

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE PULSO NA SOLDAGEM DA LIGA DE ALUMÍNIO 5052¹

*Erriston Campos Amara²
Claudio Rios Maria³
Luiz Paulo Mendonça Brandão³*

Resumo

Neste trabalho, descreve-se o estudo do desempenho operacional da soldagem MIG Superpulso (dois blocos térmicos de pulso). Foram avaliados os efeitos dos blocos térmicos (tempos dos blocos primário e secundário) sobre a geometria (perfil de penetração, largura e reforço) e aspecto visual dos cordões de soldas. Todas as soldagens foram mecanizadas, sendo realizadas com uma fonte eletrônica multiprocesso, em simples deposição, na posição plana com ângulo de inclinação da tocha em 15° e no sentido empurrando, com uma velocidade de 400 mm/min. As soldagens foram realizadas sobre chapas de Al-Mg 5052 de 4 mm de espessura com o metal de adição Al-Si 4043 de 1,2 mm de diâmetro. Os resultados mostraram que o processo de soldagem MIG Superpulso influenciou a geometria e o aspecto do cordão.

Palavras-chave: MIG superpulso; Ligas de alumínio; Geometria do cordão.

INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF PULSE WELDING OF ALUMINIUM ALLOYS

Abstract

This work describes the study of the operational performance of MIG superpulse (two blocks thermal pulse). The effects of thermal blocks (blocks of time primary and secondary) on the geometry (penetration profile, width and reinforcement) and visual appearance of the weld beads. All were mechanized, being carried out with an electronic source multiprocess in simple deposition, in the flat position angle of inclination of the torch 15° and the pushing direction with a speed of 400 mm/min. the welds were made on plates 5052 Al-Mg of 4 mm thickness with the addition of metal Al-Si 4043, 1.2 mm in diameters. The results showed that the MIG welding process superpulse influenced the geometry and the appearance of the weld bead.

Key words: MIG superpulse; Aluminum alloys; Geometry beads;

¹ *Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

² *M.Sc em Ciência dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia, RJ, Brasil.*

³ *Professor, Doutor, Instituto Militar de Engenharia, RJ, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Os processos de soldagem vêm sofrendo constantes evoluções, especialmente pela concepção de novos equipamentos, ferramentas computacionais etc.⁽¹⁾. A partir desta evolução tecnológica surgiu o processo de soldagem MIG-S (*Metal Inert Gas - Superpulso*), sendo este processo uma vertente do processo MIG Convencional.

O seu princípio de funcionamento baseia-se em duas condições de bloco: um bloco de maior corrente média (bloco primário) e outro bloco de menor corrente (bloco secundário), como mostra a Figura 1. Em cada bloco o arco é mantido com uma corrente de base baixa, enquanto uma corrente de pulso provoca o destacamento da gota. Devido a esta condição, este processo apresenta como vantagens um maior controle do aporte térmico, causado pelo resfriamento da poça na fase de menor corrente média, garantindo maior controle na soldagem de peças finas e fora de posição e refino de grãos da zona fundida, devido à imposição de rápidos e múltiplos ciclos. Outra vantagem deste processo é a possibilidade de utilização de arames de diâmetros superiores a espessura da chapa sem furá-la, obtendo maiores taxas de soldagem em relação a arames mais finos⁽²⁻⁴⁾.

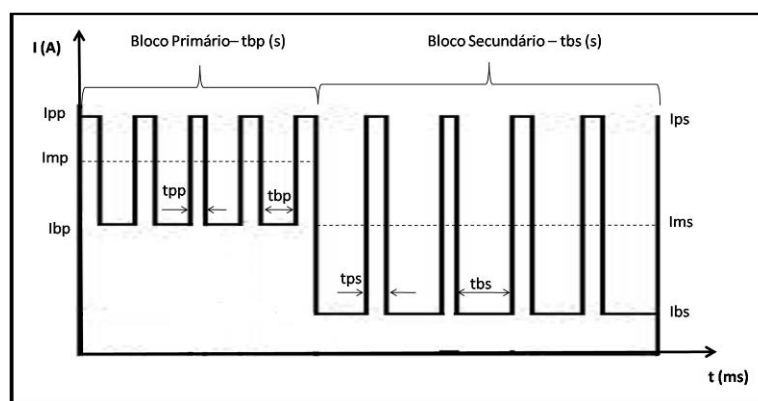


Figura 1. Forma de onda retangular (teórica) do processo MIG – Superpulso. Fonte: Adaptado de BARRA (2003)

Onde:

- tpp e tbp – tempo de pico do primário e tempo de base do primário;
- tps e tbs – tempo de pico do secundário e – tempo de base do secundário;
- Imp e Ims – corrente média do primário e corrente média do secundário;
- Ipp – corrente de pico do primário; Ibp – corrente de base do primário;
- Ips – corrente de pico do secundário; Ibs – corrente de base do secundário.

Uma grande dificuldade de se usar os processos com corrente pulsada residia na regulação dos parâmetros de soldagem⁽⁴⁾. Devido a essa dificuldade, os processos de soldagem com corrente pulsada vêm acompanhados de Comando Sinérgico, que é um banco de dados, de parâmetros, e rotinas computacionais, criados de forma experimental, incorporados em uma fonte eletrônica pré-programada, que tem como função possibilitar a adaptação (corrigir o comprimento do arco), em tempo real, podendo ou não ajustar novos parâmetros de pulso, e assim compensar possíveis instabilidades na transferência metálica⁽⁵⁾.

