

EFEITO DO TIPO DE FLUXO NA GEOMETRIA E MICROESTRUTURA DA SOLDA DE AÇO INOX COM O PROCESSO ATIG

Lucídio Vanderlei Kunrath

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Mecânica
lucidio@mail.ufsm.br

Aleir Antonio Fontana De Paris

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Mecânica
aparis@ct.ufsm.br

Resumo. A soldagem com o processo ATIG, desenvolvido recentemente, mostrou vantagens sobre o processo TIG convencional. A adição de fluxos nas peças e a passagem do arco elétrico provocam mudanças geométricas do cordão de solda, principalmente a penetração. Empregando fluxos comerciais de eletrodos revestidos, sobre chapa de aço inox AISI 304, e aplicando o arco elétrico TIG sem deposição de material, obteve-se diferenças na forma e morfologia do cordão de solda.
Palavras-chave: processo ATIG, aço inox, fluxos.

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem TIG, apesar das ótimas propriedades do cordão de solda, não apresenta penetração acentuada principalmente com passes simples em aços inoxidáveis e titânio. O aumento da penetração da solda por este processo foi sempre desejado.

Existem dois métodos principais para melhorar a penetração da solda empregando o processo TIG e conseqüentemente aumento na produção. Um deles seria mudar a composição química do metal a ser soldado, adicionando pequenas quantidades de elementos de liga tipo O, S, Se, e Bi^(1,2). O outro método é adicionar uma fina película de um fluxo ativo na superfície da peça antes da soldagem, diluído em álcool, acetona ou outro produto volátil. Após evaporação do fluido volátil a solda é feita de modo normal. Este processo foi inventado nos anos 60 pelos pesquisadores do Instituto Paton na Ucrânia⁽³⁾, inicialmente para soldagem de titânio.

A nomenclatura adotada para o processo, encontrada nas referências bibliográficas é ATIG⁽⁴⁾ (active flux TIG welding), HP-GTAW⁽⁴⁾ (high penetration gas tungsten arc welding) e FA-GTAW⁽⁵⁾ (flux assisted gas tungsten arc welding).

A composição química do fluxo desenvolvido pelos pesquisadores russos, não é de todo conhecida, sendo limitada as informações disponíveis⁽⁶⁾.

Alguns trabalhos encontrados na literatura sobre a influência do fluxo na soldagem TIG, são baseados no estudo de componentes ativos do tipo óxidos, fluoretos e cloretos, separadamente ou agrupados^(4,5,7,8,9).

Vários mecanismos explicando o aumento da penetração na soldagem com fluxo ativo, são encontrados na literatura^(10,11,12). A importância relativa de cada mecanismo é função da composição química do fluxo e do metal de base bem como os parâmetros do processo.

As teorias mais representativas são constrição do arco^(6,10,11) e as correntes de convecção de Marangoni na poça de solda^(5,7). Entretanto, ainda existem controvérsias no mecanismo do processo ATIG.

A constrição do arco seria em função da redistribuição da densidade de corrente pela vaporização do fluxo o que afetaria a passagem de calor do arco, força eletromagnética induzida

de Lorentz, pressão na poça de soldagem e desta forma o transporte de massa e calor^(10,11). Esta constrição cria soldas com grande relação entre profundidade e largura do cordão. Por exemplo, os cloretos são compostos iônicos e semicondutores. Sua condutividade elétrica, baixa com relação aos metais, indica que o arco elétrico torna-se difícil de abrir se eles forem usados como fluxo, resultando na constrição do arco⁽⁵⁾.

Por causa da interação química do fluxo com o metal fundido, ocorre uma modificação do coeficiente de temperatura na tensão superficial ($\partial\gamma/\partial T$) ocasionando uma mudança de sentido na convecção de Marangoni. A Figura 1 mostra de forma esquemática o fluxo do metal no interior da poça de solda⁽¹³⁾.

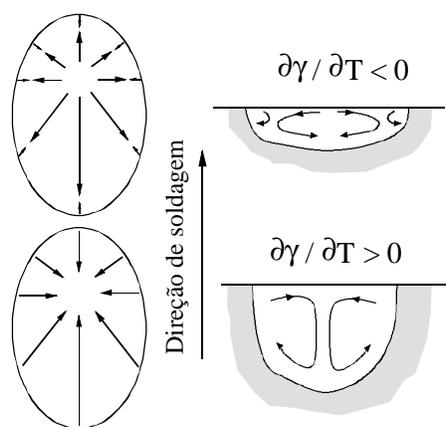


Figura 1. Movimento do metal líquido na poça de solda.

