



UM ALGORITMO NÃO-LINEAR PARA CONTROLE SINÉRGICO DE EQUIPAMENTOS PARA SOLDAGEM MIG PULSADA DE ALUMÍNIO

Louriel O. Vilarinho

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, LAPROSOLDA
vilarinho@mecanica.ufu.br – Uberlândia, MG, Brasil

Américo Scotti

Pesquisador do CTR/White Martins e pesquisador convidado do LAPROSOLDA da Universidade Federal de Uberlândia

Resumo. *O objetivo deste projeto foi desenvolver e avaliar um novo algoritmo, com funções não-lineares, para soldagem MIG pulsada sinérgica de alumínio, que mantenha as condições ótimas de pulso ao longo de uma maior faixa de trabalho. Para aplicação deste algoritmo, foi inicialmente determinada a região de “uma gota por pulso” (UGPP), para uma dada combinação de parâmetros de base, utilizando-se um sistema de visualização de gotas sincronizada com os sinais de tensão e corrente. Em seguida, verificou-se a influência dos parâmetros de base sobre a região de UGPP, variando-os e fixando-se os parâmetros de pico. Verificou-se que, para o diâmetro e tipo de arame de alumínio utilizados, a região de UGPP não é afetada pelos parâmetros de base. Assim, a princípio, tanto os algoritmos sinérgicos convencionais, quanto o próprio algoritmo sinérgico proposto, podem ser utilizados comercialmente. Entretanto, este último mostra calcular com grande precisão os parâmetros de pulso e a velocidade de alimentação, de forma a se obter o comprimento desejado de arco e propiciar um diâmetro da gota mais próximo ao do eletrodo.*

Palavras-chave: Soldagem MIG pulsado, Comando sinérgico, Alumínio, Shadowgrafia

1. INTRODUÇÃO

A correta seleção dos parâmetros de pulso (corrente de pico – I_p , tempo de pico – t_p , corrente de base – I_b e tempo de base – t_b) no processo MIG pulsado passa pela necessidade de satisfazer algumas premissas (Kim & Eagar, 1993; Rajasekaran et al., 1998; Subramaniam et al., 1998; entre outros). A principal delas deve-se ao fato da estabilidade do arco demandar uma única gota se transferindo ao fim de cada pulso, também conhecida como UGPP – uma gota por pulso, e que esta gota se destaque ao fim do pico de corrente.

Uma premissa correntemente citada na literatura (Norrish, 1992 e Rajasekaran et al., 1998) refere-se à necessidade da gota possuir o diâmetro aproximadamente igual ao do eletrodo. Uma outra premissa é a de se utilizar uma corrente média sempre abaixo da corrente de transição, caso contrário poderia-se simplesmente utilizar a transferência goticular convencional, o que seria mais simples devido ao menor número de variáveis envolvidas.

Outras premissas tratam da necessidade da corrente de pico ser maior que a corrente de transição para que ocorra o destacamento da gota e que, em qualquer evento, frequências de pulso menores que 20 Hz não devem ser utilizadas, pois a flutuação na intensidade luminosa do arco pode causar fadiga visual ao soldador (Nixon & Norrish, 1988). Por fim, para efeito de estabilidade do arco, correntes de base menores que 20 A, quando soldando alumínio, não devem ser empregadas (Alcan, 1993).

A condição de UGPP, para uma determinada combinação de materiais e gás de proteção, é obtida para combinações de parâmetros de pico que seguem a relação $I_p^n t_p = D$. Esta equação representa proporcionalmente a energia despendida no processo (Rajasekaran et al., 1998).

Tradicionalmente afirma-se (Nixon & Norrish, 1988) que os parâmetros de base (I_b e t_b) têm um pequeno efeito sobre o destacamento da gota, mas influenciam no seu tamanho. Já os parâmetros de pico (I_p e t_p) possuem significativa influência na transferência metálica. Em contraste, Subramaniam et al. (1998) afirmam que, tanto os parâmetros de pico, quanto os de base, têm influência sobre o modo de transferência metálica, não sendo possível conseguir a condição de UGPP ajustando apenas I_p e t_p , indiferentemente de I_b e t_b .

A dinâmica da fonte, representada pela taxa de variação da corrente no tempo (dI/dt), também afeta a seleção dos parâmetros de pulso. Richardson et al. (1994) afirmam que quanto maior a diferença entre I_p e I_b , ou quanto mais lenta for a taxa de resposta da fonte (menor dI/dt), menor será a taxa de fusão do eletrodo.

