

Automação da Soldagem de Elementos Componentes da Árvore de Natal – Módulo de Extração de Petróleo Offshore

(Welding Automation of the Christmas Tree's Components - Equipment of Petroleum Extraction Offshore)

Ramon Natal Meller¹, Cleber Marques¹, Régis Henrique Gonçalves e Silva¹, Jair Carlos Dutra¹
¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica/LABSOLDA, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, ramonmeller@labsolda.ufsc.br

Resumo

O trabalho em questão consiste na mecanização da soldagem tubo - barbatana do MCV (módulo de conexão vertical), um dos subsistemas componentes das árvores de natal (módulo de extração de petróleo dos poços submarinos). As peças eram soldadas de forma manual, com o uso de arame tubular pelo processo FCAW. A preparação da junta a ser soldada consiste na fixação das peças em um gabarito de montagem que está posicionado na posição vertical. Essa disposição é justificada pela necessidade da execução simultânea da soldagem pelos dois lados (junta duplo "V"), de forma a evitar problemas de empenamento. Somente dessa forma a soldagem simultânea é possível.

A posição em que a peça é fixada é a principal fonte de dificuldades para a realização da soldagem mecanizada. Devido à curvatura da peça, a soldagem entre o tubo e a barbatana precisa ser realizada em diferentes posições de soldagem, passando da posição horizontal para uma região inclinada e chegando a posição vertical.

Quando realiza a soldagem de forma manual, o soldador constantemente compensa as variações de geometria da peça e, principalmente, as diferenças no comportamento da poça de fusão em função da posição de soldagem, atuando na movimentação da tocha e na sua velocidade de progressão. No caso de uma aplicação mecanizada, o procedimento de soldagem utilizado deve absorver ao máximo essas variações, minimizando a influência do operador no resultado da solda.

Dessa forma o objetivo principal do trabalho é o estudo de caso do desenvolvimento do equipamento e de um procedimento de soldagem para a união entre o tubo e a barbatana do MCV.

As atividades consistem no desenvolvimento de todo aparato mecânico necessário para a instalação do manipulador de solda ao gabarito de montagem das peças para soldagem. O equipamento precisa descrever um movimento paralelo à junta a ser soldada.

O projeto engloba ainda o desenvolvimento de um procedimento de soldagem robusto que suporte as variações existentes e aquelas que ocorrerem durante a soldagem da junta, como por exemplo, a alternância da posição de soldagem, espaçamentos não uniformes entre os cordões que podem gerar regiões com falta de fusão, pré-aquecimento da peça, escorrimento dos cordões gerados, entre outros.

Palavras-chave: Soldagem automatizada, Mecanização, GMAW, MIG/MAG pulsado.

Texto

Inserido no modo de vida contemporâneo, apesar da busca por combustíveis menos poluentes, o petróleo ainda é um elemento extremamente importante. Provém dele a gasolina, utilizada em automóveis, o diesel utilizado nos caminhões, base do transporte nacional, a querosene, utilizada na aviação, além de vários outros elementos importantes para a indústria e para a sociedade.

O petróleo, gerado a partir de compostos de carbono antigos que sofreram processo de catagênese (PIMENTEL, 2010), pode ser extraído em dois ambientes. Em terra ou no mar. O procedimento de extração em

solo é considerado mais simples por não ser necessária a utilização de embarcações, dentre outros fatores. Já a extração em oceanos é considerada de alta complexidade.

Para a extração do petróleo em ambiente marítimo há a necessidade da utilização de sistemas chamados de Árvores de Natal. Estes sistemas são módulos de extração do petróleo submarino. São acoplados à boca das tubulações imersas no poço de petróleo. As Árvores de Natal têm por função realizar a extração do petróleo e enviá-lo até o Manifold, que por sua vez bombeia o petróleo extraído para a plataforma localizada na superfície do mar.

Em um projeto de extração, são instaladas várias Árvores. Elas enviam, por intermédio de tubulações, o petróleo para o Manifold, que por sua vez bombeia o petróleo até a plataforma.

