

APLICAÇÃO DA SOLDAGEM TIG COM FLUXO ATIVO EM UM AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO

Alessandra Gois Luciano de Azevedo¹

Jesualdo Pereira Farias²

Valtair Antonio Ferraresi¹

aglazevedo@mecanica.ufu.br

jpf@secrel.com.br

valtairf@mecanica.ufu.br

¹Universidade Federal de Uberlândia, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, nº 2121, Bloco 1M, Laboratório de Soldagem (Laprosolda).

²Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Soldagem (Engesolda), Fortaleza –CE. Cep: 60488-760.

Resumo. *O processo de soldagem TIG com fluxo ativo tem recebido uma atenção especial nos últimos anos em função de usar um equipamento convencional com a possibilidade de obter penetração total em passe único em juntas com até 10 mm de espessura. Para melhor caracterizar o efeito deste processo sobre as características mecânicas da zona fundida dos aços inoxidáveis ferríticos, este trabalho tem como objetivo analisar a influência de três tipos de fluxo sobre a geometria do cordão de solda, sobre a resistência ao impacto (charpy reduzido) da zona fundida e sobre a microdureza. Para isso, foram soldados corpos de prova de aço inoxidável ferrítico, ASTM 410D, chapas de 6,35 mm, “bead on plate”, para analisar a geometria do cordão para cada fluxo aplicado. Para os ensaios charpy foram realizadas soldagens em juntas de topo, em ambos os lados. Foi utilizado o processo A-TIG convencional e uma outra técnica, onde o fluxo é passado formando duas faixas na junta, sendo chamada de técnica da constricção direcionada. Foram realizados os ensaios charpy no metal de base e na zona fundidos. Os resultados mostraram que a utilização do fluxo ativo permite um aumento considerável na penetração do cordão de solda. O resultado do teste charpy na zona fundida mostrou-se bem inferior ao alcançado no metal de base.*

Palavras-chave: A-TIG, aço inoxidável ferrítico, charpy reduzido.

1. INTRODUÇÃO

Uma forma de aumentar a produtividade do processo TIG é utilizando-se a técnica da camada de fluxo ativo. Ela consiste no depósito de uma fina camada de um material (fluxo) em forma de pó sobre a superfície da peça a ser soldada. Os fluxos podem ser formados por óxidos ou fluoretos, sendo geralmente preparados através de sua mistura com uma solução volátil, normalmente acetona ou álcool. A mistura apresenta uma forma líquida que pode ser aplicada sobre a peça com o auxílio de um pincel ou por spray, formando uma fina camada que após a evaporação do solvente adere-se à peça.

Os equipamentos e os consumíveis de soldagem são os mesmos utilizados no processo TIG convencional. Alguns autores relatam que o calor do arco funde e vaporiza a camada de fluxo que produz alterações na poça de fusão e no arco elétrico produzindo um aumento na penetração em juntas de até 10mm de espessura, equivalendo-se em penetração ao processo a plasma com “keyhole” (Marya, 2004; Richetti, 2003). No processo de soldagem TIG convencional tem-se uma penetração

limitada à cerca de 3 a 4mm, mesmo levando-se em consideração a faixa de espessura coberta pelo TIG, alguns trabalhos relatam que o processo com fluxo ativo permite alcançar uma penetração cerca de 2 vezes maior em aços inoxidáveis austeníticos (Lucas & Howse, 1996 e Perry et al., 1998).

Marya (2002) afirma que na soldagem com fluxo ativo, é recomendado que a camada apresente uma espessura uniforme para assegurar repetibilidade dos resultados, além de uma boa aderência ao material de base para suportar a força do arco durante a soldagem. A principal desvantagem desta técnica reside principalmente na propensão à formação de escória sobre a superfície da solda, podendo também acarretar uma piora no seu acabamento superficial. Vários trabalhos mostram que, no caso da soldagem em vários passes, a escória formada deve ser adequadamente retirada para evitar a possibilidade da ocorrência de inclusões em passes subsequentes. 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 (Paskell et al., 1997 e Modenesi et al., 2000).

