

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIAS APLICADAS AO CONTROLE DA CORRENTE NA SOLDAGEM A ARCO EM AMBIENTE MOLHADO

⁽¹⁾Larry Ollé, ⁽²⁾André Leal, ⁽³⁾Carlos Baixo, ⁽⁴⁾Jair Dutra,
⁽⁵⁾Alexandre Pope, ⁽⁶⁾José C. Teixeira

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados de pesquisas conduzidas no sentido de melhorar a estabilidade da soldagem a arco com eletrodos revestidos em ambiente molhado. A partir da utilização de métodos estatísticos de análise dos sinais de tensão e de corrente verificou-se que a aplicação de surtos de corrente, visando minimizar a duração dos curtos-circuitos, e um controle sobre a potência, para aumentar a elasticidade elétrica da fonte de energia no período de arco, mostraram-se métodos eficientes para melhorar a estabilidade da soldagem. A partir de ensaios em laboratório e em campo constatou-se que a utilização destas técnicas não só permitiu melhorar a estabilidade da transferência como, no caso da soldagem fora da posição plana, tornou-se requisito essencial para garantir a manutenção da soldagem.

Palavras-chaves: Soldagem Molhada; Soldagem Submarina; Estabilidade da Soldagem

ABSTRACT

This paper describes the work carried out to improve the arc stability of Shielded Metal Underwater Welding. It was verified, using statistical analysis, that current impulses (applied to reduce short circuiting times) and arc power control (employed to increase power source elasticity during arcing times) are both efficient methods to increase the welding stability. Laboratory and field tests showed that these techniques allowed not only improvements in welding stability but also, in the case of out position vertical welds, proved to be essential to guarantee the welding operation itself.

Key-words: Wet Welding; Underwater Welding; Arc Stability.

(1) – Eng. Eletricista, M. Eng. - LABSOLDA/ EMC/ UFSC (e-mail: larry@labsolda.ufsc.br)
(2) – Eng. Eletricista - LABSOLDA/ EMC/ UFSC (e-mail: leal@labsolda.ufsc.br)
(3) – Eng. Mecânico, M. Eng. - LABSOLDA/ EMC/ UFSC (e-mail: baixo@labsolda.ufsc.br)
(4) – Eng. Mecânico, Dr. Eng. - LABSOLDA/ EMC/ UFSC (e-mail: labsolda@emc.ufsc.br)
(5) – Eng. Metalurgista, Ph.D. - CENPES/ PETROBRÁS (e-mail: apope@cenpes.petrobras.com.br)
(6) – Eng. Metalurgista, M.Sc. - CENPES/ PETROBRÁS (e-mail: jclaudio@cenpes.petrobras.com.br)

1 - INTRODUÇÃO

A aplicação da soldagem molhada se mostrou inviável no Mar do Norte na década de 60, em parte devido as condições ambientais. Entretanto, verificou-se haverem condições mais favoráveis à sua utilização no Golfo do México e, posteriormente, no litoral brasileiro. No Golfo, dado a existência de águas rasas, quentes e calmas, a composição química dos aços utilizados na construção das estruturas mostrou-se menos suscetível a microestruturas de dureza elevada e trincas. Após vários anos de desenvolvimento, estas expectativas se confirmaram em 1992, quando foi utilizada a soldagem molhada com eletrodos revestidos em procedimentos de reparos de estruturas de prospecção no Golfo do México danificadas pela passagem do furacão "Andrews" [1, 2]. No Brasil, a exploração de petróleo *offshore* iniciou-se com plataformas fixas de grande porte. O fato de serem construídas com aços de alta resistência restringiu, de início, o uso da solda molhada, a menos que se desenvolvesse um eletrodo capaz de depositar cordões com hidrogênio difusível baixo.