Por exemplo, o enxofre pode aumentar a tensão superficial do líquido sob condições de aumento de temperatura, tornando o gradiente de temperatura positivo. Por causa do perfil de temperatura sobre a poça de solda, a tensão superficial normalmente empurra o líquido para a fase sólida, onde a temperatura e tensão superficial são respectivamente menores e maiores. Com quantidades mínimas de S nas ligas ferrosas^(1,2,14,15,16), uma reversão do fluxo líquido ocorre quando a tensão superficial torna-se maior na região mais quente. O líquido flui então para a linha central da solda, diminuindo a extração de calor lateral e formando uma solda estreita e profunda.

Portanto, como os componentes do fluxo são distribuídos irregularmente sobre a peça, a composição pode ajudar a tensão superficial participar na circulação de metal na poça de solda.

O objetivo deste trabalho é estudar algumas composições de fluxos comerciais empregados em eletrodos revestidos na soldagem de aço inoxidável, verificando sua atuação na geometria do cordão e na microestrutura da solda.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O aço utilizado para os experimentos foi o inoxidável austenítico AISI 304 de uso corrente em vários segmentos industriais, sob a forma de chapas, cortadas nas dimensões 4 x 50 x 150 mm. A soldagem foi efetuada de forma mecanizada para manter a velocidade constante. Os parâmetros de soldagem foram: intensidade de corrente 250 A, tensão do arco 16 V, velocidade de soldagem 6 mm/s. O eletrodo utilizado foi tungstênio com 2% de tório classificação AWS Th2%, diâmetro 2,4 mm, extensão fora do bocal 3 mm, e comprimento do arco 2 mm. Como gás de proteção utilizou-se argônio de pureza comercial com vazão 10 l/min. A soldagem foi do tipo “bead-on-plate” sem material de deposição.

As amostras para o ensaio foram preparadas depositando o fluxo dissolvido em álcool etílico, ao longo da linha de fusão. Os fluxos empregados sob a forma de pó seguiram a composição química empregada industrialmente por um fabricante de eletrodo, rutílico, básico e celulósico. As nomenclaturas das amostras são: CP1 – com fluxo de revestimento rutílico de eletrodo AWS E-

6013, CP2 – fluxo de eletrodo celulósico E-6010, CP3 – fluxo de eletrodo básico E-7018 e CP4 – arco convencional sem fluxo. Por razões de sigilo não serão mencionadas no trabalho as composições químicas dos elementos que compõe o fluxo. Todas as soldas foram efetuadas com os mesmos parâmetros.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra o aspecto superficial dos cordões de solda obtidos. Os cordões foram analisados na lupa estereoscópica. Na amostra CP1/6013 o cordão de solda apresenta alguns salpicos de metal, mas o aspecto visual é bom. Normalmente quando a solda é feita com eletrodos revestidos rútilicos, a forma e característica visual do cordão são melhores do que mostrada na Figura 2. Na amostra CP2/6010, a característica do cordão de solda é típica daqueles efetuados com eletrodos revestidos celulósicos, apresentando uma superfície irregular. Para o corpo de prova CP3/7018 o aspecto visual do cordão é bom. Finalmente o CP4 representa um cordão de solda efetuado com o processo TIG sem adição de fluxo.

