



Associação Brasileira de Soldagem

XXXIX CONSOLDA – Congresso Nacional de Soldagem
25 a 28 de Novembro de 2013
Curitiba, PR, Brasil

Soldagem MIG Pulsado CA de Ligas de Alumínio – Metodologia para Definição de Parâmetros

(AC Pulsed MIG Welding Aluminum Alloys - Setting Parameters Methodology)

Cleber Marques¹, Bruna Martinello Savi², Orestes Estevam Alarcon³, Jair Carlos Dutra⁴
^{1,2,3,4}Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de
Soldagem, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

¹cmarques@labsolda.ufsc.br, ²bruna.savi@labsolda.ufsc.br, ³orestes@emc.ufsc.br, ⁴jdutra@labsolda.ufsc.br

Resumo

O processo MIG Pulsado CA pode ser uma boa opção em aplicações que requerem baixo aporte térmico e alta produtividade. A introdução de um período em polaridade negativa colabora na obtenção dessas características, devido ao aumento na taxa de fusão de arame para essa polaridade. A principal dificuldade relacionada ao uso dessa versão do processo MIG é a dificuldade na seleção dos corretos parâmetros de soldagem. O presente trabalho trata deste assunto, onde se propõe uma metodologia de cálculo testificada na soldagem com a liga de alumínio ER5087. Por meio do conhecimento das constantes de fusão em ambas as polaridades, e de alguns parâmetros de entrada (corrente de pulso, tempo de pulso, diâmetro de gota, bitola do arame e percentual do eletrodo em polaridade negativa) foi possível obter as demais variáveis do processo (tempo base, corrente de base, tempo negativo, corrente negativo). O método foi avaliado para duas formas de onda de corrente e para percentual de eletrodo negativo em 30% e 50%. Os resultados foram satisfatórios, com bom aspecto do cordão, boa estabilidade do arco, e uma melhor possibilidade de controle do calor fornecido a peça.

Palavras-chave: Soldagem de alumínio; MIG Pulsado CA; programa sinérgico; ER5087.

Abstract: *AC Pulsed MIG can be a good option for applications that require low heat input and high productivity. The introduction of a period of negative polarity assists in obtaining such characteristic, due to an increase in the wire melting rate for this polarity. The main difficulty related to the use of this MIG process version is the difficulty in selecting the correct welding parameters. This paper deals with this issue, where is proposed a calculation testified methodology in welding aluminum alloy ER5087. Through knowledge of wire melting rate in both polarities, and some input parameters (pulse current, pulse current time, droplet size, and electrode negative ratio) have been achieved others variables process (base current, base current time, negative current, negative current time). The method was evaluated for two current waveforms and electrode negative ratio 30% and 50%. The results were satisfactory, having good looking weld bead and arc stability, and a better possibility to control the heat input in workpiece.*

Key-Words: Aluminum Welding; AC Pulsed MIG; Synergistic program; ER5087.

1. Introdução

A constante necessidade por maiores níveis de produção e qualidade do produto faz com que apareçam no mercado diferentes versões dos processos de soldagem tradicionais, que tem por objetivo atender tais requisitos. Estas versões estão basicamente relacionadas com o modo de transferência metálica e com o desenvolvimento de formas de ondas que melhoram o desempenho e o controle do processo. Algumas vezes, estas características são obtidas com o lançamento de tecnologias complexas e de alto valor agregado. Entretanto, uma simples variação de um processo tradicional pode fornecer resultados até então inatingíveis. Obviamente que essa capacidade de atuação sobre os parâmetros de soldagem se deve, sobretudo, a evolução da eletrônica de controle e potência, aos sistemas de controle e à informática que, aplicadas neste setor, possibilitaram a fabricação das modernas fontes de soldagem.

As dificuldades e desafios encontrados em soldagem, especialmente nas aplicações com ligas e materiais não convencionais, aparecem com muita frequência. Na soldagem de ligas de alumínio são comuns os problemas relacionados às suas propriedades físicas, principalmente no que diz respeito a sua condutividade térmica. No caso de chapas finas, essa característica do alumínio pode oferecer risco de perfuração e de distorção térmica. Por esse motivo, o controle da penetração e do aporte térmico são um diferencial nestas aplicações. Dentro deste contexto, alguns trabalhos [1-6] fazem referência à utilização do processo MIG Pulsado CA como uma solução promissora para tais inconvenientes. O método resulta, além do controle da penetração das soldas e do calor fornecido a peça, num aumento de produtividade já que há o aumento na taxa de fusão pelo uso de corrente alternada (polaridade negativa e positiva).

Considerando o potencial de aplicação do MIG Pulsado CA, sua escassez de informações sobre variáveis e técnicas, e a dificuldade de selecionar parâmetros adequados devido ao grande número de variáveis envolvidas neste modo de operação, esse trabalho tem por objetivo propor uma metodologia de definição de parâmetros que resulte em um processo estável, com exemplo de aplicação na soldagem de ligas de alumínio, especificamente com o arame ER5087.

1.1 Fundamentos Teóricos do MIG Pulsado CA

A versão MIG Pulsado CA utiliza-se das premissas fundamentais empregadas pela versão MIG Pulsado CC (usualmente conhecido por MIG Pulsado), ou seja, o destacamento de uma única gota por período e a igualdade entre velocidade de alimentação e a velocidade de fusão de arame [7]. O principal diferencial do CA em relação ao CC é a introdução de um intervalo de corrente na polaridade negativa. A ideia é que, com isso, sejam combinadas as vantagens da utilização de cada uma das polaridades.

