



APLICAÇÃO DO “CAMINHO PREPARADO DE FLUXO” NA SOLDAGEM A PLASMA COM *KEYHOLE*

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 muito utilizado em aplicações que requerem alta qualidade ou quando é necessário controlar, de forma mais efetiva, as características geométricas e metalúrgicas da solda. Este processo, contudo, é de baixa produtividade, principalmente quando se considera a soldagem de chapas de maior espessura. A soldagem TIG com um fluxo ativo a base óxidos, desenvolvida nos anos 60, tem sido proposta como uma alternativa para aumentar a produtividade do processo, designado por A-TIG (“Active Flux TIG”). Entretanto, como desvantagem, há a formação de uma escória e a possibilidade da fragilização do metal de solda devido às interações entre o fluxo e a poça de fusão. Este problema foi amenizado com o desenvolvimento de uma nova metodologia de aplicação da camada de fluxo, desenvolvida no LAPROSOLDA/UFU, a qual foi denominada “Caminho Preparado de Fluxo”. Nesta técnica, o arco é forçado a passar por um caminho delimitado por um fluxo, reduzindo a diluição e, portanto, diminuindo a formação de escória e os efeitos no metal de solda. O processo de soldagem a plasma (PAW – “Plasma Arc Welding”) também foi desenvolvido a partir da plataforma do TIG, diferindo apenas por operar com um arco estrangulado por um orifício constritor. Apesar do processo a plasma ser considerado de alta produtividade quando comparado com outros processos convencionais, a utilização da técnica do “Caminho Preparado de Fluxo” também parece ser viável e pode ser utilizada como ferramenta para a melhoria do processo. Desta forma, o objetivo deste trabalho é a verificação da potencialidade da aplicação da técnica do “Caminho Preparado de Fluxo” na soldagem a plasma com keyhole. Os resultados obtidos foram satisfatórios e indicam a possibilidade de também aumentar a produtividade do processo a plasma com um mínimo de prejuízo para o acabamento superficial das soldas.

Palavras-chave: Soldagem a plasma, “Keyhole”, Fluxo ativo, Caminho Preparado de Fluxo.

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem TIG é muito utilizado em aplicações que requerem alta qualidade ou quando é necessário controlar, de forma bastante efetiva, as características geométricas ou as

propriedades metalúrgicas da solda. Este processo, contudo, é 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.

A soldagem TIG com um fluxo ativo, desenvolvida nos anos 60 pelo Paton Welding Institute, tem sido proposta como uma alternativa para aumentar a produtividade do processo TIG convencional. Esta técnica foi denominada na época de A-TIG e é representada esquematicamente na Fig. (1). Entretanto, como desvantagem desta técnica, há a formação de uma escória e a possibilidade da fragilização do metal de solda devido às interações entre o fluxo e a poça de fusão (Marya, 2002 e Richetti et al., 2003).