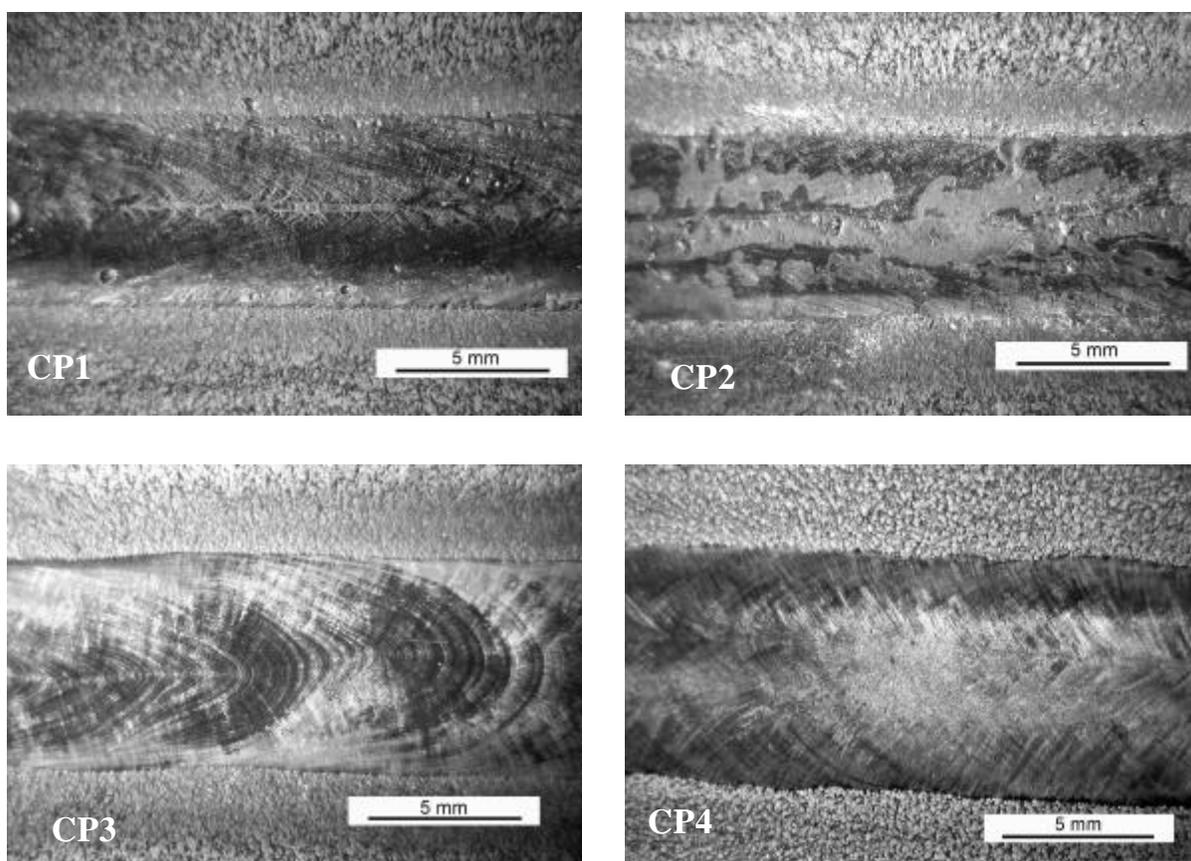


Figura 2. Aspecto visual da superfície dos cordões de solda obtidos com fluxo rútilico CP1, celulósico CP2, fluxo básico CP3, e convencional CP4.

A Figura 3 mostra a seção transversal dos cordões de solda em função do tipo de fluxo utilizado. Como pode ser visto pela figura, a penetração variou para cada tipo de fluxo. Os resultados, confirmam o que já é conhecido para eletrodos revestidos, a maior penetração é com os do tipo celulósico. O cordão CP2 para os parâmetros empregados, penetra toda a espessura da chapa, como mostrado na figura, apresentando uma penetração maior que 100% do cordão convencional. Entre os cordões CP3, fluxo básico, e o sem assistência de fluxo, não houve uma variação muito grande

entre ambos, tanto na penetração como na largura do cordão. A amostra CP1 apresentou uma trinca iniciando no cordão e propagando-se até o metal de base.

A Figura 4 mostra o reverso do corpo de prova CP2, mostrando a penetração total da solda.

Outro fator a considerar na soldagem ATIG com revestimentos de eletrodos, é a estabilidade e suavidade do arco elétrico, principalmente quando se emprega o tipo rutilico.

Na composição de um revestimento celulósico, composto de quantidades significantes de TiO_2 , SiO_2 além de materiais celulósicos, a penetração seria consequência destes elementos e também pela geração de H_2 o que aumentaria o poder calorífico do arco. A princípio estes resultados confirmam o trabalho de Modenesi et al⁽⁸⁾, que encontraram um aumento na penetração para os dois tipos de óxidos citados acima, aplicados individualmente.