Tradicionalmente, o MIG é realizado com corrente contínua e arame/eletrodo conectado na polaridade positiva da fonte (CC+). Essa configuração geralmente se caracteriza por produzir um cordão de solda com alta penetração, bom acabamento superficial, boa estabilidade do arco e por possibilitar o controle da transferência metálica. Nessa polaridade, o arco fica ancorado na extremidade da gota, oferecendo condições para que as forças eletromagnéticas associadas ao efeito *pinch* realizem o seu destacamento.

Muitos autores [1,6] afirmam que o uso da polaridade negativa possibilita uma maior taxa de fusão do arame e ao mesmo tempo uma menor energia térmica aportada à peça. Segundo Lancaster [8], a maior taxa de fusão na polaridade negativa está relacionada ao fenômeno de escalada da mancha catódica para parte sólida do eletrodo, fazendo com que haja uma maior exposição do arame ao arco voltaico. Entretanto, produzir um cordão de solda utilizando somente a polaridade negativa pode ser algo extremamente difícil e em alguns casos impossível, como na soldagem de alumínio. De modo geral, nessa polaridade, o processo não apresenta estabilidade suficiente para produzir um cordão de solda sem respingos e falhas de fusão. Lancaster [8] e Talkinton [1] atribuem a ocorrência de instabilidade e respingos a uma força repulsiva que atua sobre a extremidade fundida do eletrodo. Apesar dos problemas relacionados à polaridade negativa, o uso da corrente alternada pode ser uma solução adequada para a soldagem de chapas finas, onde se tem a necessidade de controle do aporte térmico, e também uma maior capacidade para realização do preenchimento de juntas variáveis (*gap*) por meio da pulsação da corrente e período em cada polaridade.

A evolução do processo MIG Pulsado CA foi totalmente favorecida pelo avanço das fontes de soldagem eletrônicas. Para essa versão do processo, a quantidade de parâmetros que devem ser definidos e as variações da forma de onda da corrente, tornam a operacionalização dificultosa. Existem várias possibilidades de construção dessa forma de onda e a conclusão sobre qual configuração fornece um melhor resultado é divergente entre os diferentes autores [3-5]. Bohme [5] sugere três tipos básicos, vide Figura 1 (I, II e III). Ainda há a possibilidade de ensaios com base positiva antes e depois do pulso (Figura 1 – IV). Em seus estudos com alumínio, Bohme [5] verificou melhores resultados com a forma I e II, e concluiu que a forma III não permitia o efeito de limpeza catódica do alumínio promovida pela polaridade positiva, não fornecendo bons resultados.

Um aspecto fundamental a ser considerado na soldagem MIG Pulsado CA é a taxa de fusão que ocorre para cada polaridade. Algumas variáveis do processo podem influenciar esta taxa, mas é sabido que a inversão contínua de polaridade é a mais atuante. Outro aspecto a ser meditado seria o de transferência metálica. Assim como no MIG Pulsado CC, seu funcionamento é baseado no destacamento de uma gota por pulso e, mesmo que haja uma inversão periódica de polaridade, deve-se garantir que o destacamento de uma única gota ocorra na polaridade positiva, o que condicionará a estabilidade do processo. Esta premissa pode ser justificada pelo fato de que, em polaridade negativa, o destacamento não ocorre mais pela ação predominante do efeito *pinch*. Isso se dá pelo fato de que a escalada do arco favorece a formação de gotas grandes associadas ao efeito repulsivo característico desta polaridade. Além disso, como citado por Dutra [9], outros aspectos devem ser considerados como, por exemplo, o momento temporal que a transferência ocorrerá. Alguns autores afirmam a necessidade de que a gota seja destacada no final de cada pulso, outros que ocorra nos instantes iniciais da base.

Já que uma das vantagens deste processo é de reduzir o aporte térmico, outro fator de relevância, nesta técnica, é o tempo que cada polaridade irá atuar. Em outras palavras, aumentando-se o tempo do eletrodo em

polaridade negativa, maior será o aquecimento do eletrodo em relação ao metal de base, fornecendo uma redução de até 25% no aporte térmico em comparação com o MIG Pulsado CC, além do aumento de até 60% da taxa de fusão [6].

Baseado nas fundamentações citadas e na falta de conhecimento científico sobre a regulação adequada das variáveis do processo bem como sua operacionalidade, o presente artigo propõe uma metodologia que permita um cálculo de parametrização deste procedimento, avaliando-se os diferentes tipos de onda sugeridos, tempo de eletrodo no negativo e dois conjuntos de parâmetros de pulso de corrente que garantissem o destacamento de uma gota por pulso, além de contribuir para mostrar as características físicas inerentes ao processo.

