

COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉRMICA ENTRE SOLDAGEM A-TIG E TIG CONVENCIONAL

Thiago José Donegá, Laprosolda, thdonega@yahoo.com.br
Thonson Ferreira Costa, Laprosolda, thonsoncosta@yahoo.com.br
Louriel Oliveira Vilarinho, Laprosolda, vilarinho@mecanica.ufu.br

Resumo. O processo A-TIG (soldagem TIG com fluxo ativo) consiste em depositar uma fina camada de fluxo sobre a superfície da peça, antes da soldagem. A soldagem é realizada após a secagem do fluxo. Verifica-se que com este processo é possível aumentar a produtividade (velocidade de soldagem) em até três vezes mais comparado ao processo TIG convencional. Entretanto, os fenômenos físicos associados a este ganho prático de produtividade ainda permanecem sob discussão. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar a eficiência térmica (rendimento térmico) e aporte térmico na soldagem comparando o processo A-TIG com o TIG convencional, utilizando-se de um calorímetro de nitrogênio líquido, como forma de contribuir para o melhor entendimento dos fenômenos físicos associados. As soldas autógenas foram realizadas de forma automática diretamente sobre chapa de aço inoxidável austenítico AISI 304. Ao final da soldagem, a placa teste é levada automaticamente para dentro do recipiente (dewar) contendo nitrogênio líquido. Através de monitoramento dedicado foi feita a aquisição de sinais elétricos, assim como da variação da massa da balança digital sobre a qual fica o dewar. Posteriormente, foi analisada a penetração e a largura do cordão de solda. Em conformidade com trabalhos anteriores, conclui-se que a penetração da solda A-TIG aumenta e a largura diminui, em comparação com a solda TIG convencional. De forma inédita, se conclui que a eficiência térmica do processo A-TIG é menor que a eficiência em soldas TIG convencionais. Pelos resultados apresentados, o efeito da constrição do arco é mais importante que a redução da eficiência.

Palavras chave: A-TIG, Fluxo Ativo, Eficiência Térmica, Penetração, Constrição

1. INTRODUÇÃO

Desenvolvido nos anos 60 pelo Paton Welding Institute, o processo A-TIG (soldagem TIG com fluxo ativo), consiste em se depositar uma fina camada de fluxo sobre a superfície da peça a ser soldada. A deposição pode ser feita por meio de pincel ou spray de forma a se obter uma camada homogênea, e a soldagem é feita após a secagem. Verifica-se que com este processo é possível aumentar a produtividade em até três vezes mais em comparação ao processo TIG convencional (Anderson, 1996).

Kumar (2009), destaca que, embora seja um processo simples, onde basta aplicar um fluxo sobre a superfície a ser soldada, previamente à soldagem, os mecanismos envolvidos no processo de aumento de penetração da solda A-TIG ainda não estão consolidados. Vários estudos foram feitos para buscar explicações sobre os mecanismos responsáveis pelo aumento da penetração na solda A-TIG. Porém, ainda não se encontra na literatura informações sobre a eficiência térmica do processo A-TIG, ou seja, estudos que quantifiquem o calor aportado (aporte térmico) na peça durante o processo de soldagem A-TIG. Tendo em vista que o aporte térmico é um parâmetro que influi decisivamente no processo de soldagem, devido a sua direta ligação com as mudanças de características metalúrgicas e de propriedades mecânicas da junta soldada (Vilarinho, 2010).

Desta forma, o presente trabalho propõe analisar a eficiência térmica (rendimento térmico) e aporte térmico na soldagem com o processo A-TIG em comparação com o processo TIG convencional, utilizando-se de um calorímetro de nitrogênio líquido, como forma de contribuir para o melhor entendimento dos fenômenos físicos associados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização das soldagens A-TIG, aplicou-se manualmente um fluxo a base de sais de silicato utilizando-se de aerógrafo de mistura externa (ar e fluxo misturam-se fora do aerógrafo). A aplicação foi feita de forma a se obter ao final uma camada média homogênea.

As soldas foram realizadas sobre chapa de aço inoxidável austenítico AISI 304, nas dimensões 165 x 51 x 4 mm. Vazão do gás de proteção de 12 l/min, eletrodo de tungstênio AWS WTh-2 com diâmetro de 2,4 mm, ângulo de apontamento de 60° e 10 mm para fora do bocal, diâmetro do bocal de 8 mm. A corrente de soldagem (I), a velocidade de soldagem (Vs), o gás de proteção, chapa com fluxo (A-TIG) e sem fluxo (TIG), e a distância do eletrodo à peça (DEP) foram variados a cada ensaio realizado, e estão listados na Tabela (1).