O êxito destas operações de reparo reflete o aporte de recursos investidos no desenvolvimento da soldagem molhada com eletrodos revestidos. Apesar de Dennis [1] e Maghes [2] não descreverem o tipo do revestimento dos eletrodos utilizados nos reparos conduzidos no Golfo de México, em sua maioria estes derivam de composições formuladas para a soldagem de superfície. Seguindo uma linha de pesquisa européia, Szelagowski [3] relata a utilização de eletrodos rutílicos na execução de ensaios em pressões equivalentes a 100 metros de coluna d'água. Uma linha de desenvolvimento própria, que busca reduzir a quantidade de hidrogênio residual através da utilização de revestimento oxidante, vem sendo adotada no Brasil [4]. Pope *et. al.* [5] apresenta resultados de uma simulação de reparo em tubos conduzida a uma profundidade de 12 metros, com resultados satisfatórios, em especial, no parâmetro tenacidade do metal de solda.

Tal qual a exigência por composições adequadas de revestimento, o êxito para atingir propriedades metalúrgicas/ mecânicas aceitáveis torna necessário a disponibilidade de equipamentos com capacidade para manter a estabilidade elétrica do arco gerado em contato direto com a água. A ocorrência de extinções cria dificuldades ao mergulhador-soldador para o controle da fusão do eletrodo e da junta, dificuldades estas que acabam por conduzir à formação de defeitos na solda. Por este motivo, exige-se das fontes a capacidade de suprimento contínuo de potência, independente das flutuações que venham a ocorrer na tensão do arco.

Neste trabalho são apresentados os resultados de pesquisas realizadas no LABSOLDA com o objetivo de apontar as características da fonte de soldagem que permitem melhorar a estabilidade da soldagem a arco conduzida em ambiente molhado, em especial, com eletrodo revestido oxidante.

2 - EQUIPAMENTOS E MÉTODOS

Para verificar a influência da fonte de energia sobre a estabilidade da soldagem com eletrodos revestidos foram utilizados dois equipamentos com características distintas. O primeiro, designado por fonte A, possui uma característica de imposição de corrente. O segundo, designado por fonte B, apresenta uma característica que permite a corrente de soldagem variar segundo os valores de tensão do arco. Ambos os equipamentos foram desenvolvidos no Laboratório de Soldagem (LABSOLDA) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, sob especificações definidas em conjunto com a PETROBRÁS.

Os ensaios foram conduzidos em um tanque de água doce a 4 metros de profundidade, sendo utilizados um eletrodo oxidante, designado por (O), e um rutilico (R), ambos de 3,25 mm de diâmetro e especialmente desenvolvidos para aplicação em ambiente submarino. Os valores de corrente foram ajustados visando identificar a sua estabilidade ao longo da faixa operacional de cada eletrodo. Desta forma, os depósitos com os eletrodos oxidantes foram executados com valores de corrente entre 120 e 150 A, enquanto os eletrodos rútilicos foram testados na faixa entre 140 e 170 A.

Como critério de análise da estabilidade foram adotados como parâmetros indicativos o desvio padrão da tensão e da potência elétrica entregue pela fonte durante a soldagem. Para permitir o processamento estatístico destes parâmetros, durante os ensaios foi procedida a aquisição dos sinais de tensão {U} e de corrente {I} por um período de 10 segundos, a uma taxa de aquisição de 5 kHz. Para tanto foi utilizado um programa que emula as características de um osciloscópio, sediado em um microcomputador, operando em conjunto com um medidor de tensão e de corrente.

Para o processamento das informações adquiridas, foram utilizados programas especialmente desenvolvidos para a utilização na análise de procedimentos de soldagem. As características destes programas e dos instrumentos de medição utilizados para a aquisição e o processamento dos dados já constam de literatura publicada [6, 7].

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas figuras 1 e 2 são apresentados oscilogramas obtidos durante os ensaios e que permitem caracterizar o comportamento dos sinais de tensão e de corrente de cada um dos equipamentos utilizados. Através destes oscilogramas pode-se verificar que a fonte "A" manteve um valor de corrente constante ao longo dos períodos de arco, característica resultante da modulação em corrente. Um comportamento diferente foi produzido pela fonte "B", que introduziu variações na amplitude da corrente para compensar as mudanças na tensão do arco durante a soldagem. Como característica comum, ambas as fontes utilizadas possuem a capacidade de produzir um surto de corrente diante da ocorrência de um curto-circuito, característica previamente identificada como fundamental para melhorar a estabilidade do arco elétrico na soldagem molhada com eletrodos revestidos oxidantes [8].