O MCV (Módulo de Conexão Vertical) é um dos componentes das Árvores de Natal. Ele tem por função retirar o petróleo da Árvore e lançá-lo para as linhas de tubulação que vão até o Manifold. Ele é assim chamado, pois é acoplado verticalmente à Árvore após a instalação da mesma à base do poço. Ele necessita ser acoplado posteriormente à instalação da Árvore, pois somente após isso é possível realizar a ligação da Árvore ao Manifold. Esta operação é realizada com todos os componentes já instalados no solo submarino com o uso de guindastes presentes nas plataformas e embarcações e de robôs controlados remotamente por técnicos na superfície.

O MCV é composto de um tubo com curvatura superior a 90° revestido internamente para evitar a corrosão causada pelos elementos presentes no petróleo; da barbatana, chapa soldada externamente ao tubo e possui também um olhal utilizado para a fixação aos guindastes para içamento, além de outros componentes como flanges para fixação à tubulação e elementos de sacrifício para evitar a corrosão do material da peça no ambiente submarino.

O tubo e a barbatana são unidos entre si por intermédio de soldagem. Este procedimento é atualmente realizado manualmente pelo processo FCAW, no qual a soldagem simultânea dos dois lados da junta é realizada objetivando-se reduzir a tendência de empenamento causado pelo aquecimento e também para reduzir o tempo de execução do trabalho. Contudo observa-se um alto grau de rejeição nas inspeções de qualidade. Os defeitos causados estão geralmente ligados a falhas do soldador durante a movimentação da tocha na soldagem.

Sendo assim, o presente trabalho busca a automatização da soldagem de união entre tubo e barbatana, componentes do MCV das Árvores de Natal. O principal objetivo é o desenvolvimento um procedimento de soldagem robusto que garanta a qualidade dos cordões de solda com alta repetitividade e produtividade.

O trabalho em questão é fruto de uma parceria entre LABSOLDA - UFSC e uma empresa fabricante de equipamentos para o setor de petróleo e gás. Consiste na mecanização da soldagem de união de uma chapa e de um tubo calandrado e revestido internamente, peças componentes do MCV (módulo de conexão vertical), um dos subsistemas das árvores de natal (módulos de extração de petróleo). O MCV é soldado atualmente de forma manual, com o uso de arame tubular pelo processo FCAW. São peças espessas e de grande complexidade.

A peça é fixada em um gabarito de montagem que na vertical. Essa disposição é justificada pela necessidade que a peça impõe quanto à execução simultânea da soldagem pelos dois lados. Essa estratégia é necessária para evitar problemas de empenamento causados pela soldagem. Somente dessa forma dois soldadores podem executar o serviço simultaneamente. A posição em que a peça é fixada é a principal fonte de dificuldade para a realização da soldagem mecanizada. Devido à curvatura da peça, a soldagem entre o tubo e a chapa precisa ser realizada em diferentes posições, passando da posição horizontal para uma região inclinada e chegando à posição vertical.

Quando realiza a soldagem de forma manual, o soldador constantemente compensa as variações de geometria da peça e, principalmente, as diferenças no comportamento da poça de fusão em função da posição de soldagem, atuando na movimentação da tocha e na velocidade de progressão. No caso de uma aplicação mecanizada, o procedimento determinado deve absorver ao máximo essas variações, minimizando a influência do operador no resultado dos cordões de solda.

Dessa forma o objetivo principal do trabalho é o desenvolvimento do equipamento necessário e de um procedimento de soldagem mecanizada para a união entre o tubo e a barbatana do MCV.

Os trabalhos consistiram no desenvolvimento de todo aparato necessário para a instalação do manipulador de solda ao gabarito de montagem das peças para a soldagem. O equipamento precisa descrever um movimento paralelo à junta a ser soldada.

Relacionada à união das peças, também se busca o desenvolvimento de um procedimento de soldagem robusto que suporte as variações existentes e aquelas que ocorrerem durante a soldagem da junta, como por exemplo, a alternância da posição de soldagem, espaçamentos não uniformes entre os cordões que podem gerar regiões com falta de fusão, pré-aquecimento da peça e escorrimento dos cordões gerados.