Richetti (2003) aplicou o fluxo de tal forma que permitiu obter soldas com bom acabamento superficial, reduzindo a quantidade de escória formada. Ao invés de uma camada que cobre toda a superfície da chapa, foram feitas duas faixas de fluxo, separadas por uma distância predeterminada. Desta forma, a camada de fluxo isolou eletricamente certas regiões da superfície da peça direcionando a região de incidência do arco para o centro da junta. Esta técnica é chamada de Técnica da Constricção Direcionada.

O objetivo deste trabalho é empregar o processo A-TIG na soldagem de chapas de aço inoxidável ferrítico ASTM 410D, para analisar a influência de três tipos de fluxo sobre a geometria do cordão de solda, sobre a resistência ao impacto e sobre a microdureza, todos na zona fundida.

2. METODOLOGIA E MATERIAIS

Foi utilizada uma fonte de soldagem eletrônica multi-processo. O gás de proteção foi o argônio com vazão de 14l/min. Foi utilizado eletrodo AWS ER EWTh-2 com 3,2 mm de diâmetro. A ponta do eletrodo foi preparada com formato cônico, com ângulo de ponta de 60°.

Todos os testes foram feitos em chapas de aço inoxidável do tipo ASTM 410D com composição química apresentada na Tab. (1). Para a análise das características geométricas a soldagem foi realizada “bead on plate” nas dimensões de 250 x 30 x 6,35mm e em juntas de topo para o ensaio charpy. Foi empregado o ensaio charpy reduzido na zona fundida, conforme Norma ASTM E23-04. A junta foi soldada dos dois lados, garantindo assim que a zona fundida apresentasse fusão total.

Tabela 1. Composição química do P410D.

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

Com o intuito de comparar o efeito do fluxo sobre as características geométricas e sobre a tenacidade do material foram empregados três tipos de fluxo ativo, TiO₂ e dois fluxos comerciais, sendo chamados neste trabalho de PATIG e SS7. Os fluxos TiO₂ e o SS7 foram misturados com acetona PA, formando uma pasta líquida e aplicada sobre a superfície a ser soldada uniformemente com o auxílio de um pincel. O fluxo PATIG é em forma de spray, desta forma realizou-se a pulverização do fluxo sobre a superfície a ser soldada, formando uma camada uniforme.

De cada corpo de prova soldado foram retiradas amostra para análise geométrica sendo utilizado como ataque o Villelas. Um sistema de aquisição e tratamento de imagens foi utilizado para a medição das características geométricas dos cordões de solda.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análise do Metal de Base

De acordo com o fabricante, o aço como recebido apresenta um tamanho de grão ABNT na ordem de 10, o qual fica em torno de 5,5 μm . A Fig. (1) apresenta a microestrutura do aço em estudo. Verifica-se que o mesmo apresenta bandas de deformação características do processo de laminação, porém devido ao tratamento térmico aos quais esses aços são submetidos após o processo de laminação esse tipo de estrutura não era esperado.

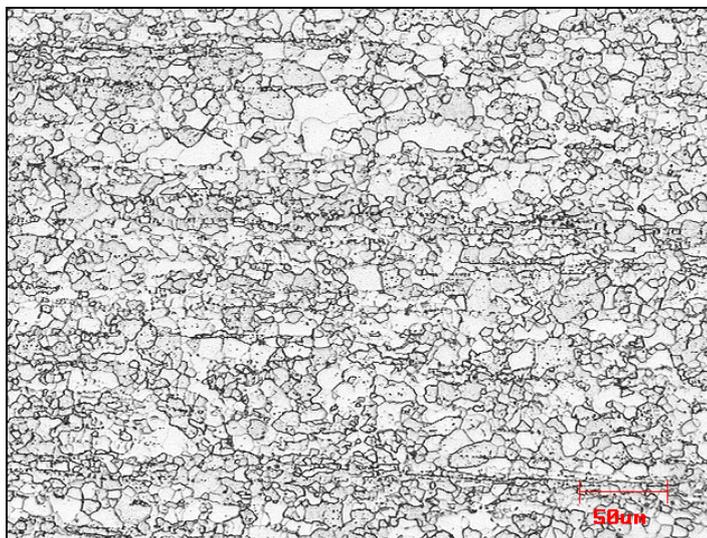


Figura 1. Aço P410D tratado em forno como recebido.

