



ESTUDO DA ESTABILIDADE DO ARCO NA SOLDAGEM MIG PULSADA EM ALUMÍNIO NAVAL COM ARAME ER – 4043.

Daniel Tavares Sarges

Universidade Federal do Pará, Departamento de Engenharia Mecânica, LABSOLDA,
sargesdt@bol.com.br - Belém, PA, Brasil

Gilvandro de Oliveira Jorge

Universidade Federal do Pará, Departamento de Engenharia Mecânica, LABSOLDA,
gilvandroj@hotmail.com - Belém, PA, Brasil

Carlos Benedito Abreu da Silva Filho

Universidade Federal do Pará, Departamento de Engenharia Mecânica, LABSOLDA,
abreufh@ufpa.br - Belém, PA, Brasil

Carlos Alberto Mendes da Mota

Universidade Federal do Pará, Departamento de Engenharia Mecânica, LABSOLDA,
cmota@ufpa.br - Belém, PA, Brasil

***Resumo.** Para a correta aplicação do processo de soldagem MIG em corrente pulsada faz-se necessário, inicialmente, a determinação de parâmetros ditos ótimos à soldagem o que deve incluir, também, a análise posterior à estabilidade do arco com relação à variação do volume da gota metálica. Neste trabalho, determinaram-se pacotes operacionais para a soldagem com o arame ER-4043 de diâmetro 1,2mm. A vazão de argônio foi estabelecida em 15 l/min, enquanto os parâmetros de pulso foram obtidos para as velocidades de alimentação de arame de 4 a 6 cm/min, com incremento de 0,5. As soldagens experimentais foram realizadas com uma fonte eletrônica transistorizada, interfaceada a um micro computador e um software de aquisição e processamento dos dados instantâneos de tensão e da corrente de soldagem. Os resultados indicaram que o aumento no comprimento do arco prejudicou a sua estabilidade, o que levou ao ajuste dos parâmetros pela variação da corrente de base. O volume da gota transferida também afetou a estabilidade do arco. O processo se tornou estável para gotas com diâmetro 20% abaixo do diâmetro do arame.*

***Palavras-chave:** Soldagem MIG, Corrente pulsada, Alumínio, Estabilidade do arco, Variação do volume da gota.*

1. INTRODUÇÃO

O baixo aporte térmico é uma importante vantagem da soldagem MIG em corrente pulsada frente à corrente convencional. O uso da corrente pulsada tem possibilitado as soldagens com transferência sem curto-circuito, fora de posição e em materiais de pequena espessura. Entretanto, existem dificuldades para seleção das muitas grandezas envolvidas no processo o que tem se traduzido numa das principais razões para a falta de popularidade desta nova vertente do processo MIG.

A forma como a gota é transferida da ponta do eletrodo à poça de fusão é um fator bastante relevante, pois é determinante na estabilidade do processo, na qualidade do depósito etc. Torna-se igualmente importante balancear adequadamente as condições de destacamento da gota à velocidade de

alimentação do arame, para que resulte em uma transferência regular e boa estabilidade do arco. Este trabalho tem como objetivo determinar os parâmetros operacionais de pulsação para a soldagem do alumínio naval com o arame ER-4043 de 1,2mm. Vários pacotes operacionais foram montados e testados para diversas velocidades de alimentação de arame, conforme descrição na metodologia experimental.

- **Considerações sobre o MIG pulsado**

Uma das características deste processo alternativo de soldagem MIG é o aumento no número das variáveis de soldagem em relação ao processo convencional, como podemos observar na figura abaixo. Desta forma, os parâmetros a serem ajustados antes da operação e monitorados durante a soldagem são a corrente de pulso (I_p), tempo de pulso (t_p), corrente de base (I_b) e tempo de base (t_b), a velocidade de alimentação do arame e a tensão de soldagem. Para uma dada aplicação, neste modo de transferência o valor da corrente média de soldagem é sempre inferior ao valor da corrente de transição obtida na soldagem MIG convencional.

