

PARAMETRIZAÇÃO PARA SOLDAGEM ORBITAL ROBOTIZADA DE TUBOS COM ARAME TUBULAR

Alexandre Queiroz Bracarense ¹

Carlos Soragi ²

Ivanilza Felizardo ³

Resumo

O objetivo deste trabalho foi definir os parâmetros ótimos para a soldagem orbital robotizada de tubulações utilizando o processo FCAW, com proteção gasosa. Numa primeira etapa foram soldados chapas de testes e tubos com soldador qualificado e com conhecimentos teóricos e práticos que o permitissem analisar, discutir e apresentar sugestões para melhoria da qualidade e geometria dos cordões de solda depositados. Nesta etapa, foram observados os comportamentos da soldagem nas posições verticais e sobre cabeça com arame tubular e definidos os parâmetros de soldagem que foram transferidos a um robô antropomórfico na segunda etapa. O procedimento de soldagem adotado foi definido e monitorado segundo normas de soldagem. Na segunda etapa, a aplicação dos conhecimentos de robótica e experiência de soldagem foi supervisionada pelo soldador que “orientou” o robô na soldagem das juntas circunferências dos tubos. Ficou evidente que soldador e robô formam uma excelente equipe de trabalho. O robô do tipo antropomórfico utilizado na fase experimental não é o mais adequado para soldagem de juntas circunferências, sem girar o tubo, motivo pelo qual um robô específico para este fim foi posteriormente desenvolvido para utilizar os parâmetros definidos neste trabalho.

Palavras-chave: Soldagem orbital; Soldagem robotizada; Arame tubular.

PARAMETERS DETERMINATION FOR ROBOTIC ORBITAL PIPE WELDING WITH FLUX CORED ARC WELDING

Abstract

This work had as objective to define welding parameters for FCAW, for robotic orbital welding of pipes. In the first phase, welds were performed on plates and pipes by a qualified welder with enough theoretical knowledge to analyze, discuss and present suggestions to obtain welds with high quality. In this phase, the behavior of welding in vertical and overhead positions with FCAW were observed and the parameters were defined for the second phase where they were transferred to an anthropomorphic robot. The welding procedure was defined and monitored following welding standards. In the second phase, robotic knowledge was applied and the welding experience was supervised by the welder that “advised” the robot during programming for the pipe welding. The use of an anthropomorphic robot in the second was not adequate for this type of application however it was evident that welder and robot made an excellent work team. A specific and dedicated robot was developed and is using the parameters defined in this work.

Key words: Pipe welding; Robotic welding; Flux cored arc welding.

I INTRODUÇÃO

A soldagem de tubulações teve início em 1929 com eletrodos revestidos rutilicos, porém,

assumiu características produtivas somente a partir de 1933.⁽¹⁾ Atualmente, a soldagem de tubulações é feita utilizando os processos GTAW, SMAW, GMAW e FCAW, sendo que o passe de raiz é normalmente realizado com o processo GTAW.

¹ Físico, PhD, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG. Coordenador do Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação

² Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia Mecânica, Funcionário da RGB

³ Engenheira Mecânica, Doutora, Diretora da ROTECH Tecnologia Robótica Ltda.

Os tempos de soldagem para um quilômetro de tubulação são aproximadamente de 175 horas com o processo SMAW, 128 horas com GMAW e 112 horas com FCAW para tubos com 254 mm (10") de diâmetro nominal e 9,5 mm de espessura. Estes valores justificam o uso de arame tubular na soldagem de tubulações.

