Society for Metallurgy and Materials (ABM) – Joinvile, SC, Brazil, October 26-28, 2004.

(2) ABM Member; Metallurgic Engineer, D.Sc.; Research and Development Center of Usiminas; Ipatinga, MG, Brazil.

(3) ABM Member; Metallurgic Engineer, M.Sc.; Cold Rolling Technical Division of Usiminas; Ipatinga, MG, Brazil.

(4) ABM Member;. Metallurgical Technician; Metallurgical and Quality Assurance Division of Usiminas; Ipatinga, MG, Brazil.