Foi realizada pelo fabricante uma análise das propriedades mecânicas do material em estudo. A Tab. (2) apresenta esses resultados, onde são mostrados os limites de escoamento do material (L.E.), de resistência (L. R.), alongamento (Al.) e a dureza padrão, dado em Vickers. Foi realizado, ainda, o ensaio de impacto charpy no metal de base (cinco testes para cada condição de ensaio). Os valores médios das energias obtidas estão apresentados na Tab. (3), bem como o seu desvio padrão.

Tabela 2. Propriedades mecânicas para o aço inoxidável ferrítico P410D.

Material	L. E. (MPa)	L. R. (MPa)	Alongamento (%)	Dureza
P410D	332,7	480,9	37,6	140 HV
	332,6	481,4	34,6	
	326,5	478,1	38,9	
Média	330,6	480,1	37,0	

Tabela.3. Dados do ensaio de impacto Charpy.

Temperaturas (°C)	Média (J)	Desvio Padrão
25	101,3	2,5
0	84,3	2,3
-10	77,3	11,8
-20	63,0	6,2
-40	52,0	2,6
-50	51,7	4,9

A Fig. (2) apresenta o gráfico da média das energias de impacto absorvidas no metal de base juntamente com o desvio padrão. Esses dados constam na tese de doutorado, em andamento, de Souza Luz. Através deste gráfico é possível perceber uma tendência na redução da energia de impacto absorvida conforme se reduz a temperatura, o que é esperado, pois o material tende a perder ductilidade com a queda de temperatura. Ainda assim, pode-se considerar que o material como recebido mostrou uma boa resistência ao impacto, pois à temperatura ambiente obteve uma absorção de energia em torno de 100J e à -50°C alcançou 55J.

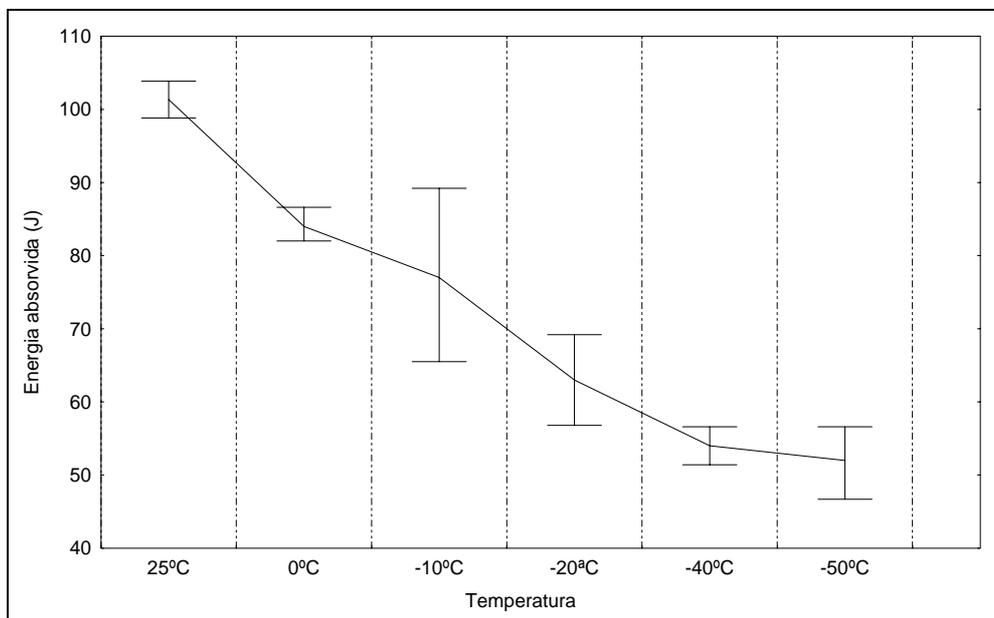


Figura 2. Resultado do ensaio charpy realizado no metal de base do aço inoxidável ferrítico.