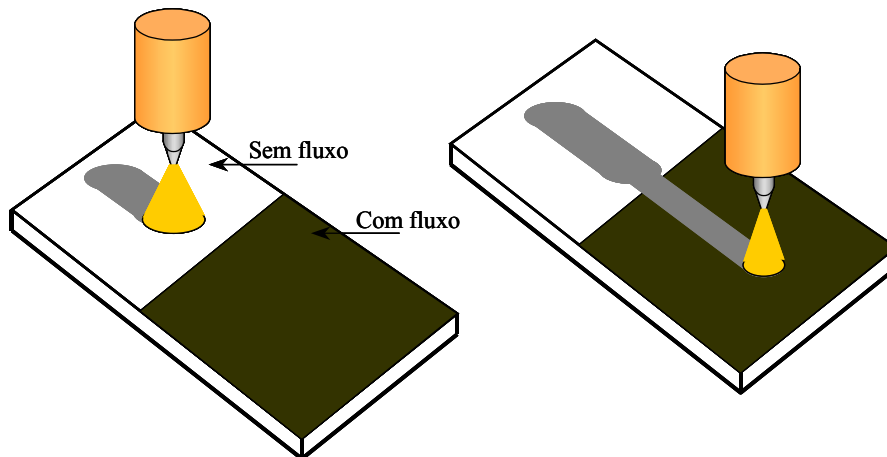


Figura 1: Soldagem A-TIG

Richetti et al. (2003) desenvolveram uma nova metodologia de aplicação da camada de fluxo sobre a peça, visando minimizar os efeitos negativos da presença do fluxo na geração de escória, ou sobre as propriedades mecânicas da solda. Esta técnica foi denominada de “caminho preparado de fluxo”. A idéia aqui 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. (2), onde a energia do arco seria direcionada para uma região estreita da peça através do parâmetro de abertura “a”. A medida que o arco elétrico vai passando no caminho preparado de fluxo, a sua raiz começa a sofrer uma contração 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.

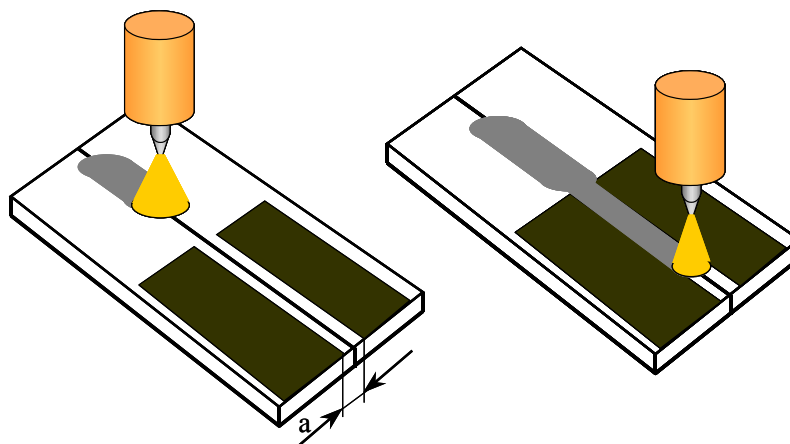


Figura 2: Técnica do Caminho Preparado de Fluxo.

A Figura (3) mostra imagens superiores da poça de fusão imediatamente antes e depois do arco entrar no caminho preparado de fluxo, sendo neste caso utilizado um fluxo a base de TiO_2 e uma

abertura de 5 mm (parâmetro “a” da Fig. (2)) para o caminho do arco elétrico. Nesta figura, 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 concentrado em uma região mais estreita da peça. Desta forma, tem-se um efeito semelhante ao obtido com o revestimento contínuo de fluxo, porém gerando menor diluição do fluxo no metal líquido da poça de fusão e, desta forma, um melhor acabamento superficial e/ou melhores propriedades mecânicas.

