

MECANISMO DE FORMAÇÃO DO CORDÃO EM MIG/MAG DUPLO PULSO

Maksym Ziberov, Universidade Federal de Uberlândia, ziberov@hotmail.com

Américo Scotti, Universidade Federal de Uberlândia, ascotti@ufu.br

Resumo. *O processo MIG/MAG Duplo Pulso, também conhecido com MIG/MAG Pulsado com pulsação térmica, tem sua aplicação muito limitada no meio industrial. Uma das possíveis razões é a dificuldade de se regular os parâmetros frente à necessidade de combinação adequada de um grande número de parâmetros para pulsação do pulso térmico e da base térmica. Soldagens com este processo têm demonstrado na superfície trechos com estrias e penetrações diferenciadas. Mas curiosamente, na região que o reforço do cordão é maior, tem mais estrias e a penetração é a menor, ou seja, onde se esperava maior taxa de deposição de material e, conseqüentemente, maior corrente e maior frequência de pulsação (pulso térmico) é a região do cordão com menor penetração. O objetivo deste trabalho foi estudar o mecanismo de formação do cordão em MIG/MAG Duplo Pulso, visando facilitar as regulagens deste processo. Para tal, soldagens foram feitas variando-se sistematicamente o período de pulso térmico e base térmica, permitindo verificar separadamente o efeito do pulso térmico e da base térmica. A principal forma de exame foi a análise da superfície do cordão e do perfil da seção transversal dos cordões, através de macrografias. Verificou-se que a estrias acontecem durante baixa frequência de pulsação e que, ao contrário do esperado, a região de estrias é formada no final do pulso térmico e início da base térmica. Já, a região lisa é formada no final da base térmica e início do pulso térmico. Assim, a dificuldade para mitigação da regularidade da penetração e da própria superfície do cordão não deve ser feita baseando-se no preposto de que o efeito da corrente sobre o arco não sofre um retardo.*

Palavras chave: Soldagem, MIG/MAG Duplo Pulso, MIG/MAG Pulsado com Pulsação Térmica

1. INTRODUÇÃO

Buscando unir as características de maior controle de poça de fusão do processo TIG Pulsado e de maior capacidade de produção do processo MIG/MAG Pulsado, surgiu o processo MIG/MAG Pulsado com pulsação térmica. Este processo foi batizado por Dutra; Gohr Júnior; Ollé (1995) de MIG/MAG Pulsado com pulsação térmica (MIG/MAG-PPT), também conhecida pela nomenclatura de outros fabricantes ou na literatura como Duplo Pulso, Double Pulse, Pulse-On-Pulse, Interpulse e Thermal pulse.

Silva (2003) descreve que o processo MIG/MAG Pulsado com pulsação térmica se apresenta em três fases distintas. Este processo trabalha com dois níveis de pulsação (um para controle da transferência, maior frequência, e outro para controle da poça, baixa frequência), sendo que dentro de cada nível a corrente é pulsada. Neste processo, o controle da poça de fusão pode ser conseguido pelo resfriamento da mesma por meio da combinação adequada de corrente, tempo de permanência e velocidade de alimentação nas fases de pulso e base térmicas. Scotti e Ponomarev (2008, p.215) dizem que para se garantir um comprimento de arco constante na soldagem MIG/MAG Pulsado com pulsação térmica, a velocidade de alimentação também deve variar em fase com as variações cíclicas de corrente médias da base e do pulso térmicos. Praveen; Yarlagadda; Kang (2005) dizem que a alimentação de arame pulsado produz taxa de aceleração e desaceleração defasadas, resultando em ondulações no cordão de solda. Esta característica de variação de penetração foi observada por Threadgill (1979), Barra (1998) e Silva; Scotti (2001) na avaliação da pulsação térmica sobre o perfil de diluição. Durante a fase de aceleração, energia do arco cresce e atinge melhor penetração de solda. Em fase de desaceleração, a energia do arco reduz e estabiliza a poça de fusão. Porém, pouco ainda se conhece sobre este processo, devido à dificuldade de se selecionar parâmetros frente ao grande número de variáveis para pulsação do pulso térmico e da base térmica.

O objetivo deste trabalho foi estudar o mecanismo de formação do cordão em MIG/MAG Duplo Pulso, visando facilitar as regulagens deste processo. Para tal, soldagens foram feitas variando-se sistematicamente o período de pulso térmico e base térmica, permitindo verificar separadamente o efeito do pulso térmico e da base térmica

2. METODOLOGIA

Soldagens de simples deposição sobre chapa foram produzidas para comparar os aspectos superficiais de um cordão feito por MIG/MAG Pulsado com pulsação térmica com cordões feitos com MIG/MAG Pulsado. As Tabs. (1 e 2) apresentam os parâmetros utilizados para as duas formas de onda, respectivamente para pulsado convencional e pulsado com pulsação térmica. Observa-se na Tab. (1) que em cada uma das condições do pulsado convencional usou-se como parâmetros de pulso ora os da base térmica ora do pulso térmico da condição pulsação térmico. O que há de comum

entre as 3 soldagens é o volume do cordão por unidade de comprimento, conseguido mantendo-se a relação V_a/V_s constante.

