

APLICAÇÃO DE VÁRIOS TIPOS DE FLUXO ATIVO NA SOLDAGEM TIG DE UM AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO

Alessandra Gois Luciano de Azevedo

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, nº 2121, CEP 38400-902, Laboratório de Soldagem (Laprosolda). aglazevedo@mecanica.ufu.br

Valtair Antonio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, nº 2121, CEP 38400-902, Laboratório de Soldagem (Laprosolda). valtairf@mecanica.ufu.br

Jesualdo Pereira Farias

Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Soldagem (Engesolda), Fortaleza-CE. Cep: 60488-760. jpf@secrel.com.br

Resumo: *O processo de soldagem TIG com fluxo apresenta vantagens sobre o processo TIG convencional devido à possibilidade de se obter uma maior penetração do cordão de solda empregando os mesmos parâmetros de soldagem. A adição do fluxo provoca mudanças geométricas do cordão. Diversos estudos mostram a influência dos fluxos ativos sobre as características geométricas dos aços inoxidáveis austeníticos, porém pouco se sabe sobre a influência deste processo sobre as características geométricas e metalúrgicas dos aços inoxidáveis ferríticos. Neste trabalho são aplicados diferentes tipos de fluxo na soldagem de aço inoxidável ferrítico com o objetivo de verificar possíveis influências no perfil do cordão de solda, no seu aspecto visual, na microestrutura e também no perfil do arco voltaico. As soldagens “bead on plate” foram realizadas sem metal de adição. Foram utilizados seis tipos de fluxo, sendo um óxido elaborado em laboratório (TiO₂) e cinco fluxos comerciais. Os resultados mostraram que a utilização do fluxo permite um aumento na penetração com mudanças significativas no aspecto do cordão de solda. Verificou-se ainda que a microestrutura do aço estudado e o formato do arco voltaico não foram afetados pelo tipo de fluxo utilizado.*

Palavras-chave: *A-TIG, fluxos, geometria do cordão, microestrutura, arco voltaico.*

1. INTRODUÇÃO

A técnica de soldagem TIG com fluxo ativo (processo A-TIG) consiste no depósito de uma fina camada de fluxo sobre a superfície da peça a ser soldada. Os fluxos são normalmente compostos por óxidos ou fluoretos em pó, sendo diluídos com acetona ou álcool, formando uma mistura líquida. Essa mistura é aplicada sobre a peça com o auxílio de um pincel ou por spray, formando uma camada que após a evaporação do solvente adere-se à peça.

Os equipamentos e os consumíveis de soldagem do processo A-TIG são os mesmos do processo TIG convencional. Alguns autores ^(1, 2, 3 e 4) relatam que o calor do arco funde e vaporiza a camada de fluxo, levando as alterações na poça de fusão e no arco elétrico, produzindo penetração total em juntas de até 10 mm de espessura, equivalendo-se em penetração ao processo a plasma com “keyhole”.

Vários mecanismos tentam explicar o aumento da penetração na soldagem com fluxo ativo. Porém a importância relativa de cada um dos mecanismos é baseada em função da composição química do fluxo, do metal de base e ainda dos parâmetros de soldagem. Alguns pesquisadores ^(3, 5, 6) acreditam que o fluxo ativo provoca a constrição do arco, aumentando a densidade de corrente na ponta do eletrodo e levando a um aumento na penetração. Esta constrição seria em decorrência da dissociação das moléculas do fluxo que são capazes de capturar elétrons nas regiões periféricas do arco (mais frias), formando ali íons 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). 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.

Heiple ⁽⁷⁾ sugere um outro mecanismo para explicar o aumento da penetração na soldagem com fluxo ativo. Ele relaciona este fato com a composição química do fluxo que causariam modificações micro-químicas da poça de fusão, proporcionando uma inversão no gradiente de tensão superficial, gerando um fluxo de convecção (também chamado de fluxo de Morangoni) no sentido inverso ao que ocorre normalmente na soldagem TIG. 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.

Tanaka et al ⁽⁶⁾ observaram a ocorrência de uma contração do diâmetro da coluna do arco na soldagem ATIG de um aço inoxidável austenítico empregando TiO₂ como fluxo ativo, eletrodo de lantanádio e hélio como gás de proteção. Eles afirmam que o fluxo permite uma maior movimentação da poça fundida, confirmando que as convecções de Morangoni juntamente com as forças de Lorentz proporcionam uma alteração na tensão superficial da poça de solda o que provoca modificações geométricas nos cordões de solda, levando as maiores penetrações.