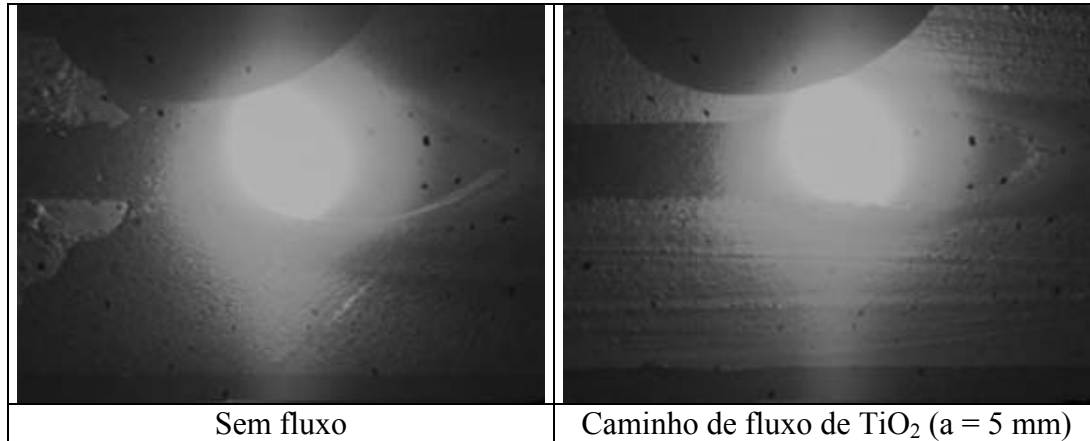


Figura 3: Soldagem utilizando uma abertura de 5 mm na camada de fluxo.

Os resultados obtidos no trabalho de Richetti et al. (2003) 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. Estes resultados sugerem também a possibilidade da aplicação desta técnica também para melhorar a produtividade do processo de soldagem a plasma com *keyhole*, mostrado esquematicamente na Fig. (4).

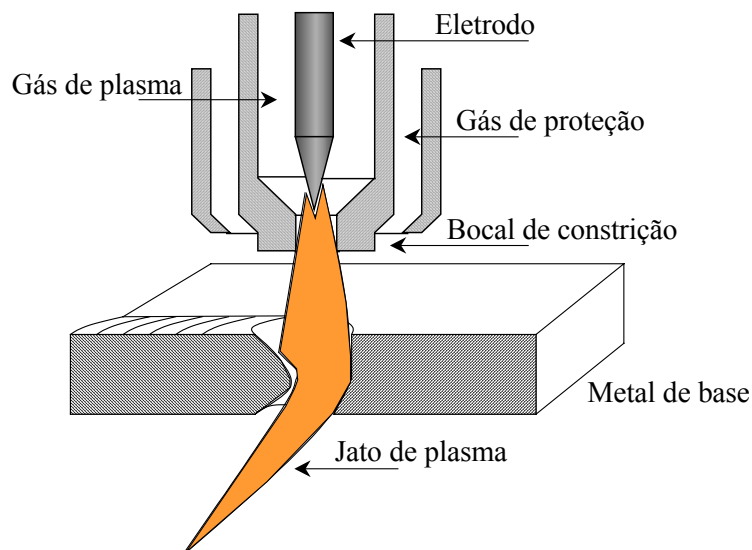


Figura 4: Processo de soldagem a plasma com *keyhole*.

O processo de soldagem a plasma foi desenvolvido a partir da plataforma do TIG, motivo pelo qual considera-se que ambos apresentam aplicações semelhantes. A principal diferença do processo a plasma em relação ao TIG é o fato do arco ser forçado a passar por um orifício de pequeno diâmetro na saída da tocha. Esta característica, contudo, faz com que a produtividade do processo a plasma seja relativamente alta quando comparada com a de outros processos convencionais de soldagem. Devido às características comuns existentes entre os processos TIG e a plasma, pode-se

supor que a aplicação da técnica d “caminho preparado de fluxo” desenvolvida por Richetti et al. (2003) seja também aplicável à soldagem a plasma, permitindo aumentar ainda mais a sua produtividade.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para verificar a possibilidade de utilização da técnica do caminho preparado de fluxo na soldagem a plasma com *keyhole*, foram realizados 3 testes, com aberturas entre as camadas de fluxo (parâmetro “a” da Fig. (2)) de 8; 5 e 3 mm. A condição utilizada nos 3 testes foi sempre mesma, mostrada na Tab. (1).

Tabela 1: Condição utilizada para a soldagem a plasma com *keyhole*.

Variável	Ajuste	Variável	Ajuste
Corrente (A)	200	Recuo do eletrodo (mm)	2,2
Vazão do gás de plasma (l/min)*	1,6	Chapa	Aço ABNT 304L com 3,8 mm de espessura
Vazão do gás de proteção (l/min)*	10	Fluxo	TiO ₂
Velocidade de soldagem (cm/min)	40	Gás de plasma	Ar
Diâmetro do bocal de constrição (mm)	3,2	Gás de proteção	Ar 5% H ₂ (10 l/min)
Distância tocha peça (mm)	5	Gás de purga	Ar (5 l/min)

* Medida na saída da tocha.

