

Uma metodologia para parametrização do processo MIG/MAG CA

(A methodology for Parameterization of the AC MIG/MAG Process)

Américo Scotti¹, Lindbergh Souza Monteiro²

¹Centro para Pesquisa e Desenvolvimento de Processos de Soldagem (Laprosolda), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil (ascotti@ufu.br)

²Instituto Federal de Educação Tecnológica do Maranhão (IFMA), São Luis, MA, Brasil (lindbergh.sm@gmail.com)

Resumo

O processo MIG/MAG CA tem um potencial muito grande de aplicação, por permitir unir as características da soldagem MIG/MAG convencional (corrente contínua, com o eletrodo no positivo) com as de se usar corrente negativa na soldagem MIG/MAG. Entretanto, o formato de onda de corrente (alternada, pulsada no positivo e constante no negativo) demanda uma seleção criteriosa de seus inúmeros parâmetros de regulagem, o que vem limitando o estudo e aplicação desta versão de processo MIG/MAG. O objetivo deste trabalho foi propor e avaliar uma metodologia capaz de estimar os parâmetros de regulagem do processo MIG/MAG CA, de tal forma a se obter soldas com estabilidade de comprimento de arco e cordões com geometria adequada. É feita uma descrição passo a passo da definição dos parâmetros de entrada e da forma de se obter experimentalmente alguns valores de parâmetros necessários para estimação de outros valores de regulagem. As equações de estimação são apresentadas e discutidas. É feita uma demonstração da aplicação da metodologia, com a validação dos resultados pela comparação entre valores estimados e reais.

Palavras-chave: MIG/MAG, Corrente Alternada, polaridade negativa, seleção de parâmetros.

Abstract: The AC MIG/MAG process presents remarkable application potential, since it allows join the characteristics of the conventional MIG/MAG process (direct current, electrode positive) with the ones obtained when negative current is applied in MIG/MAG welding. However, the current wave shape (alternate, pulsed in positive and constant in negative polarities) demands a criterions selection of its innumerable setting parameters, fact that limits the development and application of this process version. The objective of this work was to propose and assess a methodology able to estimate the setting parameters of the CA MIG/MAG welding process, in such a way to result in welds with arc length stability and adequate bead geometry. A step-a-step description of the input parameter definitions and of the way to experimentally obtain some parameter values needed to estimate other setting parameters. The estimation equations are presented and discussed. A demonstration of the methodology application is carried out, with validation through actual welds.

Key-words: MIG/MAG, Alternate Current, negative polarity, parameter selection

1. Introdução

O processo de soldagem MIG/MAG é dos mais importantes processos de união de metais na atualidade. Isto se deve à sua alta capacidade de produção, característica constantemente cobiçada pelas indústrias em seus processos de fabricação. O Processo de soldagem MIG/MAG CA é uma variante do Processo MIG/MAG, no qual se procura combinar as vantagens típicas da soldagem MIG/MAG convencional (eletrodo atuando na polaridade Positiva, CC+) com o aumento da taxa de deposição e redução do aporte térmico que ocorre quando o processo MIG/MAG é operado com o Eletrodo na Polaridade Negativa (CC-). Em CC+, há ainda a possibilidade de soldar com diferentes modos de transferência metálica (curto-circuito, pulsado,

goticular). Uma aplicação de destaque para este processo é a soldagem de chapas finas [1].

Um dos principais benefícios de se soldar em CC- seria o balanço reverso do calor produzido no arco. De acordo com Talkington [2], na soldagem MIG/MAG em CC+ usando como gás proteção uma mistura de Argônio e menos de 5% de O₂ ou CO₂, aproximadamente 30% do calor gerado no arco fica concentrado no eletrodo e o restante na peça (aproximadamente 70%). Na soldagem emeste processo é contrário, cerca de 30% do calor gerado pelo arco é transferido para o metal de base e cerca de 70% para o eletrodo. Souza et al. [3] e Farias et al [4] confirmaram que há uma maior taxa de fusão em CC-, mas os resultados indicam que esta se deva mais à escalada do arco pelas paredes da ponta do arame em procura por óxidos (para emissão por campo), aumentando a eficiência térmica, do que por um maior calor gerado na conexão catódica. Entretanto, Talkington [2] aponta que a soldagem em CC- é limitada, geralmente, ao tipo de transferência globular, sendo pouco usado na prática, por registrar grande instabilidade do arco e quantidade indesejável

(Convocado em 15/05/2012; Texto final em 02/09/2012).