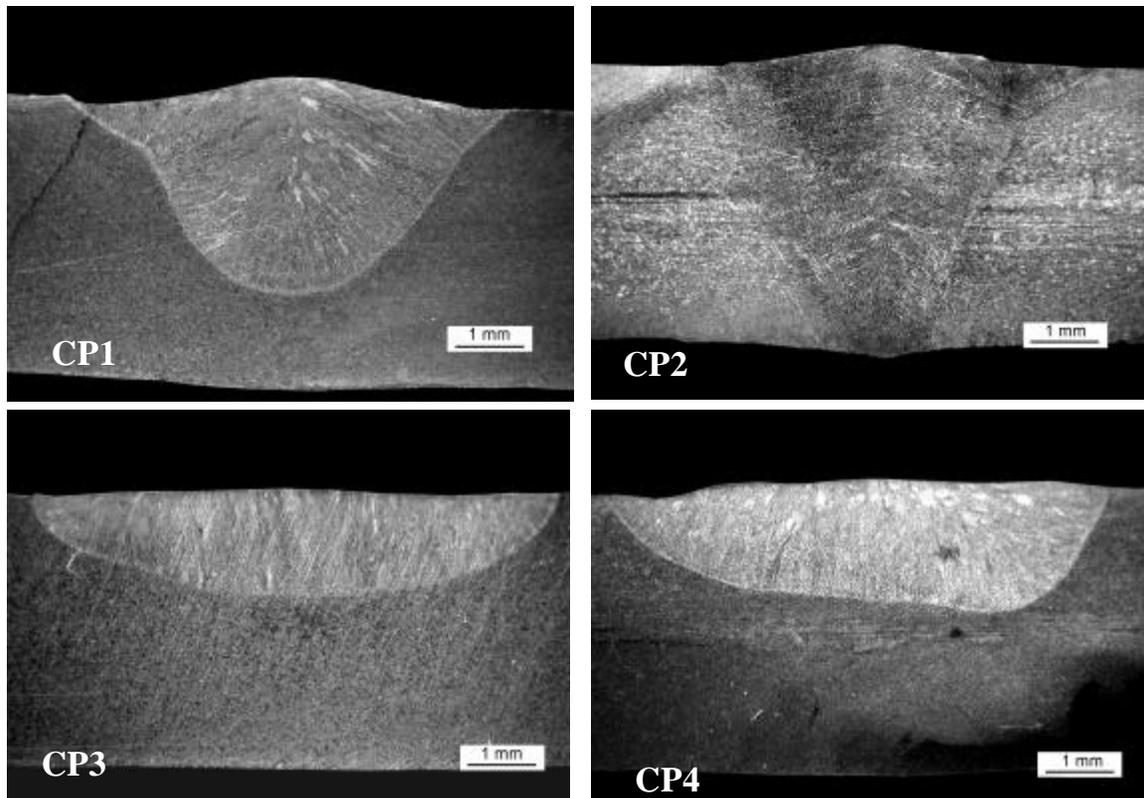


Figura 3. Seção transversal dos cordões de solda mostrando a penetração em função do fluxo rutilico CP1, fluxo celulósico CP2, fluxo básico CP3, e sem adição de fluxo CP4.

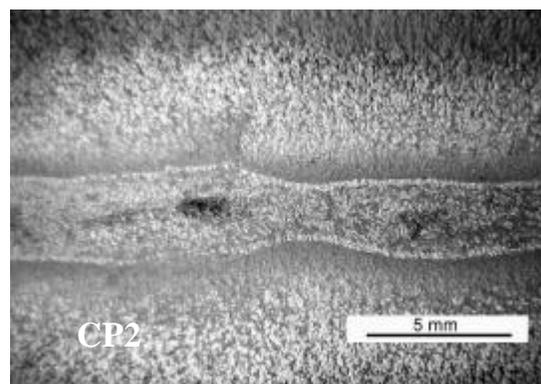


Figura 4. Raiz do cordão de solda efetuado com proteção de fluxo celulósico.

A Figura 5 mostra a estrutura do metal de base do aço austenítico AISI 304. Após a soldagem, a microestrutura é modificada pela fusão e solidificação do cordão. A influência do fluxo na microestrutura da solda é mostrada na Figura 6. Aparentemente o fluxo influenciou na microestrutura do cordão de solda. Soldas efetuadas com o fluxo celulósico CP2 apresentaram a microestrutura mais fina com relação a soldagem sem fluxo, CP4, e a soldagem com os fluxos rútilicos e básicos, CP1 e CP3. De um modo geral, as microestruturas das soldas com fluxo tiveram uma pequena diferença no cordão apresentando grãos de solidificação menores com relação a amostra soldada sem fluxo. Este resultado são coerentes com os obtidos por Ames et al⁽⁴⁾ que não encontraram mudanças microestruturais sensíveis.

