

EFEITOS DO PROCESSO DE SOLDAGEM A-TIG EM AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS

Antonio Ribeiro Paiva Filho (IFPI) E-mail: antonioribeiro.1996@hotmail.com

José Francisco dos Reis Sobrinho (IFPI) E-mail: reissobrinho@ifpi.edu.br

RESUMO: No processo de soldagem TIG o arco elétrico se estabelece entre um eletrodo de tungstênio não consumível e o material a ser soldado. Nesse processo se tem um alta qualidade de solda, pode ser utilizado para soldar quase todos os tipos de metais e tem uma fonte de calor concentrada reduzindo a zona termicamente afetada (ZTA). Uma das grandes vantagens desse processo é a baixa taxa de penetração em um único passe e uma taxa de deposição menor se comparada ao eletrodo revestido, por exemplo. Um dos mecanismos para superar o problema de baixa penetração é a utilização de fluxos ativos, que são elementos químicos formados por óxidos e haletos e, que são distribuídos sobre a superfície do metal anteriormente ao processo de soldagem, em alguns casos, podem aumentá-la em mais de 200%, além de ser relatado por alguns autores, em aços inoxidáveis austeníticos, aumento do teor de ferrita, melhoras nas propriedades mecânicas, reduções na formação de trincas de solidificação e distorções angulares com a adição desses elementos. Quando utiliza-se os fluxos ativos a soldagem passa a denominar-se A-TIG.

Palavras chave: fluxos ativos, aumento de penetração, melhoras nas propriedades mecânicas, redução de trincas de solidificação e distorções.

Review of the effects of the A-TIG welding process on austenitic stainless steels

ABSTRACT: In the TIG welding process, the electric arc is established between a non-consumable tungsten electrode and the material to be welded. In this process it has a high quality of welding, can be used to weld almost all types of metals and has a concentrated heat source reducing the Heat-Affected Zone (HAZ). One of the major disadvantages of this process is the low penetration rate in a single pass and a lower deposition rate compared to a coated electrode, for example. One of the mechanisms to overcome the problem of low penetration is the use of active fluxes, which are chemical elements formed by oxides and halides and are distributed over the metal surface prior to the welding process, that in some cases, can increase it by more than 200%, in addition to being reported by some authors, in stainless steels, an increase in ferrite content, improvements in mechanical properties, reduction in the formation of hot cracking and angular distortions with the addition of these elements. When using active fluxes, welding is called A-TIG.

Keywords: active fluxes, increased penetration, improvements in mechanical properties, reduction of hot cracking and distortions.

1.Introdução

A soldagem TIG é um processo que funde e une metais aquecendo-os com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de tungstênio não consumível e a peça a ser soldada (KOU,2003). Nesse processo de soldagem usa-se geralmente como gás de proteção o hélio e/ou argônio. A soldagem TIG é utilizada quando uma alta qualidade e precisão são necessárias, além do mais, esse processo é preferível aos com eletrodos revestidos e MIG, devido ao seu baixo aporte térmico (AHMADI e EBRAHIMI, 2015). De acordo com Kou (2003) o alto aporte térmico (heat input) pode causar problemas como enfraquecimentos e distorções. Em aços austeníticos, por exemplo, o baixo aporte térmico (Heat Input) ajuda a superar os problemas de sensitivação, solucionando assim o problema de corrosão intergranular e fragilização de corrosão sob tensão (AHMADI e EBRAHIMI, 2015). Uma das grandes vantagens do processo TIG é baixa espessura do material que pode ser soldada em um único passe, baixa produtividade e tolerância a alguma composição do material (SHYU et al.,2008). Atualmente, a soldagem TIG é o processo de fabricação mais popular e seu uso se espalhou para uma variedade de metais como aços inoxidáveis, aços doce e aços de alta resistência, ligas de

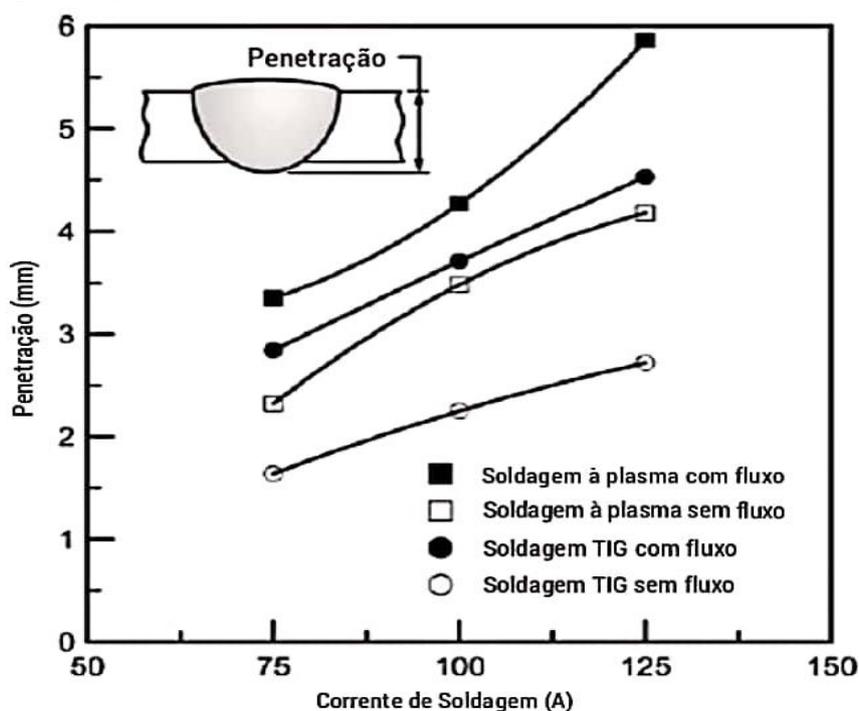
alumínio, ligas de titânio e metais não ferrosos, uma vez que é versátil e gera uma solda de boa qualidade (KUMAR e SHANMUGAM, 2018).