Nas figura 3 e 4 são apresentados os resultados encontrados para a estabilidade do arco, com base nos desvios padrão da tensão e da potência, respectivamente. A análise da estabilidade do arco, com base no desvio padrão da tensão (fig. 3), indicou que a introdução de variações na amplitude da corrente para compensar as mudanças na tensão do arco produziu efeitos mais significativos na soldagem com eletrodos oxidantes. Em função de uma redução da ordem de 50% em (DPU), ambos os eletrodos passaram a apresentar o mesmo indicativo de estabilidade, apesar de suas características operacionais distintas. Efeito igualmente significativo foi observado quando analisada a estabilidade com base no desvio padrão da potência (fig. 4). Tendo (DPP) como indicativo, para ambos os eletrodos observou-se uma redução da ordem de 60 % na variação da potência durante a soldagem. Como resultado, tal qual o desvio padrão da tensão, tanto o eletrodo oxidante, quanto rutilico, passaram a apresentar um indicativo de estabilidade de mesma magnitude. Este efeito de maior estabilidade pode ser observado através dos oscilogramas de potência. Na soldagem com a fonte A (fig. 5), em função da corrente permanecer constante durante a fase de arco, a potência elétrica foi fortemente influenciada pelas variações que surgiram na tensão do arco, efeito que não ocorreu na soldagem utilizando a fonte B (fig. 6).

O incremento da estabilidade da soldagem em ambiente molhado, em especial com os eletrodos oxidantes, foi associada a atuação conjunta dos efeitos do surto de corrente e do controle sobre a demanda de potência requerida da fonte de energia. O surto de corrente teve atuação nos períodos de curto-circuito, reduzindo sua duração, o que facilita a reignição do arco. Por sua vez, o controle de potência teve atuação durante os períodos de arco, evitando, quando da elevação da tensão, que a demanda de potência requerida da fonte atingisse níveis muito elevados.

O fenômeno de elevação da tensão pode ter sua origem associada, tanto ao aumento do comprimento do arco, devido a uma dificuldade de manuseio do eletrodo pelo soldador, quanto pela formação de um arco com ponto catódico ou anódico. Este último ocorre quando existem compostos, tanto na poça fundida, quanto na extremidade do eletrodo, que possuam forte capacidade de emissão eletrônica. Neste caso, a passagem da corrente tende a se concentrar sobre um único ponto, de dimensões reduzidas, promovendo uma mudança nas características elétricas do arco. Cabe observar que a formação de um arco com ponto catódico ou anódico não se restringe à soldagem em ambiente molhado, mas ocorrendo com maior frequência nesta e tendendo a se agravar com o aumento da profundidade. Sob o aspecto operacional, caso durante a soldagem a tensão do arco se eleve muito, torna-se impossível para a fonte de energia manter o fluxo de corrente, o que conduzirá, fatalmente, à extinção do arco. Esta ocorrência deve ser evitada ao máximo, tanto por dificultar a condução da operação de soldagem, quanto pelo risco que introduz de produzir falhas nos depósitos. Neste sentido, a maior elasticidade elétrica da fonte de energia reduz o risco de extinção, em função de controlar a demanda de potência requerida do equipamento.

4 - CONCLUSÕES

Com base no desvio-padrão dos sinais de tensão e de potência do arco, verificou-se que os surtos de corrente, visando minimizar a duração dos curtos-circuitos, e o controle da potência, para aumentar a elasticidade elétrica da fonte de energia, mostraram-se eficientes para melhorar a estabilidade do arco. Este comportamento foi observado para ambos os eletrodos analisados, sendo mais significativo para a soldagem com eletrodos oxidantes em função dos indicativos de estabilidade terem se tornado equivalentes àqueles obtidos para os eletrodos rutilicos.