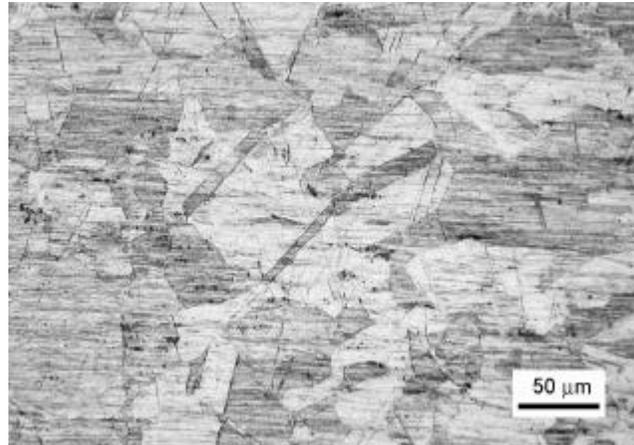


Figura 5. Microestrutura do metal de base, aço austenítico AISI 304.

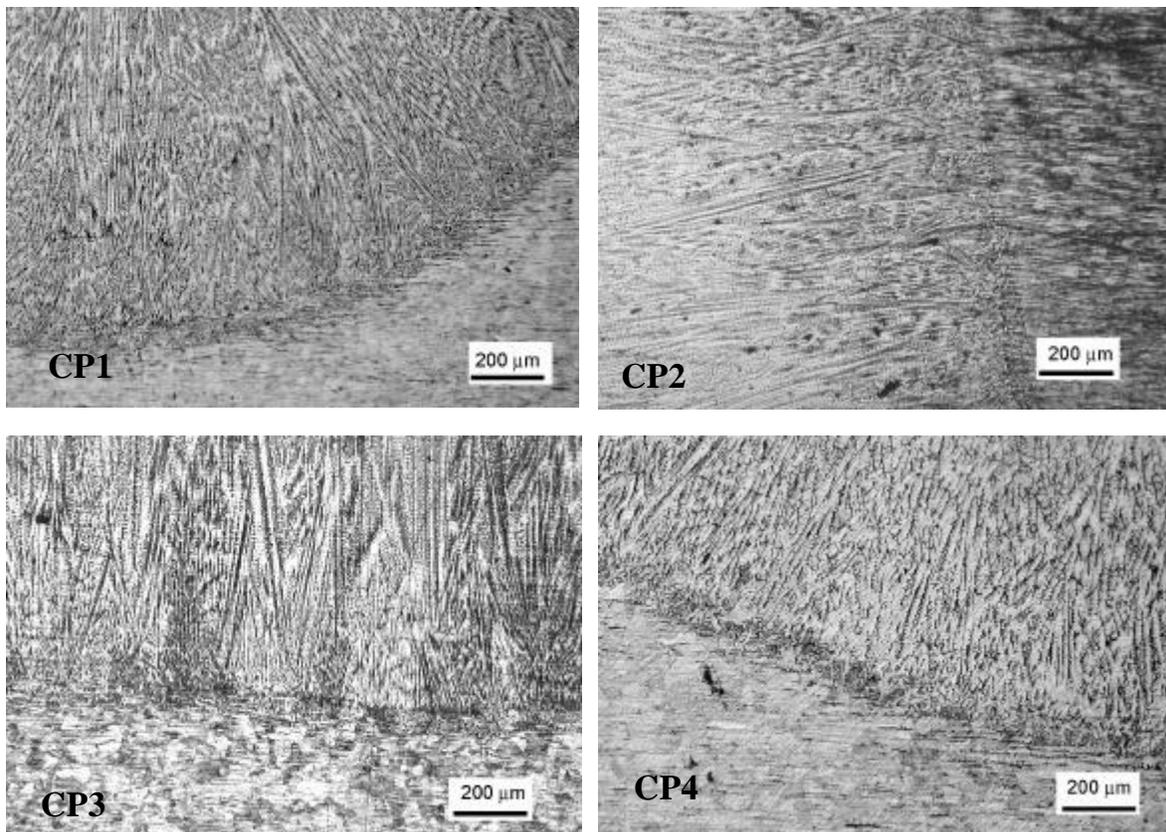


Figura 6. Microestrutura dos cordões de solda na interface com a zona fundida.