Para contornar o problema de baixa penetração no processo TIG, podem ser utilizados os fluxos ativos (processo A-TIG) que são elementos químicos, que são adicionados a superfície do material, previamente ao processo de soldagem, e que aumentam significativamente a penetração no material soldado, ocasionado por reações físico-químicas tanto na poça de fusão quanto no arco elétrico. A principal diferença entre o processo TIG e A-TIG está relacionada justamente a adição dos fluxos ativos.

O objetivo deste trabalho é fazer uma revisão sobre o processo A-TIG em aços inoxidáveis austeníticos, assim como, as diversas alterações causadas nesse processo como aumento de penetração, mudanças microestruturais e nas propriedades mecânicas, além de, reduções nas distorções angulares e na formação de trincas de solidificação.

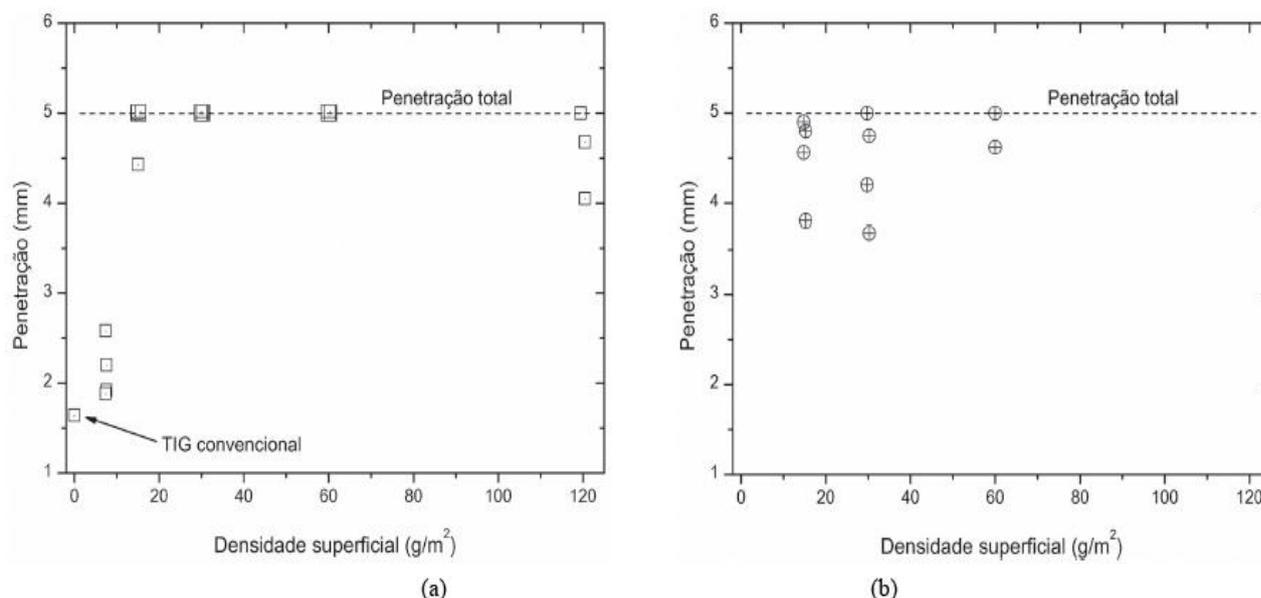
2. Processo A-TIG

Uma ótima opção para superar a baixa produtividade do processo TIG é a utilização dos fluxos ativos, que são elementos formados por óxidos e haletos que comumente são misturados com acetona ou elementos semelhantes para formar uma pasta e logo após distribuí-la como uma camada fina sobre a área a ser soldada (KOU,2003). Esses elementos podem aumentar penetração e diminuir a largura do cordão de solda. Quando utiliza-se os fluxos ativos o processo passa a se denominar A-TIG. Os ingredientes usados na elaboração desses elementos são parecidos com os utilizados para produzir fluxos para os processos de soldagem com eletrodos revestidos ou arco submerso (MODENESI et al.,2013). Huang (2010) utilizando como fluxo uma mistura de TiO_2 (30%), SiO_2 (25%), Cr_2O_3 (25 %) e MoO_3 (20%) nas soldagens (TIG e PAW) de um aço austenítico AISI 304, encontrou os aumentos de penetração e da área, como pode ser visto na figura 1. Modenesi et al. (2013) utilizando os fluxos ativos Cr_2O_3 , Cr_2O_3 e $KClO_4$, Cr_2O_3 e Al_2O_3 e, variando suas densidades superficiais (g/m^2) encontraram os resultados evidenciados na figura 2. Como se pode ver, a penetração aumentou significativamente de aproximadamente 1,5 mm (sem fluxos) para aproximadamente 5 mm (para densidades de fluxo em torno de 20 g/cm^2 a 100 g/cm^2) o que indica um aumento substancial da penetração, acima de 200% .



Fonte: Huang (2010).

