

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG - DUPLO ELETRODO COM VISTAS ÀS OPERAÇÕES DE REVESTIMENTO

Mateus Offemann Skowronski, mateus.offemann@posgrad.ufsc.br¹
Alisson Fernandes da Rosa, alisson.fernandes@posgrad.ufsc.br¹
Mateus Barancelli Schwedersky, m.barancelli@ufsc.br¹
Regis Henrique Gonçalves e Silva, regis.silva@ufsc.br¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – POSMEC, Laboratório de Soldagem - LABSOLDA, Campus Universitário – Trindade, Florianópolis/ SC - 88040-900

Resumo: O processo TIG Duplo-Eletrodo (TIG-DE) consiste na utilização de dois eletrodos isolados eletricamente, afastados a uma distância relativamente pequena na mesma tocha de soldagem. Alguns parâmetros deste processo influenciam nas características da soldagem. O objetivo deste trabalho é a avaliação dos aspectos do metal de solda obtido variando dois destes parâmetros: a distância entre os eletrodos e sua posição em relação ao sentido de avanço da tocha de soldagem. Os ensaios foram conduzidos com as distâncias entre eletrodos de 0,5 mm, 1 mm, 2 mm e 4 mm e com as posições transversal e longitudinal em relação ao sentido de avanço da tocha. Os resultados mostram que a rigidez do arco diminui com o aumento da distância entre eletrodos, ocorrendo um aumento na convexidade do cordão, independentemente da posição dos eletrodos. Além disso, a largura do cordão foi maior com os eletrodos na posição longitudinal. Com isso, é possível afirmar que a posição dos eletrodos em relação ao sentido de avanço da tocha e a distância entre os mesmos exercem influência nas características do cordão de solda pelo fato de o arco combinado apresentar um perfil de distribuição de temperaturas assimétrico.

Palavras-chave: GTAW; Duplo cátodo; Tandem; Twin TIG; Arco combinado.

1. INTRODUÇÃO

O processo TIG é conhecido por apresentar boa qualidade na soldagem de diversos metais. Além disso, é adequado para soldagem fora de posição e, por possuir alimentação de material independente, pode ser conduzido de forma autógena, ou seja, sem alimentação de material. Entretanto, apesar de apresentar muitas vantagens, o processo possui algumas limitações como taxas de deposição inferiores se comparado a outros processos de soldagem (AWS, 1987).

Para contornar algumas dessas limitações e melhorar o desempenho do processo, diversos métodos variantes vêm sendo desenvolvidos. Conforme Sikes (1995), um dos métodos mais difundidos é o TIG *hot wire*, que consiste na adição de arame pré-aquecido à poça de fusão, aumentando as taxas de deposição, bem como outros métodos variantes, como o TIG *keyhole* estudado no trabalho de Olivares (2015) e o TIG com oscilação longitudinal da tocha (*switch back*) explorados nos trabalhos de Schwedersky (2017) e Weizenmann (2015). Neste contexto, insere-se o TIG Duplo Eletrodo (TIG-DE). Este processo foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores japoneses em trabalhos publicados no ano de 1998 e, a partir disso, diversos desenvolvimentos foram conduzidos por outros grupos de pesquisa (Leng, 2006). O processo TIG Duplo Eletrodo consiste na utilização de dois eletrodos isolados eletricamente, afastados a uma distância relativamente pequena na mesma tocha de soldagem. A proximidade dos eletrodos faz com que os arcos se atraiam devido à força de Lorentz, formando um arco combinado.

Trabalhos recentes mostram o potencial do processo quanto à sua capacidade de produção e aumento da velocidade de soldagem. Como exemplo, Kobayashi *et al.* (2004) aplicaram o processo TIG utilizando dois eletrodos, denominando-o de SEDAR-TIG (*Super Energetic Dual Arc TIG*), em um reservatório de gás natural no Japão, realizando soldagem de união de chapas de liga de aço com 9% de níquel e espessuras entre 15 e 50 mm, com taxas de deposição de até 3 kg/hr.

