

SOLDAGEM A-TIG: EFEITO DA COMPOSIÇÃO DO FLUXO E DESENVOLVIMENTO DE UMA NOVA METODOLOGIA PARA A APLICAÇÃO DA CAMADA DE FLUXO ATIVO

André Richetti

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG
arichett@mecanica.ufu.br

Hebert Roberto da Silva

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG
hebert@mec.ufu.br

Peter Jan Groetelaars

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG
peterjan@mecanica.ufu.br

Otávio Monteiro Oliveira

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG
omoliveira@mecanica.ufu.br

Resumo: O processo de soldagem TIG (“Tungsten Inert Gas”) é caracterizado pela baixa produtividade e pela alta qualidade das soldas. A baixa produtividade do processo TIG resulta da necessidade de se utilizar baixas velocidades de soldagem e de um alto número de passes para o preenchimento total da junta. Para aumentar a produtividade deste processo, o Paton Welding Institute desenvolveu a técnica A-TIG, a qual consiste em se depositar uma fina camada de um fluxo a base de óxidos na forma de pó sobre a superfície da peça antes da soldagem. Resultados experimentais indicam que a produtividade do processo A-TIG pode ser até 3 vezes maior do que a do processo convencional, podendo competir com outros processos considerados como de maior produtividade. A principal desvantagem desta técnica reside na propensão à formação de escória sobre a superfície da solda, acarretando uma piora no seu acabamento superficial. Também não se pode desconsiderar a possibilidade de contaminação ou fragilização do metal de solda em função das interações entre o fluxo e o metal fundido. Desta forma, o objetivo deste trabalho é o de verificar o efeito da composição do fluxo sobre a produtividade e o acabamento superficial em relação ao processo TIG. Os resultados mostram que a produtividade é significativamente aumentada em relação ao processo convencional, porém com prejuízo para o acabamento superficial das soldas, com a formação de uma escória de difícil remoção. Considerando estes resultados, foi então proposta uma nova metodologia para a aplicação da camada de fluxo, denominada de “Caminho Preparado de Fluxo”, na qual o arco é forçado a seguir um caminho delimitado pelo fluxo. Testes experimentais mostraram que esta técnica é viável e pode ser utilizada para tirar proveito da qualidade do processo TIG, com a produtividade do A-TIG.

Palavras-chave: A-TIG, Fluxo ativo, Produtividade, Acabamento superficial, Aplicação do fluxo.

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem TIG, mostrado esquematicamente na Fig. (1), é normalmente utilizado em aplicações que exigem alta qualidade e bom acabamento superficial de cordão. Este processo,

contudo, é considerado como de baixa produtividade, principalmente devido à necessidade de se utilizar baixas velocidades de soldagem e, em materiais mais espessos, de um alto número de passes para o preenchimento total da junta.

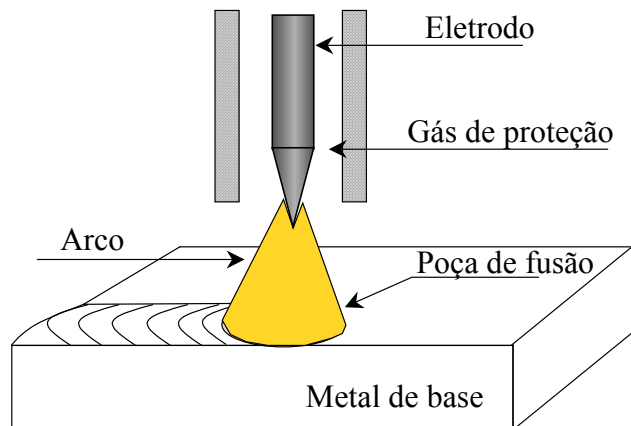


Figura 1: Soldagem TIG convencional.

