

## **INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE PULSAÇÃO E DO SENTIDO DE SOLDAGEM SOBRE O ACABAMENTO SUPERFICIAL DO CORDÃO NA SOLDAGEM MIG DO ALUMÍNIO**

**Túlio Fernandes dos Santos**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curso de Engenharia Mecânica

[tsantos@rla01.pucpr.br](mailto:tsantos@rla01.pucpr.br) - Curitiba, PR, Brasil

***Resumo.** A soldagem MIG pulsada do alumínio proporciona maior uniformidade na penetração, um bom acabamento, porém implica em complexidade para estabelecer os parâmetros e variáveis adequadas à soldagem, isto devido à diversidade de variáveis interrelacionadas: corrente de pulso, tempo de pulso, corrente de base, tempo de base e velocidade do arame. Este trabalho tem por objetivo identificar a influência dos parâmetros de pulsação para diferentes níveis de corrente de pulso e do sentido de soldagem, no acabamento superficial do cordão de solda, considerando a soldagem do alumínio 1200 H14, com arame ER 4043 de 1,2 mm de diâmetro e gás de proteção Argônio. Foram conduzidos experimentos nos quais foi fixada a corrente média, a velocidade do arame, o tamanho calculado da gota e a vazão de gás. A tensão e a corrente foram monitoradas permitindo identificação das condições de provável destacamento de gota. Os cordões produzidos com correntes de pulso entre 160 e 200 A, resultaram em um bom acabamento, tanto puxando, como empurrando. Correntes de pulso acima de 220 A resultaram, para o conjunto de parâmetros e variáveis ensaiados, em pior acabamento, com ocorrência de respingos e fuligem, sendo mais acentuado o problema no sentido puxando a tocha.*

***Palavras-chave:** MIG pulsado, MIG alumínio, corrente de pulso.*

### **1. INTRODUÇÃO**

No processo MIG com corrente imposta e pulsada, em regime de transferência por projeção axial, tem-se boa homogeneidade de penetração, devido à corrente média ser constante e um bom acabamento do cordão depositado. Apesar das vantagens técnicas, este processo apresenta diversos problemas operacionais tais como: dificuldade de abertura do arco, complexidade na determinação dos parâmetros e variáveis, instabilidade do comprimento do arco e fusão do arame com o bico de contato, podendo levar o arame a embolar-se no mecanismo de alimentação.

O uso da corrente imposta e pulsada, em regime de transferência por projeção axial, é viável, porém de difícil operacionalização. Para torná-la mais popular, deve-se buscar soluções para os problemas acima citados, dentre os quais se destaca: a dificuldade de abertura do arco, a estabilização de seu comprimento e a metodologia para seleção de parâmetros e variáveis.

Este trabalho apresenta o estudo da influência dos parâmetros de pulsação para diversos níveis de corrente de pulso no acabamento do cordão depositado pelo processo MIG com corrente imposta e pulsada, em regime de transferência por projeção axial, enfocando, especificamente a soldagem do alumínio liga 1200 H14 com metal de adição ER4043 com 1,2 mm de diâmetro, sendo considerado, no estudo, a influência do sentido de soldagem.

## 2. ANÁLISE DOS ASPECTOS DO PROCESSO MIG ALUMÍNIO

A determinação de parâmetros e variáveis da corrente pulsada é apresentada por Amin (1978), tendo como base a igualdade entre a velocidade de alimentação e de fusão do arame, além da condição de destacamento de uma única gota por pulso.

Em seu trabalho, Amin (1978) apresenta uma metodologia para a determinação da amplitude e duração da corrente de pulso, de forma a controlar a transferência metálica. Esta metodologia parte da análise das características da transferência natural, obtidas em ensaios com corrente constante.

O período de transferência pode ser relacionado ao volume das gotas e à velocidade de alimentação do arame através da equação:

$$T = \frac{240 * v}{P * d_e^2 * V_a} (ms) \quad (1),$$

onde  $v$  é o volume da gota em  $mm^3$ ;  $d_e$  é o diâmetro do arame em mm;  $V_a$  a velocidade de alimentação do arame em m/min.