Este trabalho descreve o procedimento realizado para levantamento de parâmetros de soldagem de tubulações com arame sólido e tubular para utilização em um robô dedicado para soldagem orbital de tubulações.⁽²⁾ Ensaio mecânicos e não destrutivos foram realizados com o objetivo principal de monitorar a qualidade da solda durante o desenvolvimento dos trabalhos e assim detectar possíveis não conformidades no momento em que estas viessem a ocorrer.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Apesar da literatura^(3,4) sugerir que o processo FCAW não é aconselhável para o passe de raiz, inicialmente, tanto este passe quanto os demais foram executados com este arame, utilizando fonte de soldagem convencional de tensão constante. Foi utilizado arame com fluxo do tipo rutilico,^(1,5) AWS E71T-1, visto que possui uma escória menos fluida que a do básico e é mais fácil de manuseio, ideal para a soldagem fora de posição. O diâmetro do arame foi de 1,2 mm, por não existir no mercado brasileiro com bitolas menores. Foram utilizados 3 rolos de arames de diferentes fabricantes, identificados, neste trabalho, com as letras "A", "B" e "C".

A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados como ponto de partida para a realização dos testes. Estes parâmetros foram extraídos de boletins técnicos e catálogos dos fabricantes dos arames. A vazão de gás não é informada, porém a literatura sugere que esta deve variar de 15 a 20 l/mim.⁽⁵⁻⁷⁾ Inicialmente,

Tabela 1. Parâmetros de soldagem para arames tubulares AWS E 71 T-1.

Arame	Diâmetro (mm)	Tensão (V)	Corrente (A)	Stickout (mm)	Gás de Proteção	Taxa de Deposição (kg/h)	Taxa de Fusão (kg/h)
A	1,2	25 - 30	150 - 250	10 - 20	CO ₂ ou Ar + CO ₂	1,9 - 2,85	NI
B	1,2	NI	120 - 220	NI	Ar + CO ₂	NI	NI
C	1,2	24 - 32	140 - 255	19	Ar + CO ₂	1,8 - 4,5	2,1 - 5,2

NI: Não informado

Tabela 2. Dados de soldagem para as chapas de teste e para os tubos.

Metal de Base	Tubos	Chapas
Especificação	ASTM A 106	ASTM A 36
Espessura em mm	11	9,5
Tipo de Junta	de topo sem cobre junta	de topo sem cobre junta
ngulo do Bisel	37,5°	30°
Face da Raiz (mm)	2	3
Abertura da Raiz (mm)	2,5	2
Posição de Soldagem	5G	3G e 4G
Progressão de Soldagem	ascendente	ascendente
Técnica de soldagem	sem trançar	sem trançar
Tipo de gás	75%Ar + 25%CO ₂	75%Ar + 25%CO ₂
Vazão de gás l/mim	15	15

cordões sobre chapa em todas as posições foram realizados para definir o seu melhor perfil, bem como os valores aproximados das demais variáveis do processo, que estão apresentadas na Tabela 2.

Soldas manuais fora de posição em chanfro em chapas de testes foram realizadas para refino dos parâmetros. Em seguida, os mesmos foram reajustados para a soldagem manual em chanfros em tubos e por último, houve a soldagem robotizada destes tubos.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Resultados Preliminares

Conforme recomendado na literatura,^(2,6) os parâmetros devem ser ajustados para um "stickout" de 13 a 19 mm, e o ângulo da tocha deve ser negativo. Cordões sobre chapa assim foram realizados e não foi possível obter resultados satisfatórios na posição vertical com o arame "A". Foi observado falta de sustentação da escória, havendo o escorrimento do metal líquido durante a solidificação. A hipótese inicialmente levantada foi que o calor fornecido estava excessivo, fazendo com que a poça ficasse bastante fluida reduzindo sua sustentação pela escória.

Foram realizados vários cordões sobre chapa com variação da tensão, corrente, "stickout" e ângulo da tocha com o objetivo de ajustá-los a valores que permitissem soldar na posição vertical com o arame "A". Estes testes em nada contribuíram na solução do problema. O gás de proteção também foi alterado para CO₂ puro e nenhum benefício no sentido de melhorar ou eliminar o problema foi observado.