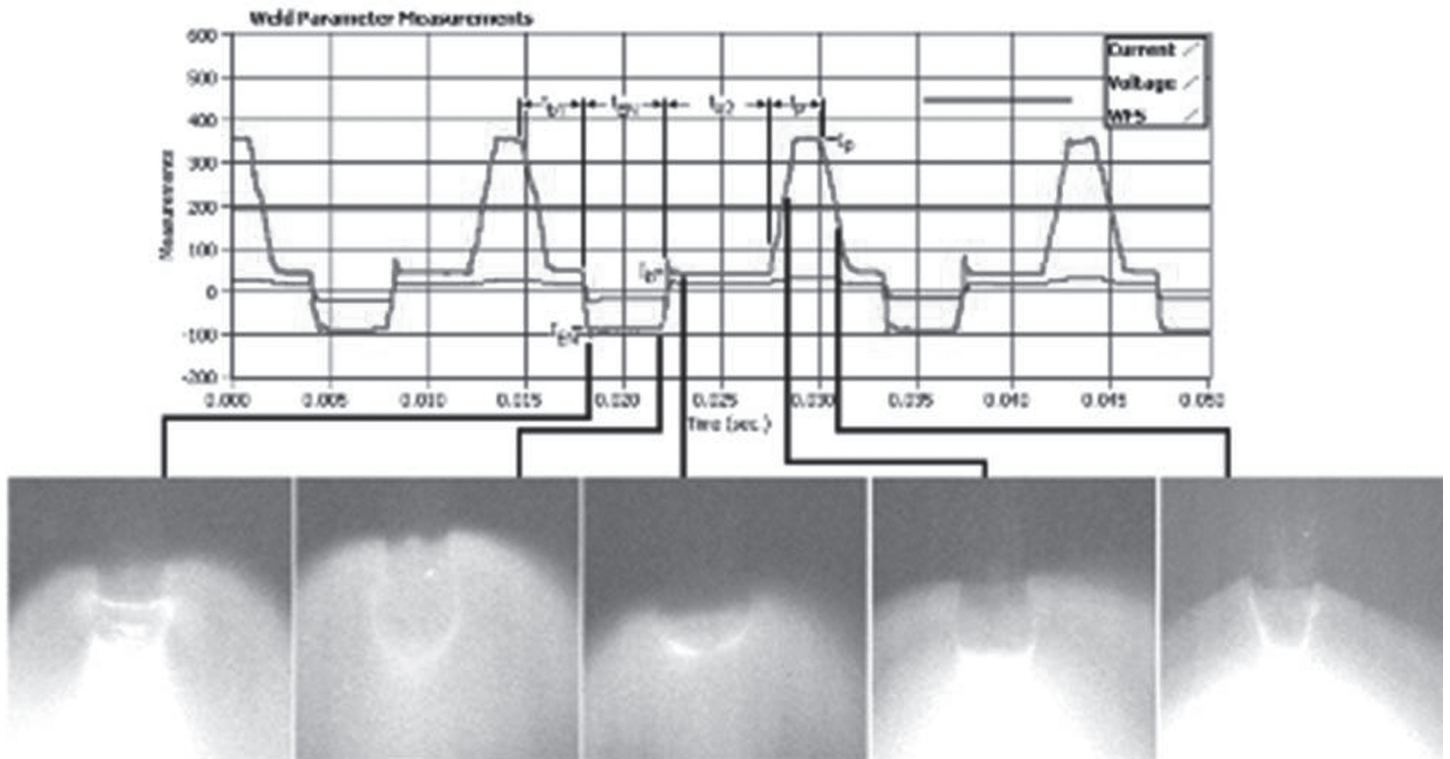


Figura 1. Formato típico de onda do processo MIG/MAG CA e a correlação com as fases de crescimento e destacamento da gota (adaptado de HARWIG [5])

de respingos produzidos. Estes resultados estão parcialmente em desacordo com Souza et al. [3], os quais demonstram que o modo de transferência metálica em CC- é dependente do tipo de gás de proteção utilizado e que é possível se obter transferência sem gotas repulsivas (globular e goticular) nesta polaridade.

Existem alguns tipos de ondas usadas nessa versão do processo MIG/MAG, sendo a pulsada CC+ combinada com corrente constante CC-, representada na Figura 1, a mais aceita. Este formato de onda foi estudado por alguns autores, como Harwig et al [5] e Nascimento et al [6], para os quais o período inicia no polo negativo para formar a gota e após a reversão de corrente, existe um período de corrente de base no polo positivo (pré-pulso) para estabilizar a gota antes do pulso, etapa na qual a gota é lançada. Antes da nova reversão, após o destacamento da gota, existe mais um período de base no polo positivo.

