

INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO DA TOCHA DE SOLDAGEM NA REGULARIDADE DA TRANSFERÊNCIA METÁLICA POR CURTO-CIRCUITO EM SOLDAS REALIZADAS COM ARAME TUBULAR

Gilcimar Pereira

Louriel Oliveira Vilarinho

Valtair Antônio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, nº 2121, Santa Mônica, Uberlândia -MG
gilcimar.pereira@ifpa.edu.br; vilarinho@ufu.br; valtair@ufu.br

Resumo: Durante a execução dos processos de soldagem busca-se produzir soldas isentas de defeitos e/ou descontinuidades, pois estes dependendo de sua distribuição e morfologia podem comprometer as propriedades mecânicas das soldas durante sua aplicação. Com isso, este trabalho busca compreender se a posição da tocha de soldagem pode influenciar na estabilidade da transferência metálica por curto-circuito e correlacionar com a presença de inclusão de escória em soldas realizadas com arame tubular AWS E71T-1. Para isso, buscou-se um valor de tensão com transferência metálica mista (curto-circuito e globular). As soldas foram realizadas em chapas de aço carbono ABNT 1020 com chanfro de 60° de abertura. Utilizou-se o curto 3 desenvolvido pelo grupo Laprosolda para avaliar o Índice Vilarinho de Regularidade (IVcc) da transferência metálica por curto-circuito. Para avaliar a presença de inclusão de escória seccionou os corpos de prova em três partes, em seguida foram lixados, polidos e atacados com nital. A alteração na posição da tocha de reta para 15° aumentou os valores da frequência de curto-circuito e diminuiu os valores do IVcc, tendo melhores resultados com o pré-aquecimento do metal de base. Os experimentos em que ocorreu a redução do índice de regularidade proporcionado pelo pré-aquecimento a temperatura de 250 °C, não apresentaram inclusão de escória, entretanto os demais experimentos apresentaram inclusão de escória no metal de solda.

Palavras-chave: Pré-aquecimento, Inclusão de escória e Curto-circuito

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem arame tubular apresenta características semelhantes ao processo MIG/MAG (Metal Inerte Gás e Metal Ativo Gás). Entretanto, o material de adição do processo arame tubular possui em seu interior um fluxo que proporciona maior versatilidade durante a aplicação industrial, garantindo boas propriedades mecânicas, desde que haja um controle antes, durante e após o processo de soldagem (AWS, 2004).

Dentre essas características comuns entre esses dois processos, destacam-se os modos de transferência metálica, que podem ocorrer por curto-circuito, globular ou goticular. Esses modos de transferências metálicas dependem dos ajustes dos parâmetros de soldagem no processo de soldagem arame tubular, especialmente na vertente com proteção gasosa. Kordi et al. (2021) realizou levantamento de mapas de transferência metálica para o arame tubular rutílico AWS E 71T-1, variando os valores de tensão e velocidade de alimentação do arame, e identificaram a presença desses três modos de transferência metálica por meio da técnica de filmagem por infravermelho próximo.

Starling et al. (2005) também identificaram a presença desses modos de transferência metálica em seus experimentos com os arames tubulares (rutílico, básico e metal cored) por meio de filmagem de alta velocidade, além disso, verificaram que a formação da camada de fluxo durante a soldagem dificultava a transferência da gota para a poça de fusão. Yamamoto et al. (2010) comentam que a formação da camada de fluxo identificada em seus estudos estava relacionada com os valores de corrente, onde para os valores baixos a camada de fluxo ficava espessa e provocava instabilidade da transferência metálica por dificultar a transferência da gota para a poça de fusão. Já em valores mais altos, a camada ficava menos espessa e favorecia a transferência da gota de uma forma suave para a poça de fusão, melhorando a estabilidade da transferência metálica.

Os modos de transferência metálica influenciam na estabilidade, qualidade e produtividade dos processos de soldagem. Por isso, busca-se desenvolver métodos que proporcionam compreender a regularidade da transferência metálica por curto-circuito. Kang e Rhee (2000) utilizaram a quantidade de respingo gerado em seu estudo para avaliar a estabilidade da transferência metálica por curto-circuito e observaram que quanto menor a quantidade de respingo gerado, mais estável era a transferência. Já Roca et al. (2007), aplicaram um índice baseado na emissão de sinal acústico e, quanto maior o valor desse índice, mais estável era a transferência metálica nas suas condições de soldagem.