3.2. Testes de Diferentes Fluxos Para Determinar as Medidas Geométricas

Foram realizadas as soldagens das chapas de aços inoxidáveis ferrítico, “bead on plate”, empregando três tipos de fluxo (TiO_2 , PATIG e SS7). A corrente de soldagem utilizada foi de 200A e a velocidade de soldagem foi de 20cm/min, para todos os testes. A tensão média obtida ficou em torno de 14,0 V. As medidas geométricas estão apresentadas na Tab. (4).

Tabela 4. Medidas geométricas dos corpos de prova soldados com processo A-TIG.

Corpo de prova	Largura (mm)	Penetração (mm)	Área (mm^2)
Sem fluxo	11,8	2,7	24,5
TiO_2	9,4	3,1	19,3
PATIG	7,7	4,7	23,3
SS7	8,5	4,3	22,2

O óxido de titânio apresentou pouca influência no aumento da penetração para os parâmetros de soldagem aplicados quando comparados aos fluxos comerciais. Tais fluxos restringem mais o cordão de solda e permitem um aumento na penetração em cerca de 1,6 vezes. Esses resultados mostram uma boa eficiência deste processo de soldagem (A-TIG), isto é, melhora a produtividade do processo TIG convencional. Entretanto, é importante esclarecer que a aplicação de fluxo em toda a superfície da junta gera um cordão de solda com aspecto rugoso e oxidado.

3.3. Resultados do Ensaio Charpy na Zona Fundida

Foram realizados testes de impacto Charpy-V na zona fundida à temperatura ambiente para verificar a resistência mecânica do aço inoxidável ferrítico. Para isso, foram realizadas as soldagens em sete corpos de prova, empregando-se os três tipos de fluxo ativo (TiO₂, PATIG e SS7) e duas técnicas de aplicação de fluxo sobre a superfície da junta, sendo a primeira o processo A-TIG convencional, onde o fluxo é aplicado em toda a superfície da junta que entra em contato com o arco elétrico e a segunda a técnica chamada de Construção Direcionada (TCD), onde o fluxo é aplicado na junta em duas faixas separadas por uma distância predeterminada do centro da junta, chamada de parâmetro "a". Foi realizado também teste em uma junta soldada sem a aplicação de fluxo ativo. As condições de soldagem estão apresentadas na Tab. (5). Foi utilizada uma maior corrente de soldagem para o ensaio sem fluxo para garantir a penetração total na junta proposta.

De cada corpo de prova soldado foram retirados cinco amostras para a realização do ensaio charpy reduzido. Destas amostras foram descartados o valor maior e o menor para a obtenção da média. A Tab. (6) apresenta os resultados com o valor médio e desvio padrão.

Tabela 5. Parâmetros de soldagem corpos de prova charpy.

	Testes com fluxo	Teste sem fluxo
Corrente de soldagem (A)	200	300
Velocidade de soldagem (cm/min)	20	20
Gás de proteção (Ar) (l/min)	14	14
Eletrodo – especificação, ϕ (mm) e ângulo de apontamento	EWTh-2, 3.2 e 60°	EWTh-2, 3.2 e 60°
Ângulo da tocha	90° com a horizontal	90° com a horizontal
DEP (mm)	2,0	2,0
Parâmetro "a" (mm)	6,0	----

OBS.: Parâmetro "a" indica a distância entre as faixas de aplicação do fluxo na técnica de construção direcionada.

Tabela 6. Média e desvio padrão dos ensaios Charpy.