A Figura 7 mostra a microestrutura da zona de fusão para soldagem convencional e com a adição de fluxos dos revestimentos, mostrando a diferença na estrutura de solidificação obtida.

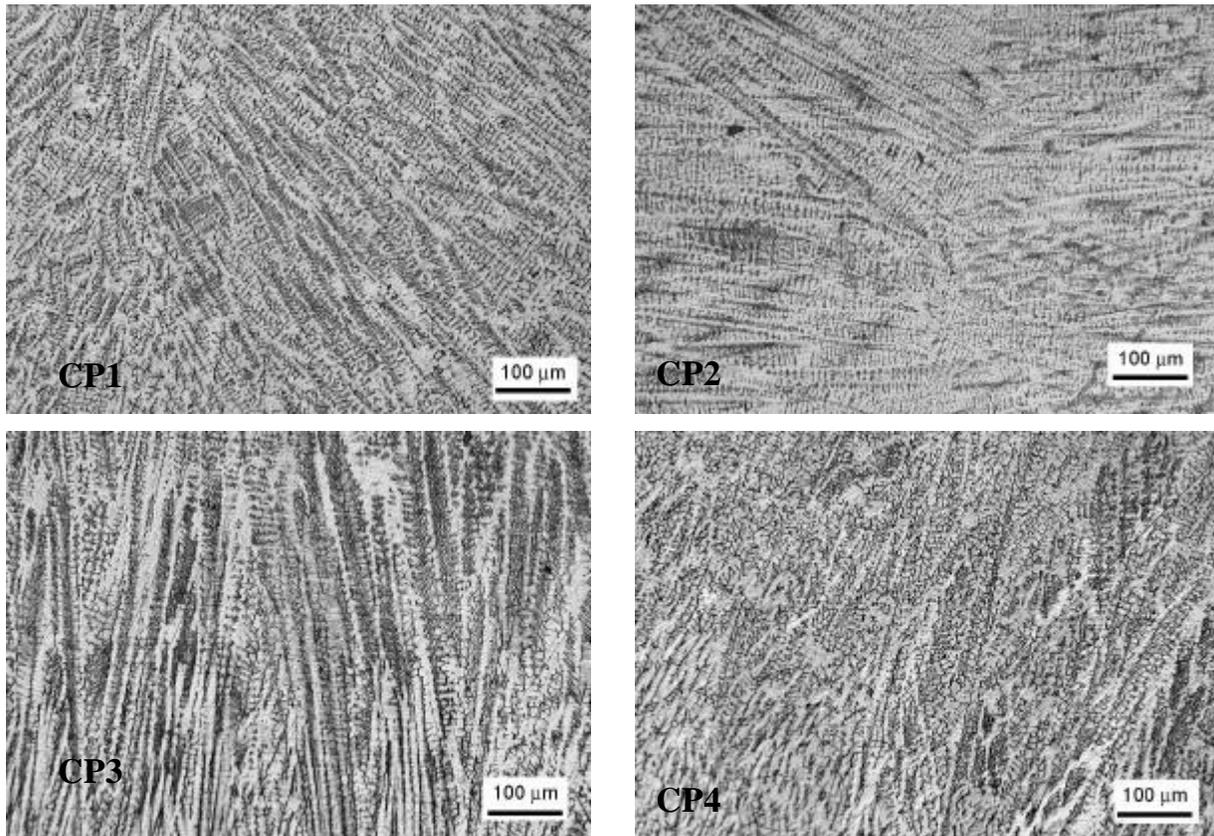


Figura 7. Microestrutura da zona fundida.

4. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos neste trabalho, verificou-se que os fluxos comerciais normalmente compostos de óxidos, cloretos e fluoretos, interferem na penetração do cordão de solda para os mesmos parâmetros de soldagem utilizados. Apesar de várias pesquisas sobre a influência de elementos isolados tipo TiO_2 , SiO_2 , CaCO_3 , CaF_2 , CaCl_2 , LiCl , ou em combinações de 2 ou 3 fluxos na soldagem ATIG, o emprego de fluxos que compõe o revestimento dos eletrodos manuais, com as formulações efetuadas pelos fabricantes, podem funcionar de forma eficaz para aumentar a penetração das soldas. Desta forma, caso se faça necessário o uso do processo de soldagem TIG com alta penetração, bastaria à aquisição de fluxos de revestimentos de eletrodos comerciais fabricados pelas indústrias de consumíveis de soldagem.