Para tentar aumentar a produtividade do processo, o *Paton Welding Institute* introduziu a técnica da camada de fluxo ativo, que consiste na deposição de uma fina camada de um fluxo na forma de pó sobre a superfície da peça antes da soldagem. Este processo foi denominado de A-TIG. Os fluxos são normalmente feitos misturando-se os ingredientes em uma solução líquida tal como a acetona ou o álcool. Uma vez depositado através de um pincel, ou por spray, uma fina camada de fluxo se forma e rapidamente seca antes da soldagem propriamente dita. Resultados experimentais demonstraram que a produtividade do processo A-TIG (soldagem TIG sobre um fluxo ativo) poderia ser até 3 vezes maior do que a do processo convencional (Marya, 2002).

A composição do fluxo que pode ser usada é bastante ampla e, apesar da não divulgação, muitas fórmulas têm sido reportadas como sendo efetivas para o uso em determinadas aplicações. Por exemplo, um revestimento a base de óxidos de ferro, cromo, silício, titânio, manganês, níquel, cobalto, molibdênio e cálcio (misturados ou não) vem sendo usado para melhorar a soldabilidade e aumentar a velocidade de soldagem em aços inoxidáveis. Halogênios e fluoretos de cálcio e de alumínio têm sido utilizados para aumentar a profundidade de penetração no titânio. Misturas de óxidos e fluoretos são utilizados na soldagem dos aços carbono (Lucas and Howse, 1996).

Muitos mecanismos foram propostos para explicar o aumento da penetração na soldagem TIG com fluxo ativo. A maioria dos pesquisadores acredita que isto ocorre devido ao fato de que as moléculas do fluxo dissociadas pelo intenso calor gerado são capazes de capturar elétrons nas regiões periféricas do arco (mais frias), formando ali ions negativos. A captura de elétrons por parte destes elementos reduz a densidade periférica de elétrons livres no arco e, desta forma, o principal canal condutor de eletricidade é reduzido, resultando em um efeito de constrição (redução do diâmetro da coluna do arco). Este efeito é mostrado esquematicamente na Fig. (2) (Middel and den Ouden, 1998 e Perry et al., 1998).

Neste caso, a maior tensão do arco na soldagem com fluxo ativo em relação ao processo convencional é normalmente explicada em termos de constrição, ou seja, pelo estreitamento do diâmetro da coluna do arco (Middel and den Ouden, 1998). Ao mesmo tempo, este efeito de constrição induz um aumento na temperatura e na pressão do arco, permitindo aumentar significativamente a profundidade de penetração da solda. Apesar do efeito da constrição do arco ser um dos mecanismos utilizados para explicar o aumento da produtividade do processo, Perry et al. (1998) citam que a visualização de imagens pode não parecer, à primeira vista, muito convincente da existência deste fenômeno. Contudo, esta impressão pode estar provavelmente relacionada ao aumento do brilho (intensidade) do arco.

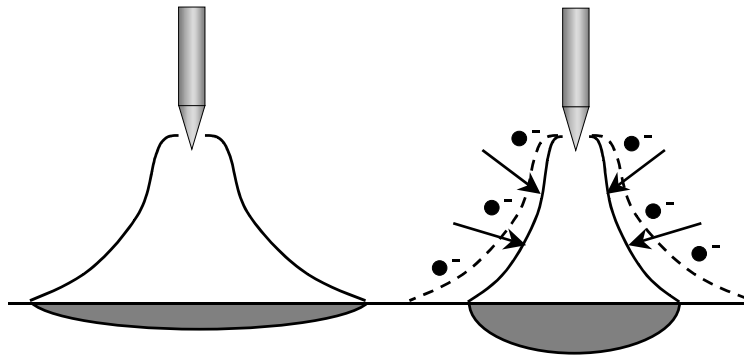


Figura 2: Mecanismo de constrição do arco com fluxo ativo (Perry et al., 1998).