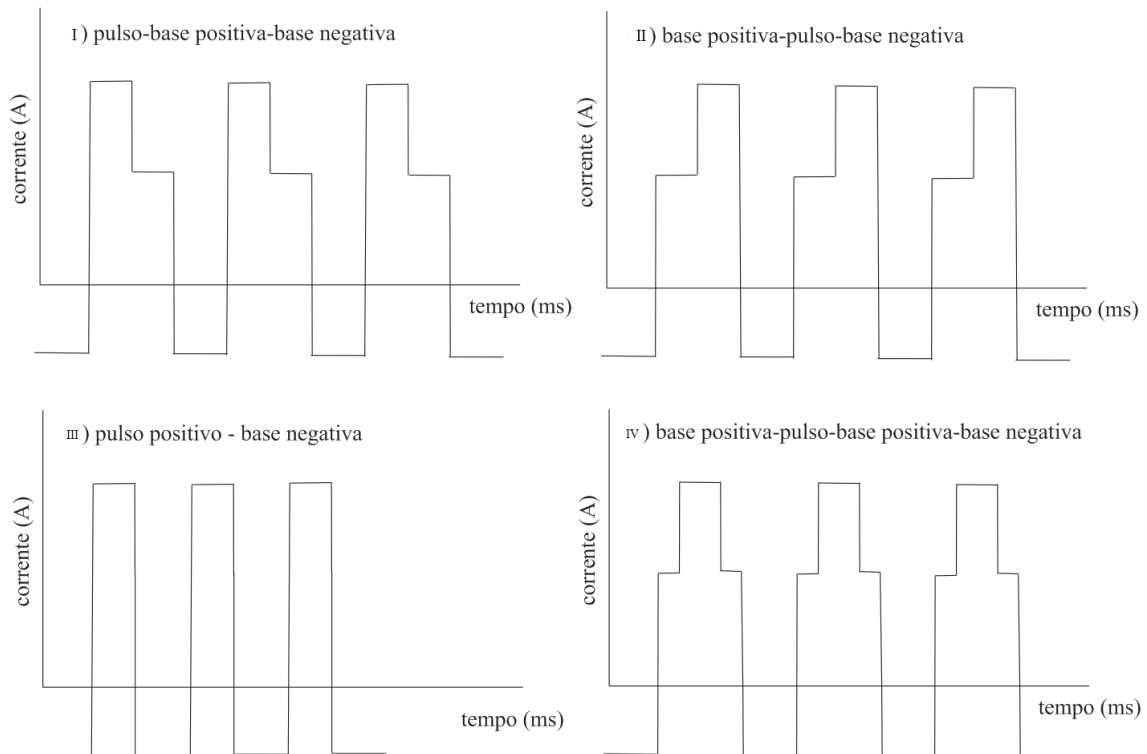


Figura 1. Variações da forma de onda para o processo MIG Pulsado CA

2. Metodologia

A metodologia para definir parâmetros do processo MIG Pulsado CA foi desenvolvida com intuito de que se garantisse boa estabilidade do arco e da transferência metálica, e ainda boa aparência do cordão de solda. Sabe-se que a taxa de fusão é aumentada em polaridade negativa, o que acarretará em uma mudança no comprimento do arco. Deste modo, assim como alguns trabalhos [2,3], procurou-se prever as constantes de fusão nas duas polaridades (CC+ e CC-) por meio da Equação de consumo (1). O conhecimento destas variáveis torna-se necessário para que se possa igualar a velocidade de arame em polaridade positiva e negativa. Como o alumínio apresenta a característica de baixa resistividade, esta equação pode ser expressa pela primeira parcela, que resulta numa Equação linear (2).

$$V_a = \alpha \cdot I_m + \beta \cdot I_{ef}^2 \cdot L \quad (1)$$

$$V_a = \alpha \cdot I_m \quad (2)$$

O procedimento para obter os valores das constantes α consistiu no depósito de cordões sobre chapas utilizando somente polaridade positiva para $\alpha+$ e polaridade negativa para $\alpha-$. Os depósitos para avaliação do processo foram realizados sobre chapas de alumínio 1100 de espessura de 3 mm e o arame eletrodo empregado foi alumínio ER 5087 de 1,2 mm de diâmetro. O gás utilizado foi argônio com 13 l/min de vazão e a distância entre o bico de contato e a peça (DBCP) de 15 mm. A soldagem foi realizada na posição plana com 5° empurrando e uma velocidade de 6,66 mm/s (40 cm/min). Os sinais de tensão, corrente e velocidade de arame foram medidos com o Sistema de Aquisição Portátil (SAP-4) com taxa de aquisição de 5 kHz. Foram realizados três depósitos em cada polaridade e os valores médios calculados para as constantes foram de $\alpha+=0,051$

m/min.A e $\alpha = 0,129$ m/min.A. As mesmas condições foram utilizadas nos ensaios para avaliação do processo MIG Pulsado CA, adicionando ainda a aquisição de imagens com o uso de uma câmera de alta velocidade.

Para definir os parâmetros, tomou-se como partida, o uso da forma de onda retangular do tipo I, II e IV, conforme já mostradas na Figura 1.

Alguns parâmetros são considerados invariáveis durante a faixa de operação do processo e foram utilizados como parâmetros de entrada para realizar cálculos das demais variáveis. Dentre eles estão: coeficiente de fusão negativo ($\alpha -$), coeficiente de fusão positivo ($\alpha +$), corrente de pulso (I_p), tempo de pulso (t_p), diâmetro de gota (d_g), bitola arame (d_a), e percentual do eletrodo negativo (%EN).

Os parâmetros de pulso (I_p e t_p) foram os mesmos utilizados no MIG Pulsado CC, que garantiram o destacamento de uma única gota por pulso com seu destacamento logo após o pulso, na corrente de base. O parâmetros definidos foram de $I_p=430$ A com $t_p=0,8$ ms e $I_p=350$ A com $t_p= 1,2$ ms. Cada um dos dois grupos de variáveis foi avaliado para dois níveis de percentual do eletrodo negativo (30 e 50%) para diâmetro de gota de 1,2 mm.