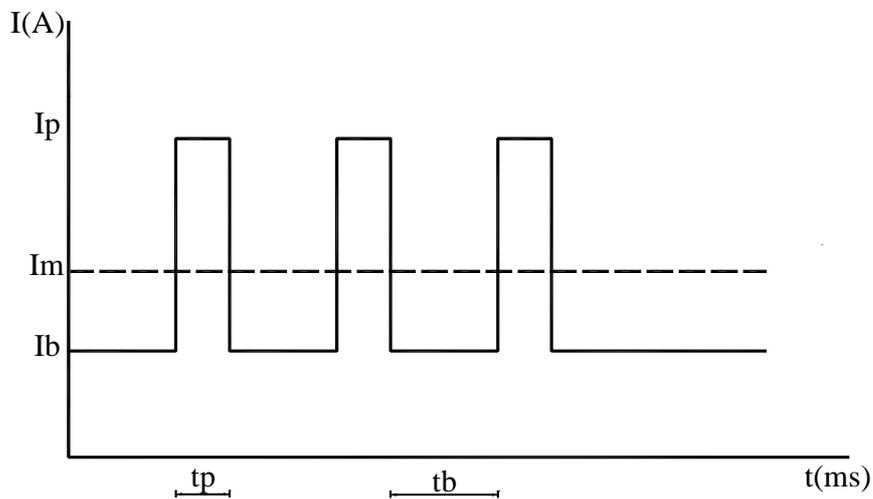


Figura 1 – Soldagem por corrente pulsada.

O destacamento da gota metálica ocorre devido à rápida elevação da corrente de base aos níveis da corrente de pulso, que intensificam a ação das forças eletromagnéticas causadoras da constrição do filamento metálico que sustenta a gota à extremidade do arame. Para que não ocorra o surgimento e/ou intensificação da salpicagem e o conseqüente descontrole do processo de transferência metálica, os parâmetros de pulso devem ser regulados, portanto, de tal forma que haja o destacamento de uma gota por pulso de corrente. Desta maneira, para o controle do destacamento da gota chegou-se, então, a seguinte relação matemática:

$$I_p^n t_p = D \quad \text{equação. 1}$$

onde: D, é uma constante que depende do material e diâmetro do eletrodo e, também, da composição do gás de proteção; n, é uma constante que possui um valor, normalmente, entre 1,1 e 2.

A corrente média obtida para uma forma de onda retangular pode, portanto, ser calculada pela equação 2.

$$I_m = \frac{I_p t_p + I_b t_b}{t_b + t_p} \quad \text{equação. 2}$$

Onde: I_m é a corrente média;
 $T = t_b + t_p$ é o período de pulsação.

2 MATERIAIS UTILIZADOS

As soldagens foram realizadas na posição plana, em simples deposição, com o auxílio de uma fonte eletrônica de múltiplos processos, ajustada em CC⁺ e no modo corrente constante.. Utilizou-se, também, uma tocha *Push-Pull*, um carro de suporte/translação tipo *Tartilope VI*. A fonte foi interfaceada a um microcomputador para aquisição dos parâmetros instantâneos de soldagem (corrente e tensão) através do software oscilos 4. A calibração da fonte foi realizada com um sistema de aquisição portátil (SAP) equipado com sensores para monitorar os valores de corrente, tensão, velocidade de alimentação de arame e vazão do gás. Os corpos de prova foram confeccionados de chapa de alumínio navais ABNT 5083 de 225 x 55 x 5,0 mm. Foram utilizados como consumíveis o arame AWS ER-4043 de 1,2 mm e o argônio com 15 l/min como gás de proteção. Foram mantidos constantes a distância bocal - peça de 15 mm além da inclinação da tocha em 15° no sentido empurrando a solda. As velocidades de soldagens variaram entre 30 e 55 cm/min.

3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A determinação de um pacote operacional otimizado para soldagem com corrente pulsada necessita do desenvolvimento de duas etapas seqüenciais:

A primeira etapa consiste na realização de cálculos de parâmetros a partir de equações disponíveis na literatura. Estes parâmetros devem ser calculados seguindo a ordem em que se encontram. Estas equações fornecem como resultado os parâmetros de destacamento.