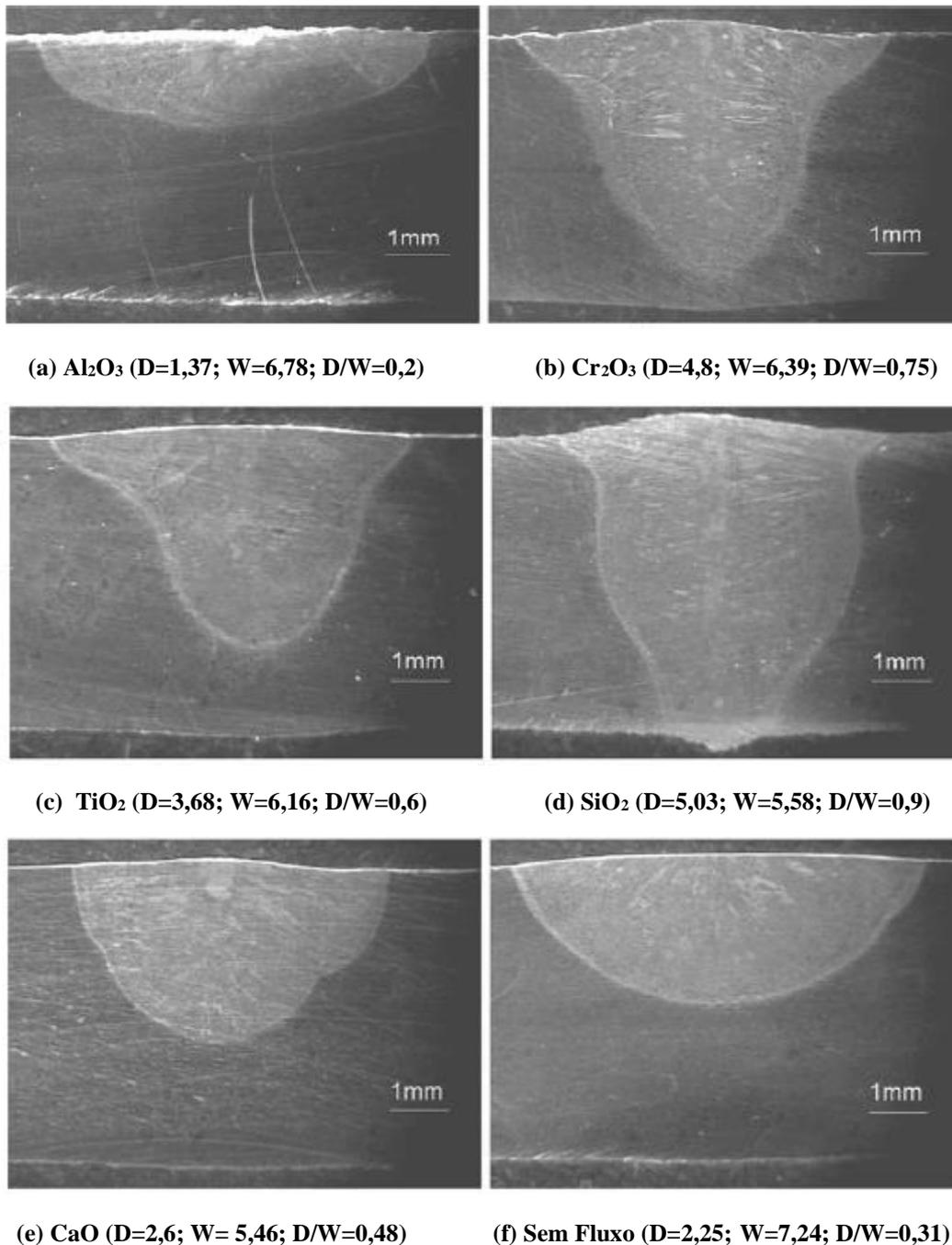
Figura 1- Variação da penetração com a adição dos fluxos e variação corrente.



Fonte: Modenesi et al. (2013).

Figura 2- Variação da penetração do cordão em função da densidade superficial dos fluxos de (a) Cr₂O₃ e de (b) Cr₂O₃ + KClO₄. A densidade nula corresponde à soldagem TIG convencional.

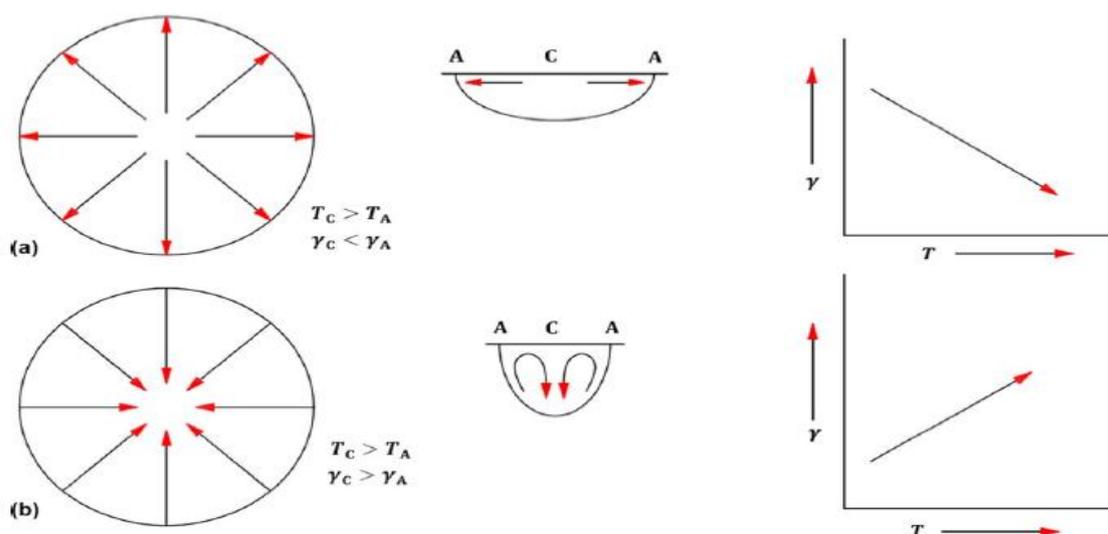
Shyu et al. (2008) na soldagem de um aço inoxidável austenítico AISI 304, utilizando 5 tipos de fluxos ativos (Al₂O₃, CaO, TiO₂, Cr₂O₃, SiO₂), encontraram os resultados mostrados na figura 3, onde D e W são, respectivamente, a profundidade e largura do cordão de solda e, D/W é a razão entre essas grandezas. Foi observado o aumento de profundidade e a redução da largura na maioria dos fluxos utilizados em comparação com a amostra que não foi utilizada esse elemento, com destaque para o SiO₂ com uma profundidade D de 5,03 mm e com um aumento acima de 100% em relação a solda sem fluxo ativo (D=2,25 mm). De fato, de acordo com Ahmadi e Ebrahimi (2015) conforme citado por Modenesi e colaboradores, o silício reduz a viscosidade na poça de fusão, aumentando a velocidade do fluxo de metal líquido no sentido descendente dessa região e, como consequência, a penetração. Percebeu-se também que o fluxo Al₂O₃ não causou aumento de penetração, e não foi capaz de causar redução da mancha anódica e constrição do arco elétrico (SHYU et al, 2008). Sambherao (2013) utilizando um aço austenítico 316L e os fluxos TiO₂, Fe₂O₃ e Al₂O₃ encontrou uma penetração com a alumina (Al₂O₃) semelhante com a soldagem TIG sem adição de fluxos. A justificativa do autor para esse resultado é que esse composto não se dissocia facilmente, sendo incapaz de fornecer oxigênio para causar alterações na tensão superficial na poça de fusão, resultando assim em um cordão solda largo e raso. Modenesi et al (2013) também perceberam que quando a alumina (Al₂O₃) foi misturada ao fluxo de Cr₂O₃ reduziu-se a capacidade de penetração, de acordo com esses autores, esse resultado seria causado por um efeito de diluição do fluxo. De fato, segundo a AWS (2011) existem certos elementos como o alumínio e o cálcio que se ligam com os compostos tensoativos, que geram aumento de penetração, cancelando os seus efeitos e gerando soldas largas e rasas.



