

Efeito da variação do gás de proteção no perfil de tensões residuais do aço inoxidável UNS S32304 soldado pelo processo TIG

Machado, C. S.C.¹; Milagre, M.X.²; Orlando, M. T. D.³; Rossi, J.L.⁴; Luz, T.S.⁵; Macêdo, M.C.S.⁶; Chagas, J.N.⁷

1,2 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil

3 Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil

4 Doutor do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, São Paulo, São Paulo, Brasil

5,6 Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil

7 Graduando em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil

Resumo

Tensões residuais podem ser muito prejudiciais ao desempenho de um componente, tornando sua quantificação e avaliação extremamente úteis. A difração de raio-X é um método de análise não destrutivo que permite avaliar as tensões sem comprometer o material. Neste trabalho, tiras de aço duplex UNS S32304 com 1,8mm de espessura foram cortadas nas dimensões 36x72mm e soldadas de modo autôgeno através do processo TIG. Produziram-se dois tipos de amostras variando-se o gás de proteção a saber: mistura de argônio 98% e nitrogênio 2% e argônio 99.995%. Utilizou-se um difratômetro com geometria Bragg-Brentano, fonte de radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,5419\text{\AA}$). A técnica $\sin^2 \Psi$ foi empregada para determinar a tensão residual da fase austenita no ângulo $2\theta = 146.22^\circ$. Os resultados mostram um estado de tensões residuais trativo nas proximidades da zona fundida, chegando a um estado compressivo em regiões distantes. A análise comparativa dos perfis de tensão residual revela que a amostra soldada apenas com argônio apresenta menor tensão residual trativa na zona fundida.

Palavras chaves: Tensão residual; Aço inoxidável duplex; Soldagem TIG; Difração de raio-x.

1. Introdução

Os aços inoxidáveis duplex possuem uma microestrutura bifásica, em quantidade equivalente de ferrita e austenita, no qual cada fase contribui com as propriedades finais deste aço, aliando resistência mecânica e resistência à corrosão [1,2,3]. Durante o processo de soldagem de tais aços, o material é submetido a uma série de ciclos térmicos que podem modificar a microestrutura do aço na zona fundida (ZF) e na zona termicamente afetada (ZTA). As altas temperaturas atingidas durante a soldagem geram gradientes de temperatura que favorecem a precipitação de fases deletérias (nitretos de cromo, por exemplo), afetando a fração volumétrica e gerando tensões residuais [3,4]. Tensões residuais são aquelas existentes em um corpo sólido quando este não está sob a ação de forças externas [5] e surgem devido a deformações não uniformes que podem ser de origem térmica, mecânica ou química. A figura 1 apresenta um padrão típico de tensões residuais longitudinais

macroscópicos encontrados em chapas finas soldadas. Tem-se o valor máximo de tensão trativa no cordão de solda que é reduzido à medida que se vai distanciando da região central até que a tensão se torne compressiva, para manter o equilíbrio dos carregamentos internos, considerando-se que as tensões são constantes ao longo da espessura [6,7,8].

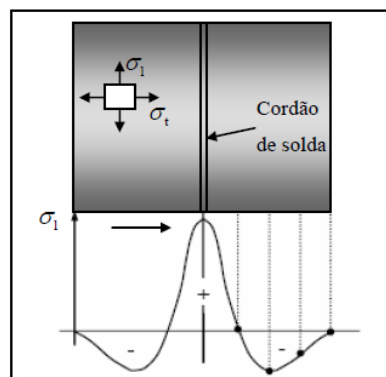


Figura 1: Esquema do comportamento das tensões residuais nas vizinhanças de uma união por soldagem de chapas finas [7].

Mesmo quando aparece em uma fina camada superficial, a tensão residual pode influenciar significativamente o desempenho funcional da peça. Tensões compressivas são preferíveis, já que tendem a diminuir as tensões de tração aplicadas externamente e a fechar trincas superficiais [9]. Quando influenciam negativamente, essas tensões potencializam diversos problemas como formação de trincas e maior tendência a fratura frágil, levando a redução da vida útil do componente além de comprometer seu comportamento [10]. A análise de tensão residual por difração de raio-X em materiais cristalinos é baseada na determinação da deformação elástica do retículo, através do perfil de difração obtido com feixe monocromático de raio-X. Neste trabalho compara-se o perfil de tensões residuais da fase austenita, plano (420) de amostras de aço inoxidável duplex soldado pelo processo TIG, utilizando dois diferentes gases de proteção: argônio e mistura de argônio e 2% de nitrogênio.