A maior dificuldade desta técnica está na seleção de um fluxo para um determinado material, devido a não divulgação da sua composição química por parte dos fabricantes de fluxo. A falta de informações técnicas também dificulta na obtenção de dados qualitativos ou quantitativos a respeito do efeito dos fluxos sobre a composição química do metal de solda, bem como sobre suas propriedades mecânicas ⁽³⁾. Entretanto, PERRY et al. ⁽⁴⁾ citam que diferentes revestimentos a base de óxidos, sais alcalinos, halogênios ou fluoretos têm sido reportados no passado como apresentando um efeito favorável sobre a penetração da solda.

Kunrath et al ⁽⁸⁾ aplicaram fluxos comerciais empregados em eletrodos revestidos na soldagem ATIG de um aço inoxidável austenítico, onde os resultados de penetração observados para os fluxos rufílico, básico e celulósico confirmaram o que já é conhecido, onde a maior penetração foi obtida para o fluxo de composição celulósica.

Alguns autores ^(8 e 9) analisaram a microestrutura da zona fundida de aços inoxidáveis austeníticos após a soldagem A-TIG. Eles não observaram grandes variações quando comparado com os corpos de prova soldados com TIG convencional.

O objetivo deste trabalho é verificar a influência de alguns tipos de fluxos ativos comerciais e não comercial sobre a geometria do cordão de solda, sobre a microestrutura e sobre o perfil arco voltaico na soldagem de um aço inoxidável ferrítico.

2. METODOLOGIA E MATERIAIS

A Tabela 1 apresenta a composição química do aço inoxidável estudado. A soldagem “bead on plate” foi efetuada sem metal de adição e de forma mecanizada.

Tabela 1. Composição química do aço inoxidável ferrítico UNS S41003.

Elementos	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
%	0.015	0.59	0.47	11.02	0.35	0.021	0.001
Elementos	Mo	V	Al	Co	Nb	Ti	Cu
%	0.017	0.025	0.002	0.02	0.015	0.011	0.024

Foram empregados 6 tipos de fluxo ativo, designados da seguinte maneira: fluxo A – óxido de titânio; fluxo B – comercial 1 (fluxo comercial americano); fluxo C – comercial 2; fluxo D – comercial 3; fluxo E – comercial 4 e fluxo F – comercial 5. Os fluxos comerciais C, D, E e F são europeus. O óxido de titânio foi utilizado por ser citado na literatura como adequado para emprego como fluxo ativo. As composições dos fluxos comerciais não foram fornecidas pelos fabricantes. Os fluxos foram misturados com acetona e aplicados na superfície a ser soldada com ajuda de um pincel, com exceção do fluxo C por ser spray.

Os fluxos foram aplicados somente na metade de cada corpo de prova de dimensões 250 x 30 x 6,35 mm, obtendo-se desta forma, uma parte do cordão de solda com o processo TIG convencional e uma parte com a aplicação da técnica A-TIG. Em todos os ensaios empregou-se a seguinte condição de soldagem: corrente de 200 A, velocidade de soldagem de 3,5 mm/s, distância da ponta do eletrodo a peça de 2,0 mm, ângulo de apontamento de 60°, gás de proteção Ar com vazão do gás de proteção de 14 l/min e um eletrodo de tungstênio AWS EWTh-2 com diâmetro de 3,2 mm. Estes parâmetros foram obtidos a partir de testes preliminares.

Foram realizadas as filmagens do arco voltaico, sincronizadas com a aquisição de dados de tensão e corrente de soldagem. A filmadora foi posicionada de forma a obter a imagem frontal do arco elétrico. Em cada amostra soldada, foram realizadas medidas geométricas e inspeções visuais do cordão de solda. Na zona fundida, foram realizados ensaios de dureza e análise da microestrutura. Para esta análise foi utilizado um microscópio ótico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Aspecto visual dos Cordões de Solda

A Figura 1 apresenta o aspecto dos cordões de solda. Do lado direito de cada corpo de prova encontra-se o cordão sem fluxo, ou seja, soldagem TIG convencional e do lado esquerdo está a continuidade do cordão obtido com os diferentes tipos de fluxos.