Corpo de prova	Tipo de Fluxo	Média energia (J)	Desvio padrão
1	Sem fluxo	3,0	0,3
2	TiO ₂ (TCD)	3,7	1,1
3	TiO ₂ (A-TIG)	4,1	0,8
4	PATIG (A-TIG)	3,7	2,2
5	PATIG (TCD)	9,3	3,2
6	SS7 (A-TIG)	4,6	1,2
7	SS7 (TCD)	4,7	1,2

Para uma melhor visualização da influência do fluxo e da técnica de aplicação de fluxo sobre a energia de impacto, montou-se o gráfico da Fig. (3) que apresenta a média das energias de impacto absorvidas pelos corpos de prova ensaiados juntamente com o desvio padrão.

Como se pode observar na Fig. (3), a média da energia de impacto absorvida na zona fundida foi aproximadamente a mesma para todos os corpos de prova realizados com e sem fluxo ativo independente da técnica aplicada, exceto para o de prova 5, onde a média da energia de impacto foi cerca de 3 vezes maior.

Comparando-se o gráfico da Fig. (3) com o gráfico da Fig. (2) percebe-se que o metal de base absorveu muito mais energia do que a zona fundida tanto nos testes sem fluxo como nos com fluxo ativo, para ambas as técnicas. O ensaio charpy no metal de base foi realizado no material como recebido, o qual apresenta uma granulometria mais refinada e homogênea, proporcionando desta

forma, uma maior resistência mecânica e maior tenacidade. A baixa energia obtida na zona fundida pode estar relacionada com a microestrutura formada nesta região do cordão de solda.

A Fig. (4) apresenta a zona fundida do corpo de prova sem fluxo, sendo destacada a ferrita de segunda fase alinhada (Widmanstätten). A ZF apresenta microestrutura martensítica (realçado em cor escura pelo ataque) e ferrítica (cor mais clara).

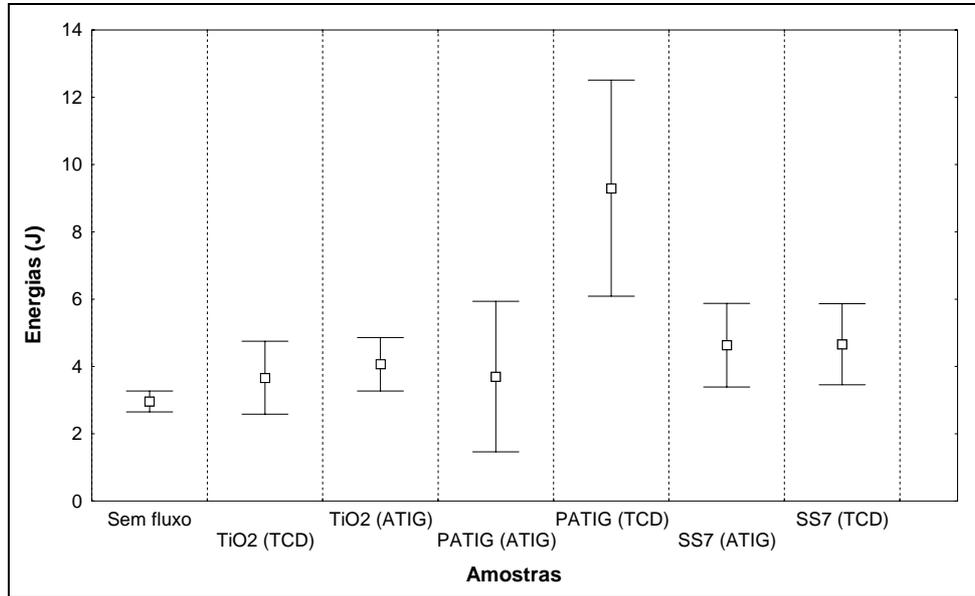


Figura 3. Gráfico das médias das energias do ensaio Charpy com desvio padrão.