A informatização de procedimentos de cálculo para a seleção dos parâmetros de pulso, obedecendo as premissas acima citadas, é feita através da elaboração de um algoritmo que contenha rotinas de cálculo e seleção, além de um banco de dados sobre os materiais envolvidos. Nesse sentido, surgiu a denominação “controle sinérgico” para designar sistemas que possam selecionar automaticamente as variáveis do processo. Na verdade, devido às características intrínsecas, o termo correto deveria ser “comando sinérgico”.

Já existem no mercado, desde a década de 80, fontes que apresentam o comando sinérgico nos seus circuitos. Entretanto, os sistemas empregados nestas fontes apresentam algumas limitações (Bálsamo et al., 1999): a primeira delas é a utilização de uma relação linear entre a velocidade de alimentação e corrente média. Uma segunda limitação diz respeito à forma de onda do sinal de corrente, assumida como perfeitamente retangular. Estas duas limitações podem implicar em um comprimento de arco diferente do desejado, o que demanda um ajuste “fino” (nem sempre tão fino) por parte do operador. Uma terceira limitação é o parâmetro de comando, o qual é a velocidade de alimentação, o que dificulta ao operador ajustar o equipamento para a energia de soldagem desejada.

Assim, é proposta deste trabalho desenvolver um algoritmo alternativo (não-linear) para comando sinérgico, aplicado à soldagem MIG pulsada de alumínio, que consiga satisfazer as premissas existentes, superando as limitações dos sistemas comerciais, e avaliar o seu desempenho.

2. EQUACIONAMENTO DO ALGORITMO NÃO-LINEAR E DETERMINAÇÃO DAS CONSTANTES PARAMÉTRICAS

Para desenvolver o sistema sinérgico alternativo proposto (patente já requerida), inicialmente efetuou-se um estudo da corrente média calculada por três formatos de onda (retangular, trapezoidal e exponencial). Um outro estudo consistiu em verificar a diferença entre os valores de velocidade de alimentação calculados pelos sistemas sinérgicos convencionais e pelo sistema alternativo, este último adotando os três modelos de onda. Por último, foi verificada a influência do material e diâmetro do eletrodo na sensibilidade dos modelos. Maiores detalhes podem ser encontrados em Bálsamo et al. (1999).

Por estes estudos, verificou-se que a melhor representação da velocidade de alimentação do arame (V_{alim}), ou taxa de fusão, seria uma função direta da corrente média (I_m) e quadrática da eficaz (I_{ef}), como mostra a Eq. (1):

$$V_{alim} = \alpha I_m + \beta \ell I_{ef}^2 \quad (1),$$

onde α e β são constantes paramétricas levantadas experimentalmente para cada tipo e diâmetro de eletrodo e gás de proteção, enquanto ℓ representa o comprimento real do eletrodo.

O formato de onda que proporciona o menor erro para o cálculo da corrente, para a fonte de soldagem deste trabalho, mostrou-se ser o trapezoidal. Os modelos matemáticos que prevêem os valores médio e eficaz da corrente (I_{m_trap} e I_{ef_trap}) são apresentados pelas Eqs. (2) e (3), respectivamente, e a Eq. (4) mostra o modelo não-linear para a velocidade de alimentação (V_{a_trap}) a partir das Eqs. (1), (2) e (3).

$$I_{m_trap} = \frac{t_1(I_p - I_b)/2 + t_2(I_p - I_b) + t_3(I_p - I_b)/2 + I_b(t_p + t_b)}{(t_p + t_b)} \quad (2),$$

$$I_{ef_trap} = \sqrt{I_{m_trap}^2 + \frac{(I_p - I_b)^2 t_p t_b}{(t_p + t_b)^2} - \frac{(I_p - I_b)^3}{3(t_p + t_b)(dI/dt)}} \quad (3),$$

$$V_{a_trap} = \alpha I_{m_trap} + \beta \ell \left\{ I_{m_trap}^2 + \frac{(I_p - I_b)^2 t_p t_b}{(t_p + t_b)^2} - \frac{(I_p - I_b)^3}{3(t_p + t_b)(dI/dt)} \right\} \quad (4),$$

onde t_1 , t_2 e t_3 são tempos de subida, permanência e descida que definem o formato de onda trapezoidal e ressaltando-se que dI/dt é a taxa de variação da corrente no tempo, sendo assumida igual para a subida (t_1) e descida (t_3).