Schwedersky *et al.* (2015) comparam o processo TIG-DE com o TIG convencional realizando ensaios do tipo cordão sobre chapa, sem adição de material, mostrando um aumento significativo na corrente e na velocidade de soldagem sem o surgimento de defeitos. Enquanto que para o TIG convencional há o surgimento de *humping* utilizando corrente de 300 A e velocidade de soldagem de 50 cm/min, para o duplo eletrodo, os autores alcançaram até 70 cm/min com 400 A no total (200 A em cada eletrodo com 4 mm de distância entre os mesmos). Os autores atribuem essa vantagem à pressão do arco relativamente menor no processo TIG-DE, considerando a soma das correntes de ambos os eletrodos.

Além disso, recentemente, surgiram equipamentos comerciais para aplicação em soldagem de revestimento utilizando o processo TIG-DE. Um deles denominado TIGer (TIG *Electrically Reinforced*) do fabricante Polysoude (2017) e o outro denominado *SpeedClad*, abordados no trabalho de Egerland *et al.* (2015).

Quanto aos equipamentos comerciais, os fabricantes divulgam a possibilidade de utilizar maiores velocidades de soldagem e obter taxas de deposição cerca de três vezes maiores em comparação com o TIG *hot wire*. Entretanto, a influência das possíveis configurações quanto à distância entre os eletrodos não é divulgada. Deste modo, é possível encontrar informações somente sobre a posição dos mesmos em relação ao sentido de avanço da tocha de soldagem, sendo um comportamento semelhante: com os eletrodos na posição longitudinal, o cordão apresenta penetração menor e largura maior do que com os eletrodos na posição transversal.

Tendo em vista que a pressão do arco altera significativamente o resultado da soldagem e que a mudança na distância entre os eletrodos está diretamente relacionada com o valor desta pressão, este trabalho visa analisar o comportamento do arco e as características geométricas do metal de solda obtido em função das distâncias entre os eletrodos de 0,5 mm, 1 mm, 2 mm e 4 mm e, com relação às posições longitudinal e transversal dos eletrodos ao sentido de avanço da tocha na soldagem.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema completo de soldagem consiste de uma tocha com dois eletrodos refrigerada a água e com entrada para o gás de proteção, uma fonte de soldagem da marca e modelo IMC/Digiplus A7, com capacidade de fornecer até 450 A em cada eletrodo, uma unidade de refrigeração para a tocha e um manipulador robótico SPS/Tartilope V2F, para a movimentação da tocha.

A tocha de soldagem TIG-DE utilizada foi desenvolvida por Schwedersky (2015), em parceria entre o LABSOLDA-UFSC e o ISF-RWTH (Instituto de pesquisa em soldagem e técnicas de união da Universidade RWTH-Alemanha). A mesma possui o corpo em material isolante, bocal de proteção metálico rosqueado em uma peça refrigerada por água, comporta dois eletrodos de 4,76 mm de diâmetro com potencial isolado e permite o ajuste da distância e ângulo entre os mesmos. A tocha é mostrada na Fig. 1a. Para a alimentação de material, foi desenvolvido um dispositivo mecânico que permite o ajuste da posição de alimentação em relação aos eletrodos, assim como o ângulo de alimentação em relação à horizontal. Um esquema representativo deste dispositivo é mostrado na Fig. 1b.

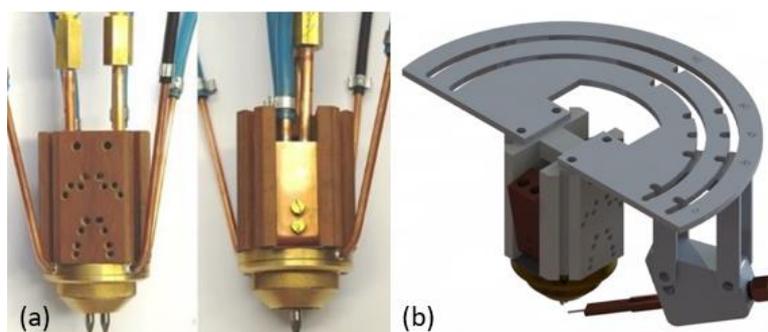


Figura 1 – (a) Tocha TIG Duplo Eletrodo; (b) Tocha TIG Duplo Eletrodo com dispositivo mecânico de ajuste da posição de alimentação de material. (Schwedersky, 2015)