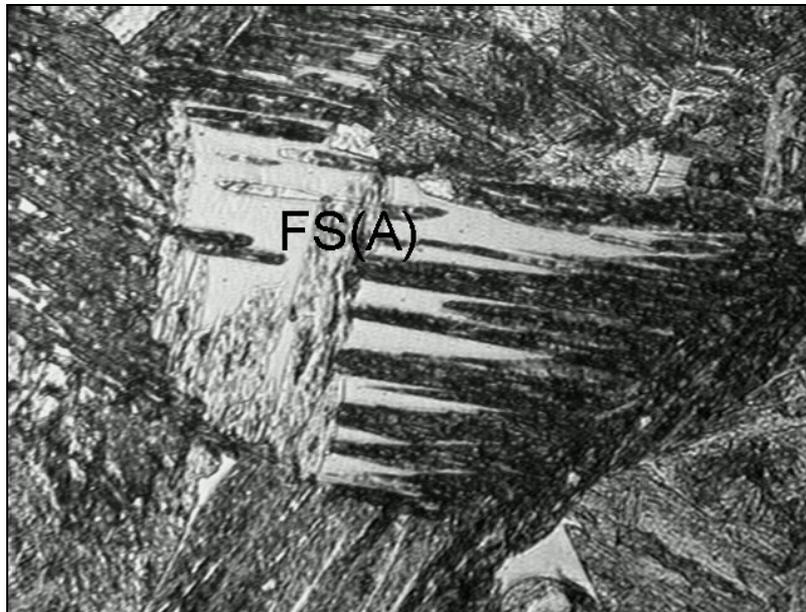


Figura 4. Corpo de prova sem fluxo: Zona fundida.

A Figura (5) apresenta o aspecto da fratura para do corpo de prova. Como se pode observar a fratura apresenta planos de clivagem, característica de fratura frágil. Em toda a extensão do corpo de prova foi encontrado o mesmo aspecto de fratura. Os corpos de prova soldados com fluxo ativo, também apresentaram esse tipo de aspecto de fratura por clivagem.

Mesmo com a adição do fluxo ativo a energia de impacto manteve-se bem mais baixa do que a alcançada pelo metal de base nas mesmas condições de ensaio. Como o ensaio foi realizada na zona

fundida uma queda de energia poderia ser esperada, devido à precipitação de martensita observadas nesta zona após a soldagem.

O corpo de prova 5 da Tab. (6) (ensaio com o fluxo PATIG) apresentou uma maior energia absorvida ao impacto do que os demais. Isto pode se explicado pelo tipo de fluxo juntamente com a técnica utilizada (técnica TCD), que pode ter acarretado em uma melhora na resistência ao impacto. Entretanto, para comprovar esta análise serão necessários novos ensaios e um aprofundamento na análise microestrutural dos corpos de prova.

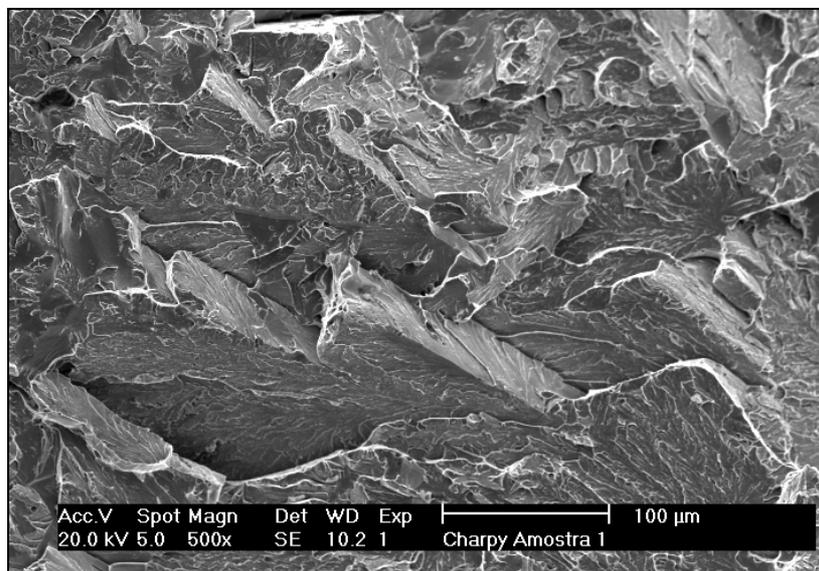


Figura 5. Aspecto de fratura do corpo de prova do ensaio charpy.