Para um determinado tamanho de gota, a ser destacado do arame, verifica-se uma única combinação de corrente e tempo de destacamento, que permite estimar o tempo de pulso  $t_p$  e a corrente de pulso  $I_p$ , sendo o fundamento para a determinação das variáveis da corrente pulsada.

Amin (1978) apresenta a relação entre a corrente de pulso e a duração do pulso para um determinado tamanho de gota, através da equação:

$$I_p^{2,3} * t_p \geq D \quad (2),$$

onde  $D$  é o parâmetro de destacamento em  $A^{2,3}s$ , determinado com base na corrente média e no tempo de destacamento, obtidos nos ensaios com corrente constante para o volume de gota determinado.

Na utilização da corrente pulsada há ainda a influência da corrente de base  $I_b$ , cuja limitação apresentada por Amin (1978) é um valor mínimo  $c$ , ou seja:

$$I_b \geq c \quad (3).$$

Este valor mínimo,  $c$ , deve assegurar a estabilidade ao arco. Amin (1978) sugere que seja aplicada uma margem de segurança, adotando na prática valores acima de 15 A.

A metodologia apresentada por Amin (1978) não fornece precisão com relação à determinação de parâmetros e variáveis aplicadas à corrente pulsada, sendo uma orientação básica, necessitando de ajustes para adequação às condições reais de soldagem com corrente pulsada.

O artigo escrito por Subramaniam et alii (1999), apresenta um método para a determinação dos parâmetros do MIG pulsado, com base em técnicas estatísticas nas quais a

identificação das condições de transferência com destacamento de uma gota por pulso permite a seleção dos conjuntos de parâmetros adequados à soldagem

### 3. MATERIAIS E METODOLOGIA

Nos experimentos do presente trabalho foram utilizadas chapas de alumínio 1200 H14, arame ER 4043 de 1,2 mm de diâmetro e gás de proteção Argônio. Tanto as chapas como o arame, foram utilizados sem tratamentos específicos, apenas remoção de poeira da chapa, de forma a simular as condições industriais normais.

A máquina de solda utilizada foi uma fonte de soldagem multiprocesso transistorizada, dotada de interface para conexão com microcomputador.

O sistema de alimentação foi composto por cabeçote de alimentação equipado com roletes em V e tocha refrigerada, com mangote de 2 m de comprimento, com guia de teflon e bocal de 15 mm de diâmetro. Para fixação e deslocamento da tocha foi utilizado o conjunto com motor de passo possibilitando o ajuste da velocidade de deslocamento.

Para controle da fonte de soldagem foi utilizado microcomputador Pentium II, com 200 MHz, equipado com placa para aquisição e controle dotada de saídas e entradas, tanto digitais, como analógicas.

Foi utilizado um programa computacional, especificamente desenvolvido e calibrado para controle do equipamento de soldagem. No programa, foram inseridas rotinas específicas para abertura do arco e controle das variáveis de soldagem.

Para monitoração da soldagem, utilizou-se o sistema de aquisição portátil, equipado com sensores de corrente, tensão, velocidade de arame e vazão de gás.

O sistema de aquisição, operando com microcomputador Pentium 100 MHz, efetuou aquisições de sinais, a uma velocidade de 5 kHz, utilizando o software específico para gerar oscilogramas das variáveis medidas e possibilitar medições através de cursores.

A vazão de gás foi medida através do sistema de aquisição portátil, sendo ajustada para 15 l/min através do regulador de pressão.

Os corpos de prova, sem nenhum tratamento posterior a soldagem, foram fotografados com câmara digital, sendo necessário um maior escurecimento da foto devido ao elevado nível de reflexão das chapas. As imagens foram transferidas para o microcomputador através de programa específico do equipamento fotográfico.

Com base no parâmetro de destacamento ( $D$ ) e na relação entre a velocidade de arame e a corrente média, estabeleceu-se, inicialmente, as relações das amplitudes e durações das correntes de pulso a serem ensaiadas, sendo reajustado o conjunto destas variáveis, até a provável obtenção de apenas um destacamento de gota por pulso, o que foi identificado através da observação dos oscilogramas (Figura 1).