As soldas foram feitas em uma bancada automatizada de calorímetro de nitrogênio líquido (N₂L), que é utilizado para quantificar a energia absorvida pela chapa num processo de soldagem. Para tanto o equipamento dispõe de sistema automático de movimentação da tocha com fim de curso. Ao final da solda o fim de curso é acionado e faz com que a garra a qual está segurando a placa teste libere-a de forma suave para dentro do recipiente dewar (semelhante a uma garrafa de café com boca larga) contendo N₂L. O dewar situa-se sobre uma balança digital com saída de sinal e sistema

de aquisição de dados para registrar a perda de massa pela evaporação do nitrogênio líquido devido à entrada no *dewar* da chapa aquecida pelo processo de soldagem (Arevalo, 2011). Durante a soldagem também são registrados os sinais elétricos de tensão (U_i) e corrente (I_i) da fonte de soldagem para o cálculo da potência instantânea média (P_{inst}) do arco elétrico, para um dado número n de pontos. A relação entre potência e a velocidade de soldagem dá origem à energia de soldagem. O sistema de aquisição dos sinais elétricos de tensão e corrente da fonte de soldagem, além do sinal da balança, é composto por uma placa de condicionamento de sinal dedicada (Arevalo, 2011), que condiciona os sinais para serem processados pela placa de aquisição NI USB 6215.

A partir da medição da massa evaporada de N_2L é possível estimar o quanto de calor existia na chapa quando esta foi inserida dentro do recipiente *dewar*. Uma vez conhecida a massa evaporada de nitrogênio e seu calor latente (198,6 J/g) (Arevalo, 2011), estima-se o aporte térmico da chapa. Após a soldagem e retirada da chapa de teste de dentro do recipiente *dewar*, deve-se aguardar que a chapa atinja novamente a temperatura ambiente. E após isto se deve inseri-la no recipiente *dewar*, para calcular o calor referente ao resfriamento da temperatura ambiente até a temperatura do N_2L . Ao se subtrair ambas as medições, tem-se o aporte térmico do processo relacionado ao resfriamento da temperatura durante a soldagem até a temperatura ambiente. Maiores detalhes são apresentados no trabalho de Arevalo (2011).

Ao final conhecendo-se o aporte térmico na chapa de teste por comprimento unitário de cordão e a energia de soldagem, estima-se a eficiência térmica pela relação entre as duas.

Tabela 1. Parâmetros variados a cada ensaio

Ensaio	Processo	Gás de proteção	I (A)	Vs (cm/min)	I/Vs (A·min/cm)	DEP (mm)
1A	A-TIG	Ar Puro	100	15	7,0	2,0
2A						3,0
3A			150	27	6,0	2,0
4A						3,0
5A		Ar+25%He	100	15	7,0	2,0
6A						3,0
7A			150	27	6,0	2,0
8A						3,0
1T	TIG	Ar Puro	100	15	7,0	2,0
2T						3,0
3T			150	27	6,0	2,0
4T						3,0
5T		Ar+25%He	100	15	7,0	2,0
6T						3,0
7T			150	27	6,0	2,0
8T						3,0

Após as soldagens, as placas de teste foram cortadas transversalmente, de onde se retirou uma amostra da solda feita pelo processo A-TIG e outra da feita pelo processo TIG em cada teste. As amostras foram embutidas e lixadas. Após realizou-se ataque químico para a visualização da geometria do cordão. Para a determinação da geometria do cordão, adotaram-se as medidas apresentadas na Fig. (1), onde são mostrados os parâmetros lineares dos cordões de solda.

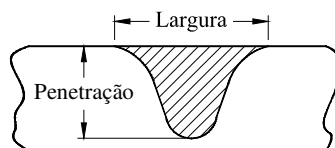


Figura 1. Parâmetros lineares referentes à geometria do cordão de solda

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela (2) traz os resultados da eficiência térmica (N_t) alcançada em cada ensaio para os processos TIG e A-TIG. Observando os resultados obtidos para a eficiência térmica (N_t) do processo TIG sem fluxo, pode-se afirmar que estes valores estão em conformidade com os encontrados na literatura (Dupont, 1995; Arevalo, 2011).

Tabela 2. Resultados da eficiência térmica (N_t)

Ensaio	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	1T	2T	3T	4T	5T	6T	7T	8T
N_t (%)	67	63	64	69	67	65	71	64	68	66	74	70	71	53	72	73

A Figura (2) apresenta os perfis transversais dos cordões de solda. Verifica-se que, as amostras onde se aplicou o fluxo apresentaram um aumento da penetração do cordão, bem como, um estreitamento da zona fundida, análogo ao formato de “taça”, devido ao efeito de constrição do arco.