2. Materiais e métodos

Tiras de aço inoxidável duplex UNS S32304 com 1,8mm de espessura foram cortadas com auxílio de máquina de corte com lubrificação constante, para evitar a influência de tensões oriundas do corte, nas dimensões 36x72mm. A tabela 1 traz a composição química fornecida pelo fabricante. Os corpos de prova produzidos foram soldados aos pares de forma autóloga pelo processo TIG utilizando corrente alternada e polaridade direta. A corrente média, tensão e velocidade empregados foram 143A, 13V, 35 cm/min, respectivamente. Variou-se o gás de proteção, no qual uma das amostras foi soldada utilizando apenas argônio comercial e outra uma mistura de argônio e 2% de nitrogênio. A vazão de gás em ambos os casos foi de 10 l/min. Utilizou-se a mesma variação de composição para o gás de purga. A tabela 2 apresenta as amostras produzidas destinadas a medição da tensão residual. A figura 2 traz os corpos de prova cortados e após a realização da soldagem.

Tabela 2. Identificação das amostras utilizadas

Gás de proteção	Ar + 2%N ₂	Ar	Não soldada
Identificação	T _{AN}	T _A	T _{CR}



Figura 2: Corpos de prova antes e após soldagem

Tabela 1. Composição química do aço utilizado UNS S32304

Elemento	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	C	P	S	Ti	Cu	Co	N
Teor (%)	22,20	3,52	0,255	1,40	0,250	0,016	0,023	0,001	0,0041	0,4171	0,09	0,1030

A determinação da fração volumétrica de ferrita foi realizada utilizando um ferritoscópio. Foram realizadas 20 medidas de maneira aleatória no material como recebido e a mesma quantidade em cada região das amostras soldadas (MB, ZF e ZTA). Para avaliar a influência do gás de proteção na tensão residual os corpos de prova soldados foram submetidos a um polimento eletrolítico prévio, no qual uma fina camada superficial da região a ser analisada foi removida, a fim de limpar a superfície permitindo a medição de tensões residuais oriundas apenas do processo de soldagem. O polimento foi realizado com uma solução 25% de H₂SO₄ a 3V durante 10 min. As medidas de raio-x foram realizadas transversalmente ao cordão de solda ao longo das três regiões: metal base (MB), zona termicamente afetada (ZTA) e zona fundida (ZF), conforme figura 3. Para a amostra como recebida apenas um ponto central foi selecionado para análise.

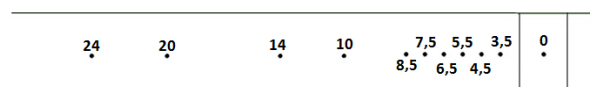


Figura 3: Localização das medidas (mm) de tensão residual da fase austenita nas amostras soldadas.

A medida da tensão residual na fase austenita, plano (420), foi realizada pela técnica de difração de raios-x, seguindo a norma SAE HS-784 [11]. As amostras foram avaliadas através de difratogramas gerados em difratômetro de raios-x, marca Rigaku, com geometria Bragg-Brentano, fonte de radiação CuK α (λ = 1,5419Å), fenda de divergência de 0.05 mm, fenda de divergência horizontal de 10 mm, fenda de espalhamento de 1/2°, fenda receptora 0,3 mm e passos angulares de 0,04°. A tensão e a corrente empregada foi de 40 kV e 20 mA, respectivamente. Cinco ângulos Ψ foram utilizados 0°, 15°, 30°, 45°, 60° no intervalo angular 2θ de 142° a 152°. As intensidades difratadas com varredura 2θ para cada ψ foram coletadas. Utilizou-se o software FityK para construção dos difratogramas, ajustes das curvas e localização dos picos [12]. A função escolhida para ajuste foi a Pearson 7A. Plotou-se o gráfico da deformação $\times \sin^2\psi$, o qual permitiu calcular os valores de tensão residual. O coeficiente de Poisson e o módulo de elasticidade utilizados foram obtidos na literatura, sendo 0,305 e 190 GPa, respectivamente [13].

3. Resultados e discussão

3.1. Fração volumétrica da ferrita

A tabela 3 apresenta os resultados encontrados para a fase ferrita através do ferritoscópio. Observa-se o desbalanceamento de fases provocado pelo processo de soldagem.

