

A INFLUÊNCIA DA ENERGIA DE SOLDAGEM NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE JUNTAS SOLDADAS DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 304

YCARO JORGE MAIA DA COSTA¹, JOSÉ MASPOLI FERREIRA PEREIRA²,
FRANCISCO EDSON NOGUEIRA FRAGA^{3*}, RODRIGO NOGUEIRA DE CODES⁴

¹ Aluno/Bolsista do PET Eng. Mecânica&Energia, UFERSA, Mossoró-RN, ycaroyjmc@hotmail.com

² Aluno/Bolsista do PET Eng. Mecânica&Energia, UFERSA, Mossoró-RN, j.maspoli@hotmail.com

³ Prof. Dr. em Eng. Mecânica, Tutor do PET Mecânica&Energia, UFERSA, Mossoró-RN, nfraga@ufersa.edu.br

⁴ Prof. Dr. em Engenharia Mecânica e de Materiais, UFERSA, Mossoró-RN, mcodes@ufersa.edu.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência da energia de soldagem (ES) sobre as propriedades mecânicas de uma junta soldada de aço inoxidável AISI 304, notadamente na zona afetada pelo calor (ZAC). Inicialmente foram otimizados parâmetros, a fim de obter relações de valores de V, I e Vs para a soldagem de uma junta de aço AISI 304 com 3/16" de espessura. Corpos de prova soldados com as ES que permitiram a obtenção de juntas aceitáveis, seguindo determinados critérios de inspeção, foram avaliadas em ensaio de tração. Os ensaios permitiram avaliar a influência da ES sobre as propriedades mecânicas na ZAC. Observou-se que houve uma redução do limite de escoamento da ZAC para ambas energias de soldagem em relação ao metal de base.

PALAVRAS-CHAVE: Energia de soldagem, Propriedades mecânicas, Aço inoxidável AISI 304.

THE INFLUENCE OF WELDING ENERGY IN TENSILE PROPERTIES OF WELDED JOINTS OF STAINLESS STEEL AISI 304

ABSTRACT This work aimed to evaluate the influence of welding energy (WE) on the tensile properties of a welded joint of stainless steel AISI 304, especially in the heat affected zone (HAZ). Initially parameters were optimized in order to obtain relationships values of V, I and Vs for welding a steel AISI 304 joints with 3/16" thick. Welded test specimens with the WE that allowed obtaining acceptable together, following certain inspection criteria were evaluated in tensile test. The tests allowed evaluating the influence of WE on the tensile properties of the HAZ. It was observed that there was a reduction in the HAZ yield strength for both welding energy in relation to the base metal.

KEYWORDS: Welding energy, Tensile properties, Stainless steel AISI 304.

INTRODUÇÃO

O aço inoxidável austenítico AISI 304 é um dos aços comerciais mais usados em diversas aplicações na indústria, sendo utilizado em tubulações de resfriamento em reatores nucleares, em válvulas, e em equipamentos em indústrias de laticínios, química, farmacêutica e petrolífera (KUMAR e SHAHI, 2011).

Lippold e Kotecki (2005), enfatizam a boa ductilidade e tenacidade deste material, o que permite uma boa gama de aplicação. Além disso, possuem vantagens particulares quanto a sua soldabilidade e conformabilidade em relação a outros aços inoxidáveis. As propriedades mecânicas do aço inoxidável austenítico AISI 304 são mostradas na tabela 1:

Tabela 1- Propriedades mecânicas do aço inoxidável AISI 304, laminado (trabalhado à frio)

<i>AISI</i>	<i>Limite de escoamento (Mpa)</i>	<i>Limite de resistência (Mpa)</i>	<i>Alongamento (%)</i>	<i>Dureza máxima (HRB)</i>	<i>Módulo de elasticidade (GPa)</i>
304	515	860	40	88	193

Fonte: CALLISTER e RETHWISCH (2012).