Outra hipótese para o aumento da produtividade é a inversão do fluxo de convecção devido ao efeito da presença do fluxo na poça de fusão. A tendência natural da poça de fusão criar um tipo de fluxo espalhado é um dos fatores que limitam a penetração das soldas TIG a cerca de 4 mm. Em metais puros e muitas outras ligas, a tensão superficial diminui com o aumento da temperatura. Devido à forma gaussiana de distribuição de energia no arco, as temperaturas próximas ao centro da poça de fusão são maiores do que a temperatura nas extremidades, ou seja, a tensão superficial aumenta da região central para as extremidades da poça de fusão. Esta diferença na tensão superficial gera um fluxo de convecção (também chamado de fluxo de Morangoni) no mesmo sentido, do centro para as extremidades, o qual fornece substancial transporte de calor para as extremidades laterais da poça de fusão, tornando-a mais larga e rasa. Desta forma, a tendência natural do fluxo se espalhar para fora é iniciada por coeficientes negativos de gradiente de tensão superficial com a temperatura ($d\gamma/dT < 0$) (Perry et al., 1998). Este efeito é mostrado esquematicamente na Fig. (3).

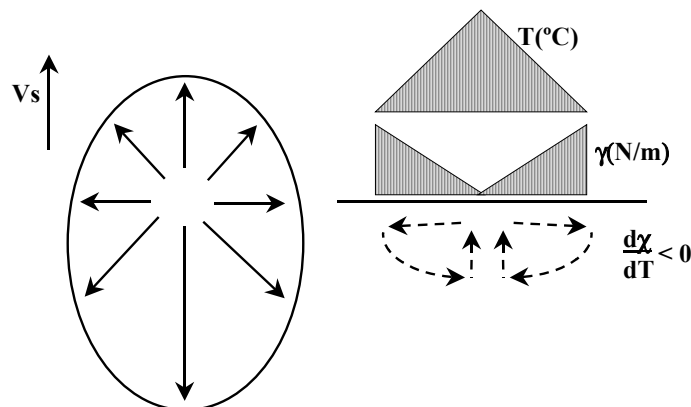


Figura 3: Sentido do fluxo de convecção na poça de fusão para materiais com $d\gamma/dT < 0$.

Uma das hipóteses sugeridas para o aumento da penetração na soldagem com fluxo ativo está relacionada com modificações na microquímica da poça de fusão pela adição de elementos do fluxo, causando uma inversão no gradiente de tensão superficial como função da temperatura. Desta forma, o coeficiente do gradiente de tensão superficial se torna positivo ($d\gamma/dT > 0$), ou seja, a tensão superficial do metal líquido aumenta com o aumento da temperatura. O fluxo de convecção gerado agora flui das extremidades para o centro da poça, causando uma redução na largura e um aumento na penetração da solda (Perry et al., 1998). Este mecanismo é mostrado esquematicamente na Fig. (4).

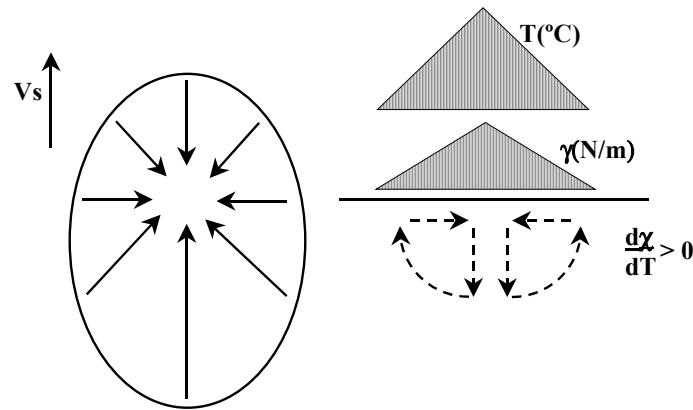


Figura 4: Sentido do fluxo de convecção na poça de fusão para materiais com $d\gamma/dT > 0$.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para verificar os fenômenos envolvidos no aumento da penetração nas soldas usando fluxo ativo, testes foram realizados com TiO_2 , $\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2$, NaCl e partículas de óxido provenientes do corte a plasma das chapas de aço inoxidável ABNT 304L como fluxo ativo. Foi verificado que o SiO_2 sozinho produz uma camada sem nenhuma aderência à peça, motivo pelo qual o SiO_2 foi misturado com TiO_2 na proporção de 1 para 1. Os testes foram realizados sobre chapa sendo que a solda foi iniciada em uma parte da peça sem a presença de fluxo e finalizada sobre a camada de fluxo ativo, conforme mostrado esquematicamente na Fig. (5). Este procedimento foi proposto para permitir uma comparação entre as soldagens com e sem fluxo. A condição de soldagem utilizada foi sempre a mesma, mostrada na Tab. (1).

