

SOLDAGEM MIG EM CORRENTE PULSADA E ELETRODO NEGATIVO NA PRODUÇÃO DE SOLDAS DE REVESTIMENTO¹

*Fábio Luis Castro Marinho²
Hélio Antônio Lameira de Almeida³
Frank Leslie Peres Quintana⁴
Carlos Alberto Mendes da Mota⁵
Eduardo de Magalhães Braga⁶*

Resumo

A proteção de componentes de aço contra a corrosão e desgaste é de suma importância em vários setores da indústria como, por exemplo, no setor petroquímico, onde são empregadas substâncias potencialmente corrosivas. A soldagem de revestimento (weld overlay) é uma das técnicas empregadas na recuperação de componentes metálicos desgastados por corrosão e/ ou erosão. Este trabalho estuda o processo de soldagem MIG pulsado na deposição de revestimentos. As soldagens automatizadas, na posição plana, foram realizadas com um arame AWS ER309L de 1,2 mm de diâmetro e mistura gasosa de 98% Ar + 2% O₂ com vazão de 15 l/min. Utilizou-se uma fonte eletrônica ajustada, inicialmente, em corrente contínua com eletrodo positivo (CCEP) e, em seguida, em corrente contínua com eletrodo negativo (CCEN). Os resultados indicaram que a soldagem MIG em CCEN gerou soldas com níveis de penetração inferiores àquelas produzidas em CCEP. Além disso, a utilização da corrente pulsada proporcionou, independente da polaridade, a realização de revestimentos com aspecto superficial satisfatório, ausência de salpicagem e excelente estabilidade do processo.

Palavras-chave: Estabilidade; Aço inoxidável; Corrosão.

¹ 60º Congresso da ABM, 25 a 29 de julho de 2005, Belo Horizonte – MG.

² Graduando UFPA/CT/DEM – e-mail: marinhomec@msn.com

³ M. Sc. UFPA/CT/DEM – e-mail: almeidahel@bol.com.br

⁴ Prof. M. Sc. CIABA/Pará – e-mail: frankles49@hotmail.com

⁵ Prof. Dr. UFPA/CT/DEM e CEFET-PA – e-mail: cmota@ufpa.br

⁶ Prof. Dr. UFPA/CT/DEM – e-mail: edbraga@ufpa.br

1 INTRODUÇÃO

Diversos setores da indústria atual têm como matéria-prima substâncias potencialmente corrosivas, ou as gera durante o processo de obtenção do produto final. O petróleo bruto (ou cru, como é conhecido), causa à indústria petrolífera inestimáveis prejuízos pelos altos teores de ácidos naftênicos, sais minerais, compostos orgânicos sulfurados e areia, entre outros, que formam um composto corrosivo-abrasivo de elevado poder de degradação, deteriorando as estruturas que os contêm e ocasionando paradas intempestivas para manutenção. Diante de tal problemática, algumas importantes técnicas surgiram com o objetivo de minimizar os prejuízos. Dentre as técnicas usualmente aplicadas, podemos citar a soldagem de revestimento (weld overlay), que consiste em se depositar sobre uma superfície sujeita a um meio corrosivo, uma camada de um determinado material cujas propriedades anti-corrosivas e anti-abrasivas, sejam mais elevadas que aquelas do material da estrutura.

Devido a sua elevada resistência a corrosão e boas propriedades mecânicas, os aços inoxidáveis têm desenvolvido um importante papel na soldagem de revestimento atualmente, quando novos processos industriais demandam uma resistência à corrosão cada vez maior dos materiais empregados (Han & Sun, 1999). A qualidade da solda de revestimento é primordialmente determinada pela composição química do metal de solda, seguida pela diluição do metal de base, sendo esta última característica diretamente ligada à geometria do cordão. Por este motivo, as dimensões e a forma do cordão de solda são aspectos importantes para os engenheiros da área de projetos e da linha de produção. Em uma larga extensão, as dimensões e a forma do cordão de solda podem ser controladas pelos parâmetros de soldagem, tais como a corrente, a tensão, a velocidade de soldagem, o diâmetro, a polaridade do eletrodo e a espessura da chapa.