Assim, mesmo com o sinergismo atuando, algumas vezes torna-se necessário redefinir os parâmetros memorizados nos programas sinérgicos. Estas modificações devem, portanto, obedecer a critérios que garantam a estabilidade da transferência. Neste enfoque, este trabalho pretende contribuir no estudo da soldagem MIG Superpulso, com relação ao processo. A possibilidade de controle dos parâmetros

envolvidos na operação de soldagem MIG Superpulso, aliado ao entendimento de como cada condição dos blocos térmicos poderá influenciar na estrutura final do metal depositado, permitirá que se obtenha um total acompanhamento das características visuais e geométricas do cordão, quando comparado às condições de operações básicas dos processos MIG convencional e pulsado.

Faz-se, então, necessário um estudo detalhado das peculiaridades funcionais deste processo, de modo a promover sua melhor utilização. Assim, o objetivo deste trabalho é estudar a influência dos parâmetros de pulso na geometria do cordão quanto a escamas, penetração, reforço e largura das soldas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Todas as soldagens foram mecanizadas utilizando uma tartaruga, com um sistema de posicionamento mecânico de tocha, modelo MC-46 e fabricante White Martins, realizadas em simples deposição, na posição plana com ângulo de inclinação da tocha em 15° e no sentido empurrando, sendo a tocha de modelo MB 36KD e fabricante Binzel. Utilizou-se à distância inicial bico de contato a peça de 15 mm, o gás de proteção argônio, com uma vazão de 15 l/min e velocidade de soldagem de 400 mm/min. Utilizou-se como metal de base a liga Al-Mg 5052, nas dimensões de 200 mm x 100 mm x 4 mm. Já, como metal de adição utilizou-se o arame eletrodo ER 4043, pertencente à classe Al-Si, com 1,2 mm de diâmetro. Para a realização dos testes foi utilizada um fonte eletrônica multiprocesso, modelo AritoMig5001i Multivoltage e fabricante Esab, com um sistema de alimentação de arame, modelo AristoFeed 30-4W M0 e fabricante Esab, com rampa de aceleração e desaceleração do arame eletrodo e um controlador modelo AristoPendente U82 e fabricante Esab. No processo MIG-S os tempos do bloco primário (tbp) e do bloco secundário (tbs) foram estabelecidos como variáveis de influência, sendo variados conforme descrição da Tabela 1.

Tabela 1. Relação dos tempos dos blocos primário e secundário com cada cordão

Cordões	tbp (s)	tbs (s)
II	0,2	0,2
III	0,2	0,4
IV	0,2	0,6
V	0,4	0,2
VI	0,4	0,4
VII	0,4	0,6
VIII	0,6	0,2
IX	0,6	0,4
X	0,6	0,6

Todos os parâmetros foram iguados, exceto a corrente de pico e a velocidade de alimentação do arame, a fim de se obter o menor número de variáveis de influência no processo (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros operacionais utilizados nas soldagens MIG-S

Bloco Primário		Bloco Secundário	
Tensão (v)	23,5	Tensão (v)	23,5
Veloc. de alimentação (m/min)	6,5	Veloc. de alimentação (m/min)	3,5
Corrente de pico (A)	250	Corrente de pico (A)	180
Corrente de base (A)	75	Corrente de base (A)	75
Tempo de pico (ms)	2,0	Tempo de pico (ms)	2,0
Tempo de base (ms)	5,1	Tempo de base (ms)	5,1
Frequência (Hz)	140	Frequência (Hz)	140

2.1 Análises do Aspecto Visual das Soldas e da Geometria do Cordão

Na análise visual, mediu-se o tamanho das escamas em cada cordão e calculou-se o número médio de escamas por unidade de comprimento como esperado $E(\text{Esc}/\text{mm})$ e como obtido (Esc/mm) , com o objetivo de avaliar a regularidade das mesmas. Neste trabalho tomou-se como base para o cálculo de $E(\text{Esc}/\text{mm})$ que uma escama é representada por um bloco primário e um secundário juntos, ou seja, é a soma dos tempos dos blocos primário e secundário, visto que a escama de cada bloco é de difícil visualização e a escama das duas juntas se mostra de fácil visualização, devido a crista formada pela frente de solidificação.

O cálculo de $E(\text{Esc}/\text{mm})$ foi baseado na velocidade de soldagem utilizada e na soma dos tempos dos blocos de cada cordão. Já, para o cálculo do tamanho e regularidade das escamas utilizou-se uma régua em escala editada de acordo com o comprimento das mesmas referentes a cada tempo de bloco de cada cordão.

A análise geométrica do cordão {penetração (P), largura (L) e reforço (R)}, foi realizada ao longo da seção longitudinal (no centro do cordão) e superior da solda, pois a geometria do cordão, feito pelo processo MIG-S, não é uniforme, ou seja, ela apresenta geometria proporcional aos blocos ao longo do cordão (Figura 2).

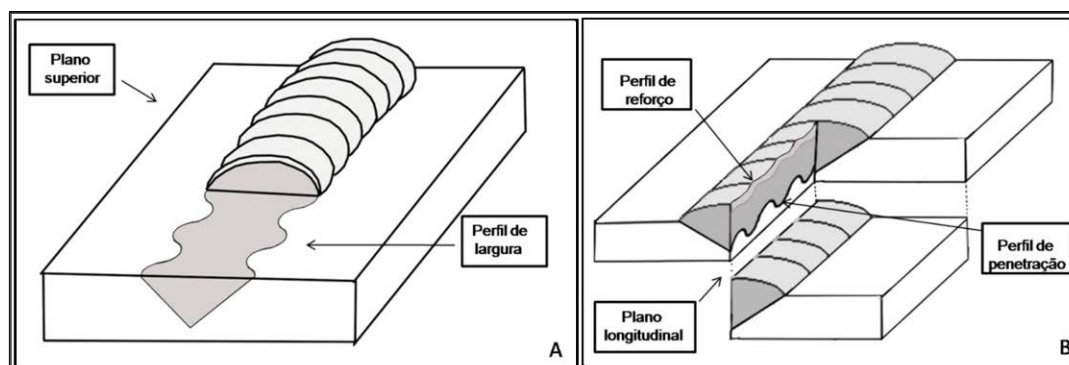


Figura 2. Ilustração da seção longitudinal de um cordão de solda com a indicação do (A) perfil de largura e (B) perfil de reforço e de penetração.