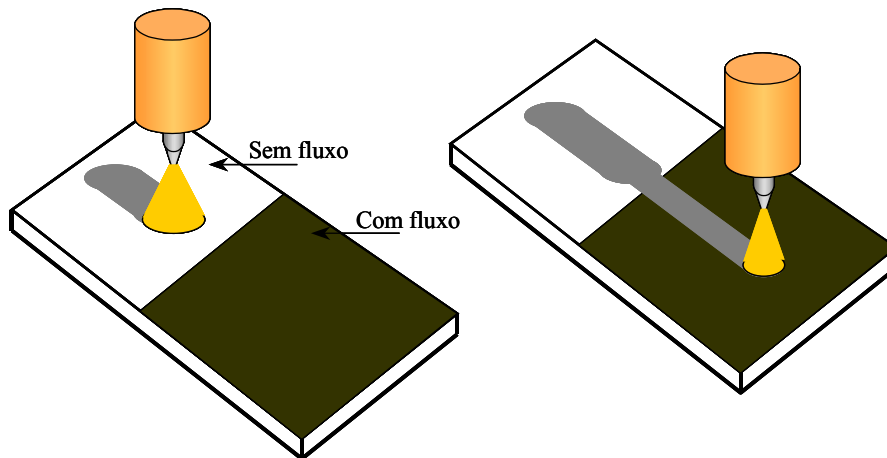


Figura 5: Procedimento utilizado para a obtenção do efeito do fluxo ativo na soldagem TIG.

Tabela 1: Condições utilizadas para a soldagem TIG com fluxo ativo.

Variável	Ajuste	Variável	Ajuste
Corrente (A)	160	Material de base	ABNT 304L, 3,8 mm de espessura
Veloc. soldagem (cm/min)	20	Eletrodo	EWTh-2, $\phi = 3,2$ mm
Dist. eletrodo-peça (mm)	4,5	Gás de proteção	Argônio a 10 l/min
Fluxo: TiO_2 , $\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2$, NaCl e partículas de óxido do corte a plasma do aço ABNT 304L			

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura (6) mostra as imagens obtidas dos perfis laterais dos arcos e os respectivos perfis de cordão em cada teste realizado. Conforme pode ser verificado nesta figura, apesar de não se ter a percepção de uma variação no perfil lateral do arco em cada um dos testes, houve uma variação

acentuada no perfil da solda com a utilização do fluxo ativo. A profundidade de penetração nas soldas feitas com fluxo ativo tendeu a ser maior em relação ao TIG convencional, principalmente com a utilização da mistura $\text{SiO}_2+\text{TiO}_2$ e do óxido de inox. Os outros fluxos analisados, o TiO_2 e o NaCl , produziram também um aumento na profundidade de penetração, porém em menor escala.