Uma vez que todas as tentativas para solucionar o problema foram em vão e que os arames "B" e "C" não apresentaram o mesmo tipo de problema, concluiu-se que o escorrimento da poça de fusão estava sendo causado por algum problema específico do arame "A".

3.2 Soldagem Manual das Chapas de Teste Chanfradas

Soldas manuais fora de posição em chapas de teste foram realizadas com os arames

“B” e “C”. Uma descontinuidade que se assemelha a uma concavidade na raiz da solda foi observada na posição sobre cabeça com estes arames, Figura 1.

Com arame tubular na posição sobre cabeça, tem-se que a única força que atua sobre a gota em direção à junta é a força devida ao arraste do plasma.⁽⁸⁾ Já a ação da capilaridade, em qualquer posição, é o único mecanismo capaz de manter a poça firmemente à junta.⁽⁹⁾ Considerando que este mecanismo estava sendo insuficiente, admitiu-se que o problema era causado por uma insuficiência de material depositado. Assim, aumentou-se a alimentação do arame, porém, uma vez que o calor fornecido também aumentou, houve a perfuração da junta. Em corpos-de-prova com espessuras maiores, 16 mm, foi observado o mesmo tipo de descontinuidade quando a alimentação do arame foi aumentada, porém sem perfuração da junta.

Os fabricantes de arames não indicam o diâmetro mais adequado para uma determinada posição de soldagem. A especificação ASME, SFA 5.20 (AWS 5.20), define que o diâmetro deve ser menor que 2,4 mm na realização dos corpos-de-prova para classificação do arame. Little⁽¹⁰⁾ indica que o diâmetro para soldagem sobre cabeça é 0,9 mm. Na impossibilidade de obter arame deste diâmetro no mercado brasileiro, optou-se em fazer o passe de raiz com o processo GMAW, utilizando arames sólidos AWS ER70S de 0,8 mm de diâmetro. Os demais passes foram realizados com processo FCAW. Destaca-se que não existe contra indicação das normas⁽¹¹⁾ na utilização do processo misto GMAW-FCAW para a soldagem de tubulações, desde que os mesmos sejam devidamente qualificados.

Chapas de testes foram soldadas fora de posição com arame sólido para realização do passe de raiz e com os arames tubulares “B” e

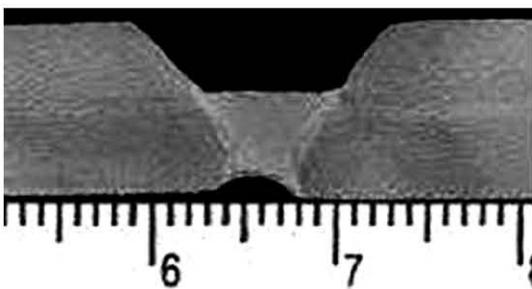


Figura 1. Indicação da falta de metal de adição na raiz. Passe de raiz executado na posição sobre cabeça com arame tubular E71T-1 do fabricante C.

Tabela 3. Parâmetros para chapa de teste soldada manualmente com o processo GMAW – Passe de raiz.

Variáveis	Passe de Raiz	
	Sobre Cabeça	Vertical
Posição de Soldagem	Sobre Cabeça	Vertical
Tensão (V)	17 - 22	17 - 22
Corrente (A)	110 - 130	90 - 115
Stickout (mm)	10	10
Ângulo de Soldagem	0°	5°- 10°

Tabela 4. Parâmetros para chapa de teste soldada manualmente com o processo FCAW – Passes de enchimento e acabamento – Posição vertical.