Pode-se perceber pela Eq. (4), que o cálculo da velocidade de alimentação tornou-se uma função da corrente média, uma das propostas para o algoritmo não-linear. Entretanto, ainda restam como incógnitas os parâmetros de pulso (I_p , t_p , I_b e t_b).

Como já mencionado, o par I_p e t_p deve seguir a inter-relação energética para garantir a condição de UGPP. Os valores apropriados de I_p e t_p são determinados experimentalmente, da mesma forma que as constantes paramétricas α e β . Para tal, uma série de experimentos foi desenvolvida, mantendo-se um par de I_b e t_b constantes e variando-se sistematicamente os valores de I_p e t_p .

Usando-se a montagem experimental descrita em Vilarinho (2000), o volume e a taxa de transferência das gotas e o comprimento do arco eram medidos. Foram utilizados arame de alumínio AWS ER 4043 (AlSi5,0) de diâmetro 1,0 mm, gás de proteção argônio comercialmente puro (15 l/min) e placas de teste da liga AA 5052 (AlMg2,5) com dimensões de 250x50x6,35 mm. A distância do bico de contato até a peça (DBCP) foi mantida em 15 mm e a tocha foi posicionada a 10° em relação ao plano da placa de teste, empurrando a poça. Procurou-se manter a relação entre a velocidade de alimentação e a velocidade de soldagem (V_{alim}/V_{sold}) em torno de 15, para evitar a influência do volume de solda no modo de transferência. A fonte de soldagem foi uma fonte eletrônica chaveada no secundário que permite controlar independentemente todas as variáveis (V_{alim} , I_p , t_p , I_b e t_b).

A visualização do arco foi feita pela técnica de shadowgrafia iluminada por laser He-Ne e uma câmera de vídeo de alta velocidade (2000 quadros/segundo) e de alta resolução. Para maior precisão e melhor operacionalidade do processo, foi utilizado um sistema de sincronização das imagens da câmera com os sinais de corrente e tensão. Também foi usado um programa computacional de tratamento digital de imagens para medições geométricas das

gotas e um programa dedicado desenvolvido para medição dos parâmetros de pulso e a respectiva sincronização com as imagens (Vilarinho, 2000).

A partir do mapa de transferência obtido (Vilarinho, 2000), para uma dada condição de base fixa ($I_b = 20$ A e $t_b = 6$ ms), foi possível escolher os valores de $I_p = 200$ A e $t_p = 2,25$ ms, que proporcionaram a condição de UGPP e que passam a ser constantes no algoritmo. Através dos valores medidos de V_{alim} , I_m , I_{ef} e ℓ é possível calcular as constantes α e β da Eq. (1), onde o método de estimação adotado foi o Quasi-Newton.

Para a solução da Eq. (4) resta determinar I_b e t_b , que irão permitir a variação de I_m . O valor de t_b pode ser calculado se o período de pulsação ($T = t_b + t_p$) for conhecido, o qual pode ser determinado a partir de um modelo baseado no fato de que o volume destacado do eletrodo deve ser igual ao volume da gota, chegando-se à Eq. (5):

$$T = \frac{40d_g^3}{d_e^2 V_{alim}} \quad (5),$$

onde d_g é o diâmetro da gota [mm], d_e é o diâmetro do eletrodo [mm] e V_{alim} em [m/min]. Por premissa, o diâmetro da gota deve ser o mais próximo possível do diâmetro do eletrodo.

Uma vez calculado T , e conseqüentemente t_b , fica faltando apenas a determinação de I_b , que pode ser feito através da Eq. (2). Deve-se atentar para a premissa de que I_b deve ser maior ou igual a 20 A.

Sendo assim, tem-se montado a estrutura básica do sinergismo proposto, ou seja, para um dado I_m desejado, o algoritmo calcula e ajusta na fonte a velocidade de alimentação do arame e os parâmetros de pulso.