Soldagem do lado 1 - frontal

A soldagem do lado 1 (frontal) da junta iniciou-se pelo passe de raiz com o processo MIG/MAG convencional, modo de transferência por curto-circuito. Os parâmetros utilizados para tal estão demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de soldagem regulados para o passe de raiz

Fonte		Manipulador da tocha	
Programa	MIG/MAG convencional	Vs (cm/min)	10
U (V)	20,5	Tecimento	Trapezoidal
Va (m/min)	4,5	F (Hz)	0,7
Ks	80	A (mm)	5,5
Kd	80	tp (s)	0
Gás	85% Ar+15% CO ₂		
Vazão de gás (l/min)	15		

Posteriormente foram realizadas três camadas de cordões de enchimento para garantir o reforço durante a goivagem da raiz por esmerilhamento. Os passes de enchimento foram soldados com o processo MIG/MAG pulsado adaptativo. O uso da pulsação da corrente se deve à possibilidade do uso de maiores níveis de corrente em comparação ao curto-circuito e também devido à maior molhabilidade dos cordões gerados.

Os parâmetros elétricos regulados foram pouco alterados durante a soldagem. Já os parâmetros de movimentação tiveram uma atuação mais frequente por parte do operador. Os parâmetros de referência são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2. Parâmetros de soldagem de referência utilizados nos passes de enchimento

Fonte		Manipulador da tocha	
Programa	MIG/MAG Pulsado sinérgico adaptativo (ER80S-D2)	Vs (cm/min)	34,7
Im (A)	150	Tecimento	Trapezoidal
a (V)	23	F (Hz)	2,3
Gás	85% Ar+15% CO ₂	A (mm)	2,5
Vazão de gás (l/min)	15	tp (s)	0

Para a verificação dos parâmetros de soldagem foram aquisitados os oscilogramas de corrente e tensão por intermédio do SAP (sistema de aquisição de dados portátil), conforme pode ser verificado na Figura 1.

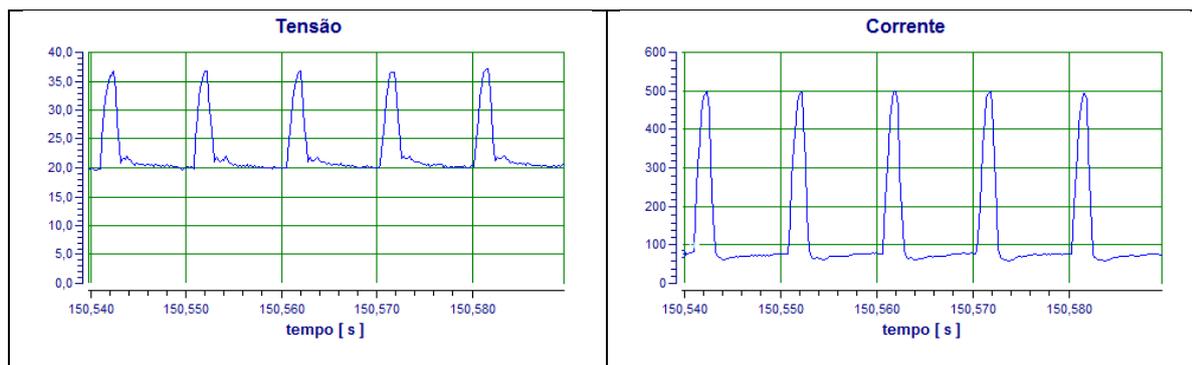


Figura 1. Oscilogramas de tensão e corrente para os passes de enchimento

Com a soldagem das três camadas de reforço (aproximadamente 9 passes) finalizada, a raiz foi submetida a ensaio de líquido penetrante. O ensaio revelou algumas regiões com falta de fusão. Os defeitos foram marcados e a raiz foi goivada com um eletrodo de carvão. As faltas de penetração verificadas foram eliminadas e o reforço gerado no lado 1 foi igualado com a soldagem de passes de enchimento no lado 2. A partir disso, ambos os lados foram soldados simultaneamente.