As demais variáveis a serem definidas foram calculadas por meio de fórmulas utilizando os parâmetros de entrada. A corrente negativa é calculada pela relação entre a velocidade de arame e o coeficiente de fusão negativo, por meio da Equação (3), sendo esta velocidade de arame o valor desejado para a realização da soldagem. O tempo no negativo é calculado pela Equação (4), de acordo com o percentual desejado em eletrodo negativo. O período de destacamento de gota (T) é calculado em função do diâmetro de gota desejado, do diâmetro do arame utilizado e da velocidade de arame desejada, conforme a Equação (5).

$$V_a = I_n \cdot \alpha_{(-)} \quad (3)$$

$$t_n = \frac{T \cdot \%EN}{100} \quad (4)$$

$$T = \frac{40 \cdot d_g^3}{d_a^2 \cdot V_a} \quad (5)$$

A corrente de base é definida pela Equação (6). O valor de I_{m+} necessário para este cálculo é definido pela Equação (7). O tempo de base é calculado baseado no período e tempo negativo já encontrados, por meio da Equação (8).

$$I_b = \frac{[I_{m+} \cdot (t_p + t_b) - (I_p \cdot t_p)]}{t_b} \quad (6)$$

$$V_a = I_{m+} \cdot \alpha_{(+)} \quad (7)$$

$$t_b = T - t_p - t_n \quad (8)$$

De posse dessa sequência de cálculos, uma primeira avaliação feita foi no que diz respeito ao tipo da forma de onda. No trabalho de Dutra [9], foram obtidos bons resultados com o destacamento de gota nos instantes iniciais de corrente de base e, por esse motivo, os ensaios foram conduzidos baseados nesta filosofia. Sendo assim, por não possuírem uma corrente de base após o pulso, as formas de onda II e III não poderiam ser utilizadas. Com a execução de ensaios preliminares, pode-se observar que com a forma de onda II não foi possível obter um procedimento estável, com presença constante de curto-circuito e indefinição do momento em que ocorre o destacamento de gota. Os ensaios com forma de onda III foram descartados. Alguns autores [4,5] afirmam que com essa forma de onda não se obtém uma boa limpeza catódica e a inexistência de um patamar de corrente e tempo de base não permite uma troca de polaridade suave. Com base nestas considerações, os ensaios foram restritos a forma de onda I e IV (vide Figura 1).

Pela aplicação da metodologia de cálculo proposta, encontraram-se os parâmetros listados na Tabela 1, referentes ao tipo de onda I e IV e para uma faixa de velocidade de arame de 3 a 6 m/min com incremento de 1 m/min, sempre para diâmetro de gota igual ao do arame, ou seja, 1,2 mm. Para realizar os ensaios com forma de onda do tipo IV, apenas dividiu-se o tempo de base por dois. Os ensaios com parâmetros $I_p= 350$ A e $t_p= 1,2$ ms com percentual do eletrodo negativo em 50% não foram avaliados devido a corrente de base calculada ser muito baixa, inviabilizando o processo.

Tabela 1. Parâmetros calculados para ensaios de validação da versão MIG Pulsado CA.

%EN	V_a (m/min)	I_p (A)	t_p (ms)	I_b (A)	t_b (ms)	I_n (A)	t_n (ms)
30%	3	350	1,2	24	10,0	23	4,8
	4	350	1,2	33	7,2	31	3,6
	5	350	1,2	43	5,5	39	2,9
	6	350	1,2	54	4,4	47	2,4
30%	3	430	0,8	30	10,4	23	4,8
	4	430	0,8	41	7,6	31	3,6
	5	430	0,8	53	5,9	39	2,9
	6	430	0,8	66	4,8	47	2,4
50%	3	350	1,2	7	6,8	23	8,0
	4	350	1,2	11	4,8	31	6,0
	5	350	1,2	14	3,6	39	4,8
	6	350	1,2	18	2,8	46	4,0
50%	3	430	0,8	18	7,2	23	8,0
	4	430	0,8	24	5,2	31	6,0
	5	430	0,8	32	4,0	39	4,8
	6	430	0,8	40	3,2	47	4,0

3. Resultados e Discussões

Avaliando o conjunto de parâmetros $I_p=350$ A com $t_p=1,2$ ms e $EN=30\%$ pode-se observar que foram obtidos cordões de bom aspecto com as duas formas de onda. Percebe-se que os oscilogramas apresentam uma boa repetitividade e picos de tensão referente ao destacamento de gota na corrente de base, como demonstrado na Figura 2. A Figura 3 traz as imagens dos respectivos cordões.