3.4. Resultados dos Ensaios de Microdureza.

De cada corpo de prova do ensaio Charpy foi retirado uma amostra para a realização do ensaio de microdureza. As amostras foram selecionadas com base na energia média dos ensaios realizados, ou seja, selecionou-se a amostra que apresentou uma energia mais próxima da média geral obtida. O ataque utilizado foi Vilellas. As medidas foram realizadas em uma linha central da zona fundida.

A Tab. (7) mostra os valores de microdureza obtidos na zona fundida do metal de solda antes do ensaio de impacto (ZF_M), na zona fundida próxima ao entalhe após o ensaio Charpy (ZF_Charpy) e no metal de base (MB).

Tabela 7. Medidas da Microdureza.

Amostras	ZF_M (HV)	ZF_Charpy (HV)	MB (HV)
1	340	332	164
2	340	345	
3	336	320	
4	354	366	
5	362	335	
6	312	344	
7	334	340	
Média Final	340	340	164

Algumas vezes a microdureza foi realizada sobre o microconstituente martensítico ou sobre o ferrítico (em diferentes morfologias), desta forma ocorreram variações nas medições. Foi montado um

gráfico, representado na Fig.(6), para melhor analisar esta diferença de medição, onde se colocou a média das medições e o desvio padrão observado.

A microdureza não apresentou variações na zona fundida com a aplicação modificada a técnica de soldagem de A-TIG convencional para técnica da constricção direcionada (TCD) e nem quando se variou o tipo de fluxo ativo aplicado. Apesar de serem observadas pequenas variações nas microdurezas medidas, estas podem ser explicadas devido aos diferentes microconstituintes encontrados ao longo das medições, o que acabou influenciando na média de cada corpo de prova. A média final obtida foi de 340HV, em ambos os casos.

Ao ser soldado o material sofre modificações microestruturais devido ao ciclo térmico de soldagem. Desta forma, a zona fundida apresentou uma microestrutura martensítica com dureza média de 340HV, sendo menos resistente ao impacto do que a microestrutura ferrítica observada no metal de base (140HV).

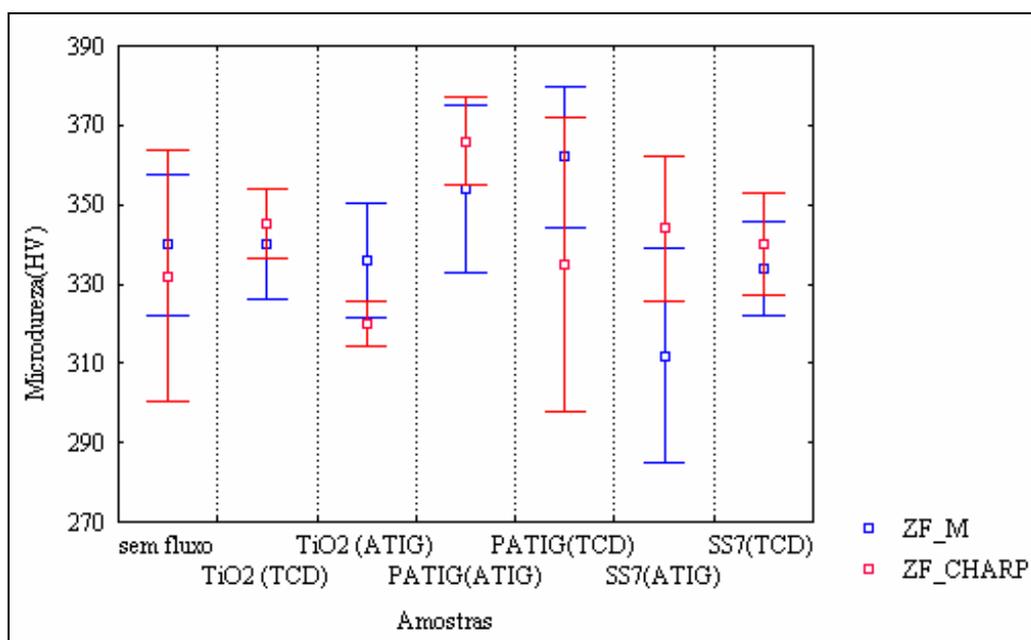


Figura 6. Gráfico de microdureza com desvio padrão.