3. PROJETO DO ALGORITMO NÃO-LINEAR

O algoritmo não-linear proposto requer do usuário como entrada o valor de corrente média (I_m), a distância bico de contato peça ($DBCP$) e a referência quanto ao diâmetro e composição do eletrodo e ao tipo de gás de proteção. Então busca no seu banco de dados os valores de I_p , t_p , α e β para a dada combinação eletrodo/gás. Este banco de dados contém também os valores genéricos dos restritores, ou seja, $I_{bmáximo}$, $I_{bmínimo}$, $t_{bmnímimo}$ e $t_{bmáximo}$. O algoritmo inicia calculando os parâmetros de base e a velocidade de alimentação da mesma forma com que é calculado em sistemas convencionais (modelo linear), para usar estes valores como estimativa inicial para os cálculos nos modelos não-lineares. Diferentemente de muitos algoritmos convencionais, esta versão alternativa calcula ainda o valor esperado para o diâmetro da gota. Mesmo sendo uma estimativa inicial, faz-se em seguida um refino de todos os cálculos (rotina recursiva baseada em incrementos de t_b) de forma a se obter um diâmetro de gota o mais próximo possível do diâmetro do eletrodo, sem contudo transgredir os limites impostos para I_b e t_b (restritores). Caso o diâmetro da gota seja maior que 10% do diâmetro do eletrodo (valor subjetivo), reduzi-se t_b . Caso contrário, aumenta-se t_b .

Uma segunda série de cálculos se dá a partir dos valores de pulsos estimados no modelo linear, usando agora o modelo não-linear com onda trapezoidal (Eqs. 2 a 5) para encontrar novos valores de V_{alim} e d_g . Mais uma vez aplica-se a rotina recursiva baseada em incrementos de t_b para se obter um d_g o mais próximo possível do d_e , ainda obedecendo os restritores. Novos valores para I_b e t_b são também definidos, completando os cálculos.

A estratégia de modificar t_b aumentando-o, caso o diâmetro da gota estivesse pequeno, ou vice-versa, foi adotada depois de algumas simulações (Vilarinho, 2000). Escolheu-se t_b e não I_b , pois variando-se I_b em correntes médias baixas (40 A) não se consegue um diâmetro de gota em torno de 1,0 mm, que é o diâmetro do eletrodo a ser utilizado.

4. INFLUÊNCIA DE I_b E t_b SOBRE A REGIÃO UGPP

Como mencionado, a região em que a combinação de parâmetros fornece uma gota por pulso (UGPP) foi determinada mantendo-se fixos os parâmetros de base e variando-se os parâmetros de pico. Entretanto, no algoritmo, I_p e t_p ficam constantes e a variação da corrente média é conseguida graças à variação de I_b e/ou t_b . Desta forma, torna-se importante verificar se a variação dos valores dos parâmetros de base afeta a condição de UGPP, já que é de se esperar variações no tamanho da gota se a combinação de parâmetros não for bem escolhida.

Foram selecionados seis valores de correntes média diferentes, de tal modo que os dois primeiros (40 e 50 A) ficassem abaixo da faixa de corrente média obtida na região de UGPP, duas intermediárias (65 e 75 A) estivessem dentro da faixa e os dois últimos (90 e 110 A) estivessem acima, e realizadas soldagens nas condições experimentais já mencionadas. Os dados de entrada do programa foram $\alpha = 11,10026 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1} \cdot \text{A}^{-1}$; $\beta = 2,96770 \cdot 10^{-5} \text{ A}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; $DBCP = 15 \text{ mm}$ ($\ell = 10 \text{ mm}$); $I_p = 200 \text{ A}$ e $t_p = 2,25 \text{ ms}$; $I_m = 40, 50, 65, 75, 90$ e 110 A .

As constantes α e β foram calculadas a partir dos ensaios que deram UGPP, pois representam o tipo de transferência metálica desejada, apesar de não representarem toda a faixa de corrente média a ser prevista.

O algoritmo foi rodado tentando-se manter o diâmetro da gota o mais próximo possível do diâmetro do eletrodo ($d_e = 1,0 \text{ mm}$). Os resultados obtidos pelo algoritmo, bem como os resultados provenientes das soldagens estão mostrados na Tabela 1. Como o objetivo era achar a influência dos parâmetros de base, inicialmente não se usou o restritor $I_{b\text{mínimo}} = 20 \text{ A}$, mas para os dois valores de correntes mais baixos os valores de I_b calculados foram muito baixo. Para estes casos (BASE01 e BASE03), o ajuste para as soldas foi feito também com o uso do restritor (BASE02 e BASE04, respectivamente).