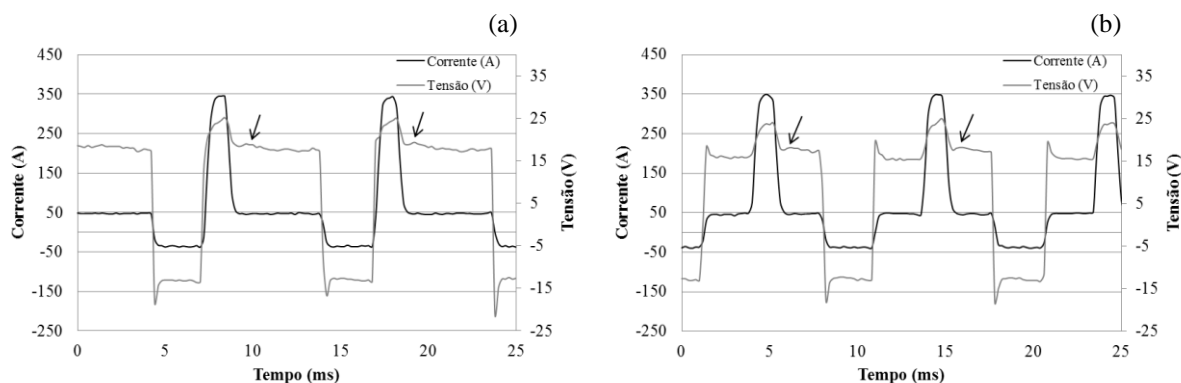


Figura 2. Oscilogramas do MIG Pulsado CA para $V_a = 5$ m/min e $EN=30\%$; (a) forma de onda I (b) forma de onda IV

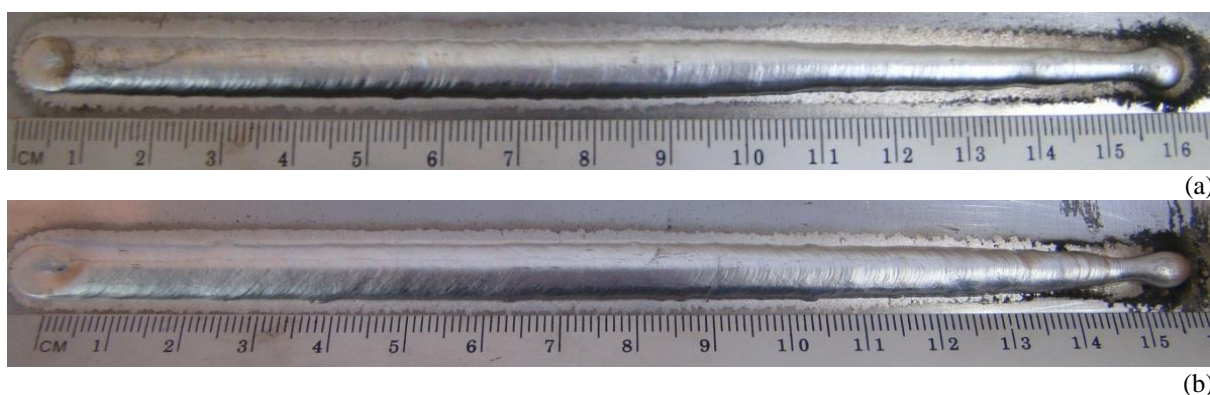


Figura 3. Cordão de solda referente aos oscilogramas da Figura 2; (a) forma de onda I (b) forma de onda IV

A Tabela 2 apresenta os resultados da velocidade de arame, potência e corrente eficaz medido em cada ensaio. Pelos resultados pode-se afirmar que não há uma diferença expressiva nos valores de corrente e potência entre os formatos de onda empregados, logo tanto a forma de onda I e IV poderiam ser utilizados neste processo.

Tabela 2. Resultados de potência e corrente eficaz para parâmetros $I_p=350$ A, $t_p= 1,2$ ms e $EN=30\%$.

Forma de onda	V_a (m/min)	I_{ef} (A)	P (W)	Forma de onda	V_a (m/min)	I_{ef} (A)	P (W)
	I	3	90		1077	IV	3,1
	3,9	105	1332		4	110	1253
	4,9	119	1578		4,9	124	1551
	5,9	131	1853		5,9	138	1880

Pelas imagens da Figura 4 da câmera de alta velocidade é possível observar o destacamento da gota no momento indicado pelos oscilogramas, condizente com a premissa de condição de estabilidade. Em alguns momentos, durante a transferência metálica, houve ocorrência de gotas secundárias de pequeno diâmetro junto ao destacamento, que pode ser vista com detalhes na Figura 5. É suposto que esta seja uma característica da liga de alumínio magnésio utilizada.

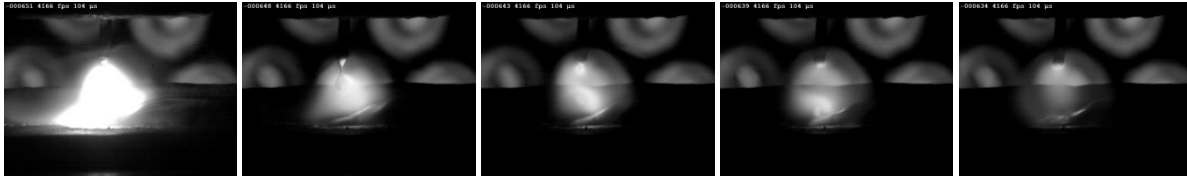


Figura 4. Sequência de destacamento de uma gota por pulso referente ao oscilograma da Figura 2 (a)

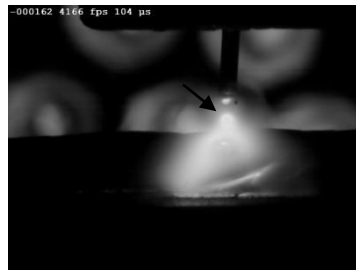


Figura 5. Detalhe da formação de gota secundária

Com os resultados referente ao conjunto $I_p=430$ A e $t_p= 0,8$ ms pode-se constatar, além da influência do formato de onda, a de um maior tempo em polaridade negativa. A Figura 6 traz o oscilograma para os dois tipos de ondas analisados em $EN=30\%$ e a Figura 7 para $EN=50\%$. Nas duas situações foi possível observar o pico de tensão referente ao destacamento de gota, após o pulso. Na Figura 8 é possível ver o destacamento de uma única gota pela câmera de alta velocidade e também o fenômeno de “escalada” do arco característico da polaridade negativa.