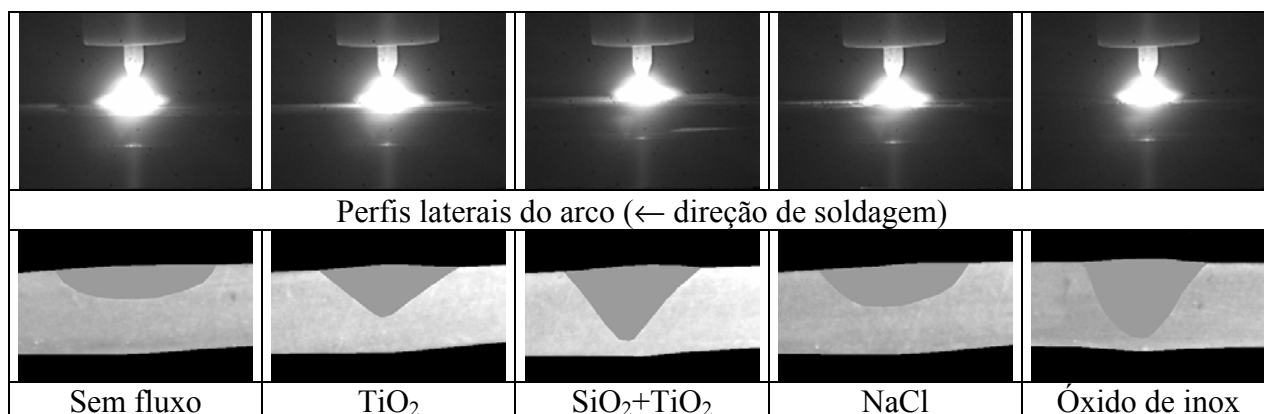


Figura 6: Perfis laterais de arco e de cordão.

A Tabela (2) mostra os resultados obtidos para as características do arco elétrico e do cordão de solda nos testes realizados. Conforme pode ser verificado, a tensão de soldagem não variou muito, exceto para a mistura $\text{TiO}_2+\text{SiO}_2$, que apresentou um aumento de aproximadamente 1,4 V em relação ao teste sem fluxo, o que pode sugerir um efeito de constrição (Middel and den Ouden, 1998). O diâmetro médio do arco (frontal e lateral) na região de incidência variou de um teste para outro, contudo, uma maior redução nessa medida em relação ao TIG convencional foi obtida nos testes feitos com $\text{SiO}_2+\text{TiO}_2$ e óxido de inox como fluxo ativo. Este efeito pode ter sido ocasionado pela presença de um fluxo de maior resistência elétrica, causando uma maior proteção elétrica sobre a peça e uma concentração da raiz do arco. De uma forma geral, em todos os casos onde se utilizou a camada de fluxo obteve-se uma menor largura de cordão e uma maior profundidade de penetração, com maior destaque para os fluxos a base de $\text{SiO}_2+\text{TiO}_2$ e óxido de inox.

Tabela 2: Resultados obtidos para as características do arco e do cordão na soldagem TIG e A-TIG.

Teste	Tipo de fluxo	Gás de proteção	Im (A)	Vm (V)	Diâmetro médio da raiz do arco (mm)	Largura da solda (mm)	Penetração da solda (mm)
1	-	Ar	162	17,1	11,29	7,61	1,48
2	TiO_2	Ar	162	17,2	11,08	6,28	2,23
3	$\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2$	Ar	162	18,5	10,70	6,05	3,45
4	NaCl	Ar	163	17,2	11,97	6,75	1,76
5	Óxido de inox	Ar	163	17,0	10,87	5,93	3,52

Testes realizados mostraram que a largura frontal do arco segue a mesma tendência obtida para a largura lateral do arco, indicando que a região de incidência do arco sobre a peça é relativamente circular. Considerando esta área circular, com um diâmetro aproximado igual ao apresentado na Tab. (2) como referência, a Tab. (3) mostra a densidade de potência calculada para os testes realizados (cálculo aproximado para comparação).

Conforme pode ser visto na Tab. (4), a utilização da camada de fluxo ativo na soldagem tendeu a aumentar a densidade de energia, contribuindo para explicar o aumento da penetração das soldas. Como exceção, a camada de NaCl tendeu a diminuir a densidade de energia, sugerindo uma redução na penetração. Contudo, como pode ser visto na Tab. (2), o NaCl produziu um aumento na penetração em relação à solda sem fluxo, o que pode indicar, neste caso, a ocorrência do efeito de inversão no fluxo de convecção dentro da poça de fusão.

Tabela 3: Cálculo da densidade de energia.