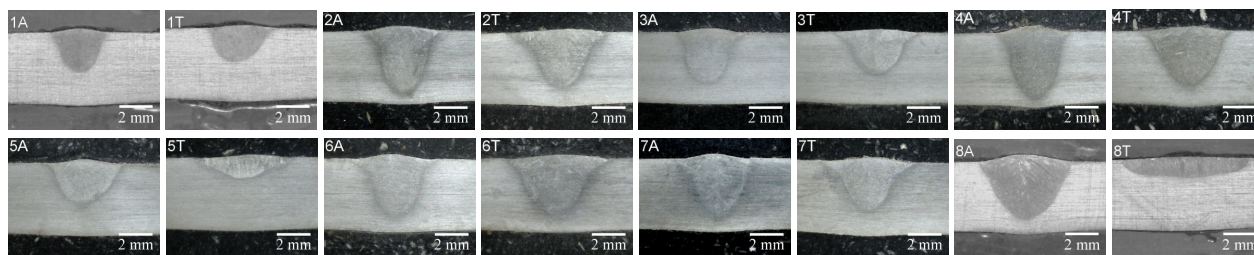


Figura 2. Seções transversais dos cordões de solda

Para melhor entendimento dos efeitos dos fatores na eficiência térmica, optou-se por realizar análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos, apresentada na Tab. (3). De modo geral, por meio desta tabela, se observa que o nível de significância “p” é mais expressivo, primeiramente para o efeito de I/Vs (corrente de soldagem sobre velocidade de soldagem), e posteriormente pela DEP (Distância Eletrodo-Peça). Por essa análise é possível notar que a variação nos parâmetros destas duas variáveis é o que mais influencia no resultado da eficiência térmica.

Tabela 3. Análise de variância para a eficiência térmica

Efeito	SS	P
Média	72477,15	0,000000
Processo	18,41	0,410668
Gas	2,65	0,747527
I/Vs	81,52	0,117657
DEP	54,48	0,183361

Os resultados da Tabela (3) são visualmente mais bem apresentados nas Fig. (3-6).

A Figura (3), mostra o comportamento da eficiência térmica para os processos utilizados (TIG e A-TIG), observa-se que a eficiência térmica no processo A-TIG é menor em comparação ao TIG. Os valores da eficiência térmica média se encontram na faixa de 66,2% e 68,4% para os processos A-TIG e TIG, respectivamente. O fato de a eficiência térmica ter sido menor para o processo A-TIG pode ser explicado em função da maior penetração proporcionada pelo fluxo ativo. Pois de acordo com Arevalo (2011), quando há maior penetração há uma maior troca de calor com o ambiente por convecção através do reforço na raiz da solda.

Na Figura (4) é apresentada a tendência da eficiência térmica, comparando-se as DEP de 2,0 mm e 3,0 mm. Nota-se que a menor distância entre o eletrodo e a peça ocasiona uma maior eficiência térmica. Esta tendência também foi observada por Arevalo (2011). Segundo o autor o efeito da perda de calor, e consequente diminuição da eficiência térmica, é ampliado pelo aumento do comprimento do arco. Ainda segundo o autor, quando a DEP é maior, as perdas de calor na coluna do arco são maiores do que a energia produzida pelo aumento da tensão e, que esta é diretamente influenciada pelas dimensões da coluna de plasma. De forma que, o maior comprimento do arco resulta numa maior área de contato da coluna de plasma com o ambiente, gerando uma maior troca de calor com o ambiente.

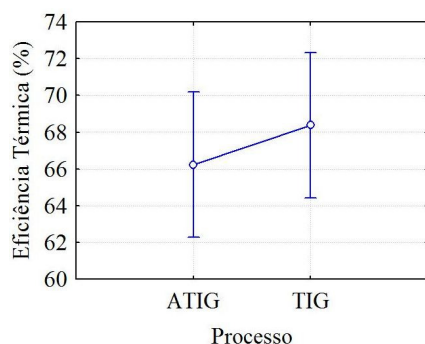


Figura 3. Efeito do processo na eficiência térmica

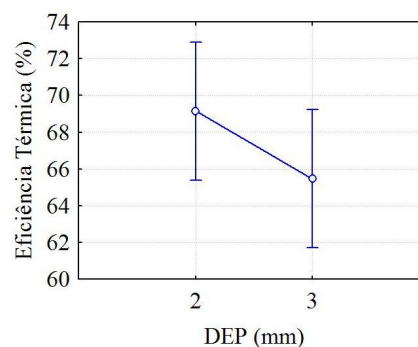


Figura 4. Efeito da DEP na eficiência térmica

Alguns autores (Landim, 2004), encontraram que o arco com mistura Ar e He levou a uma soldagem com menor eficiência térmica. Já outros autores (Hiraoka, 1998; Cantin, 2005) mencionam que esta mistura gasosa leva a uma maior eficiência térmica. Pelo resultado da ANOVA (Tab. 3), representado visualmente na Fig. (5), nota-se que a mistura gasosa não teve efeito significativo na eficiência térmica, justamente, por possuir estes dois efeitos opostos.