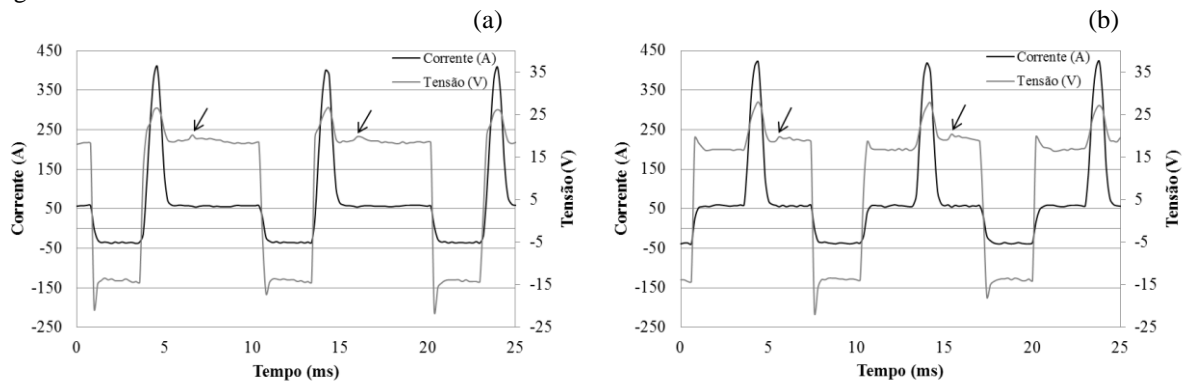


Figura 6. Oscilograma de corrente e tensão conjunto $I_p= 430$ A e $t_p= 0,8$ ms, $EN=30\%$ e $V_a= 5$ m/min; (a) forma de onda I (b) forma de onda IV

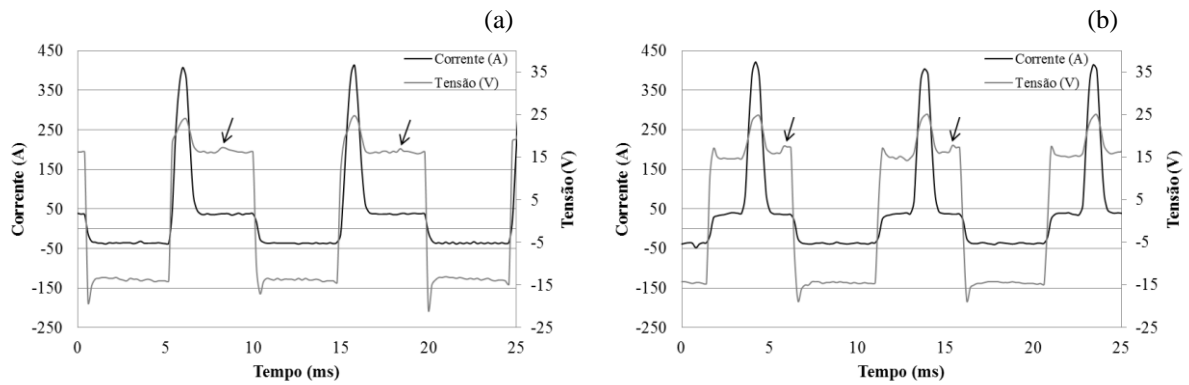


Figura 7. Oscilograma de corrente e tensão conjunto $I_p=430$ A e $t_p=0,8$ ms, EN=50% e $V_a=5$ m/min; (a) forma de onda I (b) forma de onda IV