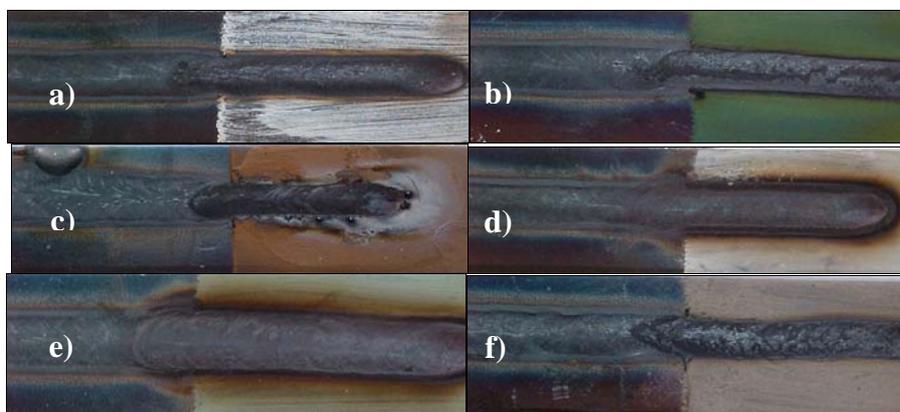


Figura 1. Aspecto visual dos cordões de solda. a) fluxo A ; b) fluxo B; c) fluxo C; d) fluxo D; e) fluxo E; f) fluxo F.

Observando os cordões com a aplicação do fluxo (Figura 1) em alguns corpos de prova é possível perceber que ocorre uma redução da largura, entretanto os corpos de prova D e E não permitiram esta análise visual. A contração na largura do cordão de solda, para todos os corpos de prova, pode ser confirmada através das medidas geométricas apresentadas na Tabela 2. Todos os cordões empregando fluxo ativo apresentaram aspecto oxidado, porém, os fluxos B, D e E apresentaram cordões mais lisos, uniformes e com aspecto menos oxidado do que os A, C e F, que além disso, apresentaram também irregularidades nos cordões e mordeduras. O fluxo C foi o que apresentou uma maior redução na largura do cordão de solda, porém, com pior aspecto superficial, apresentando, ainda, mordeduras e irregularidades.

3.2. Perfil dos Cordões de Solda

Foi realizado um corte na seção transversal dos corpos de prova para a avaliação das características geométricas do cordão de solda. Foram medidas a largura, a penetração e a área da zona fundida. Os resultados obtidos encontram-se listados na Tabela 2. Verifica-se que o fluxo C foi o que apresentou maior penetração, menor largura e maior área fundida. Os fluxos A (TiO₂), D e E não apresentaram ganhos em termos de penetração comparando-se com a soldagem sem fluxo, apesar de mudanças ocorridas na largura do cordão.

Tabela 2. Medidas geométricas.

Corpo de prova	Penetração(mm)	Largura (mm)	Área fundida (mm ²)
Sem fluxo	3,1	12,1	23,3
Fluxo A	3,1	9,1	19,3
Fluxo B	4,3	8,5	22,2
Fluxo C	4,7	7,7	28,8
Fluxo D	3,1	9,4	21,2
Fluxo E	2,8	10,3	21,0
Fluxo F	4,5	8,1	23,2

Com base em dados da literatura, principalmente para aços inoxidáveis austeníticos, esperavam-se maiores valores de penetração para a soldagem do aço inoxidável ferrítico com fluxo. Entretanto, todos os fluxos apresentaram uma diminuição da largura de forma significativa.

A Figura 2 mostra a seção transversal do cordão de solda sem a adição de fluxo e Figura 3 mostra a seção transversal dos cordões de solda com adição de fluxo. Comparando as Figuras 2 e 3 é possível ter uma visão geral do perfil do cordão de solda com a aplicação de cada tipo de fluxo.

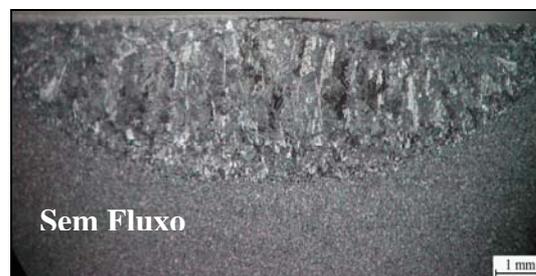


Figura 2. Perfil do cordão de solda do corpo de prova sem fluxo ativo.