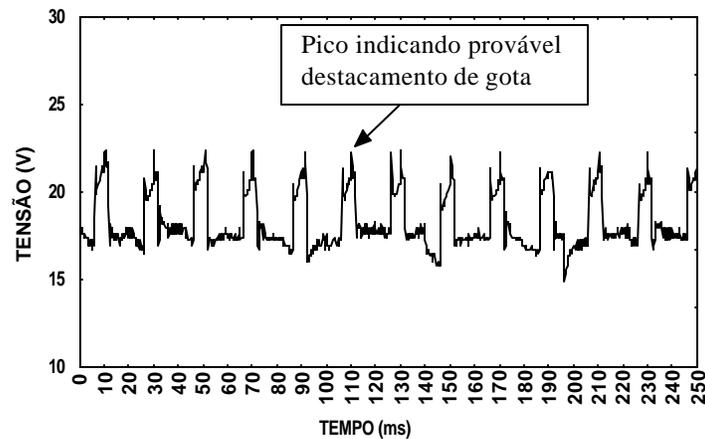


Figura 1 Oscilograma de tensão

Para reduzir a influência de outros fatores nos experimentos, fixou-se: a corrente média, a velocidade do arame, o tamanho de gota e a vazão de gás, sendo alterados, em conjunto, as amplitudes e durações das correntes de base e de pulso.

A tocha foi posicionada com inclinação de  $15^\circ$  em relação ao eixo vertical na direção do cordão, permitindo a soldagem nos sentidos, puxando e empurrando, invertendo-se, apenas, o sentido do deslocamento.

Nos experimentos foram utilizadas as seguintes condições:

- velocidade de deslocamento da tocha: 0,005 m/s (30 cm/min);
- velocidades de alimentação do arame: 0,052 m/s (3,1 m/min);
- corrente média: de 70 A;
- diâmetro calculado de gota: 1,3 mm ;
- vazão de gás: 15 l/min;
- correntes de pulso: 160, 170, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300 A;
- chapas à temperatura ambiente.

Foram utilizadas chapas com espessura de 3 mm e dimensões de 100 x 200 mm, sendo depositados, em cada chapa, dois cordões de solda com o mesmo conjunto de parâmetros e variáveis, porém um no sentido puxando e o outro no sentido empurrando. Foi mantido um afastamento de 40mm entre os cordões depositados, e de 30 mm entre estes e a borda mais próxima da chapa. A análise visual dos corpos de prova, possibilitou a comparação entre o acabamento produzido com os diversos níveis de corrente de pulso e sentidos de soldagem.

#### 4. RESULTADOS

Considerando correntes de pulso de 160 a 300 A, a aplicação das equações que relacionam os diversos parâmetros e variáveis envolvidos, resultou no conjunto de dados apresentados na tabela 1.

tabela 1 – Conjunto de parâmetros para corrente pulsada

T (ms)	Ib (A)	Tb (ms)	Ip (A)	Tp (ms)	Im (A)	Va (m/min)	Vol. Modal (mm <sup>3</sup> )	dg (mm)	dg/de
20,5	22,6	13,4	160	7,1	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	27,2	14,4	170	6,1	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	30,7	15,1	180	5,4	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	36,2	16,3	200	4,2	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	40,2	17,1	220	3,4	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	43,3	17,7	240	2,8	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	45,8	18,2	260	2,3	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	47,9	18,5	280	2,0	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	49,7	18,8	300	1,7	70	3,1	1,2	1,3	1,1

Foram realizados os ensaios com os parâmetros e variáveis acima especificados. Com o auxílio de oscilogramas, foi identificado que os parâmetros e variáveis calculadas não foram adequadas, sendo verificadas situações de destacamento irregular, ou seja, que não resultaram em uma única gota por pulso.

Visando assegurar o destacamento de uma única gota por pulso, foi necessário ajustar os parâmetros e variáveis da corrente de pulso.