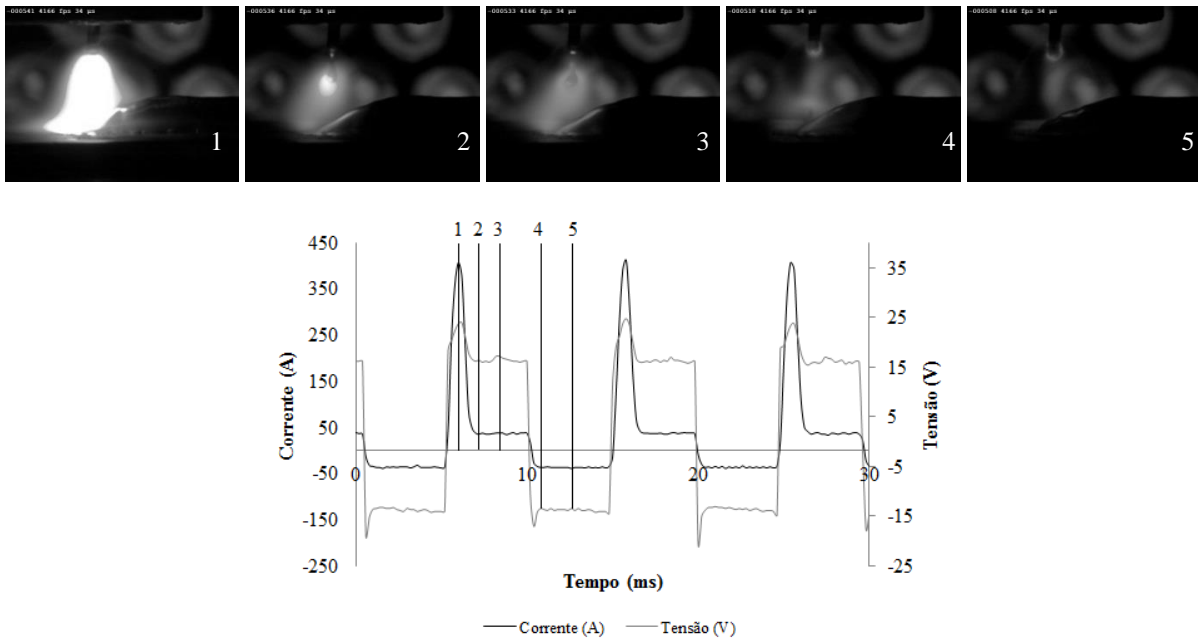
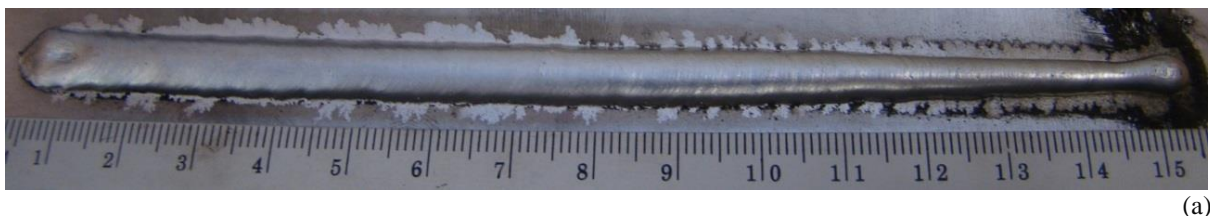
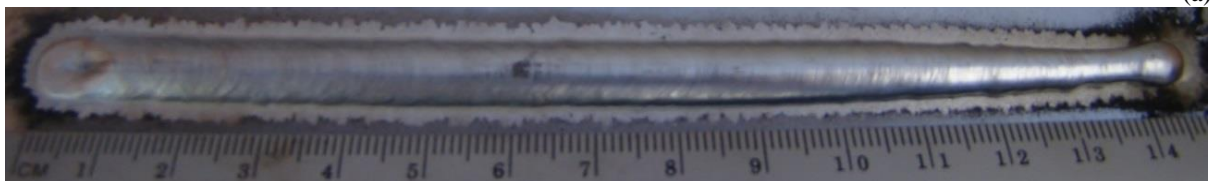


Figura 8. Imagens da câmera de alta velocidade $I_p=430$ A e $t_p=0,8$, EN=50% e $V_a=5$ m/min

Quanto ao aspecto do cordão de solda, não se obteve uma diferença significativa nos resultados utilizando forma de onda I e IV para um mesmo %EN, vide Figuras 9 e 10. O que se pode observar é um maior molhamento do cordão nos corpos de prova que utilizou-se 30 % de eletrodo negativo, já que o mesmo permanece mais tempo em polaridade positiva, aumentando o calor fornecido à chapa. Na Tabela 3 encontram-se os valores de potência e corrente eficaz para cada ensaio, sendo possível observar que em EN=30% tem-se uma maior potência gerada.

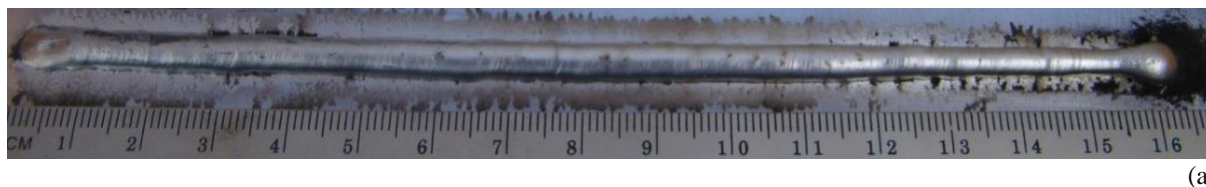


(a)

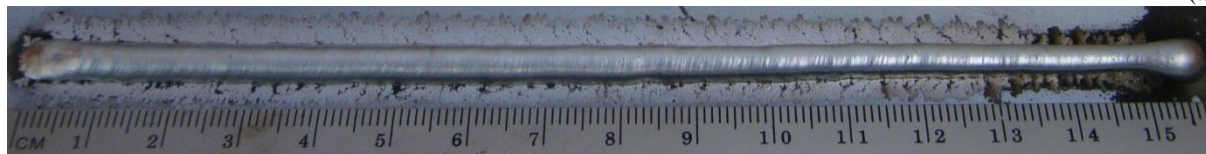


(b)

Figura 9. Cordão de solda referente aos oscilogramas da Figura 6, (a) forma de onda I (b) forma de onda IV



(a)



(b)

Figura 10. Cordão de solda referente aos oscilogramas da Figura 7, (a) forma de onda I (b) forma de onda IV

Tabela 3. Resultados de velocidade de arame, potência e corrente eficaz para parâmetros $I_p=430$ A e $t_p=0,8$ ms.