Para estes experimentos foram utilizados os seguintes parâmetros fixos: Diâmetro do eletrodo – 1,2 mm; DBCP – 22 mm; Gás de proteção – Ar + 5% O_2 ; Vazão de gás – 15 l/min.

Tabela 1. Valores regulados dos testes para MIG/MAG Pulsado convencional

I_p , (A)	t_p , (ms)	I_b , (A)	t_b , (ms)	I_m , (A)	V_a , (m/min)	V_s , (mm/s)	V_a/V_s
250	9	40	6,8	160	4,2	6,5	0,65
			54,0	70	1,9	2,9	

Tabela 2. Valores regulados dos testes para MIG/MAG Pulsado com pulsação térmica ($V_s = 4,7$ mm/s e $V_a/V_s = 0,65$)

Período inicial (MIG/MAG-P)					Período térmico (MIG/MAG-PPT)										Período final (MIG/MAG-P)		
I_p (A)	t_p (ms)	I_b (A)	t_b (ms)	V_a (m/min)	I_p (A)	t_b (ms)	V_a (m/min)	τ_1 (s)	I_{mp} (A)	I_p (A)	t_b (ms)	V_a (m/min)	τ_2 (s)	I_{mb} (A)	I_p (A)	t_b (ms)	V_a (m/min)
250	9	40	12	3,5	40	6,8	4,2	0,5	160	40	54	1,9	0,5	70	40	9	3,5

3. RESULTADOS

Uma comparação entre um cordão produzido em soldagem MIG/MAG Pulsado com pulsação térmica ($I_{mt} = 115$ A) e em duas soldagens com MIG/MAG Pulsado convencional (I_m igual a 70 A e 160 A) é mostrada na Fig. (1). Observe-se que:

1. Na região estriada parte (a) da Fig. (1) existe em média 8 estrias em uma distância de 3 mm (equivalente a 12 Hz). A região não estriada é muito lisa para quantificar.
2. Na parte (b) da Fig. (1), aproximadamente 15 estrias em uma distância de 3 mm ($\cong 16$ Hz).
3. Na parte (c) da Fig. (1), aproximadamente 20 estrias na distância de 3 mm ($\cong 2,3$ Hz).

Tabela (3) apresenta valores obtidos para largura, reforço, penetração, área fundida e área depositada destes cordões. O volume de material depositado nos dois processos foi praticamente constante.

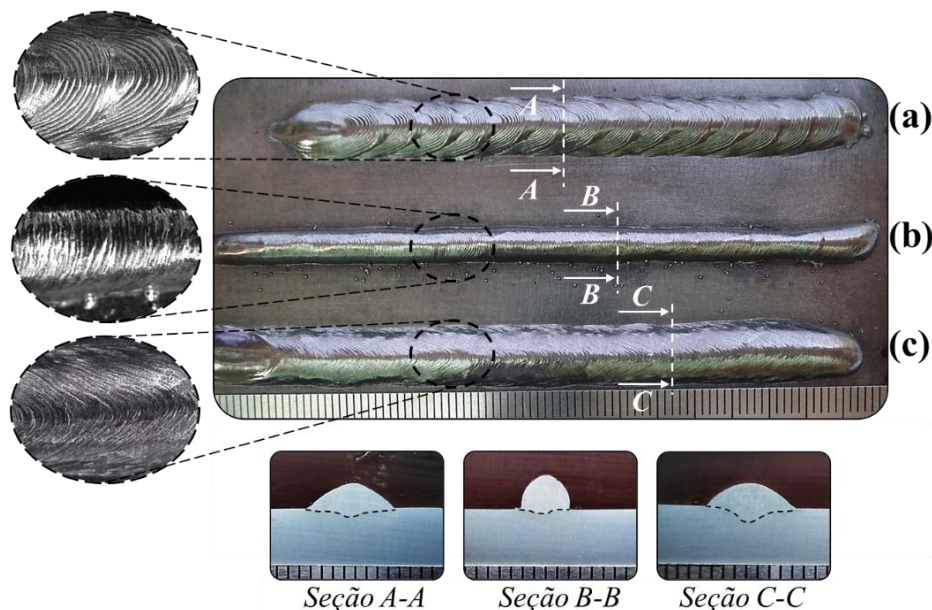


Figura 1. Aspectos superficiais de três cordões feitos por diferentes processos/parâmetros, mas com mesmo volume: (a) – MIG/MAG Pulsado com pulsação térmica $I_{mt} = 115$ A; (b) – MIG/MAG Pulsado convencional $I_m = 70$ A; (c) – MIG/MAG Pulsado convencional $I_m = 160$ A