5 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Pesquisas Leopoldo A. Miguez de Mello (CENPES/PETROBRÁS), ao PADCT, à FINEP e ao CNPq pelo suporte financeiro ao projeto e a empresa IMC Engenharia de Soldagem, Instrumentação e Automação Ltda. pela participação no desenvolvimento dos equipamentos utilizados neste trabalho.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - DENNIS, R., CAYL, D., MARINO, J., MAGHES, A., REYNOLDS, T. and SMITH, R. - Case Studies of Successful Underwater Repair. **International Workshop on Underwater Welding of Marine Structures**. American Bureau of Shipping. New Orleans, Louisiana, USA. 1994.pp.: 245-277.
- [2] - MAGHES, A., REYNOLDS, T. and SMITH, R. - Hurricane "Andrew" Damaged Platform Repaired by Wet Welding. **Workshop on Underwater Welding of Marine Structures**. American Bureau of Shipping. New Orleans, Louisiana, USA. 1994.pp.: 279-293.
- [3] - SZELAGOWSKI, P., STUHFF, H., LOEBEL, P., BLIGHT, J., DONELLY, C. and SCHAFSTALL, H.. Properties of Wet Welded Joints. **21st Annual OTC, Houston, Texas, 1989**. OTC5890, pp. 77-86.
- [4] - POPE, A. - Oxygen and Hydrogen Control in Shielded Metal Underwater Welding. **PhD Thesis**, Colorado School of Mines, May, 1995.
- [5] - POPE, A., TEIXEIRA, J. C., PIZA, M. T e SANTOS, V. R. - Soldagem Submarina Molhada: Desenvolvimentos Recentes e Perspectivas de Aplicação em Reparos Submarinos. **Anais do XXII ENTS**, Blumenau/ SC, 1996. pp.: 707-716.
- [6] - DUTRA, J.C., BAIXO, C.E., OLLÉ, L. e GOHR, R. - Instrumentação para o Estudo da Transferência Metálica em Soldagem MIG/ MAG por Curto-Circuito. **Anais do XXI ENTS**. Assoc. Bras. de Soldagem, Caxias do Sul, Brasil, 1995. pp.: 867-888.
- [7] - LUCHTENBERG, H., BAIXO, C. E. e DUTRA, J. C. - Desenvolvimento de uma Nova Geração de Programas para a Análise Estatística da Soldagem a Arco. **Anais do XXII ENTS**. Assoc. Bras. de Soldagem, Blumenau, Brasil, 1996. pp.: 421-431.
- [8] - POPE, A., TEXEIRA, J. C., BAIXO, C. E., TEICHMANN, E. and DUTRA, J.C. - Influence of Power Source Dynamic Response on Underwater Welding Stability. **OMAE-98**, paper 220117, Lisbon, Portugal, 1998.

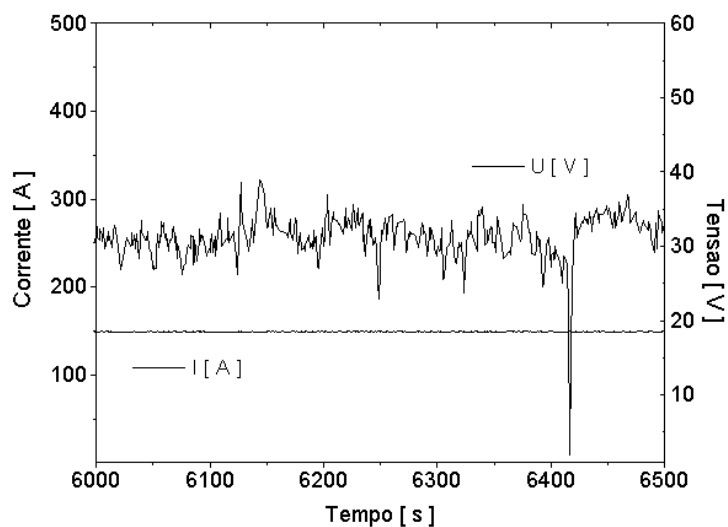


Figura 1 - Oscilogramas de tensão {U} e de corrente {I} característicos da fonte de soldagem, designada por A, com característica de imposição de corrente.