Fonte: Shyu et al. (2008).

Figura 3-Efeitos dos fluxos na morfologia do cordão de solda .

De acordo com Ahmadi e Ebrahimi (2015) existem quatro mecanismos que justificam o aumento de penetração quando se utiliza os fluxos. O primeiro mecanismo foi proposto por Savitskii e Leskov em 1980, aborda que os fluxos possuem compostos surfactantes que reduzem a tensão superficial na poça de fusão promovendo a formação de uma pequena cavidade com a pressão do arco (AHMADI E EBRAHIMI ,2015).

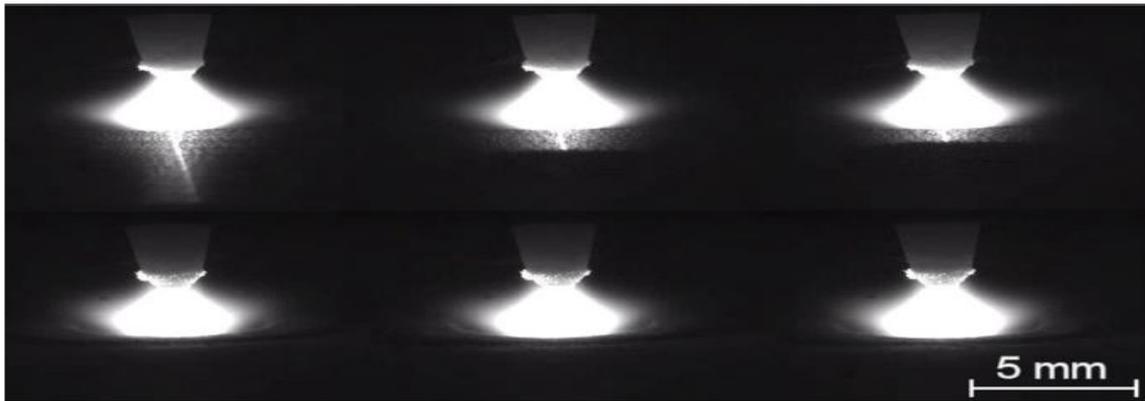


Fonte: Kumar e Shanmugan (2018).

Figura 4-Efeito Marangoni .

Um segundo mecanismo proposto por Heipler e Hopler em 1982 é baseada no efeito Marangoni (fig.4). Quando não se utiliza fluxos ativos a tensão superficial γ diminui com a temperatura T ($d\gamma/dT < 0$) (fig 4.a), como as temperaturas nas regiões centrais do arco são maiores de que nas suas periferias a tensão superficial se torna menor nas regiões centrais da poça de fusão, e como fluxo de metal líquido vai de uma região de menor tensão superficial para uma de maior, tende-se a se formar um cordão largo e raso. Quando se adiciona os fluxos ativos a situação se inverte e a tensão superficial aumenta com a temperatura ($d\gamma/dT > 0$) (fig.4b) e como consequência o fluxo de metal líquido na poça de fusão vai das periferias para as regiões centrais e tende a se concentrar no fundo da poça de fusão, gerando ganhos de profundidade (KUMAR e SHANMUGAM, 2018). De acordo com Lu, Fujii e Nogi (2008) esse mecanismo ocorre quando a concentração desses elementos tensoativo na poça de fusão excede um valor crítico. Segundo Kumar e Shanmugan (2018) as concentrações de elementos ativos na superfície, como oxigênio e enxofre, podem ser usadas para controlar as forças termocapilares. Quando a concentração desses elementos excede um volume específico (cerca de 50 ppm) ou mais, o coeficiente de temperatura da tensão superficial muda de negativo para positivo. Li et al (2017) utilizando fluxos B_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , e MgO , justificam que o oxigênio liberado na decomposição dos fluxos ativos é o fator dominante na mudança no coeficiente de tensão superficial de negativo para positivo, no entanto, eles consideram que o oxigênio em grandes ou pequenas quantidades tem pouco efeito na mudança desse coeficiente.