3 RESULTADOS

3.1 Aporte Térmico

Os níveis médios totais de aporte térmico do bloco primário (A_{tp}), do bloco secundário (A_{ts}) e médio (A_{tm}) foram calculados durante a realização dos experimentos. Esses valores estão mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios de potência e aporte térmico

Cordões	tbp (s)	tbs (s)	Atbp (KJ/cm)	Atbs (KJ/cm)	Atm (KJ/cm)
II	0,2	0,2	4,08	3,41	3,74
III	0,2	0,4	3,84	3,51	3,62
IV	0,2	0,6	3,68	3,29	3,39
V	0,4	0,2	4,29	3,81	4,13
VI	0,4	0,4	4,23	3,78	4,01
VII	0,4	0,6	4,05	3,45	3,69
VIII	0,6	0,2	4,26	3,91	4,18
IX	0,6	0,4	4,26	3,77	4,06
X	0,6	0,6	3,77	3,40	3,59

Como esperado, os valores, referentes a cada cordão, de Atbp são maiores que Atbs. Percebe-se que quando o valor de tbs aumenta, tem-se uma tendência para redução de Atm.

3.2 Análise Visual dos Cordões

As Figuras 3, 4 e 5 indicam os resultados obtidos para o aspecto superficial dos cordões, em função dos tempos dos blocos primários e secundários.

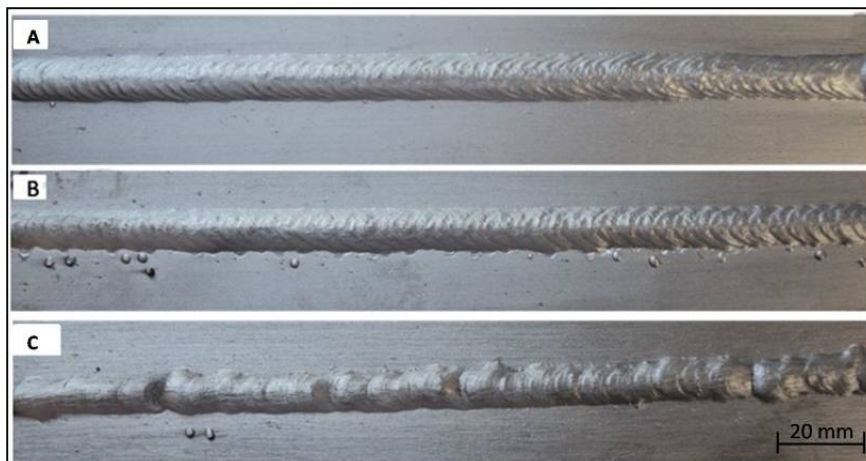


Figura 3. Aspecto superficial dos cordões de solda: (A) II; (B) III e (C) IV.

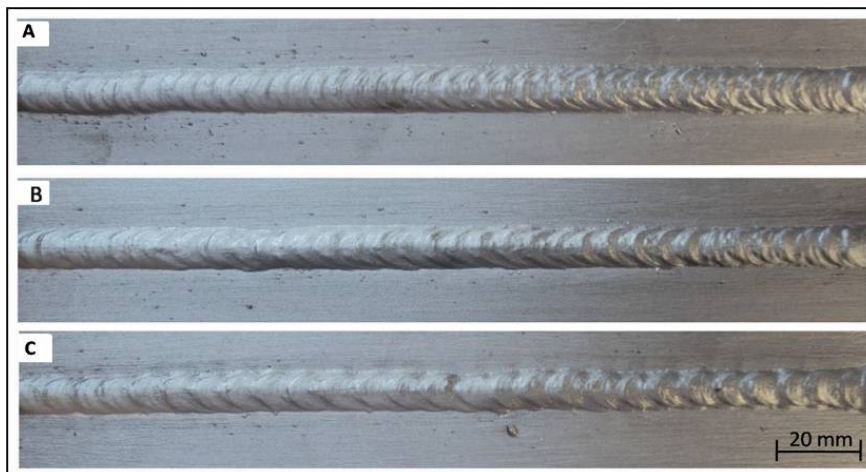


Figura 4. Aspecto superficial dos cordões de solda: (A) V; (B) VI e (C) VII.