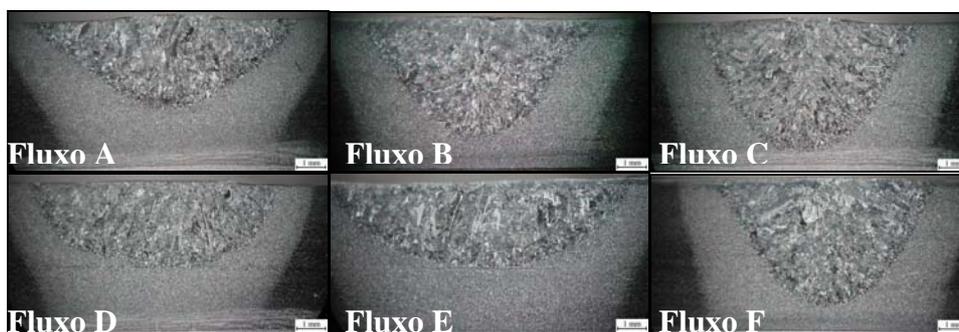


Figura 3. Perfil dos cordões de solda empregando os diferentes tipos de fluxo da Tabela 1.

Yushchenko et al.⁽¹⁰⁾ afirmam que além da composição do fluxo ativo, a corrente de soldagem e a composição química do material de base podem influenciar no aumento da penetração e no formato do cordão de solda. Acredita-se que o baixo desempenho principalmente do TiO₂ (Fluxo A) tenha uma relação com o tipo de material (aço inoxidável ferrítico) utilizado. Os valores de penetração obtidos com os fluxos B e C estão dentro da faixa esperada pelos fabricantes para a soldagem deste tipo de aço e com os parâmetros utilizados pela literatura^(11,12).

3.3. Metalografia na Zona Fundida

A Figura 4(a) mostra a microestrutura do material como recebido e a Figura 4(b) mostra a microestrutura da zona fundida após a soldagem TIG convencional. Analisando visualmente as microestruturas formadas (martensita e ferrita) percebe-se uma matriz martensítica com precipitação de ferrita de segunda fase. A Figura 5 mostra as microestruturas da zona fundida com a presença de fluxos durante a soldagem.

Balmfort e Lippold⁽¹³⁾ propuseram um diagrama específico para a região de ferrita e martensita, sendo particularmente útil para avaliar a microestrutura da zona fundida de aços inoxidáveis ferríticos e martensíticos. As fórmulas empíricas e o valor do cromo e níquel equivalente para esta análise são (Tabela 1):

$$Cr_{eq} = Cr + 2Mo + 10(Al + Ti) \quad (1)$$

$$Cr_{eq} = 11,35$$

$$Ni_{eq} = Ni + 35C + 20N \quad (4)$$

$$Ni_{eq} = 0,88$$

Com esses dados, através do Diagrama de Balmfort e Lippold⁽¹³⁾, a quantidade de ferrita na zona fundida do aço (processo TIG autógeno) é de aproximadamente 40% e o restante de 60% de martensita. Analisando visualmente as microestruturas formadas (martensita e ferrita) percebe-se uma matriz martensítica com precipitação de ferrita de segunda fase, o que a quantidade de ferrita ficou realmente em torno de 40% e o restante de martensita.

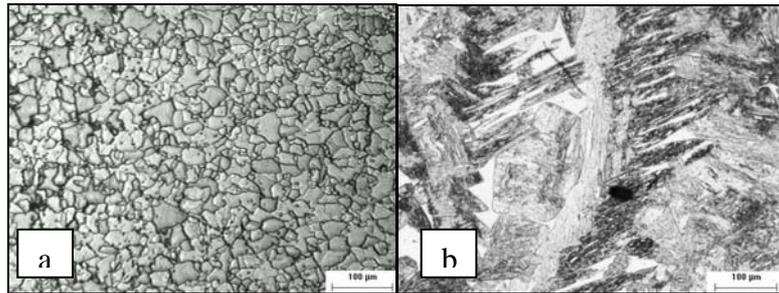


Figura 4 – Microestrutura da zona fundida do corpo de prova sem fluxo. (a) material como recebido; (b) zona fundida.