Existem diversas outras formas de onda de corrente que podem ser utilizadas para o processo MIG/MAG CA, não estando claro ainda, quais os benefícios de cada uma. Mas o que há de comum entre elas é o grande número de variáveis da onda a ser regulada. Alia-se a esta limitação a necessidade de se tentar manter o comprimento do arco o mais constante possível entre as inversões, fato que se consegue regulando a corrente no polo negativo para dar a mesma taxa de fusão do que no polo positivo. Assim, a mesma regulação da velocidade de alimentação é usada nas duas polaridades. Como se vê, o número de parâmetros a regular é maior do que no MIG pulsado convencional (Quintino e Allum [7] e Vilarinho e Scotti [8]) e até de que o MIG/MAG duplo pulso [9]. Este fato é um fator desmotivante para o uso deste processo. Assim, o objetivo

deste trabalho é apresentar uma metodologia para selecionar os parâmetros para soldagem com o processo MIG/MAG CA.

2. Metodologia para Definir Parâmetros para Soldagem com MIG/MAG CA

Neste processo, há uma transição periódica de polaridade, mas deve-se garantir que haja transferência metálica somente na polaridade positiva, através de um pulso. Assim, a estabilidade da transferência metálica está condicionada ao destacamento de uma única gota, com diâmetro próximo ao do arame-eletrodo, durante o tempo de pulso (UGPP). Além disso, deve-se procurar a manutenção de um mesmo comprimento do arco em ambas polaridades, para se garantir cordões regulares em dimensões e forma. Entretanto, na polaridade negativa há um aumento da taxa de fusão. Desta forma, para se manter uma mesma velocidade de alimentação em ambas as polaridades, uma opção é a diferenciação da corrente média para cada polaridade, a fim de se manter um mesmo comprimento de arco.

Foi, então, desenvolvida uma metodologia para encontrar parâmetros para soldagem em MIG CA que resultassem em boa estabilidade de transferência e em cordões com boa aparência e características geométricas dentro dos padrões de aceitabilidade. A aplicação dessa metodologia inicia-se com o formato de onda de corrente, por exemplo, como o da figura 1 (base-pulso-base). Em seguida devem ser definidos os parâmetros de entrada da regulação para se soldar em MIG CA, ou sejam, os seguintes valores desejados:

- A corrente média no polo positivo desejada (I_{m+});
- O valor de percentual de eletrodo no negativo (%EN);
- O gás de Proteção;
- Composição e diâmetro do arame.

É importante ressaltar que não é possível ter como entrada diretamente a corrente média global desejada (I_{mg}), isto por que ela é uma variável dependente de variáveis a determinar. Por isto, a entrada deve ser pela corrente média desejada na polaridade positiva (I_{m+}). Esta corrente vai ser próxima da corrente média final, mas, através de cálculos recursivos, pode-se chegar a corrente média global desejada. A corrente média na polaridade positiva a ser regulada deve ser típica para corrente média pulsada para a dada condição (material de base, tipo e diâmetro de eletrodo, gás de proteção e DBCP). Por exemplo, para o aço carbono, eletrodo AWS70S-6 com diâmetro de 1,2 mm e como gás de proteção uma mistura de Ar + 2% O₂, os valores de corrente média devem variar entre 90 e 210 A.

O percentual do eletrodo no negativo é descrito como a razão entre o tempo em que o eletrodo opera na polaridade negativa (t_{EN}) e o período. O período, por sua vez, corresponde ao tempo total despendido nas duas polaridades, ou seja: tempo no negativo (t_{EN}) mais o tempo no positivo (t_{EP}), conforme mostrado na equação 1.

$$\%EN = \frac{t_{EN}}{t_{EN} + t_{EP}} \quad (1)$$

onde %EN = percentual do eletrodo no negativo, t_{EN} = tempo que o eletrodo opera na polaridade negativa e t_{EP} = tempo que o eletrodo opera na polaridade positiva.

A escolha do tipo de gás de proteção depende do tipo de arame-eletrodo, que por sua vez depende do material a ser soldado. No caso da soldagem de aços estruturais, deve-se privilegiar um gás com baixo teor de CO₂ ou de O₂ em mistura com argônio, por facilitar a transferência metálica goticular durante os pulsos. Neste caso, o diâmetro do arame eletrodo mais usado é o de 1,2 mm.

Como saída, espera-se um arco de comprimento em torno de 5 mm, de forma constante, e a condição de Uma Gota Por Pulso (UGPP) na polaridade positiva, sem transferência metálica na polaridade negativa, com valores médios de corrente (I_m), que poderá ser um pouco diferente do I_{m+} estipulado, e de %EN próximos dos valores desejados. Para se alcançar essas condições, algumas definições precisam ser tomadas, a saber:

a) Definição de valores para parâmetros que são invariáveis para uma dada condição:

- Corrente de pulso (I_p);
- Corrente de base 1 (I_{b1}) e corrente de base 2 (I_{b2});
- Distancia Bico de Contato Peça (DBCP);
- Comprimento livre do arame energizado (L);
- As constantes da equação do consumo α e β nas duas polaridades.