Após as soldagens, verificou-se que para valores baixos de corrente média o arco tornou-se muito longo e que o aumento da corrente média levou a uma redução do comprimento de arco (ℓ_a) de tal forma a se provocar curtos-circuitos. O valor esperado do comprimento de arco era de 5 mm. Assim, foram propostos mais dois ensaios (BASE09, referente ao BASE01, e BASE10, referente ao BASE08) onde o valor da velocidade de alimentação foi ajustado para se conseguir um comprimento de arco mais próximo de 5 mm, o que corresponde na prática ao ajuste fino requerido pelos comandos sinérgicos convencionais. Os resultados obtidos pelo sistema de visualização estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 - Valores médios dos parâmetros monitorados.

Ensaio	I_m [A]	V_{alim} [m/min]	V_{sold} [cm/min]	I_p [A]	t_p [ms]	I_b [A]	t_b [ms]	I_m [A]	I_{ef} [A]	U_p [V]	U_b [V]	U_m [V]
BASE01	40	2,8	18,5	199	2,2	10	12,2	39	77	28,0	21,9	22,9
BASE02	40	2,7	18,3	198	2,2	20	17,7	39	67	26,1	20,9	21,5
BASE03	50	3,5	23,1	198	2,2	14	9,3	50	86	22,8	18,7	19,6
BASE04	50	3,5	23,0	198	2,2	20	11,0	50	81	24,9	19,4	20,4
BASE05	65	4,5	30,1	198	2,2	20	6,6	65	99	22,6	18,3	19,5
BASE06	75	5,2	34,7	198	2,2	24	5,5	75	107	21,4	17,8	18,8
BASE07	90	6,2	41,7	198	2,3	30	4,2	90	118	21,9	17,1	18,9
BASE08	110	7,6	50,9	198	2,3	42	3,1	109	131	21,5	15,4	17,3
BASE09	40	3,0	18,5	198	2,2	11	12,2	41	78	24,9	18,8	19,6
BASE10	110	7,0	50,9	198	2,2	43	3,0	109	131	22,9	18,7	20,4

Pela Tabela 2, observa-se que todas as frequências de destacamento (F_{gotas}) ficaram

próximas da frequência de pulsação (F), o que indica que há uma gota por período. Para o ensaio BASE08 não foi registrado o valor de F_{gotas} porque a transferência era confusa devido ao excesso de curtos-circuitos.

Tabela 2 - Valores médios dos parâmetros medidos pelo sistema de visualização.

Ensaio	l_a médio [mm]	l_a desvio padrão [mm]	d_g médio [mm]	d_g desvio padrão [mm]	F [Hz]	F_{gotas} [Hz]
BASE01	> 8,0	—	1,2	0,04	69,1	71,1
BASE02	7,3	0,1	1,2	0,04	50,3	51,4
BASE03	2,7	0,2	1,0	0,10	86,6	88,9
BASE04	4,9	0,1	1,1	0,05	75,4	77,5
BASE05	2,7	0,1	1,1	0,02	112,6	115,5
BASE06	1,1	0,1	Curto-circ.	—	129,7	132,9
BASE07	1,2	0,1	Curto-circ.	—	154,6	158,9
BASE08	0,8	0,2	Curto-circ.	—	186,5	—
BASE09	3,6	0,1	1,0	0,02	69,1	70,8
BASE10	2,6	0,2	0,9	0,04	188,9	194,2

Correlacionando-se as imagens obtidas com os respectivos oscilogramas de sinais elétricos, observou-se que uma variação significativa nos parâmetros de base não conduziu a uma alteração na condição de UGPP, mesmo nos ensaios onde a velocidade de alimentação foi ajustada, ou seja, o destacamento continuou a ocorrer no pico. Desta forma, a premissa utilizada para o critério de destacamento, na qual os parâmetros de base não possuem influência no modo de destacamento, é verdadeira para as condições utilizadas.

5. AVALIAÇÃO FINAL

Como visto, apesar do algoritmo ter mantido a condição de UGPP e diâmetro da gota próximo do diâmetro do eletrodo, o mesmo não conseguiu prever com precisão o comprimento do arco. A principal razão poderia ter sido os dados usados para se calcular as constantes α e β . Desta forma, a partir dos ensaios onde obteve-se um comprimento de arco próximo de 5 mm, efetuou-se uma nova regressão não-linear para se calcular novos valores das constantes α e β , que agora passam a representar toda a faixa de corrente média a ser prevista pelo algoritmo.