Dutra (2007) e Souza et al. (2011 a) estudaram a influência da indutância na estabilidade do processo de soldagem MIG/MAG para diferentes tipos de gases, e verificaram que para taxas de subida e descida maiores de corrente melhor a regularidade da transferência metálica por curto-circuito. Rezende et al. (2011), utiliza o Índice de Regularidade Vilarinho (IVcc) para avaliar a regularidade da transferência metálica por curto-circuito. Esse índice baseia-se na variação dos

tempos de curto-circuito e de arco aberto. Quanto menor for o índice, mais regular é a transferência metálica, fato que já foi verificado por Souza et al. (2011b) e Ferreira et al. (2019).

Com isso, este trabalho busca compreender se a posição da tocha de soldagem pode influenciar na estabilidade da transferência metálica por curto-circuito e correlacionar com a presença de inclusão de escória em soldas realizadas com arame tubular AWS E71T-1.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados na posição de soldagem plana, utilizando o arame tubular rutílico especificação AWS E71T-1 com diâmetro de 1,2 mm, para três fabricantes (A, B e C). As soldas foram realizadas em chapas de aço carbono ABNT 1020, com dimensões de 6x50x200 mm e com chanfro de 60° de abertura. Para a proteção da poça de fusão, foi utilizado gás 100% CO₂ com vazão de 14 L/min.

Para a realização da soldagem utilizou-se a fonte de soldagem LINCOLN Power Wave 455M/STT, operando no processo de soldagem arame tubular no modo tensão constante. A tocha de soldagem foi conduzida por uma mesa de coordenada (SOLDAMATIC XY-T) com movimentação em três eixos. Durante a soldagem, foram adquiridos os sinais elétricos (corrente e tensão) com um sistema aquisição regulada para a taxa de 5 kHz e tempo de aquisição de 10 s. A aquisição desses ajudou a determinar a regularidade da transferência metálica.

Buscou-se um valor de tensão no qual ocorresse a transferência metálica mista entre curto-circuito e globular, afim de avaliar o efeito da posição da tocha na regularidade da transferência metálica por curto-circuito. Após a realização dos testes preliminares, determinou-se que a tensão de 21 V com velocidade de alimentação do arame a 6,5 m/min e velocidade de soldagem a 5mm/s, foram os parâmetros que proporcionaram a presença de poucos curto-circuito, conforme mostra a Fig. 1. Para representar esse fenômeno, foi utilizado o oscilograma de corrente x tensão do fabricante A.

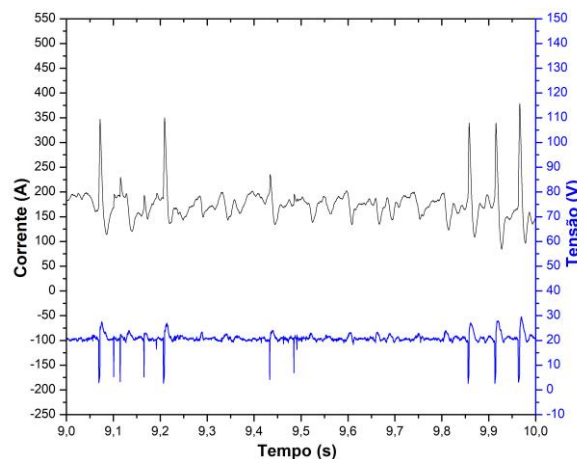


Figura 1: Oscilograma tensão x corrente do fabricante A.

Durante os experimentos, a tocha foi posicionada a 90° (tocha reta) e 15° (puxando e empurrando a poça de fusão), perpendicular à mesa de soldagem. No caso dos experimentos com tecimento, aplicou-se a frequência de 2Hz e amplitude de 1° grau e, para o pré-aquecimento do metal de base as temperaturas de 150 e 250 °C, estes experimentos foram realizados com a tocha posicionada a 15°. A regularidade da transferência metálica foi avaliada pelo programa CURTO3, desenvolvido em ambiente Matlab pelo grupo de pesquisa LAPROSOLDA/ UFU. Com esse programa, utiliza-se dos dados de corrente e tensão instantâneos adquiridos durante a soldagem, foi possível determinar o Índice Vilarinho de Regularidade (IVcc) da transferência metálica por curto-circuito, além como a quantidade de curtos, a frequência de curto-circuito, tempo médio de curto-circuito, tempo médio entre curto-circuito, desvio padrão de curto-circuito, desvio padrão de arco aberto, corrente e tensão média/RMS. De acordo com Rezende et al. (2011), o IVcc é determinado por meio dos coeficientes de variação dos tempos de curto circuito e de arco aberto, como mostra a Eq. 1.