Para os testes, foram utilizadas uma fonte digital multi-processo em corrente constante e eletrodo negativo e uma tocha de soldagem com capacidade de corrente de 300 A, sendo o movimento da tocha controlado através de uma mesa de coordenadas. O recuo do eletrodo foi o valor máximo permitido, recomendado pelo fabricante da tocha para aplicações com *keyhole*. A vazão do gás de plasma foi controlada no meio da linha por um equipamento projetado no LAPROSOLDA/UFU para medir e controlar a vazão de gás entre 0,3 e 3 l/min. As vazões dos gases de proteção e de purga foram ajustadas através de medidores digitais e dos reguladores de pressão dos cilindros de gás. O tempo de retardo no acionamento do movimento da tocha em relação à abertura do arco foi de 500 ms para permitir a formação inicial do *keyhole*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura (5) mostra uma vista superior dos testes realizados com parâmetros de abertura (a) de 8; 5 e 3 mm. Conforme pode ser verificado nesta figura, em todos os casos houve um estreitamento do cordão de solda na região preparada com fluxo em relação à parte do cordão onde não havia fluxo. Pode-se notar também que uma redução na abertura do caminho preparado de fluxo de a = 8 mm para a = 5 mm (ver Fig. (2)) causou um aumento no efeito de constrição da solda. O mesmo efeito não foi observado ao se reduzir a abertura entre as camadas de fluxo para a = 3 mm, onde a largura da solda permaneceu praticamente inalterada quando comparada com a solda usando a = 5 mm. Isto demonstra que a constrição direcionada da solda promovida pelo caminho preparado de fluxo tem um limite físico, o qual deve ser avaliado previamente para cada tipo de aplicação (condição de soldagem, tipo de fluxo e material de base).



Figura 5: Testes realizados na soldagem com *keyhole* usando aberturas de 8, 5 e 3 mm (de cima para baixo, respectivamente) para o caminho preparado de fluxo.

Outro aspecto importante é que o acabamento superficial obtido nas soldas dentro da região com fluxo foi sempre semelhante ao obtido em condições normais (sem a presença de fluxo), ou seja, um aspecto liso e sem a presença de escória. Este resultado é muito importante esteticamente e se deve principalmente à redução da diluição entre os componentes do fluxo na poça de fusão quando se utiliza uma abertura entre as camadas de fluxo aplicadas por sobre a peça. Uma vez identificado um efeito de constrição na solda, pode-se inferir também que há um ganho na penetração devido ao aumento da concentração de energia imposta pelo fluxo. Desta forma, a Fig. (6) mostra os perfis de cordão obtidos em cada um dos testes realizados.

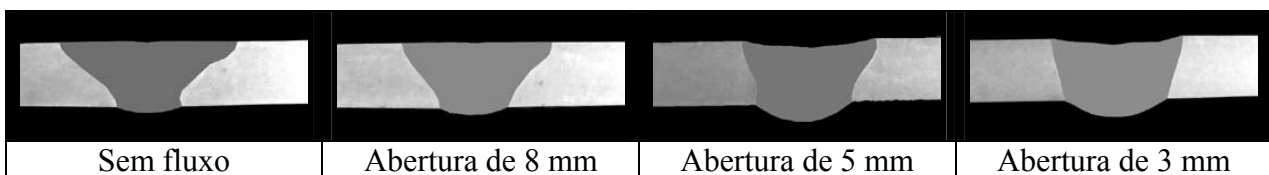


Figura 6: Perfis de cordão obtidos na soldagem a plasma com *keyhole* sem fluxo e com caminho preparado de fluxo com aberturas de 8, 5 e 3 mm.