De acordo com o objetivo proposto neste trabalho, os ensaios foram conduzidos variando as distâncias entre a ponta dos eletrodos em 0,5 mm, 1 mm, 2 mm e 4 mm. Os eletrodos utilizados foram da classificação EWTh-2 (dopados com 2% de tório), de 4,76 mm de diâmetro, ambos com polaridade direta. A afiação utilizada foi de 20° em tronco de cone (truncados) com diâmetro aproximado de 1 mm. O ângulo entre os eletrodos foi mantido em 20°. A Figura 2a mostra um desenho representando o caso com 1 mm de afastamento entre os eletrodos e o ângulo de 20° entre os mesmos.

Com o objetivo de analisar a influência da posição dos eletrodos em relação ao sentido de soldagem, os ensaios com as distâncias descritas anteriormente foram conduzidos transversal e paralelamente ao sentido de soldagem. A Figura 2b e 2c ilustram as duas condições descritas. Nos ensaios com os eletrodos dispostos na posição longitudinal, o arame foi alinhado com os eletrodos e nos ensaios com os eletrodos na posição transversal, o arame foi alinhado no centro dos mesmos. Todas as condições foram ensaiadas em cordões sobre chapa de aço carbono SAE 1020 com 9,52 mm de espessura, 38 mm de largura e 150 mm de comprimento com alimentação de arame frio (*cold wire*). O material de adição utilizado foi o arame ER309L com 1,2 mm de diâmetro. A Tabela 1 apresenta os parâmetros e seus respectivos valores, os quais foram mantidos constantes durante os ensaios.

Tabela 1 – Parâmetros comuns aos ensaios

Velocidade de Soldagem	25 cm.min ⁻¹
Corrente total (eletrodo 1 + eletrodo 2)	300 A (150 A + 150 A)
Distância eletrodo-peça (DEP)	4 mm
Ângulo da tocha	90°
Ângulo do arame em relação a horizontal	25°
Velocidade de alimentação de arame	4,5 m.min ⁻¹
Gás de proteção	Argônio
Vazão do gás	15 L.min ⁻¹

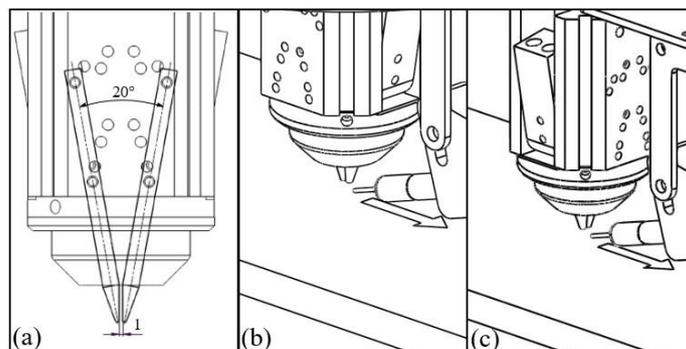


Figura 2 – Desenho representativo da distância entre eletrodos e posição em relação ao sentido de soldagem; (a) desenho representando a distância entre eletrodos de 1 mm e ângulo de 20°. (b) eletrodos na posição longitudinal e (c) transversal.

Foram realizadas filmagens para as quatro distâncias entre eletrodos, com os mesmos na posição longitudinal, utilizando uma câmera digital Canon EOS 60D com lente de 18-135 mm, tempo de exposição 1/4000, abertura 36 e ISO 100, taxa de aquisição de 30 fps (quadros por segundo) e resolução de 1920x1088 *pixels*. Foram utilizados filtros de densidade neutra, *close up*, CPL (*Circular Polarizer Lens*) e FLD (*Fluorescent Light Correction Daylight*) para uma melhor qualidade de imagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a posição dos eletrodos transversal ao sentido de avanço da tocha, os cordões obtidos com a distância de 2 mm e 4 mm apresentaram convexidade e instabilidades na alimentação de material ocorrendo desvio do arame da posição central dos eletrodos, possivelmente, devido a desvios do arco de um eletrodo para o outro. Como exemplo, a Fig. 3 mostra o pior caso, obtido com os eletrodos na posição transversal e com 4 mm de distância entre os mesmos.