A corrente de pulso (I_p) é definida de acordo com a sua aplicação. Se o objetivo for maior penetração, deve-se adotar o seu valor muito maior que a corrente de transição estabelecido em tabelas ou determinar experimentalmente para o gás e arame escolhidos, ou seja: ($I_p \gg I_{transição}$). No caso de se querer fazer revestimento, deve-se escolher um valor de (I_p) um pouco maior do que ($I_{transição}$). A corrente de base (I_b), na pratica (I_{b1}) ou (I_{b2}), deve ser escolhida também de acordo a corrente média desejada. O valor da corrente de base recomendada deve estar acima de 40 e 60 A. Para a DBCP, procura-se privilegiar o que normalmente é praticado para o MIG Pulsado; deve-se tentar o maior valor para se conseguir alta taxa de alimentação usando valores baixos de corrente média (abaixo da corrente de transição), aceitando-se um limite de 25 mm para arame-eletrodo de 1,2 mm de diâmetro, por questões de rigidez da extremidade livre do arame. O comprimento livre do eletrodo é normamente a DBCP subtraída do comprimento do arco, que na pratica adota-se para este caso 5 mm. Finalmente, as constantes da equação geral do consumo, são determinadas experimentalmente para o conjunto gás-arama-polaridade. Caso o usuário não as tenha tabelado, deve procurar determiná-las ou solicitar a um laboratório especializado esta determinação, conforme procedimentos descritos no item 2.1.

b) Definição pelo usuário de valores para demais parâmetros:

- Tempo de pulso (t_p);
- Tempo de base (t_b);
- Corrente RMS na polaridade positiva (I_{RMS});
- Corrente no negativo (I_n);
- Tempo no negativo (t_n);
- Corrente média global

O tempo de pulso (t_p) é calculado pela curva de interpolação $I_{m+} \times t_p$ para a condição de UGPP, levantada experimentalmente para as condições em MIG Pulsado (caso o usuário não tenha esta curva, deve procurar determiná-la ou solicitar a um laboratório especializado esta determinação, conforme procedimentos descritos no item 2.2). O tempo de base (t_b) é calculado pela equação da corrente média exponencial para MIG Pulsado, ou seja, isolando-se o tempo de base na equação 2 e entrando-se com os valores dos demais parâmetros, onde I_{m+} é um valor de entrada e são as constantes exponenciais de tempo do formato de onda exponencial (Figura 2), escolhidos devido às características da fonte utilizada. Para tal, é utilizado um programa usando-se a ferramenta MATLAB para encontrar a solução da equação.

$$I_{m+} = \frac{I_p \cdot t_p - \frac{(I_p - I_b)}{\lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 t_p}) + I_b \cdot t_b - \frac{(I_b - I_p)}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t_b})}{t_p + t_b} \quad (2)$$

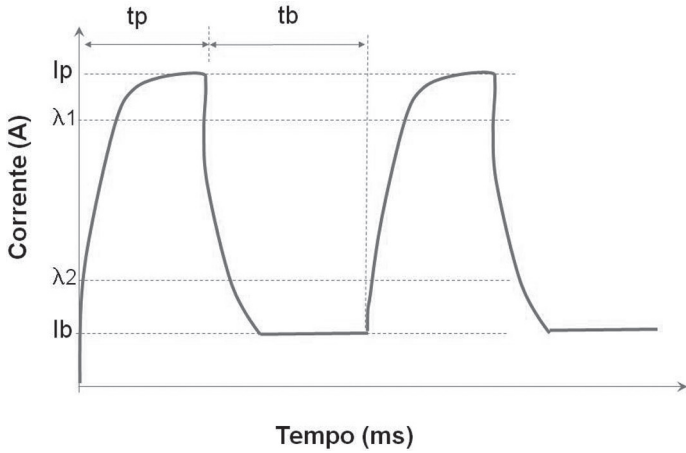


Figura 2. Formato de onda para corrente pulsada do tipo Exponencial, típica de equipamentos com capacidade de corrente pulsada

A corrente RMS (I_{RMS+}) é calculada pela equação 3, a partir do formato de onda exponencial, na condição de UGPP;

$$I_{RMS} = \left\{ I_p^2 \cdot t_p + I_b^2 \cdot t_b - \frac{(I_p - I_b)}{e^{\lambda_1 t_p} \cdot \lambda_1} \left(\frac{(I_p - I_b)}{2e^{\lambda_1 t_p} \cdot \lambda_1} + 2 \cdot I_p \right) - \frac{(I_b - I_p)}{e^{\lambda_2 t_p} \cdot \lambda_2} \left(\frac{(I_b - I_p)}{2e^{\lambda_2 t_b} \cdot \lambda_1} - 2I_b \right) - \frac{(I_p - I_b)}{e^{\lambda_1 t_p} \cdot \lambda_1} \left(3 \cdot I_p + I_b - \frac{(I_b - I_p)}{2 \cdot \lambda_2} (3 \cdot I_p + I_p) \right) \right\} \quad (3)$$