A utilização de corrente pulsada tem possibilitado melhores chances de controle da geometria do cordão (Street, 1990), critério fundamental para a realização da soldagem de revestimento. Uma outra vertente em desenvolvimento é o uso da corrente contínua com o eletrodo negativo (Quintana, 2005). O Laboratório de Soldagem do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará vem realizando estudos voltados à obtenção de camadas de revestimento com melhorias nas suas características de resistência mecânica e corrosiva.

O objetivo principal deste trabalho é avaliar os efeitos da utilização do processo MIG pulsado em CCEN sobre o aspecto geométrico de cordões de solda de revestimento.

2 MATERIAIS E METODOS

As soldagens experimentais automatizadas, na posição plana, foram realizadas em simples deposição e passes com 30% de sobreposição sobre chapas de aço inoxidável austenítico da classe AISI 304 (UNS S30400). Para tal, utilizou-se um arame da classe AWS ER309L com diâmetro de 1,2 mm e a mistura 98% Ar + 2% O₂ com 15 l/min. Permaneceram constantes a distância bico de contato peça (DBCP), em 20 mm, o ângulo de inclinação da tocha, em 15°, e o sentido de deslocamento empurrando. Utilizou-se uma fonte eletrônica ajustada em corrente contínua com eletrodo positivo (CCEP) e com eletrodo negativo (CCEN).

Para o levantamento dos parâmetros em corrente pulsada foram realizadas soldagens com o processo MIG no modo tensão constante, para diferentes níveis de velocidade de alimentação de arame, de acordo com a metodologia de Nascimento (2003, p. 02). Desta forma, para cada condição de alimentação de arame, a tensão de soldagem foi variada com o objetivo de estabelecer um comprimento de arco com aproximadamente metade da distancia bocal-peça (7,5 mm). A relação entre a velocidade de alimentação de arame e a velocidade de soldagem foi mantida constante e igual a 10. A Tabela 1 mostra os níveis de velocidade de alimentação de arame e velocidade de soldagem utilizados.

Tabela 1. Fator variável e seus níveis. Soldagem MIG.

Níveis	1	2	3	4	5	6	7
Velocidade de alimentação (m/min)	5,0	6,0	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
Velocidade de soldagem (cm/min)	50	60	80	85	90	95	100

A Tabela 2 apresenta os parâmetros operacionais em corrente pulsada eletrodo positivo (I_p , t_p , I_b e t_b) levantados para os diferentes níveis de velocidade de alimentação de arame utilizados, juntamente com os valores de corrente média obtidos. Através de planejamento fatorial, definiu-se o número de três repetições para cada condição, perfazendo-se o total de 18 ensaios. A avaliação dos pacotes operacionais estabelecidos na soldagem MIG em corrente pulsada (MIG-P) foi conseguida através da análise de oscilogramas tensão x tempo e, também, pela avaliação do aspecto superficial das soldas produzidas. Finalmente, a adequação dos referidos pacotes para a soldagem de revestimento foi conseguida através da análise da geometria dos passes depositados a partir da realização do ensaio de macrografia sobre a seção transversal a 20 cm do fim dos cordões.

Tabela 2. Pacotes operacionais em corrente pulsada Arame ER 309L com 1,2 mm de diâmetro. Soldagem MIGP, CCEP.

W_f (m/min)	I_m (A)	t_p (ms)	I_p (A)	T (ms)	t_b (ms)	I_b (A)
6,0	217	2,0	428,9	8,01	6,01	146,6
8,0	256	2,0	428,9	6,00	4,00	170,0
8,5	266	2,0	428,9	5,65	3,65	176,8

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 1 e 2 indicam, respectivamente, o oscilograma tensão x tempo e o aspecto visual das soldas MIG-P, em CCEP (na condição de alimentação de arame igual a 8,0 m/min). A análise da Figura 1 indica a possibilidade da ocorrência de destacamento múltiplo (mais de uma gota por pulso). Entretanto, por intermédio da Figura 2, nota-se a ocorrência praticamente desprezível de salpicagem (fato similar foi encontrado nas demais condições de soldagem). Desta forma, estes resultados revelam que os possíveis destacamentos múltiplos, observados no oscilograma da Figura 1, não afetaram negativamente a estabilidade do arco durante a transferência metálica. Porém, pela Figura 3, observa-se a elevada penetração das soldas obtidas

a partir dos parâmetros em corrente pulsada e polaridade positiva (CCEP). Tal característica compromete a qualidade do revestimento, pois altos níveis de penetração resultam em grande diluição do metal de solda, afetando a composição química final do cordão.