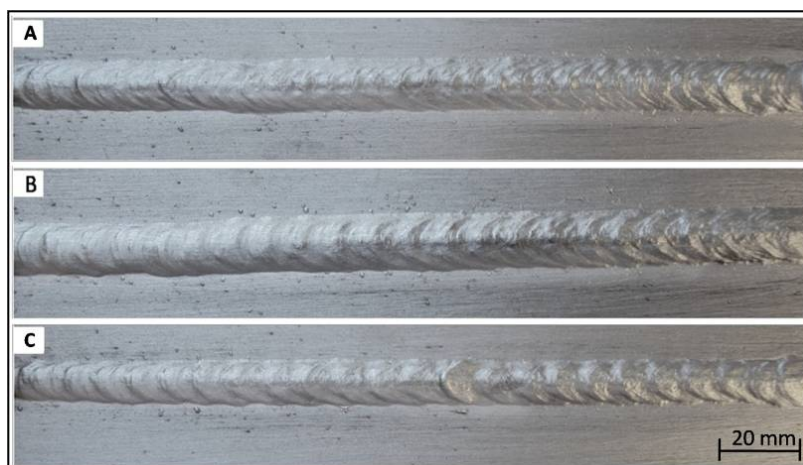


Figura 5. Aspecto superficial dos cordões de solda: (A) VIII; (B) IX e (C) X.

Todos os cordões apresentaram um bom aspecto visual, exceto o cordão da amostra IV. Todos os cordões também apresentaram uma ocorrência de salpicagem adjacente ao cordão, porém com uma quantidade relativamente baixa.

3.3 Análise dos Tempos dos Blocos Sobre a Regularidade Superficial (Esc/Mm), Perfil de Penetração e de Largura

A Tabela 4 apresenta os valores médios referentes às escamas/milímetro como valores esperados, E(Esc/mm) e como valores obtidos, Esc/mm. Tomou-se como base para a medição, as cristas das frentes de solidificação, sendo que de uma crista à outra tem-se um bloco primário e um secundário, como mostra a Figura 6 do cordão de solda com uma régua transparente de escala editada.

Tabela 4 – Valores médios de E(Esc/mm) e Esc/mm

Cordões	tbp (s)	tbs (s)	E (Esc/mm)	Esc/mm
II	0,2	0,2	0,374	0,377
III	0,2	0,4	0,250	0,252
IV	0,2	0,6	0,188	0,187
V	0,4	0,2	0,250	0,249
VI	0,4	0,4	0,188	0,190
VII	0,4	0,6	0,149	0,150
VIII	0,6	0,2	0,188	0,189
IX	0,6	0,4	0,149	0,150
X	0,6	0,6	0,125	0,124

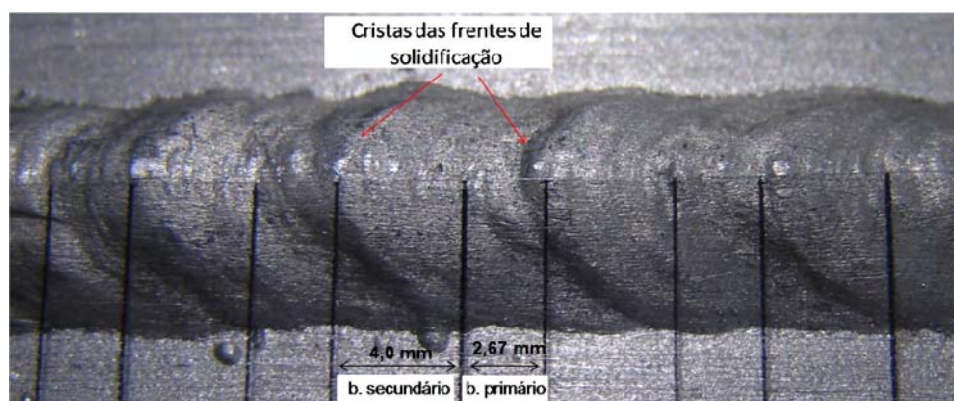


Figura 6. Cordão VII - cristas das frentes de solidificação e a soma dos blocos primário e secundário.

De acordo com a Tabela 4, como esperado, tanto o aumento de t_{bp} , quanto de t_{bs} fazem reduzir o valor de E_{sc}/mm . Nota-se que os valores de E_{sc}/mm e de E_{sc}/mm são praticamente os mesmos. Essa regularidade também pode ser verificada no aspecto superficial e no perfil de penetração (Figuras 7 e 8). Já, o perfil de largura apresenta uma pequena defasagem na relação de tamanho entre as escamas (Figuras 7c1, 7c2 e 8c).