Figura 3 – Aspecto superficial do cordão obtido com a distância de 4 mm entre os eletrodos na posição transversal

Houve boa estabilidade do arco e da transferência metálica com as distâncias entre os eletrodos de 0,5 mm e 1 mm. Foi possível notar um desvio mínimo do arco para a direção contrária à peça com a distância de 1 mm entre os eletrodos. Com as distâncias de 2 mm e 4 mm, foi possível perceber um desvio maior, prejudicando a fusão do material de adição e, de certa forma, apresentando risco de danificar as partes internas da tocha.

Os cordões de solda obtidos com as distâncias entre os eletrodos de 0,5 mm e 1 mm e com os eletrodos na posição longitudinal apresentaram, em geral, boa aparência superficial. Em alguns casos, foi possível perceber uma pequena variação na largura do cordão no início da adição de material (Fig. 4), comparadas com a largura ao longo do cordão, na qual se manteve constante.

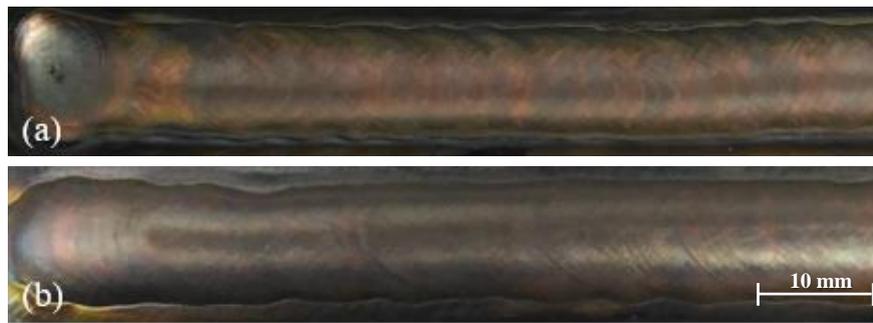


Figura 4 – Aspecto superficial dos cordões soldados com as distâncias de (a) 0,5 mm e (b) 1 mm.

A Figura 5 mostra as imagens obtidas através da filmagem para as distâncias entre eletrodos testadas na posição longitudinal onde é possível notar os desvios do arco mencionados anteriormente. O sentido de avanço é indicado nas imagens pela coordenada “x”. Outra característica perceptível é o molhamento do cordão com a distância de 0,5 mm e, também, o aumento gradativo da convexidade enquanto a distância entre os eletrodos é aumentada. Supondo que na condição em que a pressão do arco é maior, há um maior molhamento do metal de adição, estes resultados estão relacionados com os resultados da pressão do arco obtidos por Schwedersky *et al.* (2016), em que a pressão diminui consideravelmente quando a distância entre os eletrodos é aumentada, assim como o aumento no desvio do arco.

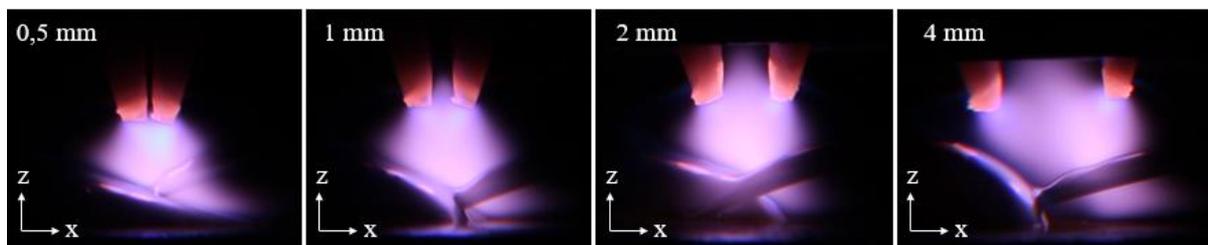


Figura 5 – Imagens do arco durante a soldagem com as distâncias entre eletrodos de 0,5 mm, 1 mm, 2 mm e 4 mm, na posição longitudinal.