A corrente no negativo (I_n) é calculada igualando-se os valores da taxa de fusão nas duas polaridades, expressas pelas equações 4 e 5.

$$V_{alim}^+ = \alpha^+ I_{m+} + \beta^+ L I_{RMS+}^2 \quad (4)$$

$$V_{alim}^- = \alpha^- I_{m-} + \beta^- L I_{RMS-}^2 \quad (5)$$

onde α é um parâmetro de entrada (corrente média desejada no polo positivo), I_{RMS+} calculado de acordo com equação 3, I_{RMS-} é por definição (I_n), uma vez que no negativo a corrente é constante, e calculados experimentalmente.

Igualando-se o consumo nas duas polaridades, tem-se:

$$V_{alim}^- - V_{alim}^+ = 0 \quad (6)$$

Substituindo-se a equação 4 e 5 em 6, tem-se:

$$\alpha^- I_n + \beta^- L I_n^2 - V_{alim}^+ = 0 \quad (7)$$

que reordenada apresenta-se na forma da equação 8

$$\beta^- L I_n^2 + \alpha^- I_n - V_{alim}^+ = 0 \quad (8)$$

Assim, o valor da corrente no negativo é calculado pela solução da equação 8. Já o valor do tempo no negativo é

calculado a partir da equação 9:

$$t_n = \frac{\%EN \cdot t_{pp}}{1 - \%EN} \quad (9)$$

onde t_n = tempo em que o eletrodo opera na polaridade negativa e = tempo total na polaridade positiva.

Finalmente, a corrente média global (I_{mg}), que corresponde à média ponderada das correntes nas diversas fases do pulso, é definida pela equação 10;

$$I_{mg} = \frac{I_p t_p + I_b t_b + |I_n| t_n}{t_p + t_b + t_n} \quad (10)$$

Onde,

I_p = Corrente de pulso (I_p);

I_b = Corrente de base; (I_{b1}) ou (I_{b2});

t_p = tempo de pulso;

t_b = tempo de base;

I_n = corrente no negativo;

t_n = tempo no negativo

No caso da corrente média global (I_{mg}) não alcançar após os cálculos o valor desejado, de forma recursiva pode-se aumentar ou diminuir a corrente média no polo positivo (I_{m+}) e reiniciar os cálculos até a convergência do valor de I_{mg} ao desejado.

2.1. Determinação experimental das constantes da equação do consumo na soldagem em polaridade negativa e em polaridade positiva (CC+)

O consumo nas polaridades positiva e negativa foram expressos pelas Equações 4 e 5, respectivamente. Para determinar as constantes α^+ e β^+ , α^- e β^- dessas equações, uma série de experimentos tem de ser feita, varrendo-se uma faixa de corrente aplicável para o dado arame e gás de proteção (a rigor, esta varredura também deveria se dar para a distância bico de contato-peça, mas pode-se assumir um valor médio de 20 mm como representativo para a faixa a ser utilizada nesta técnica, a saber, de 15 a 25 mm). Durante as soldagens, tentar manter o arco em torno de 5 mm, comprimento mais utilizado para este tipo de processo. Isto é possível caso o equipamento tenha o controle adaptativo de comprimento do arco, ajustando-se a tensão de referência até que se alcance o comprimento de arco desejado. Caso não tenha, a velocidade de alimentação deve ser ajustada para mais e para menos até que se alcance o valor desejado.

Para o caso da polaridade positiva, deve-se regular a fonte de soldagem no modo corrente constante, com pulsação. Caso a fonte tenha um controle sinérgico para corrente pulsada, usá-lo para cada corrente média desejada, em função do gás de proteção e arame escolhidos. Caso contrário, deve-se regular todos os parâmetros de pulsação, tomando-se como base os valores de correntes de pulso e tempo de pulso que serão utilizados no trabalho. De qualquer forma, é importante garantir a condição de destacamento de uma gota por pulso para cada nível de corrente desejada, por exemplo, utilizando-se de monitores ópticos [10] ou filmagem de alta velocidade [11]. Para o caso da polaridade negativa, deve-se regular a fonte de soldagem no modo corrente constante, sem pulsação (caso a fonte não permita, colocar no

modo pulsado, mas fazendo $I_p = I_b$).

Durante as soldagens, monitorar a velocidade de alimentação (Valim+ ou Valim-) e a corrente e determinar para cada experimento os valores de I_{m+} e I_{rms+} ou I_{m-} e I_{rms-} . Assim, através de análise de regressão, disponível em programas computacionais comerciais, é possível determinar as constantes, tomando como base a Equação 4 ou a 5.