A segunda etapa é realizada após o teste experimental dos parâmetros de destacamento calculados onde realizamos o ajuste da corrente de base durante a soldagem até que seja alcançada uma maior estabilidade.

Com os parâmetros determinados e ajustados a uma situação que nos fornecesse estabilidade do processo, podemos agora avaliar a influência na qual o diâmetro da gota pode ter sobre esta estabilidade.

Para obtermos conclusões sobre esta nova investigação variamos o diâmetro da gota a ser destacada para um valor de 20% a mais e a menos do diâmetro do arame-eletrodo, para os experimentos com velocidade de alimentação de arame de 5,0; 5,5 e 6,0 m/min.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados da tabela 1 são referentes aos valores dos parâmetros de pulsação calculados matematicamente a partir da corrente média, em cada velocidade de alimentação do arame. Nestas condições operacionais, a análise dos oscilogramas de tensão/tempo indicou uma grande instabilidade do arco voltaico, com reflexos sobre a qualidade superficial da solda conforme é ilustrado na figura 2. Na região A desta figura, pode-se observar a pobre ação de auto limpeza na camada de óxido, presença de fuligem e irregularidades geométricas no cordão de solda. As causas deste resultado insatisfatório foram atribuídas aos elevados comprimentos de arco obtidos neste pacote operacionais calculado. Já na tabela 2 são mostrados os parâmetros de pulsação obtidos da soldagem experimental, a partir do ajuste

dos dados teóricos da tabela 1. A corrente de base foi selecionada como o fator variável para o ajuste dos parâmetros operacionais, haja vista que a sua alteração modifica apenas a corrente média mantendo os demais parâmetros constantes. A estabilidade operacional neste novo pacote ocorreu para o comprimento de arco voltaico, gerado entre a ponta do eletrodo e a peça, ajustado em 7,5 mm, equivalente à metade da distância bocal-peça.

Tabela 1 – Parâmetros calculados para a soldagem com MIG Pulsado.

Vel. arame (m/min)	Im (A)	Tp (ms)	Ip (A)	Tb (ms)	Ib (A)
4	100	2	255	10,0	69
4,5	112	1,9	260	8,8	80
5	125	1,8	267	7,8	92
5,5	137	1,7	273	7,0	104
6	150	1,6	281	6,4	117

Tabela 2 – Parâmetros ajustados para a soldagem MIG Pulsado.

Veloc. (m/min)	Im (A)	Tp (ms)	Ip (A)	Tb (ms)	Ib (A)
4	89	2	255	10,0	56
4,5	97	1,9	260	8,8	61
5	113	1,8	267	7,8	77
5,5	122	1,7	273	7,0	85
6	134	1,6	281	6,4	97

A figura 2 ilustra o resultado da soldagem evidenciando o aspecto superficial do cordão. Por esta figura, pode-se observar através das regiões A e B, respectivamente de parâmetros calculados e ajustados experimentalmente, as variações na geometria e na limpeza da camada de óxido. Na região A, mostra-se o cordão de solda depositado por um elevado comprimento de arco, acima de 7,5 mm. Observa-se, neste caso, o aspecto irregular na geometria da solda (largura) e uma pobre limpeza da camada de óxido (presença de fuligem). Na região B, cuja solda foi depositada com o ajuste completo dos parâmetros calculados teoricamente, nota-se que o cordão adquiriu uma geometria (largura) uniforme com aspecto superficial satisfatório, apresentando excelente limpeza da camada de óxido e, portanto, ausência de fuligem.