Estas mudanças foram conduzidas alterando simultaneamente o tempo de pulso, o tempo de base e a corrente de base, de forma a manter o mesmo diâmetro de gota, a mesma velocidade de arame e a mesma corrente média, o que resultou na tabela 2.

tabela 2 – Conjunto de parâmetros ajustados para corrente pulsada

T (ms)	Ib (A)	Tb (ms)	Ip (A)	Tp (ms)	Im (A)	Va (m/min)	Vol. Modal (mm <sup>3</sup> )	dg (mm)	dg/de
20,5	28,2	14,0	160	6,5	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	31,5	14,8	170	5,7	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	34,5	15,5	180	5,0	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	31,3	15,8	200	4,7	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	38,0	16,9	220	3,6	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	37,4	17,2	240	3,3	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	37,4	17,5	260	3,0	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	36,8	17,7	280	2,8	70	3,1	1,2	1,3	1,1
20,5	40,9	18,2	300	2,3	70	3,1	1,2	1,3	1,1

Os experimentos conduzidos, conforme tabela acima, foram executados tanto no sentido empurrando, como no sentido puxando, e analisados quanto ao acabamento Fig. (2 a 13)

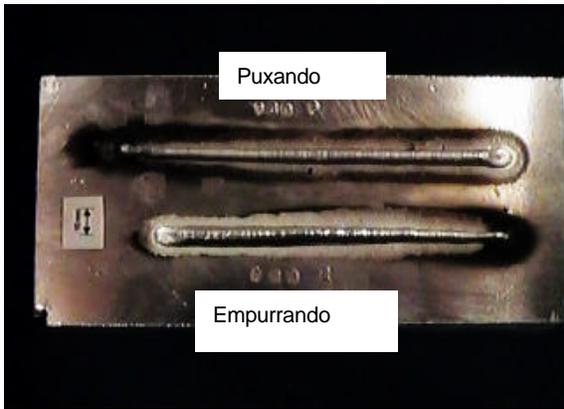


Fig. 2 Cordões de solda com corrente de pulso de 160 A

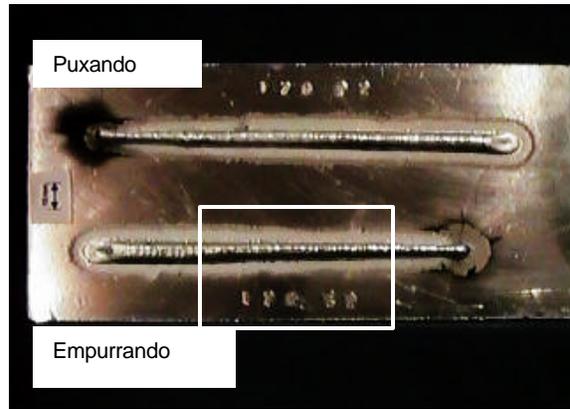


Fig. 3 Cordões de solda com corrente de pulso de 170 A



Fig. 4 Ampliação da região marcada na figura 3



Fig. 5 Cordões de solda com corrente de pulso de 180 A

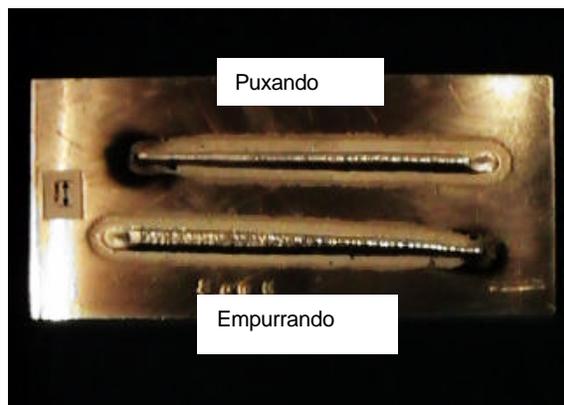


Fig. 6 Cordões de solda com corrente de pulso de 200 A

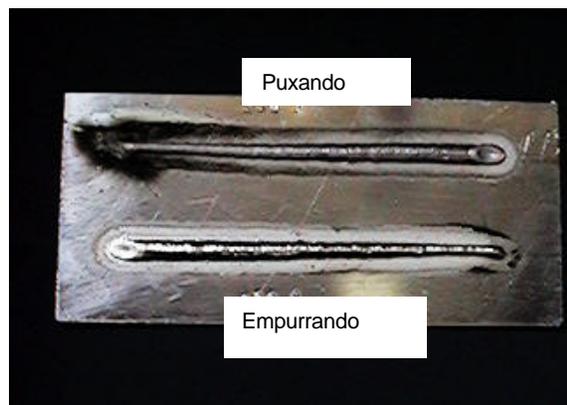


Fig. 7 Cordões de solda com corrente de pulso de 220 A

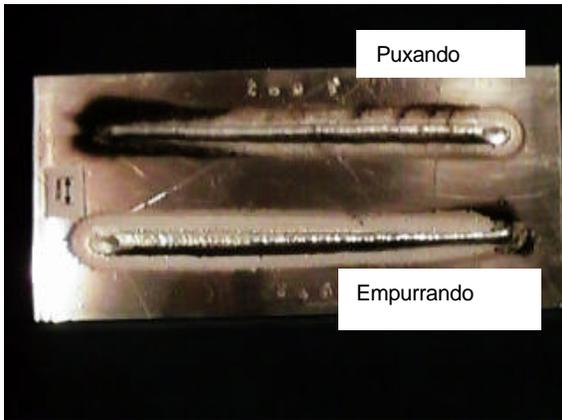


Fig. 8 Cordões de solda com corrente de pulso de 240 A

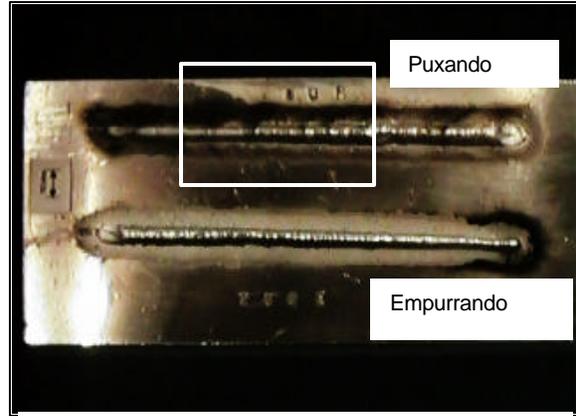


Fig. 9 Cordões de solda com corrente de pulso de 260 A