Variáveis	Passe de enchimento e acabamento	
	"B"	"C"
Fabricante do arame	"B"	"C"
Tensão (V)	26	22
Corrente (A)	120 - 125	120-130
Stickout (mm)	19	19
Ângulo de Soldagem	10°	10°

“C” para os demais passes. A Tabela 3 apresenta os parâmetros estabelecidos na soldagem do passe de raiz nas posições vertical e sobre cabeça e a Tabela 4, os parâmetros relacionados aos demais passes com arame tubular, na posição vertical. As chapas de teste foram examinadas por ultra-som e não foi constatada nenhuma descontinuidade. Além disto, foram realizados exames macrográficos, análise química e de dureza. A Figura 2 apresenta uma macrografia da seção transversal da junta da chapa de teste soldada com os processos GMAW, no passe de raiz, e FCAW, para os passes de enchimento e acabamento. Observa-se a ausência de descontinuidades entre a raiz e o metal de base e entre a raiz e o metal de solda do passe de enchimento.

A Figura 3 mostra a aparência dos cordões depositados nas chapas de testes, soldadas na posição vertical, com os arames “B” e “C”, respectivamente. Percebe-se que apesar da diferença nos parâmetros os cordões ficaram muito similares.

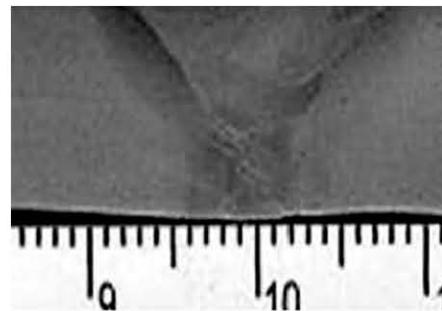


Figura 2. Macrografia da chapa de teste, passe de raiz soldado com GMAW e os demais com FCAW.

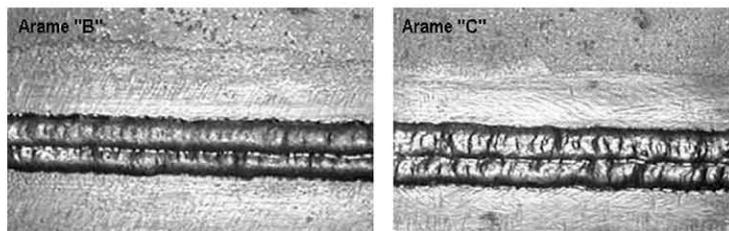


Figura 3. Análise visual das chapas de teste, passe de raiz soldado com GMAW e os demais passes com FCAW.

Tabela 5. Valores dos parâmetros de soldagem utilizados na soldagem do tubo na posição 5G com os processo GMAW e FCAW, manualmente.

Parâmetros	Arame Sólido		Arame Tubular			
	Raiz		Enchimento		Acabamento	
Posição de soldagem	Sobre Cabeça	Vertical	Sobre Cabeça	Vertical	Sobre Cabeça	Vertical
Tensão (V)	19-20	19-20	25-26	25-26	27	27
Corrente (A)	114-125	105-112	163	161	140-155	140-155
Stickout (mm)	10	10	19	19	19	19
Ângulo da tocha	0°	5° - 10°	0°	5° - 10°	0°	5° - 10°

Tabela 6. Parâmetros utilizados na soldagem robotizada do tubo na posição 5G.

Parâmetros	Arame Sólido		Arame Tubular			
	Raiz		Enchimento		Acabamento	
Posição de soldagem	Sobre Cabeça	Vertical	Sobre Cabeça	Vertical	Sobre Cabeça	Vertical
Tensão (V)	16-25	16-25	23-25	23-25	23-25	23-25
Corrente (A)	75-135	65-125	145-180	155-180	150-190	145-185
Stickout (mm)	10	10	19	19	19	19
Ângulo da tocha	0°	5° - 10°	0°	5° - 10°	0°	5° - 10°
Velocidade de soldagem (cm/min)	20,4	18,0	24,0	21,0	36,0	27,0

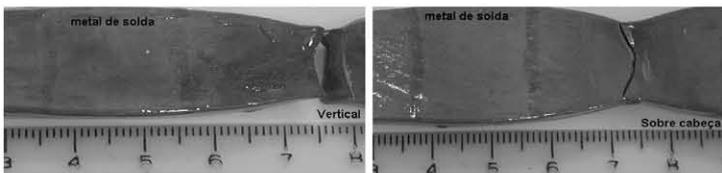


Figura 5. Resultado dos ensaios de tração da soldagem manual em tubos.