EN=30%							
Forma de onda	V_a (m/min)	I_{ef} (A)	P (W)	Forma de onda	V_a (m/min)	I_{ef} (A)	P (W)
I	3	81	1053	IV	3,1	90	1017
	4	100	1263		4	107	1276
	4,9	113	1563		4,9	121	1664
	5,9	125	1842		5,9	137	1871
EN=50%							
Forma de onda	V_a (m/min)	I_{ef} (A)	P (W)	Forma de onda	V_a (m/min)	I_{ef} (A)	P (W)
I	3	83	833	IV	3,1	89	809
	4	99	1030		4,1	104	1055
	4,8	111	1233		4,9	116	1360
	5,6	121	1446		5,8	130	1569

Foi possível observar também que nos ensaios com EN=50% houve momentos de instabilidade do processo, com alguma presença de curto devido à variação do comprimento do arco que pode ter ocorrido pelo maior tempo do arco em polaridade negativa. Pelos resultados expostos na Tabela 4, em velocidade de arame mantida em aproximadamente 5 m/min, conseguiu-se diminuir 330 W (cerca de 20% da potência) de um percentual de eletrodo negativo de 30 para 50%. Ainda comparando-se estes resultados com o MIG Pulsado CC para velocidade de arame de 4,8 m/min conseguiu-se reduzir a potência por volta de 500 W (30% da potência).

Tabela 4. Valores comparativos de potência para as versões MIG Pulsado DC e MIG Pulsado CA (EN= 30% e 50%).

Versão do Processo	V_a (m/min)	I_{ef} (A)	P (W)
MIG Pulsado DC	4,8	112	1728
MIG Pulsado AC 30%	4,9	113	1563
MIG Pulsado AC 50%	4,8	111	1233

4. Conclusões

A metodologia proposta permite um cálculo sinérgico para o MIG pulsado CA, sendo possível obter os parâmetros necessários para a execução da soldagem com essa versão do processo. Dentro da faixa de velocidade de arame testada, atingiu-se a condição de destacamento de uma única gota por pulso para as duas formas de onda (I e IV), com boa estabilidade e resultados semelhantes de potência e corrente eficaz. Seguindo a filosofia de destacamento da gota no início da corrente de base, a forma de onda I leva certa vantagem sobre a outra, já que com a forma de onda IV o tempo de base após o pulso é curto comparado a anterior e, à medida que se aumenta a velocidade de arame, o destacamento da gota começa a acontecer muito próximo da inversão de polaridade.

Para os dois conjuntos de parâmetros de pulso avaliados ($I_p=430$ A e $I_p=350$ A) não se observaram diferenças no quesito estabilidade do processo. O que pôde ser analisado e citado como vantagem do uso da corrente de pulso maior (430 A) seria o fato de com esse conjunto de parâmetros é possível de se chegar a menores níveis de corrente média.

Nos ensaios com %EN=50 o processo foi mais instável, com ocorrência de alguns curtos na velocidade de 6 m/min devido à variação do comprimento do arco. O cordão apresentou um aspecto de menor molhabilidade, o que justificado pela redução no menor aporte térmico ocasionado por maior tempo em polaridade negativa. Para

a faixa de corrente eficaz de até 130 A avaliadas neste trabalho, a polaridade de 50% pode oferecer melhores bons resultados em aplicações, como por exemplo, de soldagem em chapas finas.

5. Referências

- [1] TALKINGTON, John. Variable Polarity Gas Metal Arc Welding. Dissertação de Mestrado. The Ohio State University, 1998, 113p.
- [2] SCOTTI, Américo; MONTEIRO, Lindbergh Souza. A methodology for parameterization of the AC MIG/MAG process. *Soldagem & Inspeção*, v. 17, n. 3, p. 271-277, 2012. DOI: 10.1590/S0104-92242012000300011.
- [3] PARK, Hyoung Jin; et al. The arc phenomenon by the characteristic of EN ratio in AC pulse GMAW. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 66, n. 5-8, p. 867-875, 2013. DOI: 10.1007/s00170-012-4371-1.
- [4] VILARINHO, L. O. et al. Methodology for Parameter Calculation of VP-GMAW. *Welding Journal*, v. 88, n. 4, p. 92S-98S, 2009. ISSN: 00432296.
- [5] BÖHME, D.; ROSENFELD, W.; BAUM, L.; CRAMER, H. Mig-Welding of Very Thin Al-Sheets by A.C. Pulsed Arc. *International Institute of Welding IIW*, doc. XII-1720-02, 2002.
- [6] UEYAMA; et al. AC pulsed GMAW improves sheet metal joining. *Welding Journal*, v. 84, n. 2, p 40-46, 2005. ISSN: 00432296.
- [7] DUTRA, Jair Carlos; OLLÉ, Larry Fiori; JÚNIOR, Raul Gohr. O processo MIG/MAG PULSADO COM PULSAÇÃO TÉRMICA. *XXI ENTS*, Caxias do Sul, p. 889, 1995.
- [8] LANCASTER, J. F. Metal Transfer in Fusion Welding, *Arc Physics and Weld Pool Behaviour*. p. 135-146, 1979.
- [9] DUTRA, Jair Carlos; MARQUES, Cleber; SILVA, Regis Henrique Gonçalves e. Consonâncias e Dissonâncias Interpretativas no Inter-relacionamento das Variáveis da Corrente Pulsada Aplicada à Soldagem com arame de Alumínio 4043. *Soldagem e Inspeção*. São Paulo, v.17, n.3, p. 201-209, 2012. DOI: 10.1590/S0104-92242012000300004.