Fluxo	Im x Vm (W) Tab. (2)	Diâmetro da raiz do arco (mm) Tab. (2)	Densidade de energia (W/mm ²)
-	2770,2	11,29	27,67
TiO ₂	2786,4	11,08	28,90
TiO ₂ + SiO ₂	2997,0	10,70	33,33
NaCl	2803,6	11,97	24,91
Óxido de inox	2771,0	10,87	29,85

Como o diâmetro médio da raiz do arco (ponto de incidência) apresenta uma variação pequena considerando os testes realizados com e sem fluxo (Tab. (2)), não haveria como relacionar as alterações no perfil da solda (Fig. (6)) com um provável efeito de constrição do arco. Desta forma, pode-se supor também que a presença do fluxo tenda realmente a gerar uma inversão no fluxo de convecção e/ou causar uma alteração na distribuição de energia do arco de forma a causar uma redução na largura da solda e um aumento na penetração.

Apesar das vantagens aparentes da soldagem com fluxo ativo com relação à produtividade do processo, a maior desvantagem é a formação de cordões com piores acabamentos superficiais e, normalmente, com a presença de uma escória de difícil remoção. Este problema pode ser verificado na Fig. (7). Enquanto a solda feita sem fluxo apresenta uma superfície lisa e uniforme, as soldas feitas com fluxo normalmente apresentaram superfícies ásperas e com uma camada de escória. A solda feita com NaCl apresentou também uma superfície lisa, porém o cordão de solda não foi uniforme. Desta forma, fica evidente que a utilização desta técnica como proposta na literatura não é viável quando um dos requisitos exigidos é o acabamento superficial das soldas. Considerando este problema, provavelmente haveria a necessidade da realização de um passe cosmético nas soldas, o que poderia prejudicar em grande parte os atrativos com relação à soldagem A-TIG.

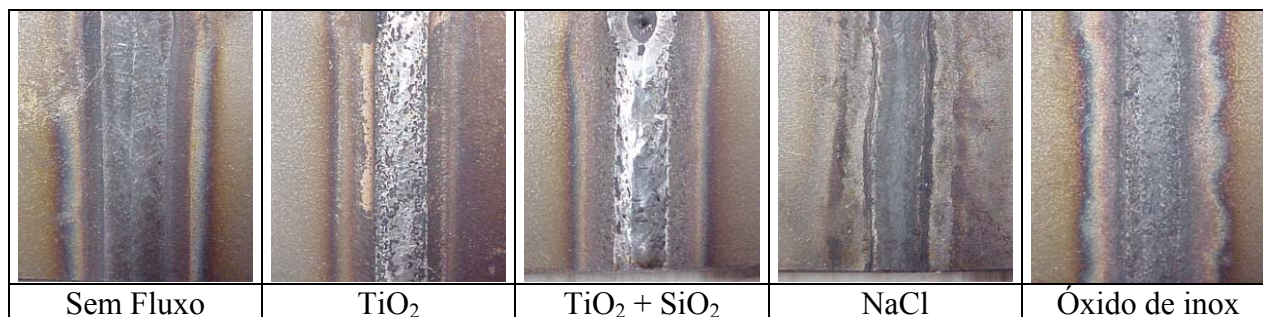


Figura 7: Acabamento superficial das soldas utilizando argônio como gás de proteção.

Para poder tirar proveito desta técnica, foi proposta uma nova forma de aplicação da camada de fluxo, a qual visa permitir obter soldas com bom acabamento superficial e reduzir a quantidade de escória formada. A idéia é utilizar o fluxo como uma camada que isole elétrica e termicamente certas regiões da peça de tal forma a se direcionar a área de incidência do arco. Este procedimento é ilustrado esquematicamente na Fig. (8), onde a energia do arco seria direcionada para uma região estreita da peça através do parâmetro “a”. Nesta técnica, inicialmente o arco é iniciado sobre o metal de base conforme feito anteriormente. A medida que o arco se aproxima do caminho preparado de fluxo, começa a existir uma contração da raiz do arco devido à maior resistividade elétrica do fluxo adjacente, forçando-o a incidir apenas sobre o metal de base. Simultaneamente, a redução da diluição do fluxo na poça de fusão em relação ao A-TIG tradicional permite que o acabamento superficial e as propriedades mecânicas do cordão de solda não sejam tão prejudicados. Essa suposição não seria válida para o fluxo de NaCl, uma vez que seu ponto de fusão é de cerca de 800°C e, portanto, menor do que a do aço.