Segundo Lippold e Kotecki (2005), as características do aço inoxidável como austenítico são estabelecidas pelo teor de níquel maior que 8%, além da composição de cromo entre 18 e 20%. A composição do aço inoxidável AISI 304 é mostrada na tabela 2.

Tabela 2- Composição do aço inoxidável AISI 304 em peso.

(%p.)	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
AISI 304	0,15	2,0	1,0	18,0-20,0	8,0-10,5	0,045	0,03

Fonte: ASM Metals Handbook (1979).

Uma junta soldada apresenta variação em suas propriedades mecânicas em relação ao metal de base (MB), em decorrência do gradiente de aquecimento e resfriamento do material, causado pelo elevado calor aplicado. A porção do MB, adjacente ao metal de solda (MS), que tem sua microestrutura e propriedades mecânicas alteradas, é denominada zona afetada pelo calor (ZAC). É sabido que as variações de propriedades mecânicas e morfologia microestrutural na ZAC podem ocorrer em maior ou menor magnitude em função da intensidade da ES, a qual é controlada através dos parâmetros: tensão (V), corrente (I) e velocidade de soldagem (Vs). A ES é diretamente proporcional à tensão e à corrente de soldagem e inversamente proporcional a velocidade de soldagem (CORAINI et al., 2009; WAINER et al., 1992). A ES pode ser calculada através da equação 1:

$$ES = \frac{IV}{V_s} \quad \text{Equação 1}$$

O controle destes parâmetros influi nas dimensões, qualidade e formato do cordão de solda, bem como, morfologia da microestrutura. A intensidade da corrente e da tensão de soldagem são diretamente proporcionais à profundidade e largura do cordão de solda respectivamente (MODENESI et al., 2011; SILVA, 2005).

As regiões MB, ZAC e MS, possuem propriedades mecânicas e microestruturas diferentes, sendo que a ZAC é a região da junta soldada que sofre maiores modificações nas propriedades. Essas variações podem reduzir significativamente o desempenho de uma junta soldada. (GALVIS e HORMAZA, 2011; SAHIN, 2006). Mais especificamente a região de grãos grosseiros da ZAC (ZAC-GG), é a que apresenta um maior aumento de ductilidade e redução da resistência à tração em relação às propriedades do MB (WAINER et al., 1992).

Dada a importância do controle destes parâmetros, e a influência destes sobre as propriedades mecânicas das juntas soldadas em metais, o presente trabalho utilizou o ensaio de tração para analisar a influência da energia de soldagem sobre a resistência de juntas soldadas do aço inoxidável AISI 304.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram confeccionados quatro corpos de prova (CP) para ensaio de tração do MB, com dimensões de 1" X 3/16", com comprimento total de 200mm partidos em dois segmentos de 100mm, para união posterior por soldagem MIG com arame AISI 304. As dimensões foram escolhidas de modo que a área da seção transversal fosse tal que permitisse ruptura durante o ensaio de tração, dado que a força máxima da máquina de ensaios utilizada é de 100 kN. A espessura foi escolhida para possibilitar a deposição dos cordões de solda como é explicado a seguir.

Os parâmetros envolvidos no processo de soldagem MIG foram otimizados após vários testes preliminares, determinando parâmetros desejáveis com os seguintes critérios de aceitação: acabamento visual satisfatório dos cordões de solda, ausência de respingos e largura, reforço e penetração adequados para a soldagem de uma junta com chanfro em "I" e dois cordões de solda em uma junta em duplo "I", unindo dois segmentos de 100mm, obtendo o CP de 200mm, como indicado na imagem 1.

Selecionou-se duas ES, que estão quantificadas na tabela 3 com respectivos parâmetros. Para cada ES foram soldados dois CP's. Após a soldagem, foi verificada a penetração dos cordões de solda através de macrografias da seção transversal dos mesmos, para ambas energias utilizadas.

Tabela 3 - Parâmetros utilizados na soldagem.