Soldagem no lado 2 - posterior (raiz)

O verso da raiz apresentou problemas de falta de fusão, principalmente entre os cordões e o tubo. Para remover os defeitos inicialmente realizou-se goivagem por esmerilhamento. Contudo a profundidade ficou demasiadamente grande, sendo necessária a goivagem com eletrodo de carvão no chanfro da chapa para a abertura da junta. Com isso, o primeiro passe de solda realizado no lado 2, foi em uma profundidade maior do que do lado 1. A irregularidade da junta ocorrida em função da goivagem e do fechamento do GAP durante a soldagem exigiu a realização de passes intermediários, menores, que tiveram a função básica de uniformizar a geometria do chanfro. No lado 2 da peça foram realizados 55 passes de solda completos.

Na Tabela 3 é possível verificar os parâmetros utilizados para a soldagem do primeiro passe do lado 2 após a raiz.

Tabela 3. Parâmetros de soldagem regulados para o primeiro passe no lado 2

	Fonte	Manipulador da tocha	
Programa	MIG/MAG convencional	Vs (cm/min)	26,5
U (V)	20,2	Tecimento	Trapezoidal
Va (m/min)	5,0	F (Hz)	1,2
Ks	80	A (mm)	5,5
Kd	80	tp (s)	0
Gás	85%Ar+15%CO ₂		
Vazão de gás (l/min)	15		

Para o acompanhamento do processo foram realizadas aquisições dos dados de tensão, corrente e velocidade de arame durante grande parte dos passes de solda realizados. Para isso foi utilizado o SAP (Sistema de aquisição de dados portátil). A estabilidade do processo e da transferência metálica pode ser observada pelos oscilogramas de tensão e corrente mostrados na Figura 2.

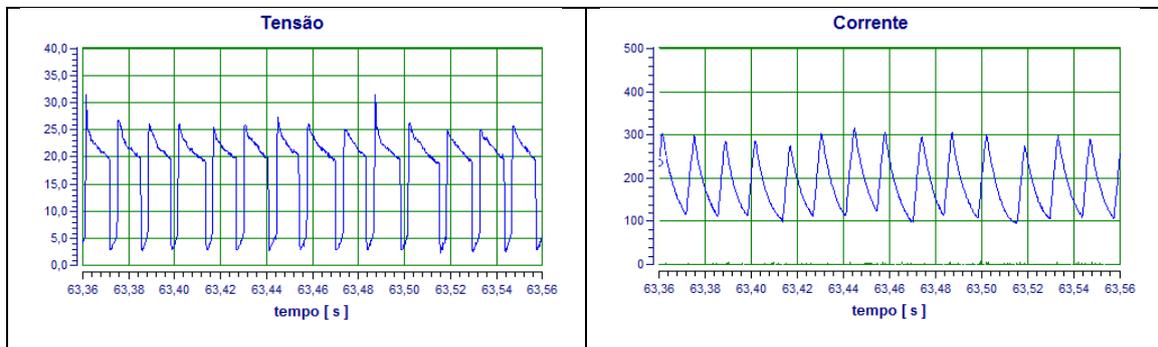


Figura 2. Oscilogramas de tensão e corrente para o primeiro passe de solda do lado 2

Coletaram-se também os valores médios e eficazes de tensão e corrente, além da velocidade média de alimentação de arame, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Valores médios e eficazes para o Passe 1 Lado 2

Tensão média - U_m (V)	17,8
Corrente média - I_m (A)	172
Tensão eficaz - U_{rms} (V)	19,3
Corrente eficaz - I_{rms} (A)	182
Velocidade de arame (m/min)	5

Os demais passes de enchimento foram feitos com o processo MIG/MAG modo pulsado. Os parâmetros elétricos regulados foram pouco alterados durante a soldagem, salvo situações que exigiam uma regulagem no comprimento do arco em função de variações demasiadas da distância entre bico de contato e peça. Já os parâmetros de movimentação tiveram uma atuação mais frequente por parte do operador e são dependentes das condições da junta e da posição de soldagem. Os parâmetros de referência são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros de soldagem de referência utilizados nos passes de enchimento do MCV

Fonte				Manipulador da tocha	
Programa	MIG/MAG adaptativo	Pulsado	sinérgico	V_s (cm/min)	34,7
I_m (A)	150			Tecimento	Trapezoidal
a (V)	23			F (Hz)	2,3
Gás	85% Ar+15% CO ₂			A (mm)	2,5
Vazão de gás (l/min)	15			tp (s)	0

Para o acompanhamento dos parâmetros de soldagem foram adquiridos os oscilogramas de corrente e tensão por intermédio do SAP (sistema de aquisição de dados portátil), conforme pode ser verificado na Figura 3.