2.2. Determinação experimental dos tempos de pulso (t_p) em polaridade positiva (CC+)

O procedimento experimental para determinar o tempo de pulso (t_p) para uma dada corrente de pulso (I_p) consiste em fazer vários cordões de solda, variando-se escalonadamente o tempo de pulso (t_p) para cada corrente média para qual esse parâmetro será regulado (varrer a corrente média dentro da faixa de aplicabilidade). A velocidade de alimentação (Valim) deve ser condizente com cada corrente média, procurando-se um arco de aproximadamente 5 mm (iniciava-se a soldagem com um valor alto da Valim e abaixa-se progressivamente essa regulagem até se conseguir abrir o arco e mantê-lo no comprimento desejado). O valor de I_b deve ser previamente escolhido, de forma similar ao I_p . Assim, para cada regulagem do tempo de pulso (t_p), será necessário ajustar o tempo de base (t_b), mantendo-se a corrente média, como indicado pela equação 11. Também haverá necessidade de se ajustar o comprimento do arco, através da velocidade de alimentação.

$$t_b = \frac{t_p(I_m + I_p)}{I_b + I_m} \quad (11)$$

Existirá uma faixa de tempos de pulso em que se alcançará a condição de uma gota por pulso para cada nível de corrente média desejada, para uma dada corrente pulso-aramé-gás de proteção. Para medir se estaria havendo a condição de uma gota por pulso, pode-se usar, por exemplo, monitores ópticos [10] ou filmagem de alta velocidade [11]. Assim, a partir dos valores regulados e dos valores monitorados é construído um gráfico da relação corrente média e tempo de pulso médio da faixa em que se tem a condição de uma gota por pulso, como ilustra a Figura 3.

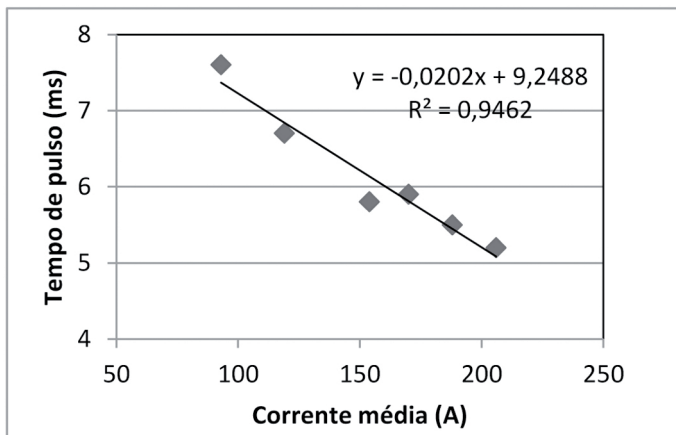


Figura 3. Relação entre corrente média e tempo de pulso levantada para um $I_p = 250$ A, arame AWS ER70S-6 e proteção com usando uma mistura de Ar + 2%O₂

3. Aplicação da Metodologia

Para exemplificar a aplicação da metodologia descrita, o metal de base utilizado foi o aço estrutural ao carbono, sem liga. Assim, como material de deposição foi especificado o eletrodo da classe AWS ER70S-6, com diâmetro de 1,2 mm, mantendo-se uma DBCP de 25 mm. Uma mistura de Argônio + 2% de Oxigênio foi usada, visando uma condição de 50%EN.

Inicialmente foram fixados os seguintes valores dos parâmetros de entrada de corrente média na polaridade positiva (I_{m+}) = 90 A; 120 A; 150 A; 165 A; 180 A e 210 A. Foram também definidos os outros parâmetros de entrada que são invariáveis, ou seja:

- $I_p = 250$ A;
- Corrente de base 1 (I_{b1}) ou corrente de base 2 (I_{b2}) = 40 A;
- DBCP = 25 mm, e uma $L_{arco} = 5$ mm;
- Valores das constantes da equação do consumo nas duas polaridades (levantadas experimentalmente):

- Na polaridade negativa:

$$\alpha^- = 6,19 \times 10^{-4} \text{ m/s.A}; \beta^- = 2,9 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \text{ A}^{-2};$$

- Na polaridade positiva:

$$\alpha^+ = 1,19 \times 10^{-4} \text{ m/s.A}; \beta^+ = 8,9 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \text{ A}^{-2};$$

Em seguida foi definido o conjunto dos parâmetros estimados, a saber:

- Os valores de tempo de pulso (t_p), calculados pela curva de interpolação $I_{m+} \times t_p$ levantada experimentalmente para todas as correntes médias no polo positivo, já definidos;
- O tempo de base (t_b); isolando-se o tempo de base na equação 2 e entrando-se com os valores dos demais parâmetros (I_{m+} , I_p , I_b , t_p , λ_1 e λ_2 , esses últimos assumidos como 2 e 3 respectivamente, em função do equipamento de soldagem);
- Os valores de velocidade de alimentação na polaridade positiva, para cada valor de corrente média de entrada, calculados pela equação 4;
- Os valores de velocidade de alimentação na polaridade negativa, para cada valor de corrente média de entrada, calculado pela equação 5;
- Os valores de corrente no negativo (I_n), para cada valor de corrente média de entrada, calculado utilizando-se a equação 8;
- Os valores do tempo no negativo (t_n), calculados fazendo uso da equação 9;
- Finalmente, os valores de corrente média global (I_{mg}), através da equação 10.

A Tabela 1 expressa os valores de entrada e estimados pela metodologia proposta para a faixa de corrente de 90 a 210 A e um EN = 50%. Pode-se perceber que a corrente média global foi um pouco menor do que a corrente média no polo positivo. Assim, caso fosse desejado um aumento deste valor, seria apenas

Tabela 1. Parâmetros estimados para soldagem MIG/MAG CA, para uma faixa de corrente no eletrodo positivo de 90 a 210 A e EM=50%

Parâmetros de Entrada					Parâmetros Estimados							
I_m^+ (A)	EM %	I_p (A)	I_{b1} (A)	I_{b2} (A)	t_p (ms)	t_{b1} (ms)	t_{b2} (ms)	V_{alim} (m/min)	I_n (A)	t_n (ms)	I_{mg} (A)	T (ms)
90	0,5	250	40	40	7,4	22,30	1	2,5	63	30,7	77	61,5
120	0,5	250	40	40	6,8	9,60	1	3,4	80	17,4	101	34,8
150	0,5	250	40	40	6,2	4,23	1	4,7	100	11,4	127	22,8
165	0,5	250	40	40	5,9	2,73	1	5,2	126	9,6	147	19,2
180	0,5	250	40	40	5,6	1,55	1	6,1	134	8,1	159	16,2
210	0,5	250	40	40	4,9	-0,05	1	6,7	166	5,9	191	11,8

I_m^+ =Corrente média na polaridade positiva; %EN=Percentual de eletrodo no negativo; I_p =corrente de pulso; I_{b1} =corrente de base antes do pulso; I_{b2} =corrente de base após o pulso; t_p =tempo de pulso; t_{b1} =Tempo de base antes do pulso; t_{b2} =tempo de base após o pulso; V_a =Velocidade de alimentação; I_n =Corrente no negativo; t_n =tempo no negativo;

$I(ma)$ = Corrente média absoluta; T=Período.

Tabela 2. Comparação entre os valores de Corrente Média Global Estimada e Corrente Média Global Monitorada, com o respectivo erro percentual, para soldagens realizadas em soldagem MIG/MAG CA usando como parâmetros de regulagem os valores de entrada e estimados mostrados na Tabela 2

I_{mg} (Estimado) (A)	I_{mg} (Medido) (A)	Erro Percentual (%)
78	76	2,7
99	101	-2,2
125	122	2,7
146	144	1,1
161	156	3,4
186	187	-0,7

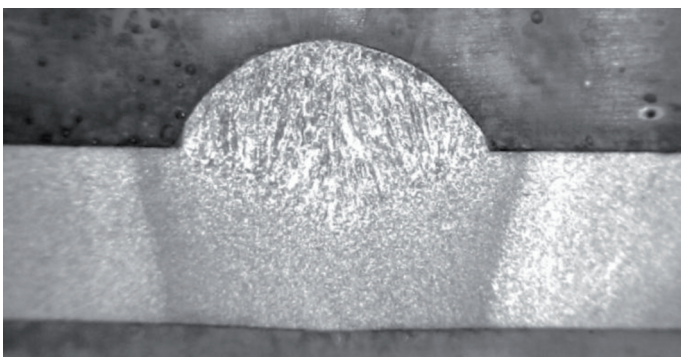


Figura 4. Seção transversal de um cordão de solda de simples deposição sobre chapa usando o MIG/MAG CA (EN = 50%; $I_p = 250A$; $I_b = 40A$; $I_n = 126A$; $t_p = 5,9$ ms; $t_{b1} = 2,7$ ms; $t_{b2} = 1$ ms; $t_{EN} = 9,6$ ms)

necessário por tentativa e erro corrigir o valor de entrada para a corrente média no polo positivo (I_m^+). Usando-se os valores de entrada (I_p , I_{b1} e I_{b2}) e os valores estimados (t_p , t_{b1} , t_{b2} , V_{alim} , I_n e t_n) da Tabela 1 para regular os equipamentos, soldagens foram

feitas para validar a metodologia. A Tabela 2 mostra o parâmetro de validação, no caso a corrente média global (I_{mg}), uma vez que este foi estimado e pode ser monitorado. Pode-se perceber o bom desempenho da metodologia.