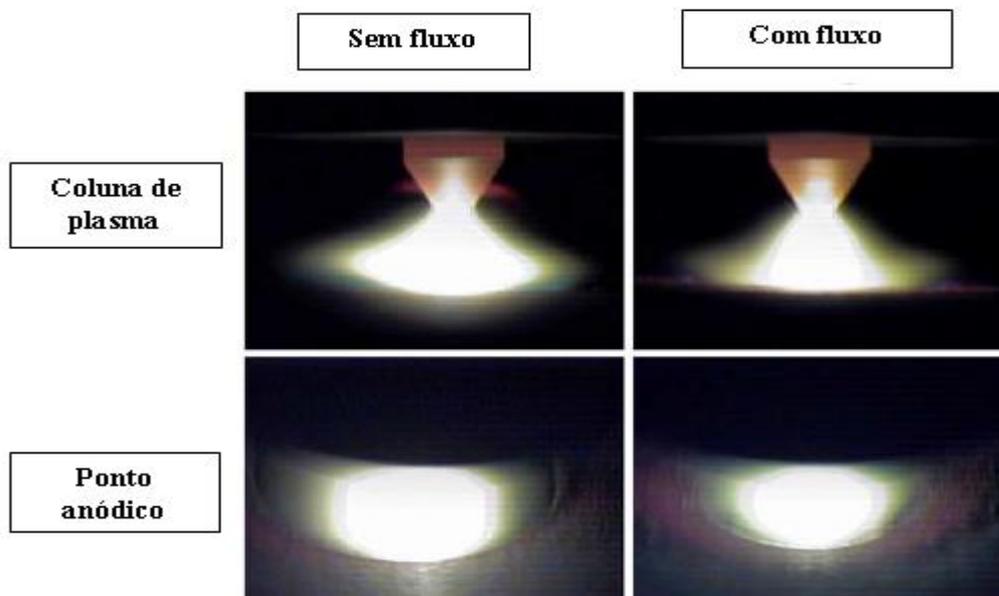
Um terceiro mecanismo é o da constrição do arco elétrico. Howse e Lucas (2000) sugeriram que o aumento na profundidade de penetração se deve à interação entre moléculas vaporizadas e átomos dissociados do fluxo e os elétrons nas regiões mais externas do arco (o fluxo vaporizado captura elétrons na região externa do arco), o que causa a sua constrição, levando ao aumento da densidade de corrente nas regiões centrais e resultando em um arco mais estreito e uma poça de fusão mais profunda. Pandolfi, Modenesi e Rodrigues (2017) utilizando fluxos SiO_2 , Cr_2O_3 e Al_2O não notaram mudanças significativas no formato do arco (fig.5), em alguns resultados foi até encontrando um aumento da sua largura com o processo A-TIG e nos resultados que indicaram uma possível constrição, essa foi restrita a menos de 1%. Os autores justificaram que isso pode ter sido um indicio de que o efeito de Marangoni foi preponderante no formato do cordão de solda e no aumento de penetração. Já Shyu et al. (2008) encontraram reduções evidentes tanto da coluna de plasma do arco quanto do ponto anódico com a utilização do SiO_2 (fig.6). Para esses autores a redução do ponto anódico pode ser justificada dessa forma: como a condutividade do fluxo é muito menor do que a dos vapores do metal e o ponto de fusão e ebulição do fluxo são maiores do que o do metal de solda, a evaporação do metal será gerada apenas nas regiões centrais do arco de soldagem, onde a temperatura é maior do que a temperatura de dissociação dos compostos de fluxo, levando a uma redução na área de condutividade do ponto anódico.



Fonte: Pandolfi, Rodrigues e Modenesi (2017)

Figura 5-Imagens da região do arco filmada de frente durante um teste com fluxo de SiO_2 com densidade superficial de 60 g/m^2 . As três imagens superiores correspondem à região do cordão sem fluxo e as três inferiores, com fluxo .

O quarto mecanismo considera que o fluxo se comporta com um isolante elétrico e aumenta a profundidade de penetração. Lowke, Tanaka e Ushio (2005) apresentaram cálculos assumindo que a superfície da peça de trabalho é coberta com uma fina camada de fluxo, que geralmente é um óxido de metal. Esta camada atuará como uma barreira isolante para a corrente do arco. As temperaturas no centro da poça de fusão serão suficientes para fundi-lo, de forma que, a corrente elétrica possa penetrar nesse fluxo para a poça de fusão e a peça de trabalho. O diâmetro do arco na superfície da poça de fusão será reduzido pelo efeito isolante desse elemento, nas regiões externas do arco. Para uma determinada corrente, a densidade de corrente no centro da poça de fusão aumentará, levando a um aumento das forças magnéticas e da pressão na poça de fusão, resultando em forte fluxo convectivo de metal líquido para baixo, o que origina um aumento da profundidade da solda.

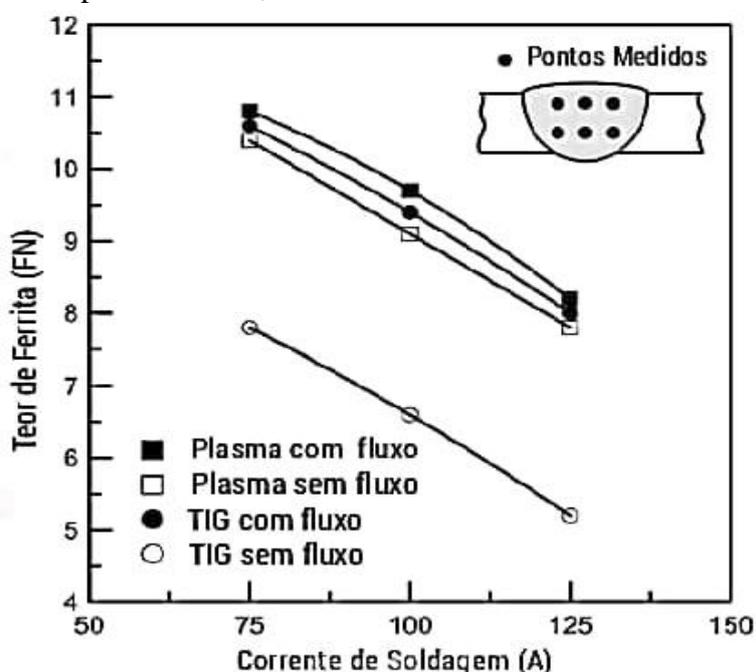


Fonte: Shyu et al. (2008).