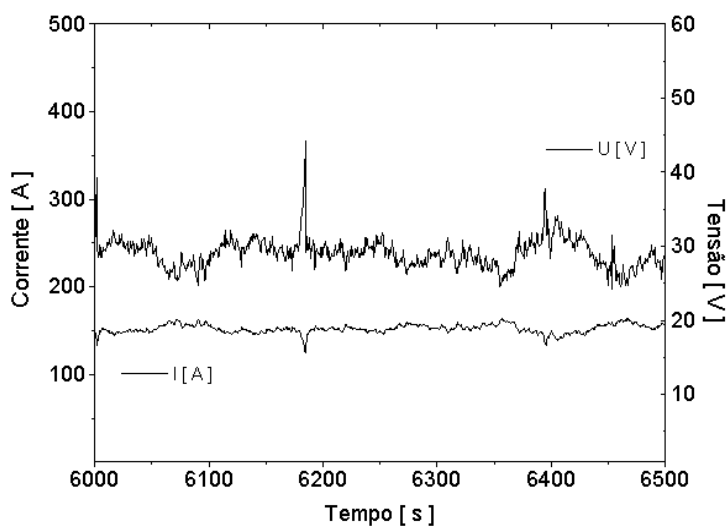


Figura 2 - Oscilogramas de tensão {U} e de corrente {I} característicos da fonte de soldagem, designada por B, com característica de variação na amplitude da corrente para compensar as mudanças na tensão do arco.

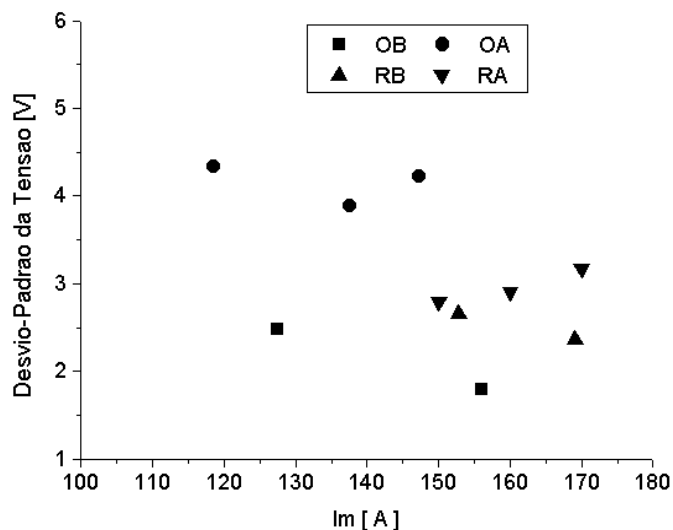


Figura 3 - Efeito da composição do eletrodo e da característica da fonte de energia sobre o desvio padrão da tensão. Legenda: DPU – Desvio padrão da tensão; O/ R - Eletrodo Oxidante/ Rutílico; A/ B - Fonte de energia utilizada.