As macrografias realizadas para todas as condições testadas são mostradas na Figura 6. Nota-se o aumento da convexidade do cordão em relação ao aumento da distância entre os eletrodos e penetração inferior para as distâncias de 1 mm e 4 mm, comparadas com 0,5 mm e 2 mm. Além disso, o perfil de penetração apresenta um aspecto não uniforme para as distâncias de 0,5 mm e 2 mm.

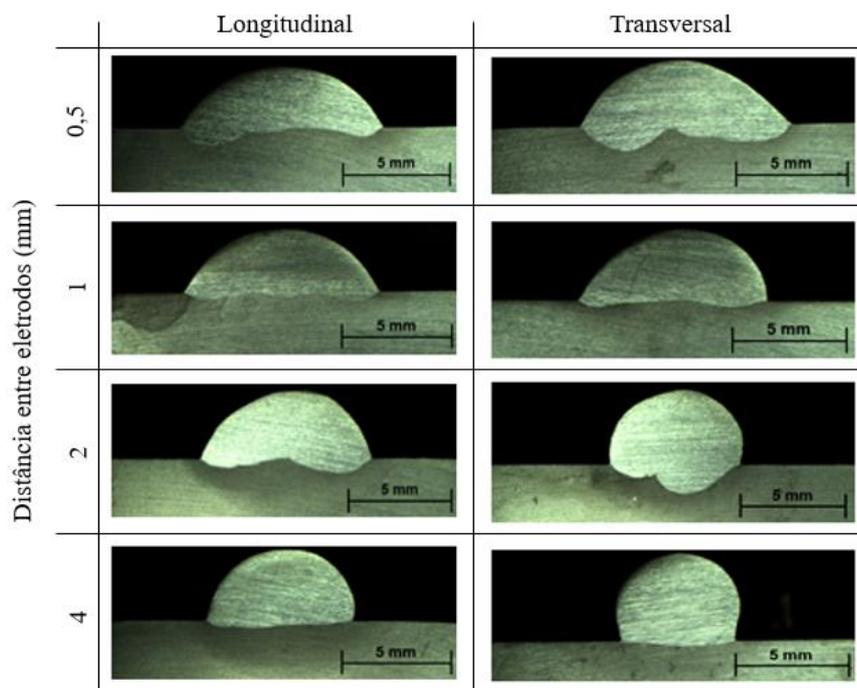


Figura 6 – Macrografias dos cordões obtidos variando a distância entre os eletrodos e a posição relativa ao sentido de avanço da soldagem.

Com as macrografias foi possível medir a penetração e largura dos cordões e, calcular a diluição para cada condição. Os valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Medições realizadas nos cordões de solda.

	Posição	Largura (mm)		Penetração (mm)		Diluição (%)	
		Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
Distância entre eletrodos (mm)	0,5	9,5	9,5	0,8	1,1	14,4	23,4
	1	8,9	8,3	0,4	0,4	7,9	4,9
	2	8,3	6,2	0,6	1,4	12,1	19,5
	4	6,7	5,1	0,3	0,2	6,9	3,5

Com os dados apresentados, é possível perceber a tendência à diminuição da largura do cordão quando a distância dos eletrodos é aumentada, tanto para a posição longitudinal, quanto para a transversal. Porém, para a posição transversal, esta diminuição é mais perceptível. Em ensaios preliminares foi possível perceber a ocorrência de maior penetração com os eletrodos na posição transversal. No entanto, os dados apresentados na tabela anterior mostram que, em alguns casos, a penetração foi menor ou igual a obtida na posição longitudinal. Para o caso com afastamento de 4 mm entre os eletrodos, isso pode ser atribuído ao desvio do arco para o material de adição, diminuindo a incidência de calor para a fusão do metal de base. Para o caso com afastamento de 1 mm entre os eletrodos não foi observado desvios no arco para o material de adição, indicando que este parâmetro pode ser adequado para aplicações de revestimento onde se deseja baixa diluição.