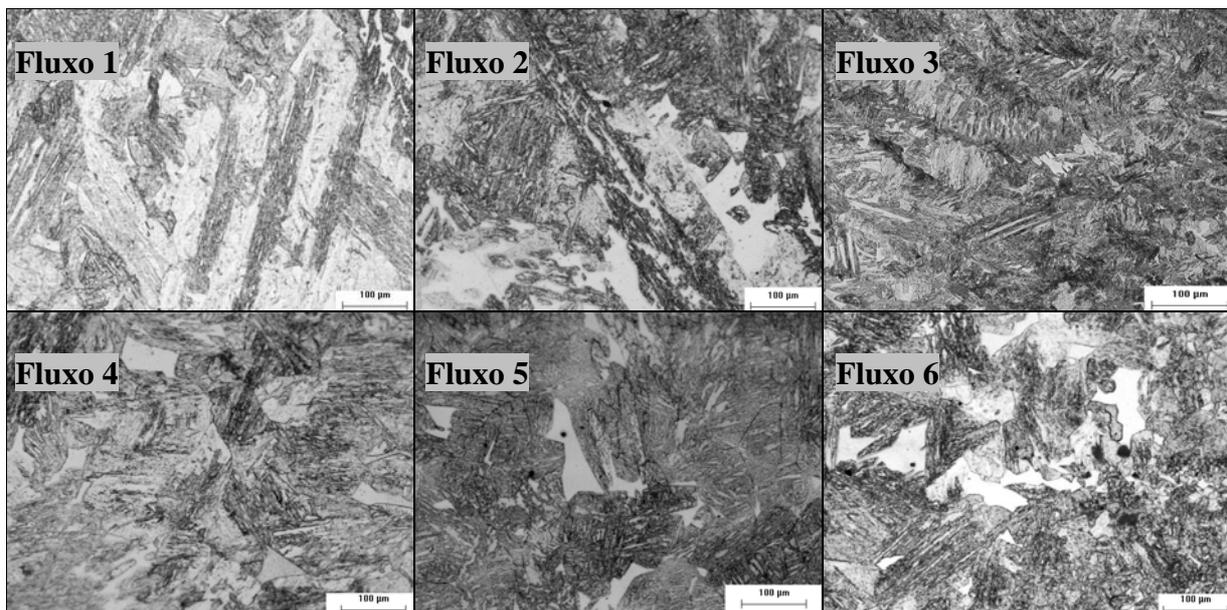


Figura 5 – Microestruturas dos cordões de solda na zona fundida de cada corpo de prova.

Aparentemente nem a adição e nem o tipo de fluxo influenciaram na microestrutura da zona fundida deste aço, analisado através da microscopia óptica. Através de dados do fabricante, este aço quando soldado sem metal de adição apropriado re-assume a sua estrutura bruta de fusão (ferrita e martensita).

3.4. Filmagem do arco voltaico

A filmagem foi realizada em sincronia com a aquisição de dados de tensão e corrente de soldagem. Foi feita uma média dos valores de tensão medidos no início e no fim de cada cordão. A Tabela 3 apresenta esses valores.

Tabela 3. Valores de tensão – média do início e fim do cordão.

Corpo de Prova	Tensão (V)		
	Início (sem fluxo)	Fim (com fluxo)	Diferença
Fluxo A	13,6	13,6	0,0
Fluxo B	13,9	14,2	0,3
Fluxo C	13,8	14,6	0,8
Fluxo D	14,2	14,5	0,3
Fluxo E	14,1	14,4	0,3
Fluxo F	14,2	14,6	0,4

Analisando os dados da Tabela 3, observa-se, exceto para o Fluxo A, uma variação de 0,3 até 0,8 V entre as tensões dos cordões sem e com fluxo ativo. Yushchenko et al ⁽¹⁰⁾ analisaram sete tipos diferentes de óxidos, empregando-os como fluxo ativo na soldagem ATIG do aço inoxidável austenítico 304H. Eles afirmaram que, dependendo do tipo de óxido empregado, ocorre uma variação da tensão de 0,2 a 1,5 V.

Para melhor visualizar o efeito dos tipos de fluxos sobre o formato do arco, mediu-se a largura e a altura da coluna do arco e da parte central, conforme indicado na Figura 6 (parte central e parte brilhante do arco). As medidas da parte central de cada arco filmado foram realizadas considerando-se a parte do arco em forma de elipse, sendo esta dividida em parte central (coloração azulada) e parte brilhante (coloração branca, no centro da azulada). Foi obtida uma média de três quadros das filmagens, com e sem fluxo. A Figura 7 apresenta o gráfico com a média das medidas de altura da parte central e da parte brilhante do arco (valor de H da Figura 6).

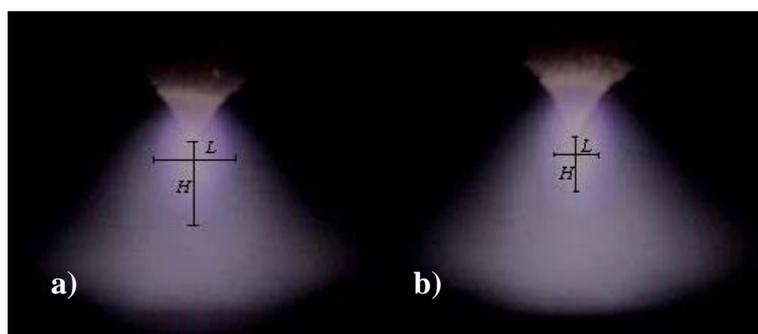


Figura 6. Pontos medidos na região central do arco. a) centro do arco; b) parte brilhante.