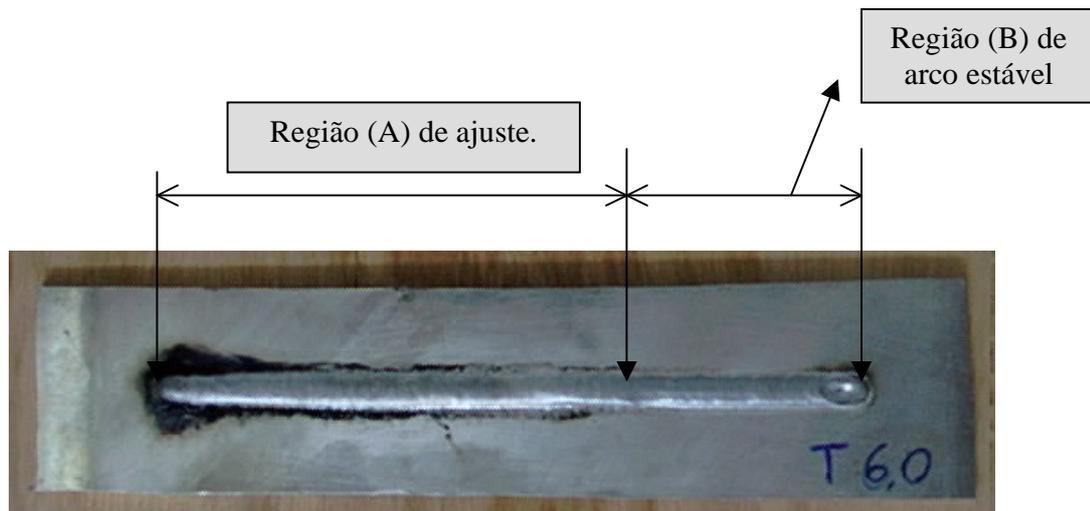


Figura 2 – Corpo de prova para $V_a=6$ m/min e $V_g=0,905$ mm³.

Após a definição dos níveis ótimos aos parâmetros de pulsação, determinantes do pacote operacional ajustado à níveis de estabilidade do arco compatíveis com a qualidade do metal de solda, pode-se também, avaliar os efeitos do diâmetro da gota metálica destacada sobre a estabilidade. Para tal, o diâmetro do arame foi estabelecido como referência ao diâmetro médio equivalente da gota em transferência. Neste trabalho, os parâmetros de soldagem foram estabelecidos para o destacamento de gotas em três níveis de diâmetro, ou seja, V_{g_r} ($V_{g_1}=0,905$ mm³), $1,2\% V_{g_r}$ ($V_{g_2}=1,563$ mm³) e $0,8\% V_{g_r}$ ($V_{g_3}=0,463$ mm³). Os resultados destes experimentos podem ser visualizados pelos oscilogramas das figuras 3, 4 e 5. A figura 2, mostra o resultado obtido para a gota em transferência com diâmetro equivalente ao diâmetro de referência. Neste caso, a análise do oscilograma tensão/tempo indica, para alguns pulsos de corrente, o destacamento de mais de uma gota, o que gerou, para esta condição, a instabilidade do arco. Na figura 3 mostra-se o oscilograma para o diâmetro da gota 20% acima da referência. Percebeu-se que, em relação ao caso anterior, o arco se mostrou ainda mais instável, haja vista o destacamento de mais de uma gota em todos os picos de corrente. Entretanto, a figura 4 mostra que para uma redução de 20% do diâmetro da gota em relação ao referencial, a transferência metálica passou a um regime bastante estável. Nesta situação, ocorreu o destacamento de apenas uma gota por pulso, ausência de salpicagem e melhor aspecto visual do cordão, conforme o ilustrado na região B da figura 2. A partir destes resultados, segue-se a determinação de novos pacotes operacionais otimizados, agora em função do volume da gota destacada considerado para 20% abaixo ($0,463$ mm³) e 20% acima ($1,563$ mm³) do volume de referência. Estes dados são mostrados nas tabelas 3 e 4, respectivamente.