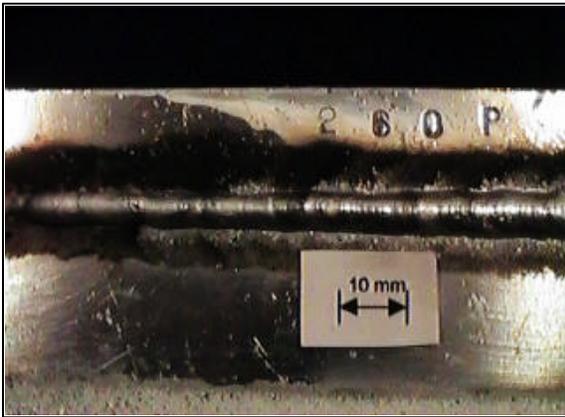


Fig. 10 Ampliação da região marcada na figura 9

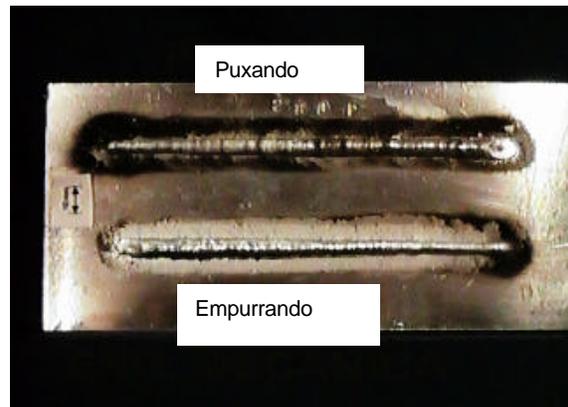


Fig. 11 Cordões de solda com corrente de pulso de 280 A

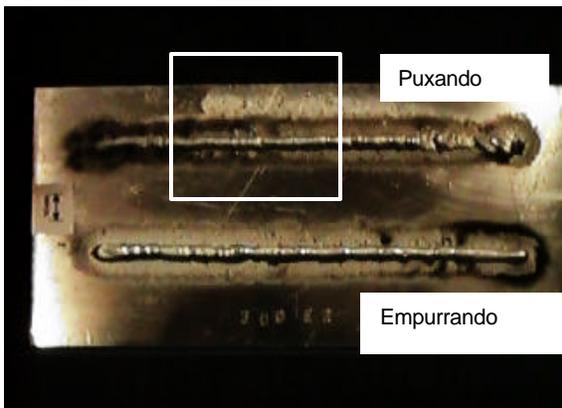


Fig. 12 Cordões de solda com corrente de pulso de 300 A

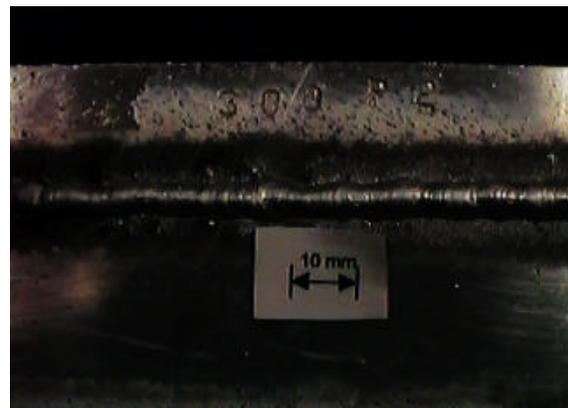


Fig. 13 Ampliação da região marcada na figura 12

Os cordões produzidos com correntes de pulso entre 160 e 200 A , resultaram em um bom acabamento, tanto puxando, como empurrando, sendo observado um elevado grau de limpeza nas proximidades do cordão, sem fuligem, exceto no ponto de abertura do arco.

Correntes de pulso acima de 220 A resultaram, para o conjunto de parâmetros e variáveis ensaiados, em pior acabamento, com ocorrência de respingos e fuligem, sendo mais acentuado o problema no sentido puxando a tocha.

A origem deste fenômeno pode estar associada a um impacto mais forte das gotas na poça de fusão, assim como, a uma maior oscilação da poça, devido a uma pressão de arco mais elevada. Ambos os mecanismos são citados por estarem relacionados a um aumento na corrente de pulso, porém, sem um processo de filmagem de alta velocidade, sincronizado com os oscilogramas de tensão e corrente, não se pode confirmar tais suposições.

Considerando que o arame utilizado nos experimentos de S Subramaniam et alii (1999) foi o ER4047, com 1,2 mm de diâmetro, coincidentemente uma liga da série 4000 de mesmo diâmetro que o utilizado nos ensaios deste trabalho, foi feita uma comparação entre os parâmetros verificados experimentalmente e os calculados com base nas equações desenvolvidas por Subramaniam et alii (1999). Os resultados não foram compatíveis, provavelmente devido ao presente trabalho ter sido desenvolvido em uma faixa de corrente de pulso inferior à utilizada no trabalho apresentado por Subramaniam et alii (1999).