$$IVcc = \frac{\sigma_{tcc}}{t_{cc}} + \frac{\sigma_{tab}}{t_{ab}} \quad (1)$$

Onde: σ_{tcc} = desvio padrão da média do tempo de curto-circuito; σ_{tab} = desvio padrão da média do tempo de arco aberto, t_{cc} = média do tempo de curto-circuito; t_{ab} = média do tempo de arco aberto.

Para avaliar a presença de inclusão de escória nas soldas foi realizado cortes transversais em três partes do cordão de solda (início, meio e fim) após o início e antes do fim foi recuado 30 mm para secção dos corpos de provas, sendo lixados, polidos e atacados com nital, após as seções transversais das soldas foram registradas em um macroscópio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Avaliação da frequência de curto-circuito

A Figura 2 apresenta os valores das frequências de curto-circuito avaliadas pelo programa curto 3. Observa-se que com a tocha posicionada a 90° e 15°, puxando e empurrando a poça de fusão, a frequência de curto-circuito foi maior com a tocha puxando a poça de fusão para os fabricantes A e C, enquanto o fabricante B teve a maior frequência de curto no experimento com a tocha empurrando a poça de fusão. Para todos os fabricantes, a menor frequência de curto-circuito ocorreu com a tocha posicionada a 90°, conforme mostra a Fig. 2 (a).

Os resultados dos experimentos realizados com tecimento e pré-aquecimento do metal de base estão representados na Fig. 2 (b). Observa-se que no experimento com tecimento, a frequência de curto-circuito foi menor do que nos experimentos realizados com pré-aquecimento, independentemente do fabricante de arame tubular utilizado nesse trabalho. Dentre os fabricantes, o fabricante C exibiu os maiores valores da frequência de curto-circuito, principalmente nos resultados com pré-aquecimento.

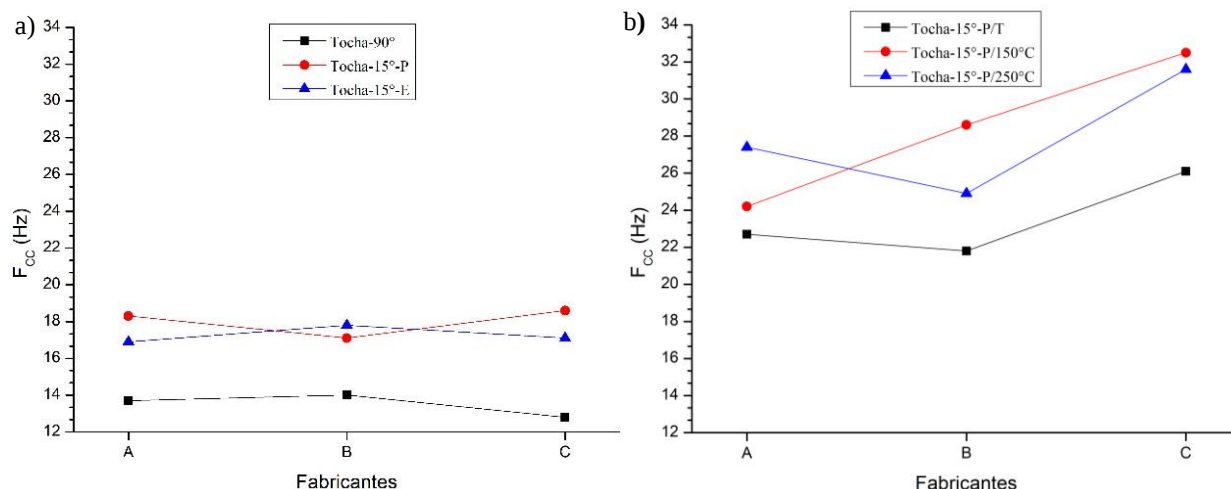


Figura 2: Frequência de curto-circuito: a) com a tocha a 90°, 15° puxando e empurrando a poça de fusão e b) com atocha a 15° com tecimento e pré-aquecimento.