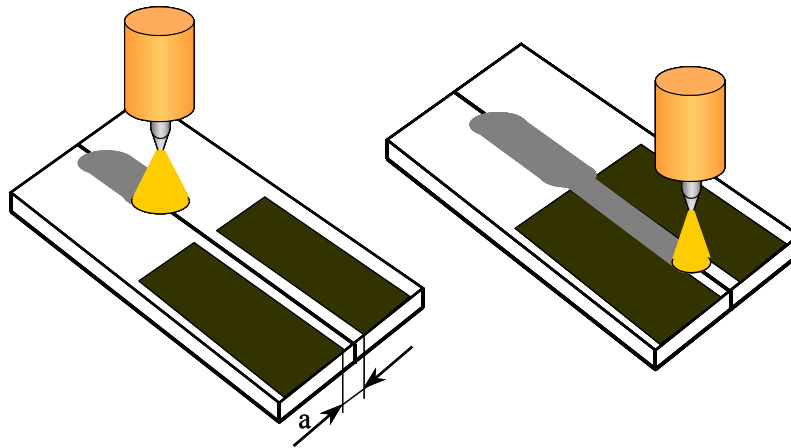


Figura 8: Procedimento proposto para aplicação da camada de fluxo ativo.

Para verificar a viabilidade desta nova técnica, foi feito um teste utilizando um fluxo a base de TiO_2 e deixando uma abertura de 5 mm (parâmetro “a” da Fig. (8)) como caminho para o arco elétrico. Imagens de cima da poça de fusão foram obtidas imediatamente antes e depois da entrada do arco na região revestida com fluxo e são apresentadas na Fig. (9). A condição de soldagem utilizada foi a mesma da Tab. (1). Pode-se notar que a poça de fusão tendeu a ficar mais estreita quando o arco passa dentro do trajeto de fluxo, demonstrando que o fluxo de calor fica realmente mais confinado. Desta forma, tem-se um efeito semelhante ao obtido com o revestimento contínuo de fluxo, porém com menor diluição e, desta forma, melhor acabamento superficial.

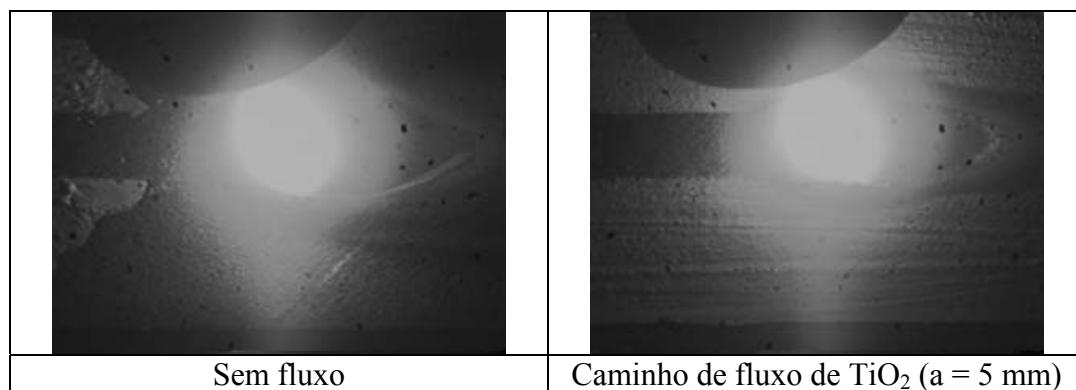


Figura 9: Soldagem utilizando uma abertura de 5 mm na camada de fluxo.