Com relação a influência sobre a microestrutura obtida, estudos complementares seriam interessantes para verificar se a diferença se mantém para outros parâmetros de soldagem.

5. REFERÊNCIAS

- (1) HEIPLE, C.R. ; ROPER, J.R. Mechanism for minor element effect on GTA fusion zone geometry. **Welding Journal**, v. 61, n. 4, 1982, p.97s-102s.

- (2) HEIPLE, C.R. Surface Active Element Effect on the Shape of GTA, Laser, and Electron Beam Welds, **Welding Journal**, v. 62, n. 3, 1983, p.72s-77s.
- (3) GUREVICH, S.M. ; ZAMKOV, V.N. Welding titanium with a no consumable electrode using fluxes. **Avtomaticheskaya Svarka**, n. 12, 1966, p. 13-16.
- (4) AMES, N.D. et al. Effect of GTAW on the microstructure and properties of austenitic, super austenitic and super duplex stainless steel welds. **In. Proceedings of the International Conference: Trends in Welding Research**, 2002, p. 29-34.
- (5) MARYA, M. ; EDWARDS, G.R. Chloride contribution in flux-assisted GTA welding of magnesium alloys. **Welding Journal**, v. 81, n. 12, 2002, p. 291s-298s.
- (6) PASKELL, T. et al. GTAW flux increases weld joint penetrations. **Welding Journal**, v. 76, n. 4, 1997, p. 57-62.
- (7) LU, S. et al. Mechanism and optimization of oxide fluxes for deep penetration in gas tungsten arc welding. **Metallurgical and Materials Transactions A**, v. 34A, n. 9, 2003, p. 1901-1907.
- (8) MODENESI et al. Estudo da soldagem ATIG com fluxos em aços inoxidáveis. **In XXV Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, Belo Horizonte – MG**, 8-10 de setembro de 1999.
- (9) PERRY, N. **Études et développement des flux solides en vue d'application en soudage ATIG appliqué au titane e ses alliages ansi qu'aux aciers inoxydables**. Thèse de Doctorat, École Centrale de Nantes, 15 juin 2000, 243 p.
- (10) LUCAS, W. ; HOWSE, D. Activating flux-increasing the performance and productivity of the TIG and plasma processes. **Welding & Metal Fabrication**, n. 1, 1996, p. 11-17.
- (11) ANDERSON, P.C.J. ; WIKTOROWICZ, R. Improving productivity with ATIG welding. **Welding & Metal Fabrication**, n. 3, 1996, p. 108-109.
- (12) PATON, B.E. et al. *Le Soudage A-TIG du Titane et de ses Alliages*. **Soudage et Techniques Connexes**, Novembre-Décembre 1998, p.23-26.
- (13) WOODS, R.A. ; MILNER, D.R. Motion in the weld pool in arc welding. **Welding Journal**, v. 50, n. 4, 1971, p. 163s-173s.
- (14) BINARD, J. ; CHABENAT, A. étude expérimentale des paramètres influençant le bain de fusion. **Soudage et Techniques Connexes**, Janvier - Février, 1985, p.20-35.
- (15) BURGARDT, P. ; HEIPLE, C.R. Interaction between Impurities and **Welding** Variables in Determining GTA Weld Shape. **Welding Journal**, v. , n. 6, 1986, p.150s-155s.
- (16) PIERCE et al. Thermocapillarity and arc plasma in stainless steel welding. **Welding Journal**, v. 78, n. 2, p. 45s-52s.

EFFECT OF THE FLUXES TYPES IN THE GEOMETRY AND MICROSTRUCTURE OF STAINLESS STEEL WELDS WITH THE ATIG PROCESS

Lucídio Vanderlei Kunrath

Federal University of Santa Maria, Department of Mechanical Engineering
lucidio@mail.ufsm.br

Aleir Antonio Fontana De Paris

Federal University of Santa Maria, Department of Mechanical Engineering
aparis@ct.ufsm.br

***Abstract.** The welding with the ATIG process recently developed showed advantages on the conventional TIG welding process . The addition of fluxes in the piece surfaces and the passage of an arc electric promotes geometric changes of the bead welds, mainly the penetration. Using trades fluxes of coated electrodes, on sheet of stainless steel AISI 304, and application of TIG electric arc without material deposition was obtained differences in the geometry and morphology of the bead welds.*

***Keywords:** ATIG process, stainless steel, fluxes.*