A altura da parte elíptica do arco manteve-se constante com a adição do fluxo, exceto para os fluxos C e E, nas medidas no centro do arco, e B, C e E para a parte brilhante.

A Figura 8 apresenta o gráfico com a média e o desvio das medidas de largura da parte central do arco.

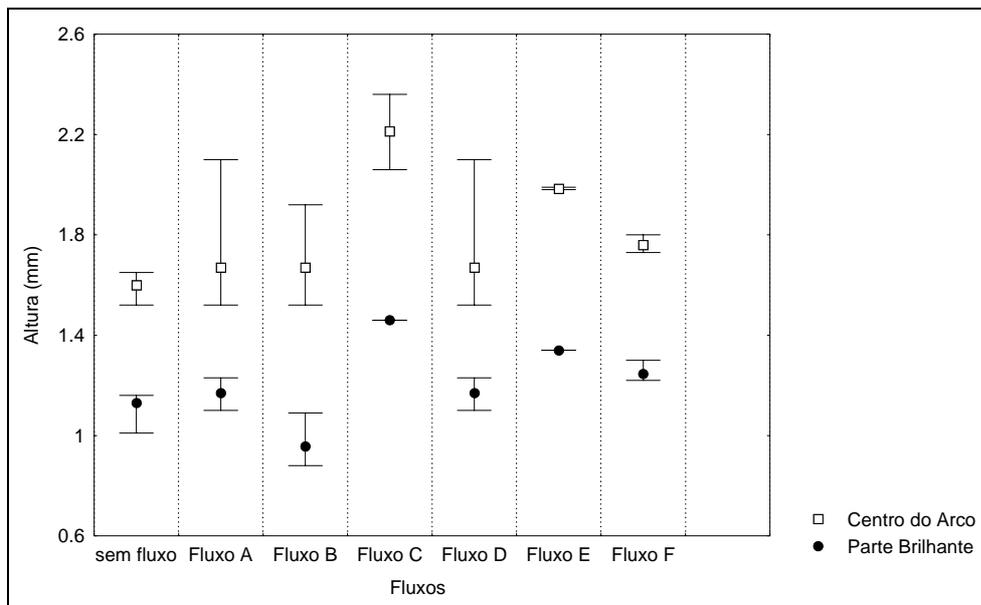


Figura 7. Médias e desvio das medidas da altura da região central do arco e da parte brilhante (valor de H da Figura 6)

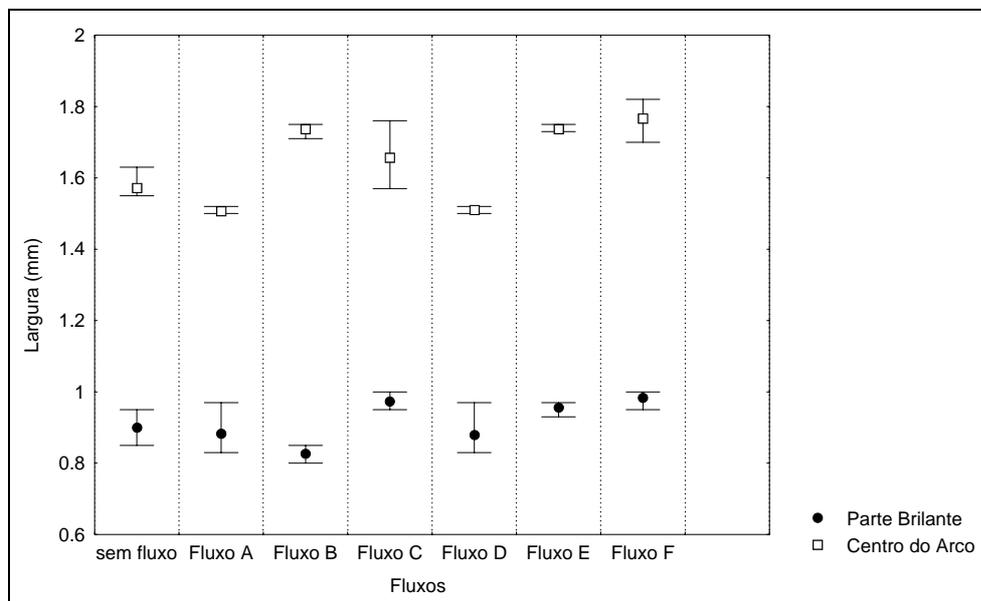


Figura 8. Média e desvio da medida da largura da região central do arco e da parte brilhante (Valor de L da Figura 6).