Figura 6-Efeito da soldagem TIG com e sem fluxo no formato do arco e no ponto anódico [3].

3. Efeitos dos fluxos ativos no teor de ferrita δ .

Huang (2010) percebeu mudanças no teor de ferrita no cordão de solda do aço inoxidável AISI 304 (fig.7) quando se variava a corrente e se utilizava os fluxos ativos. No primeiro caso, quando aumenta-se a corrente o aporte térmico é incrementado. Em geral quanto maior o aporte térmico, menor é a velocidade de resfriamento na poça de fusão, nesse sentido ocorre uma maior transformação de ferrita em austenita e, conseqüentemente, o teor de ferrita diminui na microestrutura solidificada. Quando se adiciona os fluxos tanto na soldagem TIG quanto na soldagem a plasma aumenta-se a densidade de energia, isso se traduz em um baixo aporte térmico e logicamente um maior teor de ferrita se comparado a soldagem sem fluxos (HUANG,2010). Outra explicação encontrada para o aumento de ferrita é que quando a corrente de soldagem é mantida constante, a tensão do arco aumenta quando a soldagem A- TIG é utilizada. Uma vez que o aporte térmico é proporcional à tensão do arco, o fluxo ativo aplicado tem o efeito positivo no aumento desse fator durante a soldagem. Como esse aporte térmico mais alto pode aumentar a temperatura de pico do metal de solda e reduzir sua taxa de resfriamento, o teor de ferrita δ retida no metal de solda de aço inoxidável 304 é aumentado (HUANG et al.,2005). Ahmadi e Ebrahimi (2015) também encontraram aumentos relacionados ao teor de ferrita, como pode ser visto, na tabela 1.



Fonte: Huang (2010).

Figura 7- variação do teor de ferrita com a adição dos fluxos ativos .

Tabela 1- variação do teor de ferrita com a adição de fluxos ativos.

-	Metal base	Sem fluxo	SiO ₂	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃
Teor de ferrita (FN)	0,87	6,5	7,6	6,8	7,3	7,7

Fonte: Ahmadi e Ebrahimi (2015).

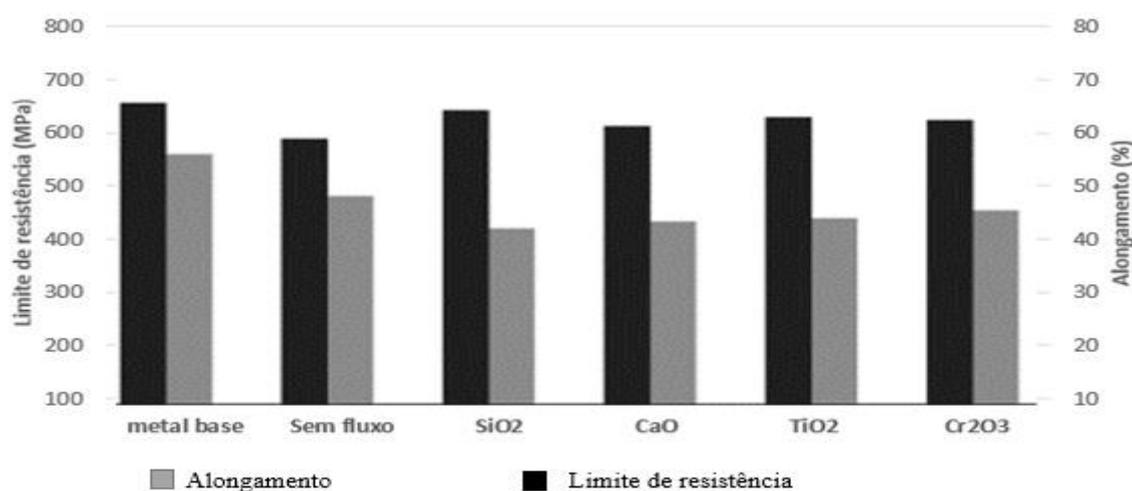
De acordo com Modenesi (2001) a ferrita quando presente em quantidades não muito elevadas é um constituinte benéfico para zona fundida, pois, diminui a tendência de fissuração na solidificação, porém, essa fase em excesso é indesejável porque não pode ter suas propriedades alteradas por tratamentos térmicos logo após a soldagem, além de ser uma estrutura frágil e que pode prejudicar a tenacidade da região da solda, além do mais, deve-se controlar o teor de ferrita

também quando a junta soldada precisa de elevada resistência a corrosão e quando a peça não puder apresentar qualquer magnetismo residual. Segundo Hull (1973), uma certa quantidade de ferrita delta no aço inoxidável aumenta o limite de escoamento e a resistência à tração, melhora a resistência à corrosão sob tensão e reduz as trincas a quente no metal de solda. Os efeitos adversos da ferrita delta para algumas aplicações podem incluir a maior permeabilidade magnética de ligas contendo essa fase ou a diminuição da resistência ao impacto durante serviços a altas temperaturas, por um certo tempo, por meio do aumento na taxa de formação da fase sigma (σ).

Segundo Brooks, Thompson e Willians (1984) a diminuição de trincas de solidificação, quando se tem ferrita, se deve a alguns fatores: os contornos irregulares entre a ferrita e austenita resultam em uma dificuldade de propagação de trincas se comparado quando se tem somente a fase austenita; a solubilidade de impurezas de baixo ponto de fusão é maior na ferrita do que na austenita o que diminui a segregação desses elementos; a ferrita tem um menor coeficiente de expansão térmica do que a austenita, etc. Shyu et al. (2008) encontraram reduções na formação de trincas a quente com a adição de fluxos ativos e o consequente aumento do teor de ferrita, tendo os melhores resultados na redução do comprimento desses defeitos com a utilização dos fluxos Cr_2O_3 e SiO_2 . Por sua vez, o fluxo de Al_2O_3 não teve uma participação significativa na redução desse defeito, sendo que, teve um resultado menos efetivo até mesmo de que a solda resultante sem a adição de fluxos.