De posse do novo par das constantes paramétricas, utilizou-se o algoritmo para calcular novos parâmetros do processo para três correntes médias (40, 75 e 110 A). Os dados de entrada foram $\alpha = 12,80214 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{A}^{-1}$; $\beta = -8,84691 \cdot 10^{-5} \text{ A}^2 \cdot \text{s}^{-1}$; $D B C P = 15 \text{ mm}$ ($\ell = 10 \text{ mm}$); $I_p = 200 \text{ A}$; $t_p = 2,25 \text{ ms}$; $I_m = 40, 75 \text{ e } 110 \text{ A}$.

Os resultados obtidos com o algoritmo para estes três níveis de corrente média, a partir das novas constantes, estão apresentados na Tabela 3. Nesta tabela, também são apresentados os resultados para uma quarta condição (CON01), onde permitiu-se, no algoritmo, que a corrente de base atingisse um valor menor do que 20 A. Os resultados obtidos pelo sistema de visualização estão mostrados na Tabela 4. Já na Fig. 1, estão apresentados diferentes instantes de destacamento da gota, onde também é possível visualizar o comprimento do arco (como fator de escala adotar o diâmetro do eletrodo igual a 1,0 mm).

Na Tabela 4, observa-se que todas as frequências de destacamento ficaram próximas da frequência de pulsação, o que indica que há uma gota por período, e quando a filmagem foi correlacionada com os oscilogramas elétricos, confirmou-se o fato da alteração dos

parâmetros de base não conduzir à uma alteração da condição de UGPP.

Pode-se concluir que o algoritmo, a partir das novas constantes, calculou adequadamente os parâmetros que conduzem a um comprimento do arco próximo de 5 mm, como desejado, em complemento a já obtida condição de UGPP e diâmetro da gota próximo do eletrodo. É importante ressaltar que o ajuste fino da velocidade do arame ainda poderia ser usado para alcançar valores de comprimento de arco ainda mais próximos do desejado. Na verdade, este artifício é muito utilizado nos algoritmos convencionais que utilizam cálculos menos precisos. Entretanto, muitas vezes na prática o que se vê é a necessidade de uma grande correção da velocidade de alimentação para ajustar o comprimento desejado do arco nestes sistemas comerciais, não caracterizando o ajuste como realmente fino. Além disto, uma variação muito grande da velocidade de alimentação do arame pelo ajuste fino em relação à velocidade prevista, pode desestabilizar as condições de UGPP e de diâmetro da gota próximo ao do eletrodo.

Tabela 3 - Valores médios dos parâmetros monitorados.

Ensaio	I_m [A]	V_{alim} [m/min]	V_{sold} [cm/min]	I_p [A]	t_p [ms]	I_b [A]	t_b [ms]	I_m [A]	I_{ef} [A]	U_p [V]	U_b [V]	U_m [V]
CON01	40	2,9	19,5	199	2,4	11	12,6	42	79	23,7	17,6	19,0
CON02	40	2,9	19,5	199	2,3	19	18,0	40	70	22,8	17,9	18,5
CON03	75	5,1	34,0	199	2,3	24	5,7	76	108	22,5	17,0	18,7
CON04	110	7,5	50,5	199	2,4	44	3,2	112	134	21,1	16,6	18,6

Tabela 4 - Valores médios dos parâmetros medidos pelo sistema de visualização.

Ensaio	l_a médio [mm]	l_a desvio padrão [mm]	d_g médio [mm]	d_g desvio padrão [mm]	F [Hz]	F_{gotas} [Hz]
CON01	6,0	0,1	1,1	0,05	67,0	66,9
CON02	5,6	0,1	1,2	0,02	49,2	49,6
CON03	5,2	0,1	1,1	0,04	123,6	125,0
CON04	3,6	0,2	1,0	0,03	179,1	181,8

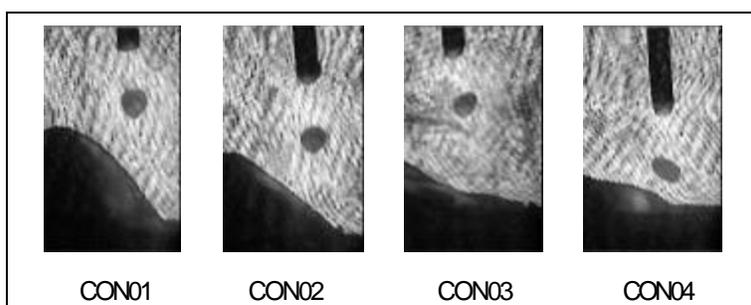


Figura 1 - Figuras ilustrando os ensaios CON01 a CON04 realizados.