Através da Figura 8 percebe-se que os fluxos B, C, E e F apresentaram um aumento da largura da coluna do arco comparado com o corpo de prova sem fluxo, não sendo possível identificar uma redução da largura do arco através das medidas realizadas neste trabalho.

Dong e Katayama ⁽¹⁴⁾ através de filmagem com câmera CCD observaram uma contração da raiz do anodo, que eles identificam como a região brilhante central próxima da ponta do eletrodo. Provavelmente, a diferença entre os resultados aqui encontrados e aqueles obtidos por Dong e Katayama ⁽¹⁴⁾ podem estar relacionados às diferenças na forma de análise, nos parâmetros de soldagem e na filmagem.

Para a medida da coluna do arco mediram-se as larguras da base inferior e superior do cone formado, conforme indicado na Figura 9. Também se realizou uma média de cada medida pegando-se três quadros das filmagens, com e sem fluxo e montado um gráfico com os valores. O gráfico está representado na Figura 10.

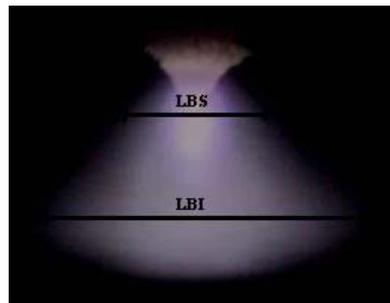


Figura 9. Pontos medidos na coluna do arco.

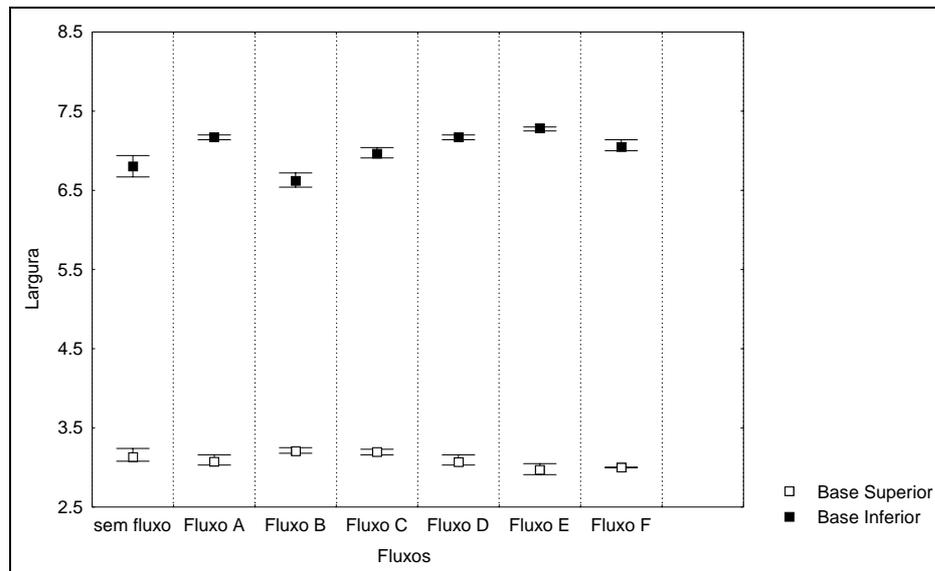


Figura 10. Média e desvio padrão das medidas da largura da coluna do arco.

As dimensões da coluna do arco também não apresentaram influências significativas devido ao tipo de fluxo ou de sua utilização. O fluxo C foi o que apresentou uma maior variação na altura, que é a medida entre a ponta do eletrodo e a região final da elipse.

4. CONCLUSÕES

De acordo com o que foi estudado neste trabalho, pode-se concluir que:

1. A utilização do fluxo permite modificações na geometria do cordão de solda, proporcionando uma redução na largura e, ao contrário do esperado, não causou um aumento significativo na penetração para todos os tipos de fluxos utilizados.
2. Para a análise em microscópio óptico, não foi possível observar modificações microestruturais na zona fundida com a utilização de fluxo ativo.
3. A metodologia aplicada para avaliar a geometria do arco não permitiu a observação de mudanças no perfil do arco elétrico.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o LAPROSOLDA/UFU e LABSOLDA/UFC pelo apoio laboratorial, a ACESITA e IFM pelo apoio financeiro e ao CNPq pela bolsa de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

1. MARYA, S. **Enhancing GTAW Performance Through Flux Coatings. Theoretical Background and Industrial Applications.** IIW Technical Meeting 2004, Osaka, Japan, 2004..