Os valores da frequência de curto-circuito aumentaram com a alteração da posição da tocha de soldagem. Souza et al. (2011) verificou em seu trabalho que valores altos de frequência de curto-circuito para o processo de soldagem MIG/MAG necessariamente não correspondem a critérios predominantes para determinar a estabilidade do processo de soldagem. Isso ocorre porque esses valores seriam referentes a baixos valores de tensão que geram arco curto e provocam explosões da gota durante o contato com a poça de fusão.

Neste trabalho, verificou-se que mantendo as variáveis de soldagem constante e alterando a posição da tocha, além de aplicar algumas técnicas de soldagem como tecimento e o pré-aquecimento do metal de base, a frequência de curto-circuito aumentou consideravelmente em comparação com a tocha reta, principalmente nos experimentos com pré-aquecimento. Isto corre devido à tocha posicionada a 15° diminui o comprimento do arco, o que consequentemente diminuiu a distância entre a gota líquida formada na ponta do eletrodo e a poça de fusão, com isso aumenta a quantidade de curto-circuito.

3.2 Regularidade da transferência metálica

A Figura 3 apresenta os resultados da avaliação do índice Vilarinho de Regularidade da transferência metálica por curto-circuito. Na figura 3 (a) percebe-se que o fabricante B apresentou pouca variação no valor do índice em comparação aos demais fabricantes. Entretanto, os fabricantes A e C apresentaram os menores índices de regularidade no experimento com a tocha a 15° puxando a poça de fusão e exibiram maiores valores do IV_{cc} com a tocha reta e 15° empurrando a poça de fusão.

Na Figura 3 (b) estão os experimentos com a tocha a 15° puxando a poça de fusão, com tecimento e pré-aquecimento do metal de base. Nela, observa-se que os valores do índice IV_{cc} reduziram em todos os experimentos independentemente do fabricante, em comparação aos apresentados na Fig. 3 (a). Dentre os experimentos, os com pré-aquecimento mostraram-se mais eficaz na redução do índice, exceto o fabricante C, que teve um aumento no valor do índice com o pré-aquecimento de 150°C.