De forma geral, a diferença na largura do cordão, para as diferentes posições dos eletrodos conduzidas neste trabalho, pode ser explicada pela distribuição de temperatura do arco combinado dos dois eletrodos que, segundo Zhang *et al.* (2012), é diferente do TIG convencional, não apresentando simetria. Esta distribuição de temperatura assimétrica acontece devido à atração eletromagnética entre os dois arcos. Reis (2009) demonstra como ocorre este fenômeno, mostrando as forças resultantes dos campos magnéticos dos eletrodos quando estão em distâncias relativamente pequenas. A força resultante da atração eletromagnética faz com que o arco combinado apresente esta assimetria em formato de elipse.

Com isso, pode-se explicar a maior largura do cordão quando os eletrodos estão posicionados longitudinalmente ao avanço da tocha, sendo que a largura da elipse nesta posição é maior em relação à largura de quando os eletrodos estão transversais ao sentido de avanço. No entanto, os cordões de solda obtidos com 0,5 mm de distância entre os eletrodos apresentaram larguras iguais. Este fato indica que o arco pode não apresentar o formato de elipse para essa condição, ou para condições em que a distância é menor.

Verificou-se em ensaios preliminares, que distâncias menores que 0,5 mm apresentam complicações em relação à contaminação dos eletrodos e à abertura do arco. No decorrer da soldagem, os eletrodos se deterioram, modificando o perfil de afiação e, em distâncias menores que 0,5 mm, pode ocorrer o contato entre os mesmos. A abertura do arco com distâncias menores que 0,5 mm entre os eletrodos foi possível somente diante de várias tentativas, indicando alguma interferência entre os eletrodos, não sendo possível de ser conduzida por alta frequência, somente por contato.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou avaliar a influência da alteração da distância entre os eletrodos no processo de soldagem TIG-DE, sendo possível concluir que esta variável influencia significativamente no resultado da soldagem. Com distâncias maiores que 2 mm, o arco apresenta instabilidades devido à ocorrência de desvios para o sentido da tocha e de um eletrodo para o outro, apresentando, também, tendência à separação do arco combinado em arcos distintos. Com distâncias menores que 0,5 mm, a abertura do arco é prejudicada e os eletrodos ficam suscetíveis ao contato, podendo ocasionar a contaminação. Com isso, pode-se concluir que o aspecto fundamental do processo TIG-DE é a presença do arco combinado e, para as condições testadas, este arco é satisfatório com distâncias entre 0,5 mm e 2 mm.

Apesar de o processo apresentar melhor estabilidade com a distância de 0,5 mm entre eletrodos, a diluição foi menor utilizando 1 mm. Este parâmetro se torna interessante para futuras avaliações em aplicações de revestimento, adicionando material pré-aquecido (*hot wire*), como é o caso dos processos disponibilizados pelas empresas citadas.

Como os parâmetros avaliados influenciam diretamente na morfologia do cordão, estes devem ser utilizados conforme o objetivo da soldagem. Por exemplo, para soldagem de união, onde se necessita maior concentração de calor para penetração, o posicionamento dos eletrodos transversais ao sentido de soldagem e com a distância de 0,5 mm pode ser mais adequado. No entanto, para a soldagem de revestimento, onde se deseja baixa diluição, a configuração de parâmetros mais adequada seja com a distância de 1 mm entre os eletrodos e posicionados longitudinalmente ao sentido de soldagem.