Através desta figura, pode-se verificar claramente que a utilização da abertura na camada de fluxo é suficiente para gerar um efeito de constrição e aumentar a penetração da solda. Pode-se notar claramente uma redução gradual na largura da solda e um aumento na penetração (aumento nas dimensões da raiz da solda) a medida em que se impõe uma constrição forçada no cordão desde $a = 8$ mm até $a = 5$ mm. Valores do parâmetro “a” abaixo de 5 mm não geraram um aumento perceptível na penetração, sugerindo novamente um limite no efeito de constrição possível de ser obtido através desta técnica. Contudo, Os resultados foram satisfatórios e indicam a viabilidade da técnica desenvolvida.

Uma vez que o arco é forçado a seguir o caminho preparado de fluxo devido ao fato de que o metal de base tem menor resistividade elétrica do que a parte revestida, há também a possibilidade de fazer o arco seguir um caminho com pequenos desvios. Esta possibilidade pode ser empregada de forma efetiva para amenizar problemas relacionados a desvios na trajetória da tocha em relação à linha central da junta. Caso a trajetória da tocha de soldagem não esteja bem alinhada com a junta, pode ocorrer o problema mostrado na Fig. (7), onde a raiz da solda (parte inferior) ficou

ligeiramente deslocada em relação à linha central da junta. Em último caso, este desvio pode gerar problemas de estanqueidade ou de enfraquecimento da união soldada.

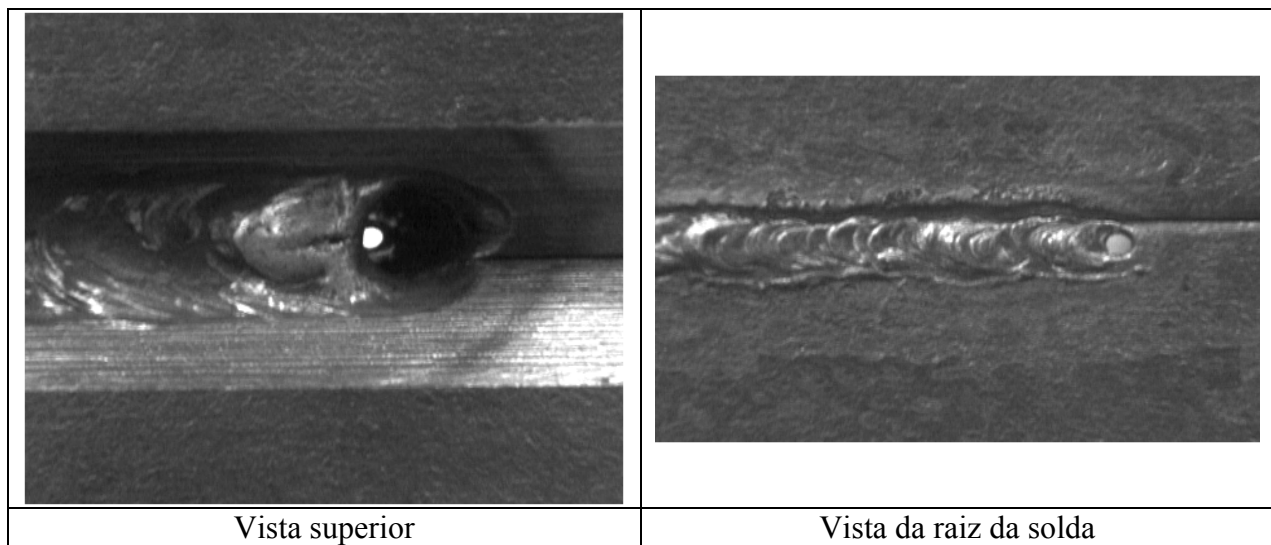


Figura 7: Desvio da raiz da solda em relação à linha da junta na soldagem com *keyhole* (Richetti, 1998).