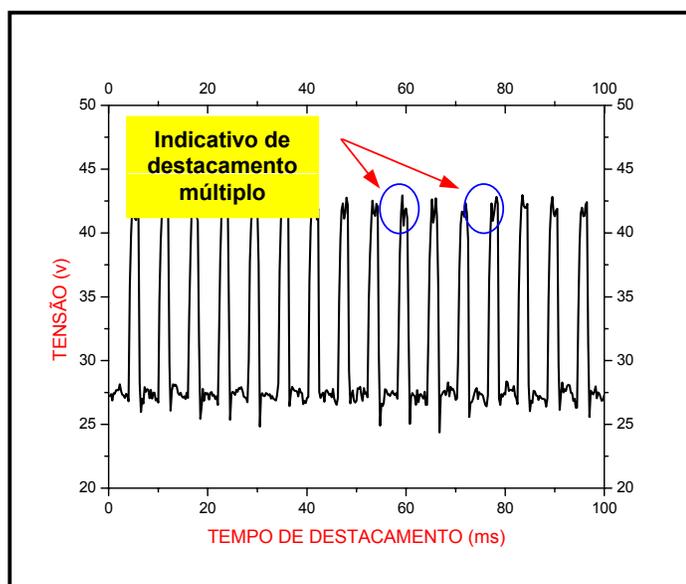


Figura 1. Trecho do oscilograma tensão x tempo. Velocidade de alimentação de arame de 8,0 m/min. Soldagem MIG no modo Pulsado. CCEP.

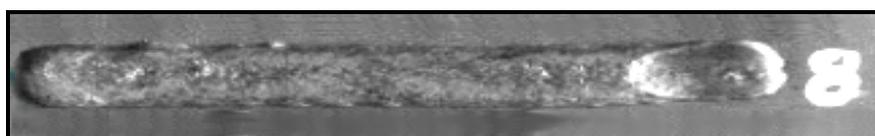


Figura 2. Aspecto superficial de uma solda obtida na soldagem MIG-P em 8m/min. CCEP.

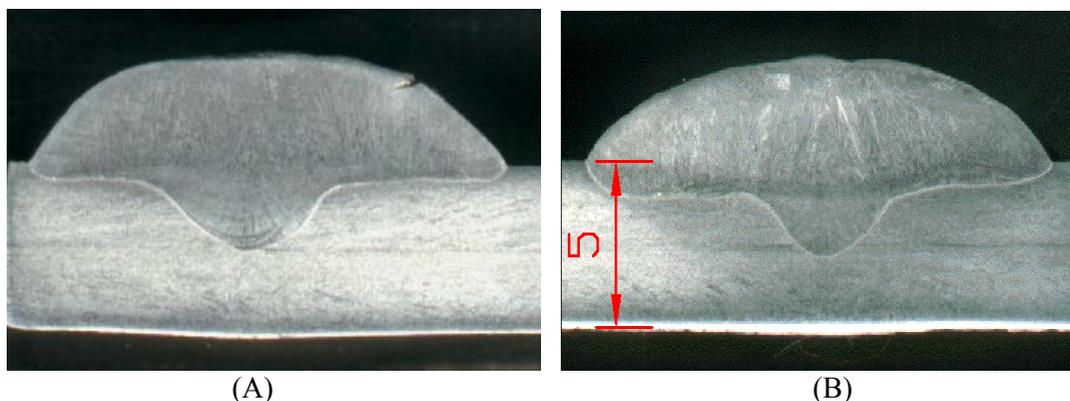


Figura 3. Macrografias mostrando o aspecto geométrico dos depósitos. Processo MIG pulsado CCEP. (A) $W_f = 6,0$ m/min. (B) $W_f = 8,0$ m/min