Os resultados mostraram que a nova técnica de aplicação da camada de fluxo pode ser utilizada como alternativa em relação à forma tradicional de aplicação proposta na literatura (camada contínua), permitindo aumentar a produtividade do processo TIG sem comprometer significativamente o acabamento superficial e as propriedades mecânicas das soldas.

4. CONCLUSÕES

- 1- A soldagem A-TIG com TiO_2 , $\text{SiO}_2+\text{TiO}_2$, NaCl e óxido de inox permitiu aumentar a produtividade em relação ao tig convencional, principalmente usando $\text{Si}+\text{TiO}_2$ e óxido de inox.
- 2- Nas soldas feitas com $\text{SiO}_2+\text{TiO}_2$ e óxido de inox, houve uma redução do diâmetro médio do arco, sugerindo um efeito de constrição. Na solda feita com TiO_2 , o diâmetro do arco foi semelhante ao do TIG convencional, indicando que o aumento da produtividade seria devido à inversão no fluxo de convecção. O mesmo ocorreu para o NaCl, onde o diâmetro do arco foi maior do que o obtido TIG normal.
- 3- No processo A-TIG tradicional, há a formação de uma escória de difícil remoção, gerando soldas com mau acabamento superficial.

4- A nova metodologia de aplicação do fluxo apresentou resultados satisfatórios, permitindo o aumento da penetração em relação ao TIG, porém mantendo um bom acabamento superficial.

5. BIBLIOGRAFIA

- Lucas, W. and Howse, D., 1996, “Activating Flux – Increasing the Performance and Productivity of the TIG and Plasma Processes”, *Welding & Metal Fabrication*, January, pp. 11 - 17.
- Marya, M., 2002, “Theoretical and Experimental Assessment of Chloride Effects in the A-TIG Welding of Magnesium”, IIW Document, Copenhagen, Denmark, 13 p.
- Middel, W. and den Ouden, G., 1998, “The Effect of Additives on Arc Characteristics in GTA Welding”, *Trends in Welding Research, Proceedings of the 5th International Conference*, 1-5 June, Pine Mountain, Georgia, USA, pp. 394 - 399, ISBN: 0-87170-627-X.
- Perry, N., Marya, S., and Soutif, E., 1998, “Study and Development of Flux Enhanced GTA Penetrations in a Commercial Grade Titanium”, *Trends in Welding Research, Proceedings of the 5th International Conference*, 1-5 June, Pine Mountain, Georgia, USA, pp. 520 - 525, ISBN: 0-87170-627-X.

A-TIG: EFFECT OF FLUX COMPOSITION AND THE DEVELOPMENT OF A NEW METHODOLOGY FOR FLUX LAYER APPLICATION

André Richetti

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG
arichett@mecanica.ufu.br

Hebert Roberto da Silva

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG
hebert@mec.ufu.br

Peter Jan Groetelaars

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG
peterjan@mecanica.ufu.br

Otávio Monteiro Oliveira

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG
omoliveira@mecanica.ufu.br

Abstract: *The TIG process is characterized by its low productivity and high quality welds. Its low productivity is a result of the need of using low welding speeds. In order to improve the process productivity, the Paton Welding Institute developed the A-TIG technique, which consists in the deposition of an oxide flux powder layer on the base metal before welding. Experimental data indicate that the process productivity could be increased about 3 times, competing with other welding process considered as being more productive. The mayor disadvantage of this technique is the formation of a slag on the weld bead and producing a worse surface finish. Also the interaction between the flux and the weld pool could cause the weld bead embrittlement. The main goal of this work is the verification of the flux composition effect on the process productivity and the weld bead surface finish related to the conventional TIG process. The results show that the productivity is highly increased, but with expensive of the weld finish by the formation of a slag difficult to remove. Considering these results, it was proposed a new methodology to apply the flux layer, called “Prepared Flux Path”, in which the arc is forced to follow the path delimited by the flux layer. Experimental tests shown that this technique presented satisfactory results and could be used to take the advantage of the TIG process weld quality and the A-TIG process productivity.*

Keywords: *A-TIG, Active flux, Productivity, Surface finish, Flux application methodology.*