5. REFERÊNCIAS

- American Welding Society, "Welding Handbook", 1987, v.2, 8^a Ed., Miami: AWS, 955p.
- Egerland, S. et al., 2015 "Advanced gas tungsten arc weld surfacing current status and application". Soldagem & Inspeção. São Paulo, Vol 20, N°3, p.300-314.
- Kobayashi, K. et al., 2004 "Practical application of high efficiency twin-arc TIG welding method (SEDAR-TIG) for PCLNG storage tank". Welding in the world, Vol. 48, n° 7/8.
- Leng, X. S.; Zhang, G. J.; Wu, L., 2006 "Experimental study on improving welding efficiency of twin electrode TIG welding method". Sci. Technol. Weld. Join., Vol. 11, N° 5, p. 550-554.
- Olivares, E. A. G.; Silva, R. H. G.; Dutra, J. C., 2015 "Estudo da técnica TIG keyhole por meio de análise comparativa entre duas tochas de alta produtividade na união de chapas de aço carbono de meia espessura". Soldagem & Inspeção. Vol. 20, N° 3, p. 262-274.
- Polysoude - TIGer technology. Disponível em: http://www.polysoude.com/wpcontent/uploads/2017/02/DOC_Broch_TIGer-technology_IT.pdf, acessado em 5 de maio, 2017.
- Reis, R. P., 2009 "Assessment of low current tandem GMAW processes with waveform control and with aid of Laser beam". Uberlândia, Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.
- Schwedersky M. B. et al., 2015 "Double-electrode process speeds GTAW". Welding Journal, p. 64-67.
- Schwedersky M. B. et al., 2016 "Two-dimensional arc stagnation pressure measurements for the double electrode GTAW process". Science Technology of Welding and Joining, p. 275-280, 21(4).
- Schwedersky, M. B., 2015 "Estudo e desenvolvimento do processo TIG duplo eletrodo". Florianópolis, Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.
- Schwedersky, M. B. et al., 2017 "Switch back technique enhances the productivity of the TIG welding process". Welding in the world.
- Sykes, I.; Digiacomio, J., 1995 "Automatic Hot Wire GTA Welding of Pipe Offers Speed and Increased Deposition". Welding Journal, p. 53 - 55.
- Weizenmann, G. S., 2015 "Desenvolvimento de infraestrutura para o estudo dos efeitos da oscilação longitudinal da tocha de soldagem (switch back) e avaliação do desempenho no processo TIG autógeno". Florianópolis, Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.
- Zhang, G. et al., 2012 "Effect of process parameters on temperature distribution in twin-electrode TIG coupling arc". Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, Vol 113 (15), p. 1938-1945.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

CONTRIBUTION TO THE STUDIES OF THE TIG WELDING PROCESS DOUBLE ELECTRODE AIMING COATING OPERATIONS

Mateus Offemann Skowronski, mateus.offemann@posgrad.ufsc.br¹
Alisson Fernandes da Rosa, alisson.fernandes@posgrad.ufsc.br¹
Mateus Barancelli Schwedersky, m.barancelli@ufsc.br¹
Regis Henrique Gonçalves e Silva, regis.silva@ufsc.br¹

¹Federal University of Santa Catarina, Post-Graduation Program in Mechanical Engineering - POSMEC, Welding Laboratory - LABSOLDA, Campus Universitário - Trindade, Florianópolis / SC - 88040-900

Abstract. *The TIG Double-Electrode process (TIG-DE) consists of the use of two electrically insulated electrodes, spaced a relatively short distance on the same welding torch. Some parameters of this process influence the welding characteristics. The objective of this work is the evaluation of the aspects of the weld metal obtained by varying two of these parameters: the distance between the electrodes and their position in relation to the direction of advance of the welding torch. The tests were conducted with the electrode distances of 0.5 mm, 1 mm, 2 mm and 4 mm and with the transverse and longitudinal positions in relation to the direction of advancement of the torch. The results show that the stiffness of the arch decreases with the increase of the distance between electrodes with an increase in cord convexity, regardless of the position of the electrodes. In addition, the bead width was higher with the electrodes in the longitudinal position. Thus, it is possible to affirm that the position of the electrodes in relation to the direction of advancement of the torch and the distance between them exert an influence on the characteristics of the weld bead because the combined arc presents an asymmetrical temperature distribution profile.*

Keywords: GTAW; Double cathode; Tandem; Twin TIG; Combined Arc.