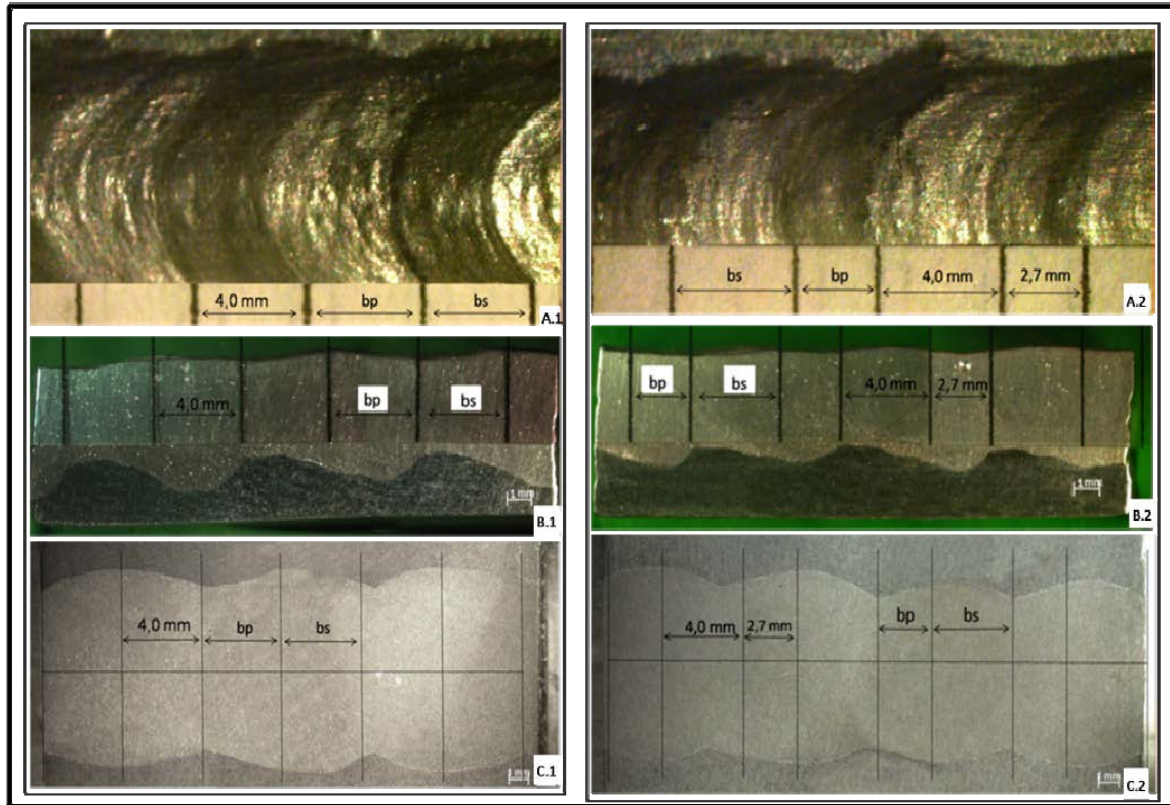


Figura 7. (A.1 e A.2) Aspecto superficial, (B1 e B2) perfil de penetração e (C1 e C2) perfil de largura das amostras X e VII, respectivamente.

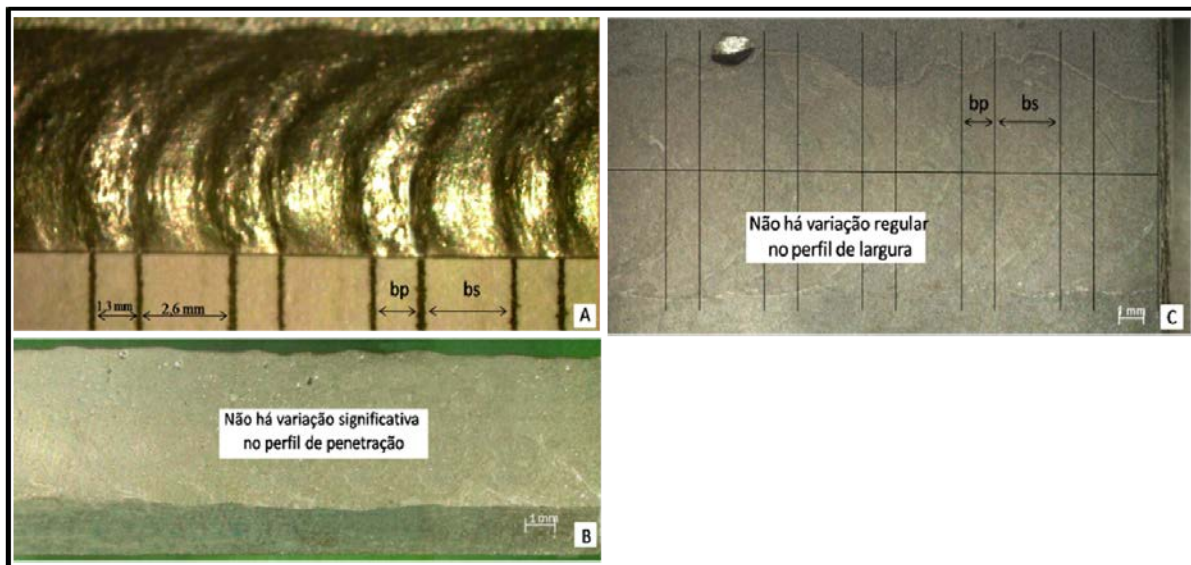


Figura 8. (A) Aspecto superficial, (B) perfil de penetração e (C) perfil de largura da amostra III.

3.4 Análise das Grandezas Geométricas

3.4.1 Penetração e largura

A Tabela 5 apresenta os valores médios referentes às penetrações e larguras do bloco primário (PP e LP), do bloco secundário (PS e LS) e média total (PM e LM) das amostras.

Tabela 5 - Resultados das medições das penetrações

Cordão	tbp(s)	tbs(s)	PP (mm)	PS (mm)	PM (mm)	LP (mm)	LS (mm)	LM (mm)
II	0,2	0,2	3,13 ± 0,06	2,50 ± 0,10	2,82 ± 0,35	8,80 ± 0,00	8,27 ± 0,06	8,53 ± 0,29
III	0,2	0,4	2,60 ± 0,09	2,33 ± 0,10	2,47 ± 0,17	8,10 ± 0,65	7,82 ± 0,29	7,96 ± 0,50
IV	0,2	0,6	1,03 ± 0,19	0,88 ± 0,18	0,96 ± 0,19	6,24 ± 0,80	5,38 ± 0,53	5,81 ± 0,79
V	0,4	0,2	1,60 ± 0,19	0,90 ± 0,15	2,18 ± 0,35	8,82 ± 0,23	8,52 ± 0,33	8,67 ± 0,31
VI	0,4	0,4	2,48 ± 0,58	1,88 ± 0,33	2,11 ± 0,51	8,85 ± 0,10	8,0 ± 0,08	8,43 ± 0,46
VII	0,4	0,6	2,35 ± 0,19	1,87 ± 0,00	1,99 ± 0,38	8,03 ± 0,22	6,63 ± 0,25	7,43 ± 0,77
VIII	0,6	0,2	2,28 ± 0,36	1,60 ± 0,07	3,27 ± 0,65	9,90 ± 0,14	9,30 ± 0,14	9,60 ± 0,35
IX	0,6	0,4	3,84 ± 0,31	2,70 ± 0,05	2,06 ± 0,46	9,27 ± 0,06	7,67 ± 0,06	8,47 ± 0,88
X	0,6	0,6	2,45 ± 0,15	1,68 ± 0,12	2,02 ± 0,61	8,97 ± 0,15	7,50 ± 0,10	8,23 ± 0,81