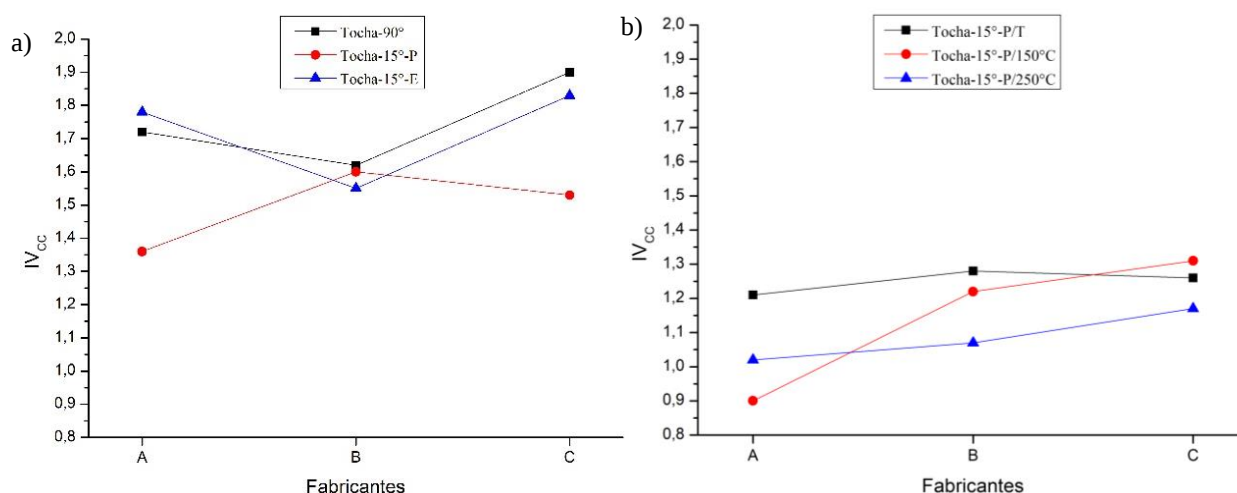


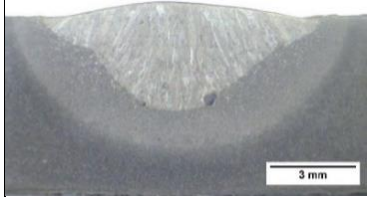
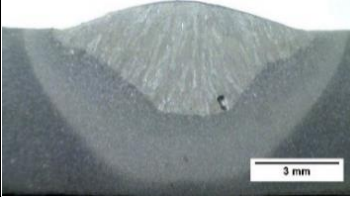
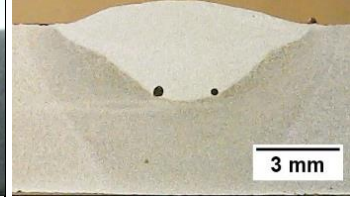
Figura 3: valores do Índice Vilarinho de Regularidade: a) experimentos com a tocha a 90° e a 15° puxando e empurrando a poça de fusão e b) experimentos com a tocha a 15° puxando a poça de fusão com tecimento e pré-aquecimento.

A tocha a 15° puxando a poça de fusão com pré-aquecimento do metal de base atuou na redução significativa do IVcc ao se comparar com a tocha a 90° e a 15° empurrando a poça de fusão. Entretanto, não é possível confirmar categoricamente que essa redução do IVcc proporcionou a transferência metálica por curto-circuito mais estável nos experimentos com pré-aquecimento. Isso ocorre porque, no processo de soldagem arame tubular, a transferência metálica ocorre com o auxílio do fluxo fundido durante a soldagem. Starling et al. (2005) identificaram que a camada de fluxo formada durante a soldagem influencia na transferência metálica e participa na transferência da gota líquida para a poça de fusão. Yamamoto et al. (2010), verificou que a espessura da camada de fluxo que se forma durante a soldagem está relacionada com a estabilidade da soldagem com arame tubular. Ele cita que, para valores de corrente baixo, formava-se uma camada espessa de fluxo que dificulta a transferência da gota para a poça de fusão, gerando instabilidade. Enquanto, que para valores mais alto de corrente, a camada de fluxo fica menos espessa, o que garantia com que a gota fosse transferida com mais suavidade para a poça de fusão, gerando menos instabilidade durante a soldagem.

Diante dos resultados apresentados, verifica-se que a alteração da posição da tocha, auxiliada com o tecimento e com o pré-aquecimento do metal de base reduziram o valor IVcc. Com isso, certamente devem ter proporcionado a alteração na camada do fluxo formada durante a soldagem, o que facilitou a transferência da gota líquida para a poça de fusão e conferindo uma transferência mais estável para os experimentos com a tocha a 15° puxando a poça de fusão.

3.3 Influência da regularidade na presença de inclusão de escória

A Figura 4 apresenta as análises das seções transversais dos cordões de solda dos experimentos com a tocha a 90° e 15° puxando e empurrando a poça de fusão, verifica-se que basicamente todos os cordões de soldas dos fabricantes apresentaram inclusão de escória, com exceção do experimento do fabricante C com a tocha puxando a poça de fusão. Além disso, verifica-se que o fabricante B apresenta inclusão de escória bastante expressiva em comparação com os demais fabricantes nos experimentos com a tocha a 90° e 15° empurrando a poça de fusão.

Fabricante	Experimentos		
	Tocha 90°	Tocha 15°- P	Tocha 15° - E
A			

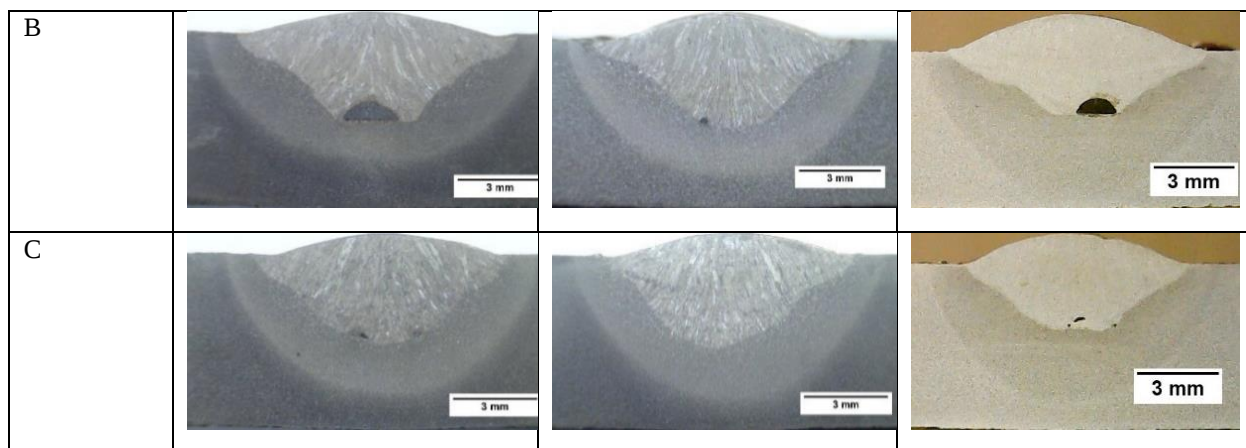


Figura 4: Macrografias dos experimentos com a tocha a 90° e a 15° puxando e empurrando a poça de fusão.