Classes:	ES1	ES2
Corrente (A)	195	185
Tensão (V)	27	27
Vasão do gás de proteção (l/min)	15	15
Velocidade da tocha (cm/min)	30	30
Distância bocal-peça (cm)	1,5	1,5
Energia de soldagem (kJ/cm)	10,5	9,9

Fonte: Autoria própria

Imagem 1: (a) Chanfro em "I";
(b) Junta de topo em duplo "I".

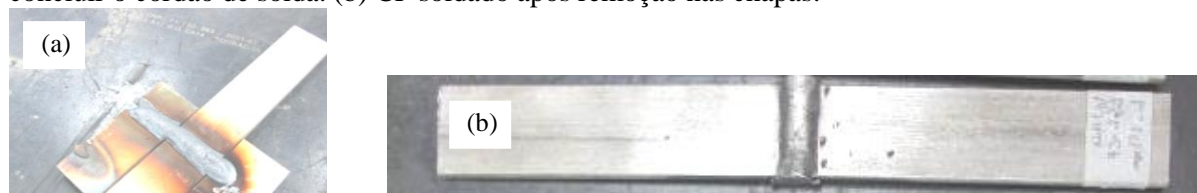


Fonte: Autoria própria

O equipamento de soldagem utilizado foi uma máquina de soldagem MIG, modelo LAI 407, e um robô para deslocamento automático da tocha em velocidade constante, modelo Tartílope V1. O monitoramento e registro dos parâmetros de soldagem foi feito com sensores de corrente e tensão conectados a um sistema de aquisição e análise, modelo Aq.Dados 7.02 / Aq.Analisis 7.0.

Como os CP's para soldagem foram confeccionados na largura final para proceder o ensaio de tração, a soldagem destes procedeu-se com a abertura e fechamento do arco em chapas adjacentes ao CP e com a mesma espessura, conforme pode ser visto na imagem 2(a), a fim de obter o corpo de prova soldado com um cordão com morfologia contínua e dispensando a usinagem posterior desses CP's, após a remoção por serra dessas chapas adjacentes, como pode ser observado na imagem 2 (b).

Imagem 2: (a) CP logo após soldagem, com chapas adjacentes usada para abertura do arco e iniciar e concluir o cordão de solda. (b) CP soldado após remoção nas chapas.



Fonte: Autoria própria.

Os corpos de prova soldados e o material de base e foram ensaiados numa máquina universal de ensaios, modelo EMIC DL10000.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os ensaios de tração os quatro corpos de prova soldados romperam na ZAC. Os resultados dos ensaios de tração das juntas soldadas e do MB estão na tabela 4.

Avaliando-se os resultados de propriedades mecânicas em função da variação da ES e comparando com os dados do MB, foi observado que houve uma redução do limite de escoamento da ZAC para ambas ES em relação ao MB. Ocorrência similar foi encontrado por Tolephi (2011), o autor justifica que esse fenômeno foi causado pelo crescimento dos grãos na ZAC-GG, o que resultou em um aumento na ductilidade dessa região e na consequente redução da resistência mecânica.

Kumar e Shahi (2011), estudando a variação da energia de soldagem no aço inoxidável AISI 304 identificaram que o limite de resistência à tração é inversamente proporcional ao aumento da energia de soldagem. Segundo esses autores o tamanho da ZAC-GG e o crescimento dos grãos nessa região, é proporcional ao nível de energia de soldagem utilizada, o que justifica a redução no limite de resistência observado aqui comparando-se os resultados obtidos para ES1 e ES2.

Na tabela 4 também pode-se observar um alongamento maior para ES2 em relação a ES1. Kumar e Shahi (2011), encontraram resultado semelhante. Os autores atribuíram esse incremento de ductilidade em função do aumento da energia de soldagem, ao maior crescimento de grão na ZAC para maiores energias de soldagem.