Tabela 3. Fração volumétrica de ferrita

	ZF	ZTA	MB
$T_{AN}(\%)$	(60 ± 1)	$(43,0 \pm 0,2)$	$(47,4 \pm 0,3)$
$T_A(\%)$	(61 ± 1)	$(42,2 \pm 0,2)$	$(46,5 \pm 0,3)$
$T_{CR}(\%)$		$(50,0 \pm 0,3)$	

A adição de 1-10% em volume de nitrogênio ao gás de proteção durante um processo de soldagem tem a finalidade de aumentar o teor de nitrogênio na ZF e manter o seu teor original na ZTA. Como o nitrogênio é um elemento austenizante, o seu aumento acarreta em uma fração volumétrica maior de austenita na ZF [14]. Entretanto, considerando as incertezas, observa-se que o comportamento das amostras soldadas em diferentes condições é semelhante: na zona fundida a fração de ferrita é elevada, há uma queda no valor na zona termicamente afetada e ocorre um aumento do teor no metal base.

3.2 Medida de tensão residual

3.2.1. Amostra como recebida (T_{CR})

A figura 4 apresenta o gráfico $\varepsilon \times \sin^2 \psi$ para o material como recebido. Observa-se que a inclinação da curva é decrescente, indicando que a tensão residual tem caráter compressivo, cujo valor é (-248 ± 11) MPa.

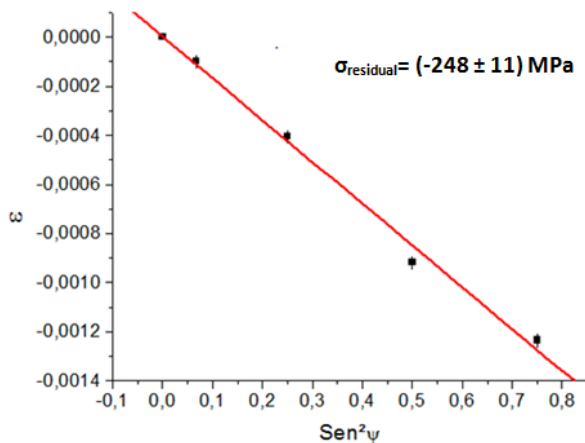


Figura 4. Gráfico da deformação em função da variação do ângulo ψ .

3.2.2. Amostra Soldada

A figura 5 apresenta o perfil de tensões encontrado para as diferentes amostras. Observa-se que na amostra soldada apenas com argônio, a ZF apresentou menor tensão residual trativa, comparada a amostra soldada com gás de proteção composto pela mistura argônio e nitrogênio.

A partir da ZTA, há um decréscimo no valor de tensão para ambas as amostras, até que se atinjam tensões residuais compressivas. Observa-se ainda que a amostra T_{AN} tem valores compressivos a partir de 10mm de distância em relação ao centro da zona fundida, enquanto que a amostra T_A somente a partir de 14 mm.

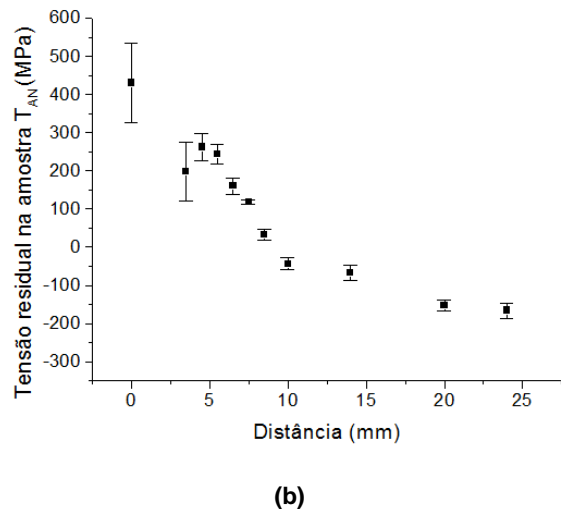
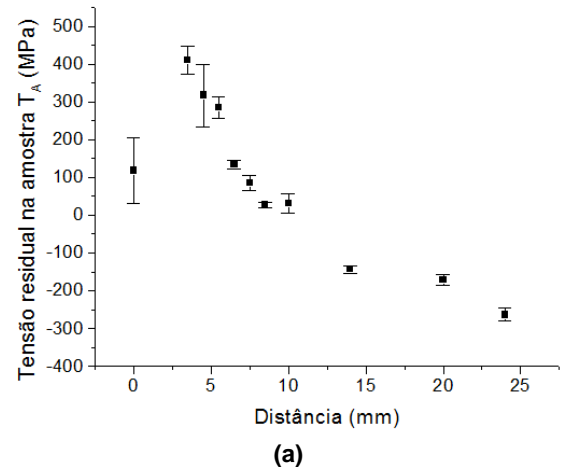


Figura 5. Perfil de tensão residual medido na fase austenita em amostras soldadas (a) T_A com argônio; (b) T_{AN} com mistura gasosa argônio +2% nitrogênio.