No perfil de penetração, como esperado, os valores de PP são maiores que PS para cada cordão. Percebe-se que quando o valor de tbs aumenta, tem-se uma redução na PM. Já para tbp o seu aumento leva a um aumento da PM. Pode-se perceber na Figura 9, que altos valores de tempos dos blocos apresentam maiores variações de penetração (Figura 9b e 9c), enquanto que em tempos menores dos blocos não houve variação significante (Figura 9a).

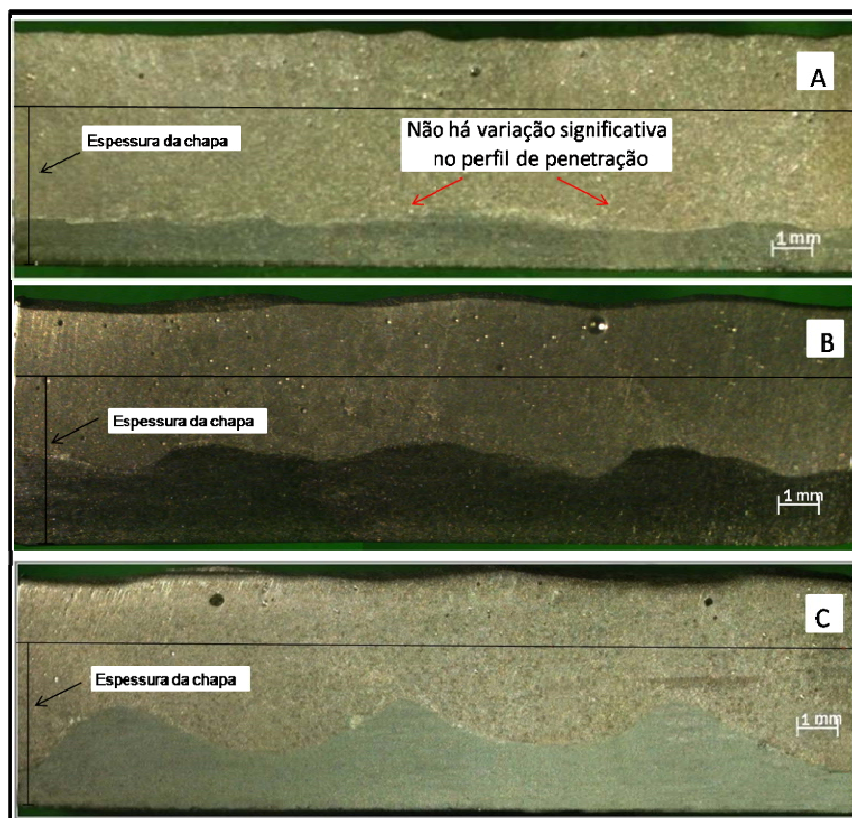


Figura 9 - Perfil de reforço da amostra (A) II, (B) VII e (C) X.

No perfil de largura, como esperado, os valores de LP são maiores que LS para cada cordão. Na largura, também, quando o valor de tbs aumenta, tem-se uma redução na LM. Já o aumento de tbp leva a um aumento da LM para um mesmo tbs. Pode-se perceber na Figura 11, a influência dos tempos dos blocos (tb). Altos valores de tb apresentam maiores variações de largura (Figura 11b e 11c), enquanto que em tb menores não houve variação significativa (Figura 11a).

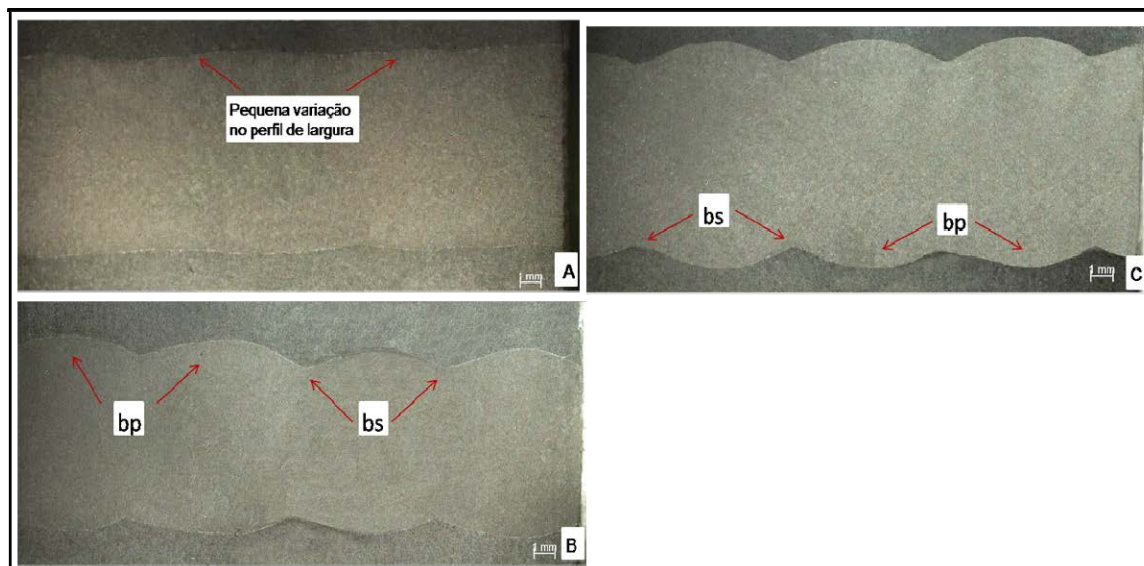


Figura 10 - Perfil de largura da amostra (A) II, (B) VII e (C) IX.