Os parâmetros operacionais em CCEP foram submetidos a alguns ajustes adicionais objetivando a redução da penetração, entretanto tais ajustes não produziram melhoras significativas. Neste sentido, novos pacotes operacionais em corrente pulsada foram levantados, a partir da utilização da corrente contínua eletrodo negativo (CCEN), conforme apresentado na Tabela 3. A Figura 4 mostra o

aspecto superficial de soldas de revestimento depositadas em CCEN. A análise desta figura indica a ausência de salpicagem e o excelente acabamento superficial dos depósitos, o que reflete níveis de regularidade e de facilidade na transferência de carga e de metal através do arco voltaico. A avaliação do aspecto geométrico das soldas realizadas em CCEN revelou uma baixa penetração, conforme observado na Figura 5. Este comportamento da penetração em resposta à inversão de polaridade, é pertinente aos processos a arco elétrico com transferência metálica no arco. De acordo com Machado (1996), para estes processos, a penetração é menor em corrente contínua e eletrodo negativo. Comparando-se os valores de corrente média obtidos para CCEP (Tabela 2) com aqueles obtidos em CCEN (Tabela 3), pode-se observar a considerável redução nestes valores para este último modo, sendo esta redução (que por sua vez acarreta um decréscimo na quantidade de calor transferido à poça de fusão), considerada a provável causa da diminuição na penetração.

Através das Figuras 3 e 5, verifica-se que a largura do cordão é maior nas soldas depositadas em CCEP. Este fato pode ser atribuído, também, ao maior valor da corrente média neste modo. Corrêa e Trevisan (2002) encontraram resultados semelhantes, quando incrementos impostos sobre os valores de I_m promoveram conseqüentes aumentos na largura do cordão.

Os resultados obtidos demonstram, portanto, que para as mesmas condições de velocidade de alimentação de arame e velocidade de soldagem, os parâmetros operacionais obtidos no modo corrente contínua e eletrodo negativo, mostraram-se mais adequados para a aplicação na técnica de revestimento (Weld Overlay).

Tabela 3. Pacotes operacionais em corrente pulsada. Arame ER 309L com 1,2 mm de diâmetro. Soldagem MIGP, CCEN.

W_f (m/min)	I_m (A)	t_p (ms)	I_p (A)	T (ms)	t_b (ms)	I_b (A)
6,0	133	2,0	229,0	8,01	6,01	101,0
8,0	164	2,0	256,0	6,00	4,00	118,0
8,5	182	2,0	203,0	5,65	3,65	170,0



Figura 4. Aspecto superficial de soldas de revestimento MIGP-CCEN, $W_f = 8,5$ m/min.

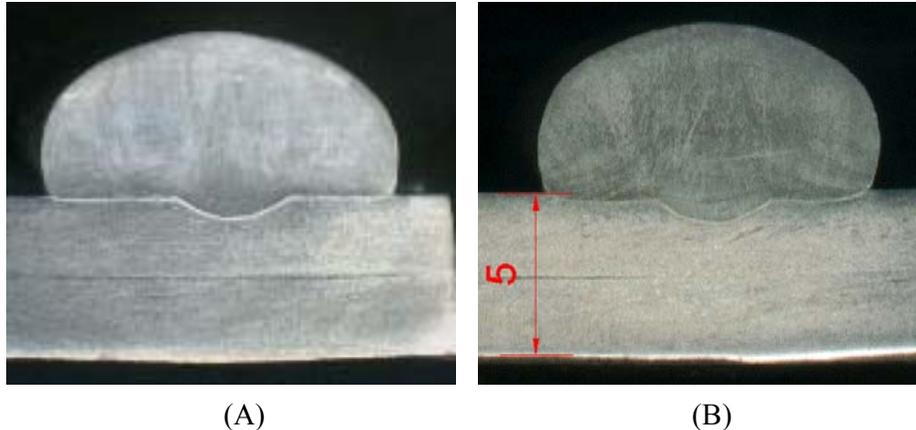


Figura 5. Macrografias mostrando o aspecto geométrico dos depósitos. Processo MIG pulsado CCEN. (A) $W_f = 6,0$ m/min. (B) $W_f = 8,0$ m/min.

A Figura 6 mostra um corte na seção transversal de uma chapa revestida com os cordões realizados em MIGP – CCEN, sobrepostos em 30%. Nesta Figura observa-se a falta de fusão entre os cordões, que provavelmente ocorreu em função do baixo ângulo de molhamento. Desta forma percebe-se que ainda se faz necessário a otimização dos parâmetros operacionais estabelecidos para a soldagem MIG pulsado e eletrodo negativo, de modo que os depósitos alcancem um maior ângulo de molhamento e, desta forma, sejam evitados defeitos internos que possam comprometer as propriedades mecânicas do revestimento.