Comparando-se o perfil obtido de tensões residuais da amostra T_{AN} com a fração volumétrica da fase ferrita na ZF e ZTA (regiões afetadas pelo desbalanceamento de fase) da mesma amostra, parece existir uma relação entre o teor de ferrita e as tensões. Na zona fundida há maior teor de ferrita e as tensões são trativas e elevadas. A medida que se afasta da zona fundida, há uma redução no teor de ferrita, bem como no comportamento das tensões observadas.

Embora o valor de tensão obtido na zona fundida da amostra T_A seja divergente da amostra T_{AN} , não se pode afirmar que ambas as amostras apresentam tendências diferentes sendo necessária a realização de

mais medidas a fim de obter reprodutibilidade dos dados.

4. Conclusões

Os resultados apresentados para as chapas nas condições aqui estudadas apresentaram valores de tensão residual trativa na zona fundida e termicamente afetada e compressiva em regiões mais afastadas do cordão.

Observa-se que o valor de tensão residual na zona fundida é menor na amostra soldada com argônio.

O perfil gerado na amostra soldada com argônio e nitrogênio sugere a existência de relação entre a fração volumétrica e as tensões residuais.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES - Pró-Estratégia 2224/2012 pela bolsa de Mestrado e ao Sr. Yukio Nishida pelo apoio na caracterização das amostras.

6. Referências

- [1] Westin E. M. Pitting corrosion resistance of gta welded lean duplex stainless steel. *Welding in the world*. 2010; volume(54): página 308 e 321.
- [2] Santos C. Z. Estudo da tensão residual através de difração de raios x em aço inoxidável duplex submetido a diferentes tratamentos térmicos [mestrado]. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo; 2012.
- [3] Palácio F. O. Estudo do efeito de parâmetros do processo GTAW pulsado na resistência à corrosão intergranular e por pite do aço inoxidável duplex UNS S32304 [mestrado]. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo; 2011.
- [4] Silva C.C. Avaliação das tensões residuais de soldagem em tubulações de pequeno diâmetro usadas em refinaria de Petróleo. [Mestrado]. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará; 2007.
- [5] Totten, G., Howes, M., Inoue, T. *Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel*. ASM International. 2002, p.11
- [6] Okumura, T; Taniguchi, C. *Engenharia de soldagem e aplicações*. Rio de Janeiro: Editora LTC; 1982.
- [7] Rodrigues, L.D. Medição de tensões residuais em tubos visando a determinação de esforços em dutos enterrados. [Mestrado]. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica; 2007.
- [8] Withers, P. J., Bhadeshia, H. K. D. H. *Residual stress part 1 – Measurement techniques*. *Materials Science and Technology*. 2001; volume (17), pp. 355-365.
- [9] Farias, A. Estudo da tensão residual através de difração de raios x em aço inoxidável duplex submetido a diferentes tratamentos térmicos. [Mestrado]. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 2009.
- [10] Modenesi, P. J.; Marques, P. V.; Santos, D. B. Introdução à Metalurgia da Soldagem. Universidade Federal de Minas Gerais - Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. 2012. [acesso em 12 mar. 2014] Disponível em: <http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/metalurgia.pdf>.
- [11] SAE. HS-784: Residual stress measurement by x-ray diffraction. Pennsylvania, 2003.
- [12] Wojdyr, M. Fityk: a general-purpose peak fitting program *J. Appl. Cryst.* 43, 1126 (2010)
- [13] Johansson J., Oden M., Zeng X.H. Evolution of the residual stress state in a Duplex stainless steel during loading. *Acta Metallurgica*. 1999; volume (47), pp 2669-2684.
- [14] Ramírez-londoño, A.J. Estudo da Precipitação de nitreto de cromo e fase sigma por simulação térmica da zona afetada pelo calor na soldagem multipasse de aços inoxidáveis duplex. [Mestrado]. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 1997