Na Figura (6) se pode ver o efeito de I/Vs para a eficiência térmica. Nesta comparação a eficiência térmica é maior para 6 A·min/cm em relação a 7 A·min/cm. A explicação deste resultado pode estar relacionado a perda de calor por convecção. Onde, o valor médio da penetração para 6 A·min/cm é menor em relação a 7 A·min/cm (2,799 mm e 3,044 mm respectivamente). Pois, como explicado anteriormente, quando há maior penetração há uma maior troca de calor com o ambiente por convecção através do reforço na raiz da solda. A velocidade de soldagem é outro fator que pode levar o valor de 7 A·min/cm a ter uma menor eficiência térmica. Pois, sua velocidade é menor, o que faz a placa teste permanecer mais tempo trocando calor com o ambiente antes de ser mergulhada no N₂L.

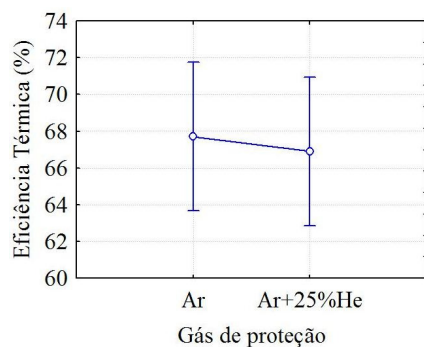


Figura 5. Efeito do gás de proteção na eficiência térmica

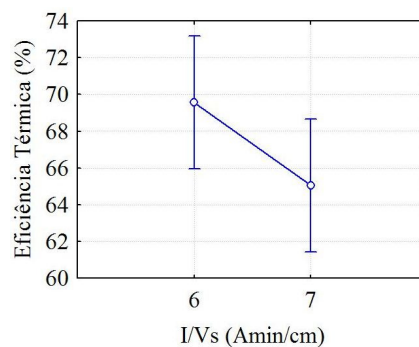


Figura 6. Efeito de I/Vs na eficiência térmica

4. CONCLUSÕES

Em conformidade com trabalhos anteriores, conclui-se que a penetração da solda A-TIG aumenta e a largura diminui, em comparação com a solda TIG convencional. Em adição, de forma inédita, se conclui que a eficiência térmica do processo A-TIG é menor que a eficiência em soldas TIG convencionais. Assim, observaram-se dois efeitos principais, que possuem tendências diferentes. O primeiro é o efeito da constrição do arco que tende a aumentar a densidade de corrente, verificado na menor largura do cordão. O segundo efeito é a menor eficiência térmica, que leva a um menor aporte térmico, reduzindo, assim, a penetração. Pelos resultados apresentados, o efeito da constrição do arco é mais importante que a redução da eficiência.

5. REFERÊNCIAS

- ANDERSON, P. C. J. R. and WIKTOROWICZ, R. Improving productivity with A-TIG welding. TWI and Air products, USA, 1996.
- AREVALO, H. D. H. Desenvolvimento e Avaliação de Calorímetros via Nitrogênio Líquido e Fluxo Contínuo (Água) para Processos de Soldagem. 2011. 145 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia.
- CANTIN, G M.D.; FRANCIS, E J A. "Arc Power and Efficiency in Gas Tungsten Arc Welding of Aluminium." Science and Technology of welding and joining10, n. 2 (2005): 200-210.
- DUPONT, J. N., and MARDER, A. R. Thermal Efficiency of Arc Welding Processes. Department of Material Science and Engineering, 406s-416s, 1995.
- HIRAOKA, K.; SAKUMA, N.; ZIJP, E. J. "Energy Balance in Argon-Helium Mixed Gas Tungsten (TIG) Arcs. Study of Characteristics of Gas Tungsten shielded by Mixed Gases (3rd report)." Welding International(Welding International) 12, n. 5 (1998): 372-379.
- KUMAR, V. et al., Investigation of the A-TIG Mechanism and the Productivity Benefits in TIG Welding. In: JOM-15 - Fifteenth International Conference on the Joining of Materials, 2009, Helsingor. Proceedings of the JOM15 - 03-06/05/2009, p. 1-11.
- LANDIM, A. S. et al., Comparação entre duas Técnicas Transientes e Tridimensionais para Determinação do Fluxo de Calor em um Processo de Soldagem TIG. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM, 2004, Belém.
- VILARINHO, L. O. et al., Comparação dos Ciclos Térmicos Obtidos Durante a Soldagem A-TIG e TIG Convencional. In: VI CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010, Campina Grande/PB.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.