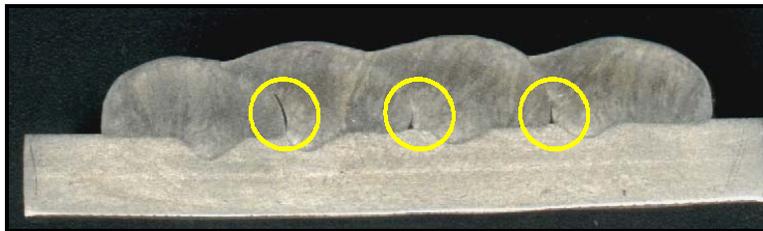


Figura 6. Macrografia da seção transversal dos cordões MIGP-CCEN sobrepostos, $W_f = 8,5$ m/min.

4 CONCLUSÕES

Nas condições sob as quais este trabalho foi realizado, os resultados indicam que:

- O comportamento do arco manteve-se relativamente estável em ambas as polaridades, para todos os pacotes operacionais utilizados;
- A baixa penetração promovida pelo processo MIGP – CCEN apresentou-se como uma alternativa geometricamente viável para a soldagem de revestimento.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao GETSOLDA/UFPA pela infra-estrutura disponibilizada aos experimentos e ao cnpq pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HAN, H., Y.; SUN, Z. Development of Welding Wire for High – Purity Austenitic Stainless Steels. **Welding Research Supplement**, pp. 38s – 44s, 1999.
2. STREET, J. A., Pulsed Arc Welding. Cambridge, **Abington Publishing**, p. 9 – 10, 1990
3. QUINTANA, F. L. P. Desempenho do Processo MIG CCEN Aplicado à Soldagem “overlay” em Aço Inoxidável Austenítico. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará. Belém, PA. Janeiro de 2005.
4. NASCIMENTO, A. S et al. Procedimento Experimental para Seleção de Parâmetros de Pulso para a Soldagem com Arame Tubular em Corrente Pulsada. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2003, Uberlândia. **Anais...** Minas Gerais: COBEF, 2003. 1 CD
5. MACHADO, I. G. Soldagem e Técnicas Conexas: Processo. Porto Alegre, editado pelo próprio autor, p. 107, 1996.
6. CORRÊA, C. A.; TREVISAN, R. A. Influência do Parâmetros da Soldagem MIG Pulsada e Convencional na Morfologia do Cordão e na Microestrutura. In: 1º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2001, Curitiba. **Anais...** Paraná: COBEF, 2001. 1 CD.

STAINLESS STEEL CALDDING USING THE PULSED CURRENT GMAW PROCESS WITH DIRECT CURRENT ELECTRODE NEGATIVE

*Fábio Luis Castro Marinho⁷
Hélio Antônio Lameira de Almeida⁸
Frank Leslie Peres Quintana⁹
Carlos Alberto Mendes da Mota¹⁰
Eduardo de Magalhães Braga¹¹*

Abstract

Protection of steel components from corrosion is of paramount importance in many areas of industry, where highly corrosive substances are employed. The weld overlay is one of the most accepted techniques in the recovering of metallic components attacked by corrosion. In this work the applicability of pulsed GMAW in clad deposition of austenitic stainless steel was studied. The automatic welds were performed in the flat position, using a 1,2-mm-diameter stainless steel filler metal (of specification AWS ER 309L), and a commercial 98% Ar + 2% O₂ gas shielding at a flow rate of 15 L/min. The electronic power source was first adjusted in direct current electrode positive (DCEP), being adjusted in direct current electrode negative (DCEN) afterwards. The results indicated that the pulsed GMAW in DCEN yielded weld beads with lower depth of fusion when compared to those made in DCEP. Furthermore, the use of pulsed current, in both DCEP and DCEN, resulted in excellent stability of the process and beads with good superficial appearance.

Key-words: Arc stability; Austenitic stainless steel; Corrosion.

⁷ Graduando UFPA/CT/DEM – e-mail: marinhomec@msn.com

⁸ M. Sc. UFPA/CT/DEM – e-mail: almeidahel@bol.com.br

⁹ Prof. M. Sc. CIABA/Pará – e-mail: frankles49@hotmail.com

¹⁰ Prof. Dr. UFPA/CT/DEM e CEFET-PA – e-mail: cmota@ufpa.br

¹¹ Prof. Dr. UFPA/CT/DEM – e-mail: edbraga@ufpa.br