2. RICHETTI, A. **Análise e Modelagem Empírica do Processo de Soldagem a Plasma com “keyhole” em Aço Inoxidável.** 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2003.
3. LUCAS, W., HOWSE, D. **Activating Flux – Increasing the Performance and Productivity of the TIG and Plasma Processes.** *Welding & Metal Fabrication*, p.11-17, Jan. 1996.
4. PERRY, N., MARYA, S, and SOUTIF, E. **Study and development of flux enhanced GTA penetrations in a commercial grade titanium.** In: *Trends in Welding Research, Proceedings of The 5th International Conference, Pine Mountain, Georgia, USA*, p.520-525, jun.1998.
5. PASKELL, T., LUNDIN, C. & CASTNER, H. **GTAW flux increases weld joint penetration.** *Welding Journal*, v.76, n.4, p.57–62, 1997.
6. TANAKA et al, **effects of Activating Flux on Arc Phenomenain GTAW Welding.** In: *IW Asian Pacific Welding Congress, 2000, Melbourne, Austrália.* 26 out a 2 nov. 2000.
7. HEIPLE, C.R., Roper, J.R. **Mechanism for minor element effect on GTA fusion zone geometry.** *Welding Journal*, v. 61, n. 4, p.97s-102s, 1982.
8. KUNRATH, L. V. e al. **Efeito do Tipo de Fluxo na Geometria e Microestrutura da Solda de Aço Inox com o Processo ATIG.** In.: *III COBEF Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Joinville, SC, Anais do II COBEF*, 10p. 2005.
9. YUSHCHENKO, K. A. et al. **Comparative Analysis of A-TIG Welding.** In: *IW Technical Meeting 2004, Osaka, Japan, 2004.*
10. YUSHCHENKO, K. A. et al. **Investigation of Peculiarities of A-TIG welding of stainless steels.** In: *IW, 2003.*
11. YUSHCHENKO, K. A. et al. **Application of Activators for TIG Welding of Steels and Alloys.** *The Pantan Welding Journal*, 07/2001, p.37-43. 2001.
12. EWI. **Instructions for the Application of the SS7 Stainless Steel GTAW Flux.** V1-08/07/01, 2001.
13. BALMFORTH, M. C., LIPPOLD, J. C. **A new ferritic-martensitic stainless constitution diagram.** *Welding Journal*, n. (79) 12, p. 339s-345s. 2000.
14. DONG, C. e KATAYAMA, S. **Basic Understanding of A-TIG Welding Process.** In: *IW Technical Meeting 2004, Osaka, Japan, 2004.*

APPLICATION OF SOME TYPES OF ACTIVE FLUX IN GTAW OF A FERRITIC STAINLESS STEEL FERRÍTICO

Alessandra Gois Luciano de Azevedo

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, nº 2121, CEP 38400-902, Laboratório de Soldagem (Laprosolda). aglazevedo@mecanica.ufu.br

Valtair Antonio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, nº 2121, CEP 38400-902, Laboratório de Soldagem (Laprosolda). valtairf@mecanica.ufu.br

Jesualdo Pereira Farias

Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Soldagem (Engesolda), Fortaleza-CE. Cep: 60488-760. jpf@secrel.com.br

***Abstract.** The process of GTAW welding presents advantages on conventional process TIG that had the possibility of getting a bigger penetration of the weld lace using the same parameters of welding. Many studies show the influence of the active flux on the geometric characteristics of austenitic stainless steel, however little it is known on the influence of this process on the geometric and metallurgic characteristics of feritics stainless steel. In this work different types of flux in the*

ferritic stainless steel welding are applied with the objective to verify possible influences in the cross section of weld, in visual aspect, the microstructure and also in the format of the voltaic arc. The bead on plate welding had been carried through without addition metal. Six types of flux had been used, being an oxide elaborated in laboratory (TiO₂) and five commercial fluxes. The results had shown that the use of the flux allows an increase in the penetration with significant changes in the aspect of the weld. It was verified despite the microstructure of the studied steel and the type of used flux had not affected the format of the voltaic arc.

Keywords: *GTAW, active flux, geometric characteristics, microstructure, arc voltaic.*