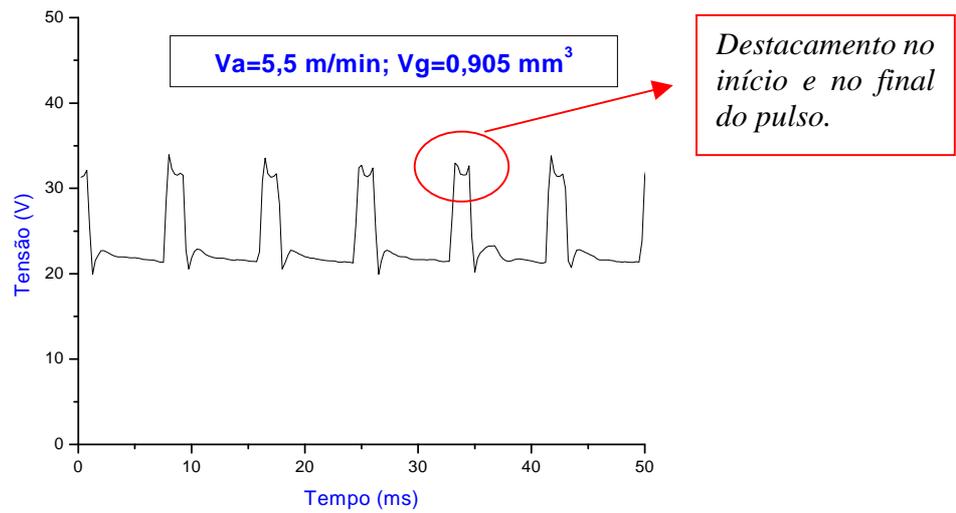


Figura 3 – Oscilograma de tensão para $V_a=5,5 \text{ m/min}$ e $V_g=0,905 \text{ mm}^3$.

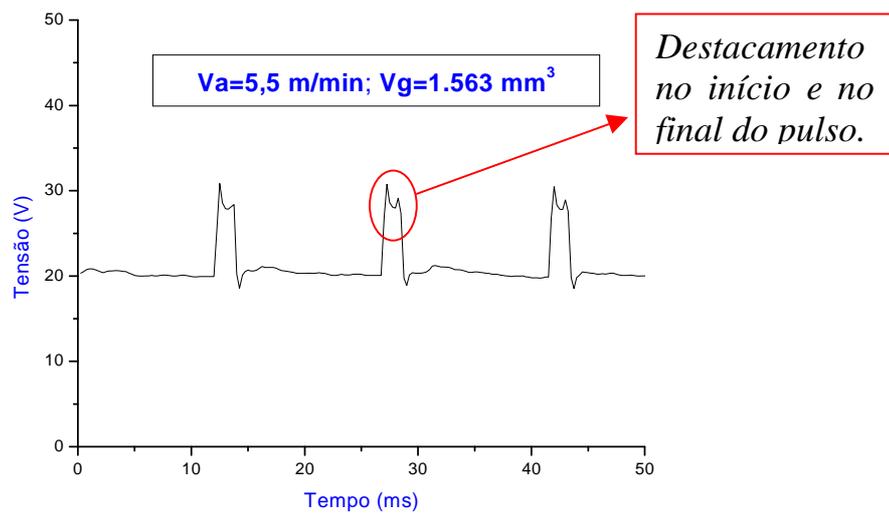


Figura 4 – Oscilograma de tensão para $V_a=5,5 \text{ m/min}$ e $V_g=1,563 \text{ mm}^3$.

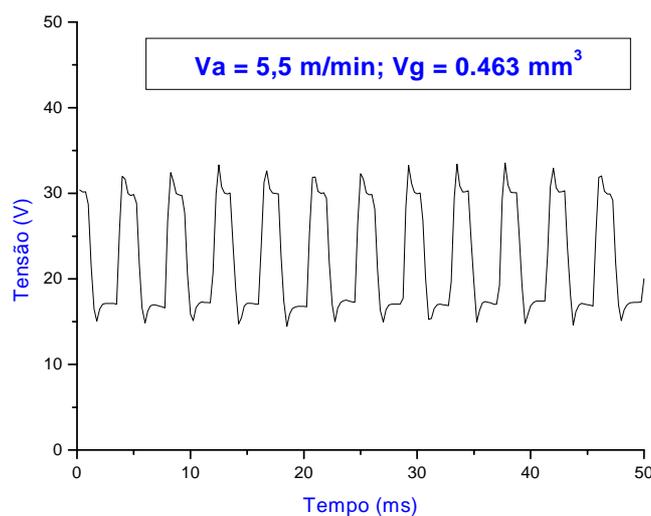


Figura 5 – Oscilograma de corrente para $V_a=5.5$ m/min e $V_g=0,463$ mm³.