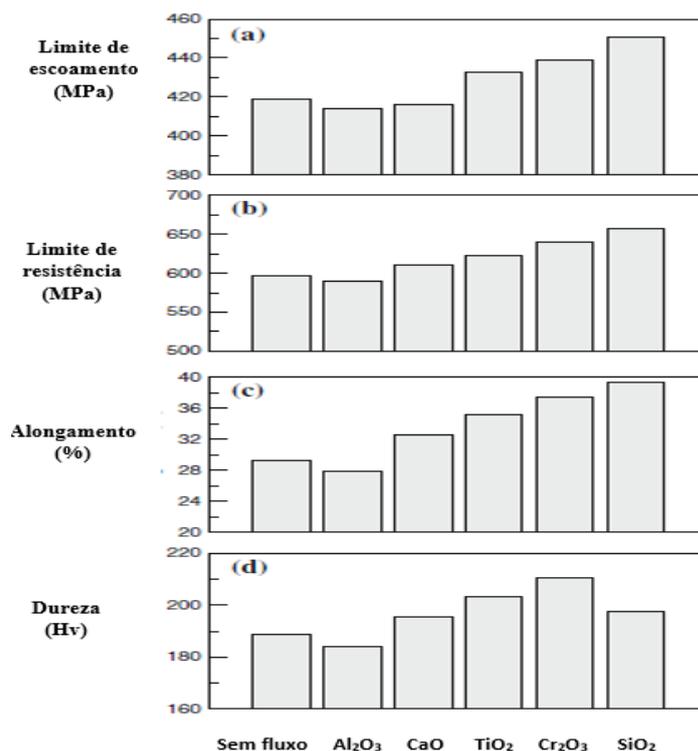
4. Efeitos dos fluxos nas propriedades mecânicas, distorções angulares e na formação de trincas de solidificação.

Diversos autores (AHMADI e EBRAHIMI,2015; SHYU et al.,2008; HUANG,2010; HUANG et al.,2005; HDIBI et al.,2018; TOUILEB et al.,2019) encontraram alterações nas propriedades mecânicas para a solda resultante do processo A-TIG. Ahmadi e Ebrahimi (2015) encontraram os resultados evidenciados na figura 8, para 4 tipos de fluxos. A justificativa para a melhora das propriedades mecânicas esta pautada no aumento do teor de ferrita δ , que tem uma estrutura CCC, uma vez que a estrutura CCC tem uma alta resistência mecânica se comparada a CFC (austenita- γ), se observa melhoras nas propriedades mecânicas com a adição dos fluxos ativos. Shyu et al (2008) encontraram os resultados evidenciados na figura 9, para 5 tipos de fluxos.



Fonte: Ahmadi e Ebrahimi (2015).

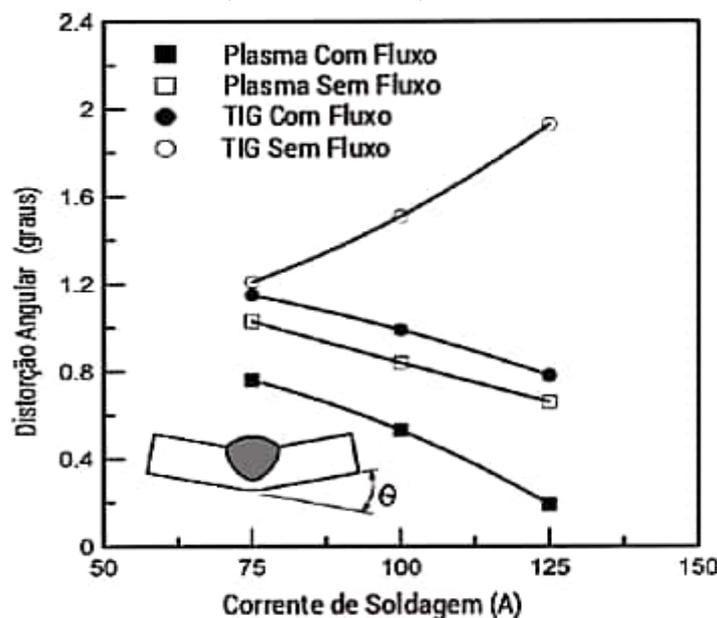
Figura 8 – Efeito da adição de fluxos nas propriedades mecânicas .



Fonte: Shyu et al. (2008)

Figura 9 – Efeito da adição de fluxos nas propriedades mecânicas .

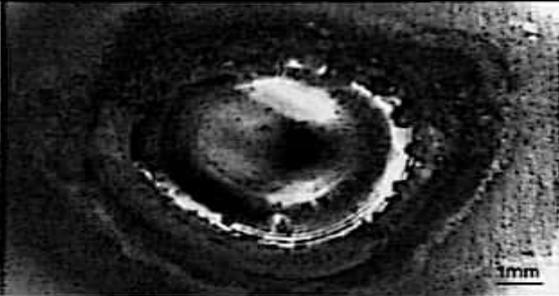
Com a adição dos fluxos, foram encontradas reduções nas distorções angulares (fig.10) (SHYU et al.,2008; HUANG, 2010; HUANG et al.,2005) . A justificativa para esse resultado é que quando se tem maiores razões entre a penetração (D) e a largura (W) do cordão de solda, essas distorções são diminuídas, uma vez que, os fluxos aumentam a densidade de corrente gerando altas razões D/W, o que ocasiona não somente diminuição nas distorções, mas também ganhos de profundidade no cordão de solda (HUANG,2010).



Fonte: Huang (2010).

Figura 10-Distorções angulares para soldas resultantes do processos de soldagem TIG e a plasma com e sem fluxos ativos.