Para verificar se o cordão na soldagem a plasma com *keyhole* também pode ser direcionado, ou controlado dentro de certos limites, foi feito um teste com uma trajetória de fluxo em forma de zig-zag, conforme mostrado esquematicamente na Fig. (8). A condição de soldagem utilizada neste teste foi:

- Corrente = 170 A;
- Velocidade de soldagem = 35 cm/min;
- Vazão de gás de plasma = 1,6 l/min;
- Diâmetro do orifício constritor = 3,2 mm;
- As demais variáveis foram de acordo com a Tab. (1);
- Sem gás de purga.

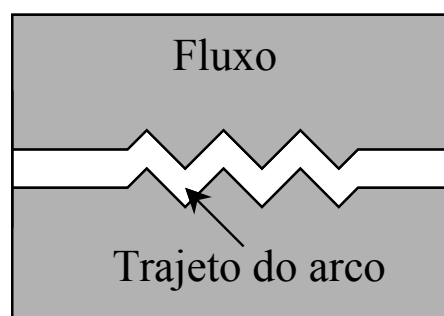


Figura 8: Trajetória em zig-zag para o caminho preparado de fluxo.

A Figura (9) mostra o teste realizado, evidenciando o efeito de constrição do cordão e a possibilidade de se controlar a distribuição de energia com um trajeto de fluxo isolante. Inicialmente, o arco foi aberto em uma região da peça sem fluxo. A medida que o arco começou a entrar no caminho preparado de fluxo, houve um estreitamento do cordão de solda, provocado pela concentração da energia na região entre as duas camadas de fluxo isolante (TiO_2). A partir deste momento, o arco foi forçado a serpentear ao longo do perfil do trajeto, buscando a região com menor resistividade elétrica, no caso, o metal de base. Como consequência, o cordão de solda tendeu a apresentar o mesmo perfil do trajeto de fluxo.



Figura 9: Teste com *keyhole* realizado em trajetória de fluxo em zig-zag.

A Figura (10) mostra a face e a raiz da solda na região de transição, onde o arco adentrou no trajeto de fluxo. Novamente, é possível verificar o efeito de constrição do cordão pelo trajeto de fluxo (estreitamento da solda). Também é possível verificar que, tanto a face, como a raiz da solda, tenderam a acompanhar o perfil do trajeto de fluxo, indicando a possibilidade de se direcionar a solda ao longo de uma junta com pequenos desvios em relação ao trajeto da tocha. Na região com fluxo, também pode ser verificado que a raiz da solda é relativamente maior do que a raiz da solda na parte sem fluxo. Este efeito se deve ao aumento do efeito de concentração de energia dentro do trajeto de fluxo, resultando em maior penetração.