6. CONCLUSÃO

A aplicação do algoritmo não-linear proposto na soldagem MIG pulsada com eletrodo de alumínio ER 4043 (1,0 mm de diâmetro), protegida com Ar puro, mostrou que:

- É possível calcular adequadamente os parâmetros de pulso e a velocidade de alimentação, de forma a se obter um comprimento desejado do arco, propiciando a condição de UGPP e um diâmetro da gota próximo ao diâmetro do eletrodo;

- Os parâmetros de base não possuem influência sobre o destacamento em soldagem MIG pulsada, não alterando a condição de UGPP. Assim, a premissa utilizada no desenvolvimento do algoritmo é verdadeira para as condições utilizadas;
- A aplicação do algoritmo não-linear em aparelhos comerciais poderia melhorar em muito as condições operacionais, por garantir melhor as condições de estabilidade e exigir menos ação no ajuste fino da velocidade de alimentação.

Agradecimentos

Os autores são gratos ao CNPq, pelo suporte financeiro, através do projeto PADCT III no. 62.0094/97-4 - CEMAT, à CAPES pelo fornecimento da bolsa de mestrado e à empresa White Martins pelo fornecimento de gás de proteção.

REFERÊNCIAS

- Alcan, 1993, "Manual de Soldagem", 1ª edição, São Paulo, 133p.
- Bálsamo, P. S. S. et al., 1999, "Proposta de uma Nova Concepção Sinérgica para Soldagem MIG Pulsado de Aço Inoxidável", VI Seminário Bras. de Aço Inoxidável, pp. 135-151.
- Kim, Y.S. and Eagar, T.W., 1993, "Metal Transfer in Pulsed Current Gas Metal Arc Welding", *Welding Journal*, July, pp. 279s-287s.
- Nixon, J.H. and Norrish, J., 1988, "Determination of Pulsed MIG Process Parameters", *Welding and Metal Fabrication*, April, pp. 4-7.
- Norrish, J., 1992, "Advanced Welding Process", Institute of Physics Publishing, Bristol, Philadelphia and New York, pp. 131-173.
- Rajasekaran, S. et al., 1998, "Droplet Detachment and Plate Fusion Characteristics in Pulsed Current Gas Metal Arc Welding", *Welding Journal*, June, pp. 254s-269s.
- Richardson, I.M. et al., 1994, "The Influence of Power Source Dynamics on Wire Melting Rate in Pulsed GMA Welding", *Welding Journal*, February, pp. 32s-37s.
- Subramaniam, S. et al., 1998, "Droplet Transfer in Pulsed Gas Metal Arc Welding of Aluminum", *Welding Journal*, November, pp. 458s-464s.
- Vilarinho, L. O., 2000, "Desenvolvimento e Avaliação de um Algoritmo Alternativo para Soldagem MIG Sinérgica de Alumínio", Dissertação de Mestrado, UFU, MG, 111p.

AN ALTERNATIVE ALGORITHM FOR SYNERGIC PULSED GMAW OF ALUMINUM

Abstract. *The main objective of this work was to develop and assess a new synergic algorithm, with non-linear functions, for welding aluminum by synergic Pulsed GMAW. It is aimed to maintain the operational conditions along a broader working range. For the algorithm application, primarily, a "one-drop-per-pulse" (ODPP) region was determined for a given combination of base parameters. This was done using a droplet visualization system synchronized with the current and voltage signals. Then, the influence of the base parameters on the ODPP region was verified by varying them and keeping the same peak current parameters. It was observed that, for the diameter and type of aluminum wire used, the ODPP region is not affected by the base parameters. Thus, by principle, both the conventional synergic algorithms and the proposed one can be applied commercially. However, the alternative algorithm has a great advantage of providing a more precise calculation of the pulse parameters and of the wire feed speed rate, so that the arc length matches better a desired value and the droplets reach a size closer to the electrode diameter.*

Keywords: *Pulsed GMAW, Synergic welding, Aluminum, Shadowgraph technique*