Na Figura 5 estão as seções transversais dos experimentos com tecimento e o pré-aquecimento do metal de base com atocha a 15° puxando a poça de fusão. Com o aquecimento a 205 °C não foi observado a presença de inclusão de escória para os fabricantes B e C, enquanto a 150 °C somente o fabricante A não apresentou inclusão de escória. Entretanto, com tecimento todos os fabricantes apresentaram inclusão de escória. Souza e Ferraresi (2013) verificaram a presença de inclusão de escória em estudo com arame tubular rutílico com a transferência metálica por curto-circuito na posição de soldagem horizontal.

	Experimentos		
Fabricante	Tocha 15° -P/T	Tocha 15°- P/150 °C	Tocha 15° - P/250 °C
A			
B			
C			

Figura 5: Macrografias dos experimentos com a tocha a 15° puxando a poça de fusão com tecimento e pré-quecimento.

Os experimentos que apresentaram os maiores valores do Índice Vilarinho de Regularidade da transferência metálica por curto-circuito possuíam inclusão de escória no cordão de solda. Além disso, os experimentos com pré-aquecimento, que apresentaram os menores índices de regularidade, como os fabricantes B e C, também apresentaram inclusão de escória com o pré-aquecimento a 150 °C. Em relação ao o fabricante A, apesar de ter tido um índice de regularidade menor no experimento com pré-aquecimento, o mesmo não apresentou inclusão de escória para essa temperatura. Vale ressaltar que ele foi o que apresentou o menor índice de regularidade. Os experimentos realizados com a temperatura de 250 °C não constaram a presença de inclusão de escória, o que pode estar relacionado com transferência metálica ter ocorrido de forma mais suave para a poça de fusão. No entanto, o pré-aquecimento proporciona menores taxas de resfriamento para a poça de fusão, o que consequentemente proporciona mais tempo para que a escória líquida flutue para

a superfície do cordão de solda durante a solidificação, evitando que fique retida no cordão de solda. Percebe-se que menores valores do IVcc proporcionados pelo pré-aquecimento do metal de base produziram soldas isentas de inclusão de escória. Entretanto, não pode se confirmar categoricamente que somente a redução do índice seja responsável por esse fato, uma vez que somente experimentos com temperatura de pré-aquecimento maiores produziram soldas sem inclusão de escória.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados deste trabalho, pode-se concluir que a posição da tocha teve um efeito significativo na regularidade da transferência metálica por curto-circuito. Com a tocha posicionada a 15° puxando a poça de fusão, houve um aumento na frequência de curto-circuito e uma diminuição no índice de regularidade IVcc. O pré-aquecimento do metal de base se mostrou como uma das técnicas efetiva para melhorar a estabilidade da transferência metálica por curto-circuito. Entretanto, somente com a redução do índice de regularidade não foi suficiente para produzir soldas isentas de inclusão de escória nos experimentos com tecimento e a tocha a 15° puxando a poça de fusão. Já o aumento na temperatura de pré-aquecimento do metal de base a 250 °C, foi capaz de produzir soldas isentas de inclusão de escória.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Uberlândia e ao programa de pós-graduação em engenharia mecânica e, o primeiro autor agradece ao Instituto Federal do Pará.