3.4.2 Reforço

A Tabela 6 apresenta os valores médios referentes aos reforços (R) das amostras. Como os valores dos reforços referentes aos blocos primários e secundários tiveram uma mínima diferença, optou-se por representar apenas a média desses valores, para cada condição.

Tabela 6. Resultados das medições dos reforços

Cordões	tbp (s)	tbs (s)	R (mm)
II	0,2	0,2	1,89 ± 0,09
III	0,2	0,4	2,01 ± 0,11
IV	0,2	0,6	2,26 ± 0,26
V	0,4	0,2	1,71 ± 0,11
VI	0,4	0,4	1,83 ± 0,22
VII	0,4	0,6	1,75 ± 0,15
VIII	0,6	0,2	1,82 ± 0,17
IX	0,6	0,4	1,63 ± 0,13
X	0,6	0,6	1,58 ± 0,21

De acordo com a Tabela 6 não há uma relação entre o efeito de tbp e tbs com o reforço. Este resultado pode ser percebido na Figura 11.

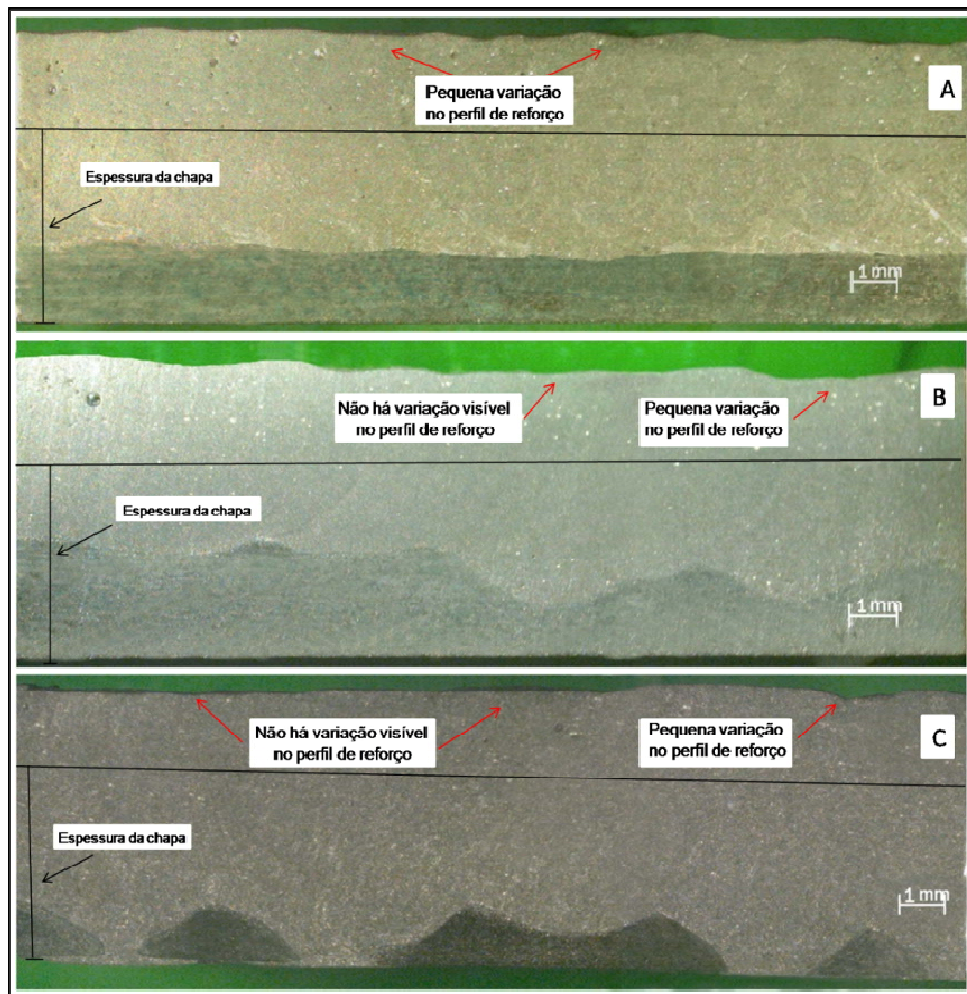


Figura 11 - Perfil de reforço da amostra (A) III, (B) VI e (C) VIII.

4 DISCUSSÃO

4.1 Aporte Térmico

Os valores de A_{tp} foram maiores que A_{ts} , devido à maior corrente imposta no do bloco primário. A redução da A_m causada pelo aumento de t_{bs} ocorre devido ao maior tempo de permanência no bloco de menor corrente. Era esperado que o A_{tp} para cada conjunto de t_{bp} (0,2; 0,4 e 0,6 s) fosse igual devido aos mesmos parâmetros utilizados. Esse resultado pode estar ligado à variação da frequência dos pulsos nos blocos, visto que a mesma afeta o calor aportado.