## **5. CONCLUSÕES**

Para soldagem MIG do alumínio 1200H14 com arame ER4043 de 1,2 mm de diâmetro, correntes de pulso entre 160 e 200 A , resultaram em melhor acabamento do cordão depositado e da região próxima a este, sendo observada a melhor condição para corrente de 170 A.

Os ensaios mostram que, a soldagem, tanto no sentido puxando como empurrando, apresenta bom de acabamento superficial para corrente de pulso entre 160 e 200 A, entretanto para correntes de pulso acima de 200 A, a soldagem no sentido empurrando resulta em melhores condições de acabamento.

### ***Agradecimentos***

À PUCPR, que possibilitou a realização dos experimentos em seus laboratórios.

À IMC de Florianópolis e ao LABSOLDA da UFSC, pelo apoio técnico.

## **REFERÊNCIAS**

Amin, M., 1978, Prediction of square wave pulse current parameters for control of transfer in MIG welding, Welding Institute.

Subramaniam, S.; D. R. White; J. E. Jones; D. W. Lyons, 1999, Experimental approach to selection of pulsing parameters in pulsed GMAW, Welding Journal.

## **INFLUENCE OF PULSED CURRENT IN A ALUMINUM GMAW PROCESS**

**Abstract.** *The pulsed current is considered more suitable for the aluminum and involves the difficult determination of pulsing parameters and variables of the process. Among these variables, the peak current plays an important role on the process performance. The experiments were carried out at different levels of peak current for ER4043 wire with 1.2 mm in diameter and indicate a better superficial finish of the weld bead and the area around it when peak currents between 160 and 200 A were employed, even though the displacement of the torch was in pulling direction, which is considered unfavorable, the results are found satisfactory.*

**Keywords:** *Aluminum GMAW; Pulsed GMAW; Pulsed current.*