Tabela 3 – Parâmetros calculados e ajustados para um volume de gota = 0,463 mm³

Veloc. (m/min)	Im (A)	Tp-estmi. (ms)	Periodo (ms)	Ip (A)	Tb (ms)	Ib (A)	Ib-ajustada (A)	Im-obtida (A)
5	125	1,8	4,9	267	3,1	42,5	26	114
5,5	137	1,7	4,5	273	2,8	53,4	23	118
6	150	1,6	4,0	281	2,5	65,5	61	147

Tabela 4 – Parâmetros calculados e ajustados para um volume de gota = 1,563 mm³

Veloc. (m/min)	Im (A)	Tp-estmi. (ms)	Periodo (ms)	Ip (A)	Tb (ms)	Ib (A)	Ib-ajustada (A)	Im-obtida (A)
5	125	1,8	16,6	267	14,8	107,4	89	108,3
5,5	137	1,7	15,0	273	13,4	119,8	107	125,8
6	150	1,6	13,8	281	12,2	132,4	125	143,0

4. CONCLUSÕES

O ajuste nos parâmetros de pulsação para a otimização no pacote operacional do processo em regime de estabilidade do arco, foi facilmente obtido através de modificações na corrente de base calculada e no comprimento inicial do arco para 7,5 mm, valor equivalente à metade da distância bocal-peça,. O arco se mostrou estável para gotas transferidas com diâmetros 20% abaixo do diâmetro do arame e instável, quando o diâmetro da gota se igualou ou superou o diâmetro de referência.

5. REFERÊNCIAS

- Figueiredo, K. M. e Ferraresi. V. A, 2000, “Mapas de transferência metálica na soldagem MIG de alumínio”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Uberlândia, Minas gerais, Brasil.
- Norish, J, 1995, “O que é MIG sinérgico?”, Soldagem & Inspeção, Nº 3.
- Santos, T. F, 2000, “Estudo sobre a abertura e estabilidade do arco MIG na soldagem do alumínio”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.
- Dutra, J. C, Júnior, R. G, e Ollé, L. F., 1994, “Fontes Brasileiras de Soldagem de Alta Tecnologia”; XX ENTS, Contagem, Brasil.
- Machado, I. G., 1996, “Soldagem & Técnicas Conexas”, Ed. UFRG, Rio Grande do Sul, Brasil, 447 p.
- Manual de Soldagem. ALCAN, 1993.
- ALUMINUM. Properties and Physical Metallurgy. American Society for Metals.
- Mota, C. A. M., 1985, “Estudo de Porosidade em Soldas de Alumínio Fabricadas pelo Processo de Soldagem MIG”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Brasil.
- Amin, M., 1983, “Pulsed Current Parameters for Arc Stability and Controlled Metal Transfer in Arc Welding”, Metal Construction; pp.271-278.

ARC STABILITY STUDY IN PULSED MIG WELDING USING NAVAL ALUMINUM WITH WIRE ER - 4043.

Abstract. For the correct application of the welding process MIG in pulsed current it's made necessary, initially, the determination of suitable parameters to welding. That should include, also, a posterior analysis of the arch's stability with relationship to the metallic drop volume variation. In this work, operational packages were determined to the welding with a wire ER-4043 of 1,2 mm. The argon's outflow was established on 15 l/min, while the pulse's parameters were gotten for the wire feed speed between 4 and 6 cm/min, with 0,5 of increment. The experimental weldings were carried out with a electronic source, connected to a microcomputer, then were recorded the current, and voltage data and processed by a software. The results indicated that the arc length rise, it has increased the stability, which takes to parameters adjust by current's variation. The process's stability has affected too by drops volume, which was more stable for drops diameter's 20 % smaller than the wire.

Keywords: *MIG welding, Pulsed current, Aluminum, arc's stability, Drop's volume variation.*