Tabela 4 – Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração

<i>Amostra</i>	<i>LE - Limite de escoamento (Mpa)</i>	<i>LRT - Limite de resistência (Mpa)</i>	<i>Alongamento (%)</i>
CP1 - ES1 (10,5 kJ)	406	667	50
CP2 - ES1 (10,5 kJ)	413	625	42,8
CP3 - ES2 (9,9 kJ)	485	789	62,8
CP4 - ES2 (9,9 kJ)	485	736	58,8
MB	515	860	40

Fonte: Autoria própria.

Apesar de ter-se obtido, para ambas as ES selecionadas, juntas soldadas com acabamento visual satisfatório, reforço adequado dos cordões de solda, ausência de respingos e penetração total (ou seja, com a raiz dos dois cordões em duplo I encontrando-se adequadamente). De acordo com os resultados obtidos, notadamente ES2 mostrou melhores propriedades mecânicas, pois os limites de escoamento foram maiores em relação a ES1, além disso, também mostrou um maior alongamento, o que possibilita uma melhor percepção da falha em componentes que estejam submetidos à tensão maior que seu limite de escoamento, visto que este está defasado em relação ao metal de base.

CONCLUSÕES

As modificações microestruturais resultantes dos gradientes de resfriamento ocorridos na ZAC são responsáveis pela alteração no comportamento da junta quanto a resistência e ductilidade desta. Como vimos, a energia de soldagem foi crucial na variabilidade das propriedades mecânicas entre as amostras de ES1 e ES2.

A ES2 (de 9,9 kJ) permitiu obter melhores propriedades mecânicas que a ES1 (de 10,5 kJ), pois os limites de escoamento e foram maiores para ES2

REFERÊNCIAS

- Callister, W. D.; Rethwisch, D. G. - Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais - 8ª Ed., 2012.
- Coraini, R.; Kobayashi, Y.; Gonçalves, G. M. B. Influência do Tipo de Chanfro, Tecimento e Sentido de Laminação na Distorção Angular em Soldagem GMAW-P Robotizada de Alumínio. Soldagem e Inspeção, São Paulo, v. 2, n. 2, p.123-136, jun. 2011.
- Galvis, A. R.; Hormaza, W. Characterization of failure modes for different welding processes of AISI/SAE 304 stainless steels. Engineering Failure Analysis, Bogota, p.1791-1799, abr. 2011
- Kumar, S.; Shahi, A. S. Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of TIG welded AISI 304 stainless steel joints. Materials And Design, Punjab, p.3617-3623, mar. 2011.
- Lippold, J. C.; Kotecki, D. J. Welding metallurgy and weldability of stainless steels. New Jersey: Wiley-interscience, 2005.
- METALS HANDBOOK. 9a. Ed., Vol. 2. Properties and Selection: Nonferrous alloys and pure metals. American Society for Metals, 1979.
- Modenesi, P. J. et al. Estudo de alguns parâmetros básicos da soldagem GMAW com transferência por curto-circuito. Soldagem e Inspeção, São Paulo, v. 16, n. 1, p.12-21, mar. 2011.
- Sahin, M.. Evaluation of the joint-interface properties of austenitic-stainless. Engineering Analysis, Mater, p.2244-2250, dez. 2006
- Silva, R.. Soldagem MIG/MAG em transferência metálica por curto-circuito controlado aplicada ao passe de raiz. UFSC: Dissertação-2005.
- Tolephih, M. H.; Mashloosh, Kadhim M.; Waheed, Zainab. Comparative Study of the Mechanical Properties of (FS) and MIG Welded Joint in (AA7020-T6) Aluminum Alloy. Al-khwarizmi Engineering Journal, Baghdad, p.22-35, maio 2011
- Wainer, E. et al. Soldagem: processos e metalurgia/ coordenação Emílio Wainer, Sérgio Duarte Brandi, Fábio Décourt Homem de Mello – 5ª edição – São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Educação Tutorial pelas bolsas e fomento ao grupo PET Mecânica&Enegia da UFERSA.