6. REFERÊNCIAS

- AWS.2004. Welding Handbook. Welding Processes, Part 1. American Welding Society, Miami-USA.
- Dutra, J. C., 2007. MIG/MAG – transferência metálica por curto circuito – Fontes de soldagem versus gases do arco. Soldagem & Inspeção, Vol. 13, p. 19-24.
- Ferreira, G. R. B., Campos, R. A., Filho, R. M. M., Scotti, A. e, Lagares Jr, M. L., 2019. Uma metodologia para análise da distribuição de contagem dos picos de tensão de reignição para avaliação da estabilidade do processo GMAW curto-circuito. Soldagem & Inspeção, Vol. 24, p. 1-9.
- Kang, M. J. e Rhee, S., 2000. A study on the development of the arc stability index using multiple regression analysis in the short-circuit transfer region of gas metal arc welding. Proc Instn Mech Engrs, Vol. 215, p. 195-205
- Kordi, H. A., Mouziraji, M. G. e Hosseinzadeh, M., 2021. Metal transfer mapping for flux-cored arc welding process by Using Near-Infrared Filming. Journal of Materials Engineering and Performance, Vol, 30. p. 3079-3095.
- Roca, A. S., Fals, H. C., Fernández, J. B., Macías, E. J. e Adán, F. S., 2007. New stability index for short circuit transfer mode in GMAW process using acoustic emission signals. Science and Technology of Welding and Joining, VOL 12, p. 460-466.
- de Rezende¹, G. M. C., Liskévych, O., Vilarinho, L. O. e Scotti, A., 2011. Um critério para determinar a regulagem da tensão em soldagem MIG/MAG por curto-circuito. Soldagem & Inspeção, Vol.16, p. 098-103.
- Souza, D., Rossi¹, M. L., Keocheguerians, F., do Nascimento, V. C., Vilarinho, L. O. e Scotti, A. 2011a. Influência da tensão de soldagem e do gás de proteção sobre a correlação entre indutância e regularidade da transferência metálica na soldagem MIG/MAG por curto-circuito. Soldagem & Inspeção, Vol.16, p.114-122.
- Souza, D., Rossi¹, M. L., Keocheguerians, F., do Nascimento, V. C., Vilarinho, L. O. e Scotti, A. 2011b. Influência da regulagem de parâmetros de soldagem sobre a estabilidade do processo MIG/MAG operando em curto-circuito. Soldagem & Inspeção. Vol. 16, p.022-032.
- de Souza, C. I. e Ferraresi, V. A., 2013. Analise comparative de soldagem GMAW e FCAW com transferencia metalica por curto circuito na posição horizontal. Soldagem & Inspeção, Vol. 18, p. 268-280.
- Starling, C. M. D., Modenesi, P. J. e Bracarense, A. Q., 2005. Estudo da Transferência de Metal de um Arame Tubular Rutilico. Soldagem & Inspeção, Vol. 04, p. 185-191.
- Yamamoto, E., Yamazaki, K., Suzuki, K. e Koshiishi, F., 2010. Effect of flux ratio in flux-cored wire on wire melting behaviour and fume emission rate., Vol. 55, p. 154-159.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

As informações contidas no artigo são de responsabilidades dos autores.

INFLUENCE OF WELDING TORCH POSITION ON THE REGULARITY OF SHORT-CIRCUIT METAL TRANSFER IN FLUX-CORED WELDS

Gilcimar Pereira

Louriel Oliveira Vilarinho

Valtair Antônio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, n° 2121, Santa Mônica, Uberlândia -MG)
gilcimar.pereira@ifpa.edu.br; vilarinho@ufu.br; valtair@ufu.br

Abstract: During the execution of welding processes it is sought to manufacture welds free of defects and or discontinuities, as these, depending on their distribution and morphology, can compromise the mechanical properties of welds during their application. With this, this work aims to understand if the position of the welding torch can influence the stability of the metal transfer by short circuit and correlate it with the presence of slag inclusion in welds made with flux-cored wire AWS E71T-1. For this, a voltage value with mixed metal transfer (short circuit and globular) was sought. The welds were made on ABNT 1020 carbon steel plates with a 60° bevel. The short 3 developed by Laprosolda group was used to evaluate the Vilarinho Regularity Index (IVcc) of the metal transfer by short-circuit. To evaluate the presence of dross inclusion, the sample were sectioned into three parts, then sanded, polished, and attacked with nital. Changing the position of the torch from straight to 15° increased the values of the short circuit frequency and decreased the value of the IVcc, with better results with the preheating of the base metal. The experiments in which there was a reduction of the regularity index, provided by preheating at a temperature of 250°C, did not present slag inclusion, on the other hand, the other experiments showed slag inclusion in the weld metal.

Keyword: Preheating, slag inclusion, and short-circuit.

RESPONSIBILITY NOTICE

The information contained in the article is the responsibility of the authors.

Influência da posição da tocha de soldagem na regularidade da transferência metálica por curto circuito em soldas realizadas com arame tubular