4.2 Análise do Aspecto Visual

Todos os cordões apresentaram uma salpicagem, porém com uma quantidade baixa. A ocorrência da salpicagem, geralmente verificada, pode ser justificada pela formação de curtos-circuitos e micro-explosões no interior do arco voltaico. O fato do cordão IV não ter apresentado um bom aspecto visual pode estar ligado à redução na molhabilidade do metal de adição, causada pela menor energia gerada e menor quantidade de calor transferida para a peça (Tabela 3).

4.3 Análise dos Tempos dos Blocos Sobre a Esc/mm, Perfil de Penetração e Largura

Os resultados encontrados para a redução do valor de Esc/mm devido à redução dos tb estão de acordo com Silva e Scotti (2001) ⁽⁶⁾, onde os autores concluíram que tanto o aumento de t_{bp}, quanto de t_{bs} fazem reduzir o valor de Esc/mm.

Através das Figuras 7b1 e 7b2 e 8b percebe-se a influência dos tempos dos blocos no perfil de penetração. Para valores altos dos tempos dos blocos (maior espaçamento entre blocos) a penetração apresenta maiores variações (Figuras 7b1 e 7b2), enquanto que para tempos menores dos blocos (menor espaçamento entre blocos) a penetração tende a se estabilizar num valor médio entre os blocos, não tendo assim uma significativa variação de penetração (Figura 8b). O mesmo resultado é encontrado para o perfil de largura, (Figuras 7c1 e 7c2) e (Figura 8c).

Os resultados da influência dos tempos dos blocos no perfil de penetração estão de acordo com Scotti e Silva (2001) ⁽⁶⁾, onde estes demonstraram, que a redução dos tempos dos blocos (maiores frequências) diminui a variação de penetração e vice-versa. Estes resultados também foram obtidos por Abdalla (2005) ⁽⁷⁾.

4.4 Análise das Grandezas Geométricas

4.4.1 Penetração e largura

Os maiores valores de PP em relação à PS e de LP em relação à LS se devem a corrente do bloco primário ser maior que a do bloco secundário. Percebe-se que quando o valor de t_{bs} aumenta, tem-se uma redução na PM e na LM. A redução na PM e na LM causada pelo aumento de t_{bs} é devido ao maior tempo de permanência no bloco de menor corrente. Já para t_{bp}, o inverso acontece, ou seja, o seu aumento leva a um aumento da PM e da LM. Esse aumento na PM e na LM é devido ao maior tempo de permanência no bloco de maior corrente.

Como já dito no item 4.3 para valores altos dos tempos dos blocos a penetração e a largura apresentam maiores variações (Figuras 9b e 9c) e (Figuras 11b e 11c), enquanto que para tempos menores dos blocos a penetração e largura tendem a se estabilizar num valor médio dos blocos (Figura 9a) e (Figura 11a), respectivamente.

4.4.2 Reforço

Os resultados sugerem que não há uma relação entre o efeito de t_{bp} e t_{bs} com o reforço. Estes resultados estão de acordo com Silva e Scotti (2001) ⁽⁶⁾.

5 CONCLUSÃO

- Altos valores de tempos dos blocos são prejudiciais ao cordão, pois na geometria, a penetração se apresenta em forma de ondulação, ou seja, ora tem-se alta penetração ora falta de penetração. Essa ondulação também pode gerar ponto de concentração de tensão. O mesmo ocorre no perfil de largura.
- A razão da menor variação de penetração e largura pode estar ligada a uma dificuldade do sistema de alimentação de arame em acompanhar as rápidas mudanças entre os curtos tempos dos blocos.
- Os tempos dos blocos também têm efeito sobre o aspecto visual do cordão (Esc/mm). Um melhor aspecto é obtido para os menores valores de tempo.

- A salpicagem não é influenciada pelos tempos dos blocos.
- Maiores tempos do bloco secundário em relação ao bloco primário garantem menores aportes térmicos, mas são prejudiciais à penetração e largura do cordão.

Agradecimentos

Os autores agradecem a indústria Maemfe pelo fornecimento dos materiais e suporte físico utilizados no trabalho e a CAPES pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 NORRISH, J. Advanced Welding Process. IOP Publishing Ltd, Cap. 7: Gas Metal Arc Welding. pp. 131-173. 1992.
- 2 SADLER, H. A Look at the Fundamentals of Gas Metal Arc Welding. Welding Journal, May, 1999.
- 3 CASTNER, H.R. Gas Metal Arc Welding Fume Generation Using Pulsed Current. Welding Journal, February, pp 59s-68s. 1995.
- 4 KIM, S. & EAGAR, W. Metal Transfer in Pulsed Current Gas Metal Arc Welding, Welding Journal, July, pp. 379-387. 1993.
- 5 CUNHA, J. A. R. GRUNDMANN, J. A Influência dos Gases de Proteção nos Regimes de Transferência Metálica em Soldagem GMAW. Anais do XXI ENTS - Vol. II, Caxias do Sul – RS. 20 a 24 de junho de 1995, pp 513 - 528.
- 6 SILVA, C. L. M. SCOTTI, A. Avaliação do Efeito dos Períodos de Pulsação Térmica sobre a formação do Cordão na Soldagem de Alumínio pelo Processo MIG-PT. Curitiba: 1º Congresso Brasileiro de Engenharia de fabricação, 2001.
- 7 ABDALLA, F.E.S. Aplicação das Variantes MAG Pulsado e MAG Pulsado Térmico com Arame Maciço em Soldas de Revestimento do Tipo “LINING”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - UFSC, Santa Catarina. 2005.