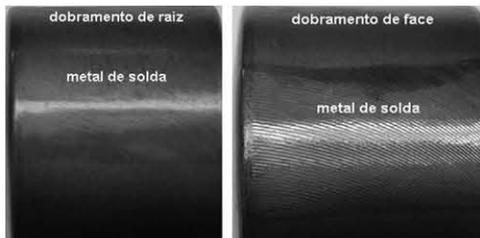


Figura 6. Resultado dos ensaios de dobramento da soldagem manual em tubos realizada na posição sobre cabeça.



Figura 7. Tubo posicionado para soldagem com o robô antropomórfico.

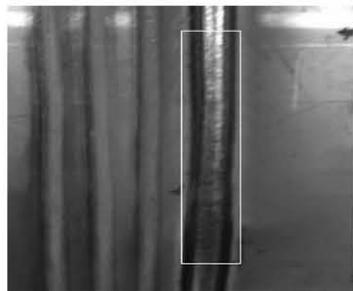


Figura 8. Região de transição sobre cabeça para vertical na soldagem robotizada.

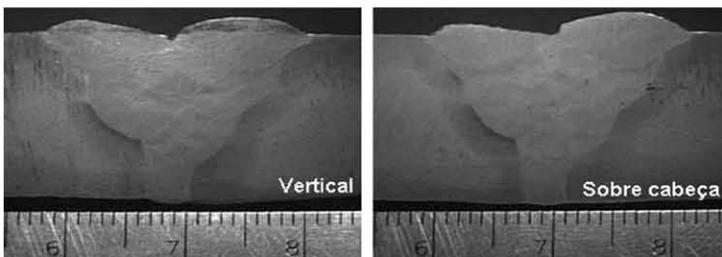


Figura 9. Macrografias de uma solda de um tubo soldado pelo robô na posição 5G.

3.3 Soldagem Manual dos Tubos Chanfrados

Soldas manuais em tubos na posição 5G foram realizadas para reajustar os valores dos parâmetros para esta nova condição. Os parâmetros são apresentados na Tabela 5. Soldagem em toda a circunferência do tubo foi realizada e os parâmetros adotados para a posição plana foram os mesmos da vertical. Testes detalhados nesta posição não foram realizados, visto a facilidade de deposição. Inspeção por ultra-som foi realizada e nenhuma descontinuidade foi encontrada. Ensaio mecânicos de dobramento e de tração foram realizados e os resultados obtidos foram satisfatórios. Nos ensaios de tração, os corpos-de-prova romperam no metal de base, Figura 5. A Figura 6 apresenta os resultados dos ensaios de dobramento de raiz e de face das soldas realizadas na posição sobre cabeça.

3.4 Soldagem Robotizada dos Tubos Chanfrados

Tubos foram soldados utilizando um robô antropomórfico de 6 graus de liberdade acoplado a uma fonte de tensão constante, Figura 7, para ajuste fino dos parâmetros de soldagem obtidos manualmente, Tabela 6. Observa-se nas Tabela 4 e 5, sendo nesta mais evidente, uma alteração dos parâmetros de soldagem para as posições sobre cabeça e vertical. Na soldagem manual, visto o elevado grau de dificuldade para o ser humano realizar simultaneamente a soldagem e as alterações necessárias nos parâmetros, definiu-se que o soldador interromperia o processo para que os parâmetros fosse alterados. Na soldagem robotizada não há necessidade desta interrupção, visto que se pode programar o robô para fazer a transição de forma suave, via interpolação dos parâmetros na faixa desejada, Figura 8.