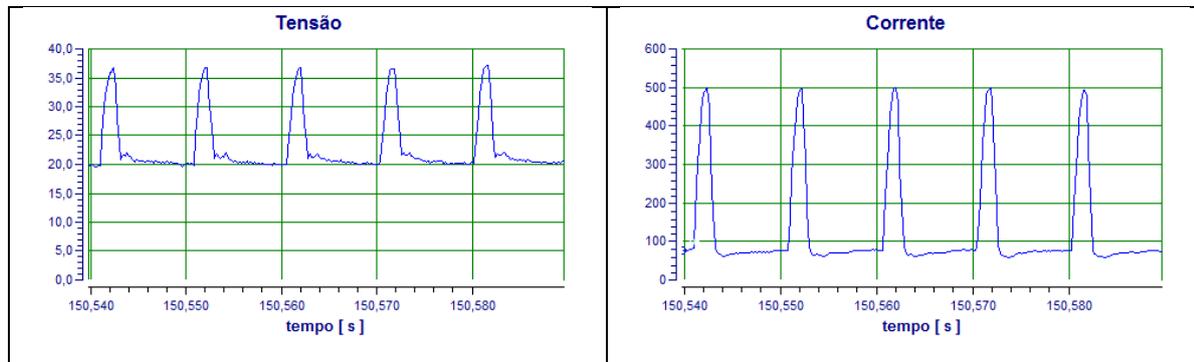


Figura 3. Oscilogramas de tensão e corrente para o passe de solda nº11 no lado 2

Adicionalmente foram coletados os valores médios e eficazes de corrente e tensão do processo, além da velocidade média de arame, conforme demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6. Valores médios e eficazes para o Passe 11 do enchimento no Lado 2

Tensão média - U_m (V)	22,8
Corrente média - I_m (A)	130
Tensão eficaz - U_{rms} (V)	23,5
Corrente eficaz - I_{rms} (A)	185,5
Velocidade de arame (m/min)	4

A média de tempo de arco aberto para os passes de enchimento efetuada com base nos dados coletados dos oscilogramas de cordões completos foi de 6 minutos e 30 segundos. O tempo médio entre passes foi de aproximadamente 5 minutos. E a quantidade de cordões realizada do lado 2 da peça foi 55. Com estes dados foi possível realizar uma estimativa aproximada do tempo necessário para o fechamento completo da junta tubo - barbatana do MCV, que foi de aproximadamente 10 horas.

Referências

- [1] PIMENTEL J., et al. **Formação do Petróleo: Processo de Decomposição de Matérias Orgânicas**. Revista de Trabalhos Acadêmicos, nº. 02 - Jornada Científica - Suplemento Brasil, 2010
- [2] SILVA, R. H. G. **Soldagem MIG/MAG em Transferência Metálica por Curto-Circuito**. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, p. 113. 2005.
- [3] DUTRA, J. C. **MIG/MAG - Transferência Metálica por Curto-Circuito - Fontes de Soldagem versus Gases do Arco**. Soldagem e Inspeção, p. 19-24, Jan/Mar 2008.

- [4] SPS SISTEMAS E PROCESSOS DE SOLDAGEM. **Manual Tartilope V2F**. Disponível em: <http://www.sps-soldagem.com.br/tartilope_v2f.php> Acesso em julho de 2015.
- [5] IMC SOLDAGEM. **Manual do Sistema SAP**. Disponível em: <http://www.labsolda.ufsc.br/projetos/manuais/sap_4_manual_usuario_%282008%29.pdf>. Acesso em julho de 2015.
- [6] IMC SOLDAGEM. **Fonte de Soldagem Digiplus A7**. Disponível em: <<http://www.imc-soldagem.com.br/digiplus.html>> Acesso em julho de 2015.
- [7] MILLER WELDS. **Manual of Operatios PipePro 450 RFC**. Disponível em: <http://www.millerwelds.com/om/o221771k_bpg.pdf> Acesso em julho de 2015.