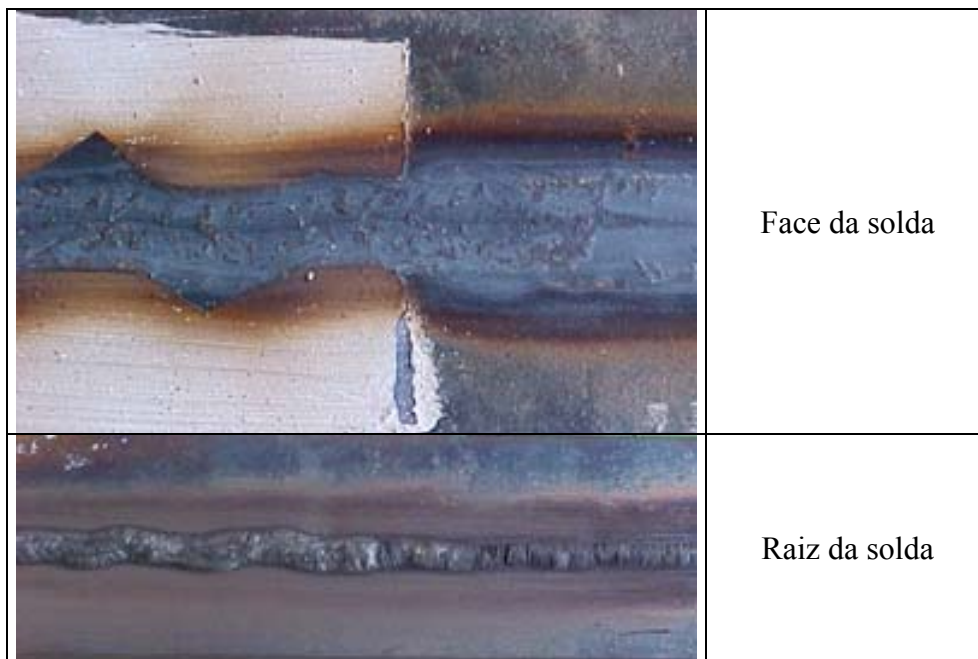


Figura 10: Face e raiz da solda na região de transição com e sem fluxo.

4. CONCLUSÕES

- 1- A técnica do caminho preparado de fluxo apresentou resultados satisfatórios na soldagem a plasma com *keyhole*, permitindo aumentar a produtividade do processo e assegurar um bom acabamento superficial das soldas.
- 2- A produtividade do processo a plasma com fluxo pode ser controlada, dentro de certos limites, através do parâmetro de abertura “a” do caminho de fluxo. O limite extremo para a obtenção de uma melhora na penetração sem prejudicar o acabamento superficial depende da aplicação.
- 3- A técnica do caminho preparado de fluxo também pode ser utilizada com sucesso para reduzir problemas relacionados com desvios na junta em relação ao movimento da tocha, garantindo que a raiz da solda sempre se forme ao longo da linha central da junta.

5. BIBLIOGRAFIA

- Marya, M., 2002, “Theoretical and Experimental Assessment of Chloride Effects in the A-TIG Welding of Magnesium”, IIW Document, Copenhagen, Denmark, 13 p.
- Richetti, A., 1998, “Aplicação do Processo de Soldagem por Plasma pela Técnica “Keyhole” no Passe de Raiz de Uma Junta Chanfrada”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, 105 p.
- Richetti, A., Silva, H. R., Groetelaars, P. J. and Oliveira, O. M., 2003, “Soldagem A-TIG: Efeito da Composição do Fluxo e Desenvolvimento de Uma Nova Metodologia para a Aplicação da Camada de Fluxo Ativo”, 13^o POSMEC – Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

APPLICATION OF THE “PREPARED FLUX PATH” IN THE *KEYHOLE* PLASMA WELDING

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 (“Tungsten Inert Gas”) process is mainly used in applications with high weld quality requirements or when it is necessary to get an effective control on the geometrical and metallurgical characteristics. The mayor disadvantage of this process is its low productivity. The TIG welding with active flux was developed in the 1960’s to improve the productivity of the conventional process and was designed as A-TIG (“Active Flux TIG”). However, as a result of interaction between the flux layer and the weld pool, a difficult to remove slag is formed with expensive of the weld surface finish and worse mechanical properties are obtained. This problem was minimized with a new flux application methodology developed in the LAPROSOLDA/UFU, which as called “prepared flux path”. In this technique, the arc is forced to follow the path delimited by the flux layer, reducing the dilution and, consequently, reducing the slag and the effects on the weld metal. The PAW process (“Plasma Arc Welding”) was also developed from the TIG process. The principal difference is that in the plasma process, the arc is constricted by a small orifice. In spite of the plasma process is considered as a high productivity when compared with other conventional processes, the prepared flux path technique could be used to improve its productivity even more. In this way, the main goal of this work is to verify the potentiality of using the prepared flux path technique in the keyhole plasma process. The results obtained with this technique were satisfactory and indicate the possibility of increasing the process productivity while maintaining a good weld surface finish.*

Keywords: *Plasma welding, Keyhole, Active flux, Prepared flux path.*