Na Figura 9 são apresentadas macrografias dos cordões depositados pelo robô nas posições vertical e sobre cabeça. Observa-se que mesmo com um desalinhamento entre as faces internas do tubo, da ordem de 0,3 mm, não foram encontradas indicações de descontinuidades.

4 CONCLUSÕES

A partir dos testes realizados foi possível concluir que:

Embora os arames tubulares dos fabricantes A, B e C atendam às especificações SFA 5.20, o comportamento dos mesmos pode ser diferente, cada um requerendo uma faixa diferente de parâmetros. Este fato é importante na especificação de um arame de um certo fabricante para ser utilizado na soldagem com o robô;

A elevada taxa de deposição e velocidade do processo FCAW, a repetibilidade e as exigências de qualidade das juntas soldadas, sugerem que a solda robotizada oferecerá excelentes resultados de produtividade, qualidade e de custo;

Os cordões depositados pelo processo FCAW apresentam melhor qualidade que os depositados pelo processo GMAW, devido a maior capacidade de penetração e menor possibilidade de formação de poros;

A preparação da junta é de fundamental importância para a soldagem com robôs para se obter uniformidade na abertura da raiz e nas dimensões da face da raiz;

Deve-se tomar muito cuidado com o alinhamento interno dos tubos. Desalinhamentos, mesmo que na ordem de décimos de milímetros, podem causar falta de fusão e ou falta de penetração das soldas;

O operador do robô deve ser um soldador para ele “enxergar” para o robô.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação da Universidade Federal de Minas Gerais pelo auxílio na realização dos testes.

REFERÊNCIAS

- 1 WIDGERY, D.J. Linepipe welding beyond 2000. Svetsaren : **Grupo ESAB**, 1999. p.8-10.
- 2 LIMA II, E.J; TORRES, G.C.F; FELIZARDO, I.; RAMALHO FILHO, F.A.; BRACARENSE, A.Q. Development of a robot for orbital welding. In: 2004 IEEE MECHROB INTERNATIONAL CONFERENCE: Welding Robots Technology, Systems Issue and Applications. Aachen : IEEE, 2004. v. 1, p. 1-5.
- 3 MAGNATECH. **Introduction to orbital welding**. Disponível em: <<http://www.magnatecheurope.com>>. Acesso em: jan.2004.
- 4 OLIVEIRA, J.E.M. **Estudo dos parâmetros para soldagem fora da posição com arame tubular**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.
- 5 STAVA, E.K. The surface-tension-transfer power source a new low-spatter arc welding machine. **Welding Journal**, v.72, n.1: p.1-8, jan.1993.
- 6 CRAIG, E. Flux **Cored/MIG/SAW pipe and yube welding**. Disponível em: <<http://www.weldreality.com>>. Acesso em: out. 2003.
- 7 SCHWEMMER, D.D.; OLSON, D.L.; WILLIANSO, D.L. The relationship of weld penetration in welding flux. In: Annual Meeting of Americal Welding Society, 60., 1979. Miami : AWS, 1979.
- 8 TWI WORLD CENTER FOR MATERIALS JOINING TECHNOLOGY. **Defects and imperfections in welds slag inclusion**. Disponível em: <<http://www.twi.com.uk>>. Acesso em: mar. 2003.
- 9 MATUSNAWA, A.; OHJI, T. **Role of surface tension in fusion welding** (part 2). Cedex : International Institute of Welding, 1984. p. 144-155. (IIW Doc. 212-618*85)
- 10 LITTLE, K.A. Shielding gases. **American Society of Materials Handbook**, v.6, p. 64-69, 1993.
- 11 AMERICAN SOCIETY MECHANICAL ENGINEER. **Boiler and pressure vessel code Rules for construction of pressure vessels**. New York, 2001. Seção VIII – Div1.

Recebido em: 05/12/05

Aceito em: 31/01/06

Proveniente de: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 60., 2005, Belo Horizonte. São Paulo : ABM, 2005.