A Figura 4 ilustra a seção transversal de um cordão sobre chapa realizado com o processo MIG/MAG CA e regulagem dos parâmetros com valores estimados pela metodologia proposta, evidenciando a qualidade geométrica do cordão produzido.

4. Conclusões

Com a metodologia proposta é possível calcular com grande precisão os valores a serem usados na regulagem de um equipamento para soldagem com MIG/MAG CA, superando uma das limitações desta versão do processo MIG/MAG. Apesar de demandar levantamento experimental de alguns parâmetros, a confecção de um banco de dados ao longo do tempo vai tornando mais fácil e popular a aplicação do processo pela maior facilidade de seleção dos seu parâmetros de regulagem.

5. Agradecimentos

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer à CAPES, através do Programa Dinter IFMA-UFU, pela oportunidade para um dos autores desenvolver seu projeto de pesquisa no Grupo Centro para Pesquisa e Desenvolvimento de Processos de soldagem da UFU. Também agradecem ao CNPq, através do processo 302091/2011-4, pela bolsa de pesquisa de um dos autores, e à Fapemig, através do projeto RDP-00140-10, pelo suporte financeiro laboratorial.

Denmark, pp. 1-12 (ISSN 0905-6866).

6. Referências Bibliográficas

- [1] UEYAMA, T., TONG, H., HARADA, S., PASSMORE, R., e USHIO M., AC Pulsed GMAW Improves Sheet Metal Joining, *Welding Journal*, 84 (2), 2005, pp. 40-46.
- [2] TALKINGTON, J.E., Variable polarity gas metal arc welding. MSc Thesis, The Ohio State University. 1998. 113p.
- [3] SOUZA, D., RESENDE, A.A., SCOTTI, A., Um Modelo Qualitativo para Explicar a Influência da Polaridade na Taxa de Fusão no Processo MIG/MAG, *Soldagem & Inspeção*, 14 (3), 2009, pp. 192-198.
- [4] FARIAS, J.P., MIRANDA, H.C., MOTTA, M.F., PAIVA, F.D.Q., PESSOA, E.F., Efeito da Soldagem MIG/MAG em Corrente Alternada sobre a Geometria da Solda, *Soldagem & Inspeção*, 10 (4), 2005, pp. 173-181.
- [5] HARWIG, D.D., DIERKSHEIDE, J.E., YAPP, D., DLCKMAN, S., Droplet burnoff rate measurements on the VP-GMAW process, *Welding journal*, 8(3), 2006, pp. 52s-62s (ISSN 0043-2296).
- [6] NASCIMENTO, A.S., FERNANDES, D.B., MOTA, C.A.M., VILARINHO, L.O., Metodologia para Determinação de Parâmetros para Soldagem MIG com Polaridade Variável, *Soldagem & Inspeção*, 13 (2), 2008, pp. 97-104
- [7] QUINTINO, M.L.; ALLUM, C.J. Pulsed GMAW Interactions and Process Parameters Parts 1 & 2. *Weld. & Metal Fab.*, 52 (2 and 4), 1984.
- [8] VILARINHO, L. O. & SCOTTI, A., An Alternative Algorithm for Synergic Pulsed GMAW of Aluminum, In: *Australasian Welding Journal*, vol 45, 2nd Quarter, 2000, pp. 36-44 (ISSN1039-0642) (<http://www.hera.org.nz/Awj/Awj.html>).
- [9] SILVA, C.L.M., & SCOTTI, A, The Influence of Double Pulse on Porosity Formation in Aluminum GMAW, *Journal of Materials Processing Technology*, Elsevier Science Publ, Holland, 171 (3), 2006, pp. 366-372. (ISSN: 0924-0136) doi:10.1016/j.jmatprotec.2005.07.008.
- [10] MIRANDA, H.C.; SCOTTI, A.; FERRARESI, V.A., Identification and control of metal transfer in pulsed GMAW using optical sensor, *Science and Technology of Welding & Joining*, Maney Publishing, Volume 12, Number 3, May 2007, pp. 249-257 (DOI: 10.1179/174329307X164229) (ISSN 1362-1718, Online ISSN: 1743-2936) .
- [11] BÁLSAMO, P.S.S., VILARINHO, L. O., VILELA, M. & SCOTTI, A.; Development of an Experimental Technique for Studying Metal Transfer in Welding: Synchronized Shadowgraphy, In: *Int. J. for the Joining of Materials*, vol 12, no. 1, 2000, The European Institute for Joining of Materials (JOM),