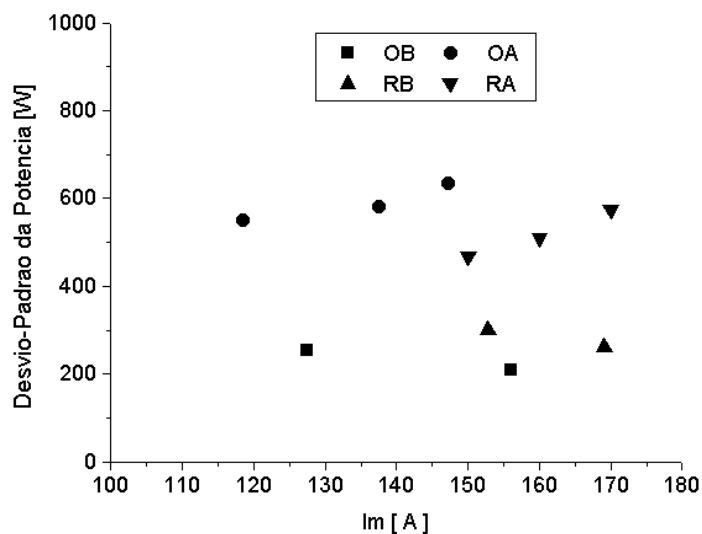


Figura 4 - Efeito da composição do eletrodo e da característica da fonte de energia sobre o desvio padrão da potência elétrica. Legenda: DPP – Desvio padrão da tensão; O/ R - Eletrodo Oxidante/ Rutílico; A/ B - Fonte de energia utilizada.

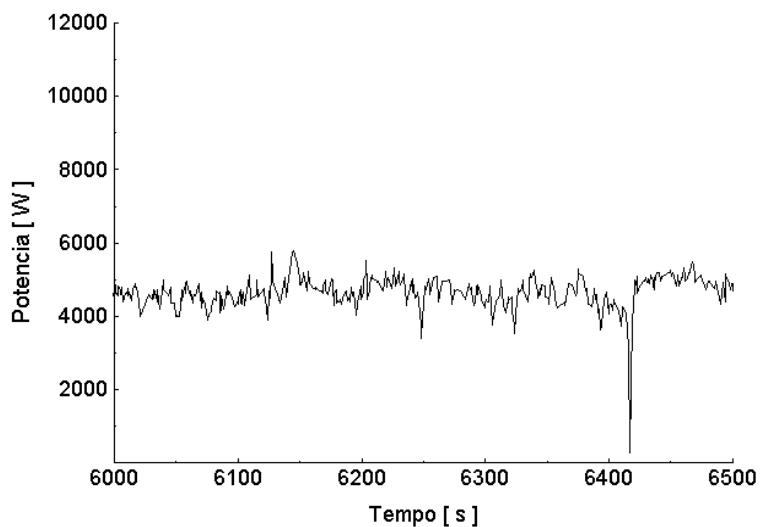


Figura 5 - Oscilograma de potência elétrica característica da fonte de soldagem, designada por A, com característica de imposição de corrente.

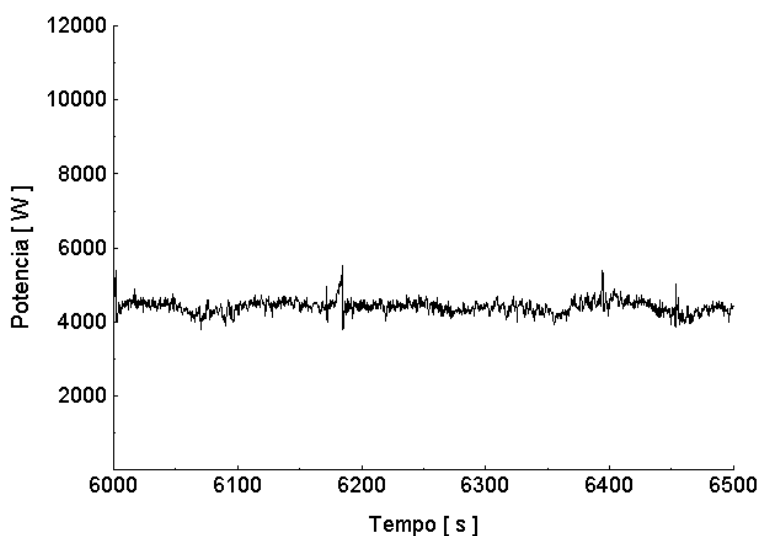


Figura 6 - Oscilograma de potência elétrica característica da fonte de soldagem, designada por B, com característica de variação na amplitude da corrente para compensar as mudanças na tensão do arco.