Alguns autores encontraram diminuição na formação de trincas de solidificação com a adição dos fluxos ativos (SHYU et al.,2008; HUANG et al.,2005). A diminuição desse defeito (fig.11) está associada ao aumento do teor de ferrita δ quando se usa o processo A-TIG, uma vez que, essa fase tem uma maior ductilidade a altas temperaturas e um menor coeficiente de expansão térmica do que a austenita, o que diminui a formação de trincas pela redução das tensões térmicas durante a soldagem e tensões de contração durante o resfriamento (HUANG et al.,2005).

Sem Fluxo	Com Fluxo (80%MnO ₂ +20%ZnO)
	
Comprimento total da trinca: 18.02 mm	Comprimento total da trinca: 0.57 mm

Fonte: Huang et al. (2005).

Figura 11- Efeitos da soldagem TIG com e sem fluxos na suscetibilidade da formação de trincas de solidificação.

5. Conclusão

Foi visto que, quando se utiliza fluxos na soldagem TIG, pode se obter ganhos na penetração com aumentos, acima de 200%, em comparação com a soldagem sem fluxos. Existem algumas justificativas para esses resultados, sendo que, as mais encontradas na literatura são a do efeito Marangoni e a constrição do arco. Também foram relatadas alterações como:

- Aumento do teor de ferrita
- Mudanças nas propriedades mecânicas do material (limite de escoamento, limite de resistência, microdureza e alongamento)
- Redução nas distorções angulares
- Diminuição do comprimento das trincas formadas

Referências

AHMADI, E. ; EBRAHIMI, A., *Welding of 316L Austenitic Stainless Steel with Activated Tungsten Inert Gas Process. Journal of Materials Engineering and Performance*, 2015, Vol.24(2), pp.1065-1071

AWS. *Welding Handbook Volume 4 - Materials and applications, part 1. v. 4*, 2011.

BROOKS J.A, THOMPSON A.W, WILLIAMS J.C. *A fundamental study of the beneficial effects of delta ferrite in reducing weld cracking.* *Welding Journal*. 1984;63(3):71s-8

HDHIBI, A ; TOULEB, K ; DJOUDJOU, R ; OUIS, A ; BOUAZIZI, M. L. ; CHAKHARI, J., *Effect of Single Oxide Fluxes on Morphology and Mechanical Properties of ATIG on 316 L Austenitic Stainless Steel Welds.* *Engineering, technology & applied science research*, 01 de junho de 2018, Vol.8(3).

HOWSE, D. S., LUCAS, W., *An investigation into arc constriction by active fluxes for TIG (A-TIG) welding,* *Science and Technology of Welding and Joining*, 5 (3), 2000, 189-193

HUANG, H. Y ; SHYU, S. W ; TSENG, K. H ; CHOU, C. P. *Evaluation of TIG flux welding on the characteristics of stainless steel .Science and technology of welding and joining*, 01 de setembro 2005, Vol.10(5), pp.566-573

HUANG, HER-YUEH, *Research on the activating flux gas tungsten arc welding and plasma arc welding for stainless steel.* *Metals and Materials International*, 2010, Vol.16(5), pp.819-825

HULL, F. C., *Delta ferrite and martensite formation in stainless steels.* *Welding Journal* 51(5), 1973, pp. 193-s a 203-s.

KOU,S. *Welding Metallurgy.* John Wiley & Sons Ed., New York, 1987.

KUMAR,M.S ; SHANMUGAM,S.N, *Studies on the weldability, mechanical properties and microstructural characterization of activated flux tig welding of aisi 321 austenitic stainless steel,* *Materials Research Express*, 2018, Vol.5(10), p.106524 (47pp)

LI, CHUNKAI ; SHI, YU ; GU, YUFEN ; YANG, FUQIAN , *Effect of oxide on surface tension of molten metal .RSC Advances*, 2017, Vol.7(85), pp.53941-53950

LOWKE, J J ; TANAKA, M ; USHIO, M, *Mechanisms giving increased weld depth due to a flux . Journal of Physics D: Applied Physics*, 2005, Vol.38(18), pp.3438-3445

LU, SHANPING ; FUJII, HIDETOSHI ; NOGI, KIYOSHI, *Marangoni convection and weld shape variations in He-CO₂ shielded gas tungsten arc welding on SUS304 stainless steel.* *Journal of Materials Science*, 2008, Vol.43(13), pp.4583-4591

MODENESI, P.J. *Soldabilidade dos aços inoxidáveis.* SENAI,2001.

MODENESI, PAULO J ; COLEN NETO, PEDRO ; APOLINÁRIO, EUSTÁQUIO ROBERTO ; DIAS, KÁSSIA BATISTA, *Efeito da densidade do fluxo e da presença de aditivos na soldagem ATIG de aço inoxidável austenítico.* *Soldagem & Inspeção*, Junho de 2013, Vol.18(2), pp.118-126

PANDOLFI, GUILHERME S ; RODRIGUES, FELIPE G. PINHEIRO ; MODENESI, PAULO J, *Avaliação da Ocorrência de Construção Mecânica do Arco na Soldagem A-TIG de Aços Inoxidáveis Austeníticos.* *Soldagem & Inspeção*, Janeiro de 2017, Vol.21(4), pp.428-443

SAMBHERAO,A., *A Use of Activated Flux For Increasing Penetration In Austenitic Stainless Steel While Performing GTAW.* *International Journal of Advanced Research*, dezembro de 2013, 9001(12).

SHYU, S. ; HUANG, H. ; TSENG, K. ; CHOU, C.P., *Study of the Performance of Stainless Steel A-TIG Welds.* *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2008, Vol.17(2), pp.193-201

TOULEB, K ; HEDHIBI,A ; DJOUDJOU,R ; OUIS,A ; BOUAZIZI, M. L., *Mixing Design for ATIG Morphology and Microstructure Study of 316L Stainless Steel.* *Engineering, technology & applied science research*, 01 de abril de 2019, Vol.9(2).

ORCID

Antonio Ribeiro Paiva Filho <https://orcid.org/0000-0003-3672-8581>

José Francisco dos Reis Sobrinho <https://orcid.org/0000-0003-2154-3648>