4. CONCLUSÃO

- Pode-se afirmar que a utilização do fluxo ativo proporciona modificações na geometria do cordão de solda, ocasionando um aumento na penetração cerca de 1,6 vezes, quando aplicado os fluxos comerciais.
- O óxido de titânio não proporcionou aumentos consideráveis na penetração, mostrando ser bem menos eficiente que os fluxos comerciais.
- Com relação ao impacto charpy não foi observado grandes variações de absorção da energia nos corpos de prova realizados com e sem fluxo ativo, independente da técnica aplicada, exceto para o fluxo PATIG com a técnica TCD, onde a média da energia de impacto foi cerca de 3 vezes maior.
- No ensaio de microdureza não foi observada nenhuma influência significativa do tipo de técnica e nem do tipo de fluxo, obtendo-se uma média final em torno de 340 HV.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o LAPROSOLDA/UFU e o ENGESOLDA/UFC pelo apoio laboratorial, ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

6. REFERÊNCIAS

Lucas, W. & Howse, D., 1996, “Activating Flux – Increasing the Performance and Productivity of the TIG and Plasma Processes”. *Welding & Metal Fabrication*, p.11-17.

Marya, S., 2002, “Theoretical and Experimental Assessment of Chloride Effects in the A-TIG Welding of Magnesium”. International Institute of Welding Document, Copenhagen, Denmark, 13 p.

Marya, S., 2004, “Enhancing GTAW Performance Through Flux Coatings. Theoretical Background and Industrial Applications”. IIW Technical Meeting 2004. Osaka, Japan.

Modenesi, J. P., Apolinário, E. R., 2000, “TIG Welding with single-component fluxes”. *Journal of Materials Processing Technology*, p.260-265.

Paskell, T., Lundin, C. & Castner, H., 1997, “GTAW Flux Increases Weld Joint Penetration”. *Welding Journal*, v.76, n.4, p.57-62.

Perry, N., Marya, S. & Soutif, E., 1998, “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.

Richetti, A., 2003, “Análise e Modelagem Empírica do Processo de Soldagem a Plasma com “keyhole” em Aço Inoxidável”. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste material.

APPLICATION OF WELDING TIG WITH ACTIVE FLUX IN FERRITIC STAINLESS STEEL

Alessandra Gois Luciano de Azevedo¹

Valtair Antonio Ferraresi¹

Jesualdo Pereira Farias²

aglazevedo@mecanica.ufu.br

valtairf@mecanica.ufu.br

jpf@secrel.com.br

¹Universidade Federal de Uberlândia, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, nº 2121, Bloco 1M, Laboratório de Soldagem (Laprosolda).

²Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Soldagem (Engesolda), Fortaleza –CE.

Abstract: *The process of welding TIG with active flux has received a special attention in the last years in function to use conventional equipment with the possibility to get total penetration in only pass in meetings with up to 10 mm of thickness. Better to characterize the effect of this process on the mechanical characteristics of the casting zone of ferritic stainless steel, this work has as objective to analyze the influence of three types of active flux on the geometry of the weld, on the resistance to the impact (reduced Charpy) of the casting zone and on the microhardness. In this study, the conventional A-TIG technique and one another, where the flux is passed forming two bands in the together one, being called technique of the directed constriction its was applied in the plates of ferritic stainless steel, ASTM 410D, of 6,35 mm, bead on plate. It was analyze the geometry of the weld for each sample. The Charpy test had been carried through in the base metal and the fusion zone. The results had shown that the use of the active flux allows a considerable increase in the weld penetration. The result of the Charpy test in the metal base it was batter in the fusion zone.*

Palavras-chave: A-TIG, ferritic stainless steel, reduced charpy.