Tabela 3. Valores geométricos dos cordões (média de 16 medições, sendo 8 seções de uma placa e 8 da placa de replicagem)

	Largura (mm)	Reforço (mm)	Penetração (mm)	Área depositada (mm ²)	Área do metal base fundido (mm ²)
MIG/MAG-PPT, $I_{mt} = 115$ A	7,8	2,2	0,6	10,6	2,4
MIG/MAG-P, $I_m = 70$ A	4,4	3,1	0,2	9,8	0,7
MIG/MAG-P, $I_m = 160$ A	7,9	2,4	1,0	10,6	3,8

Um fato interessante observado na soldagem por pulsação térmica foi a verificação de duas diferentes regiões sobre a superfície do cordão (parte (a) da Fig. (1)), uma estriada e outra não estriada (lisa), sequenciais de forma periódica com período de 1,03 s, equivalente ao 1 Hz da pulsação térmica. É interessante notar que a parte estriada tem uma frequência de estria de 12 Hz, similar a frequência de estrias encontradas para o pulsado nas mesmas condições da base térmica do Pulsado com pulsação térmica.

A semelhança entre a frequência das estrias na pulsação térmica (12 Hz) com a solda MIG/MAG Pulsado com 70 A (16 Hz) sugere que a estria na pulsação térmica foi formada na base térmica. Além disso, para um cordão produzido com pulsação térmica e com período de 0,3 s no pulso térmico e 0,7 s na base térmica, mostrada na Fig. (2), observa-se que a área de região estriada é maior do que aquela observada com períodos de 0,5 s na base térmica e 0,5 s no pulso térmico (parte (a) da Fig. (1)). Por estes dois fatos, a regiões estriadas acontecem sob o período da base térmica.

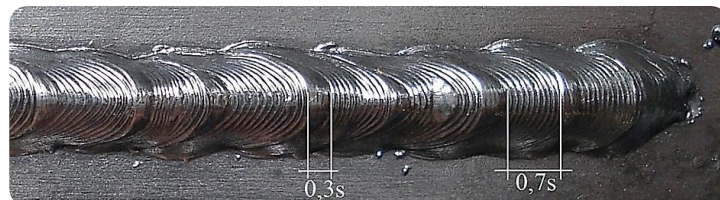


Figura 2. Aspecto superfície do cordão MIG/MAG Pulsado com pulsação térmica com período de 0,3 s no pulso térmico e 0,7 s na base térmica

Porém, aparentemente, o volume da região estriada é maior do que o da região lisa (como indicado na parte (a) da Fig. (1) e na Fig. (2)). Fato que somente seria possível se a estria fosse formada sob o período de pulso térmico, quando a velocidade de alimentação é maior. Além disso, a penetração quando sob a região de estria é maior (crescendo durante o período estriado), como ilustrado pela Fig. (3). Também, fato só possível se ocorresse durante pulso térmico. Assim, esses dois últimos fatores sugerem que a estria ocorre quando o arco está no pulso térmico, contrariando a hipótese precedente.

Para explicar o fenômeno, deve-se lembrar de que a solidificação, ou seja, a formação da estria acontece atrás do arco. Desta forma, justifica-se que a região estriada seja formada quando o arco está no pulso térmico e a solidificação da parte da poça ocorre quando muda para a base térmica. Um modelo para explicar tal fenômeno é mostrado na Fig. (4).

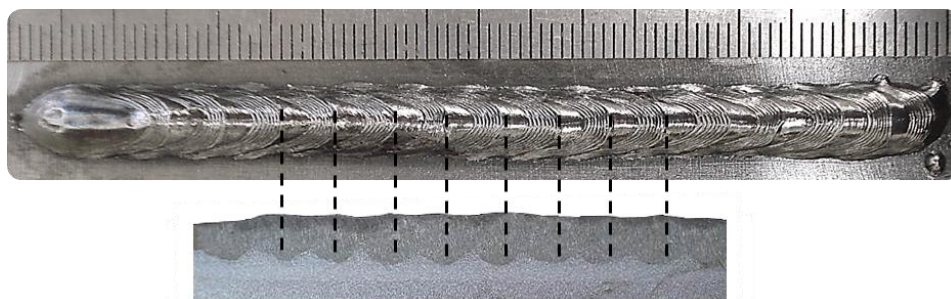


Figura 3. Diferente formato da penetração (penetração ondulada) ao longo do cordão de solda, em função das combinações dos tempos de pulso/base térmica e velocidade de alimentação

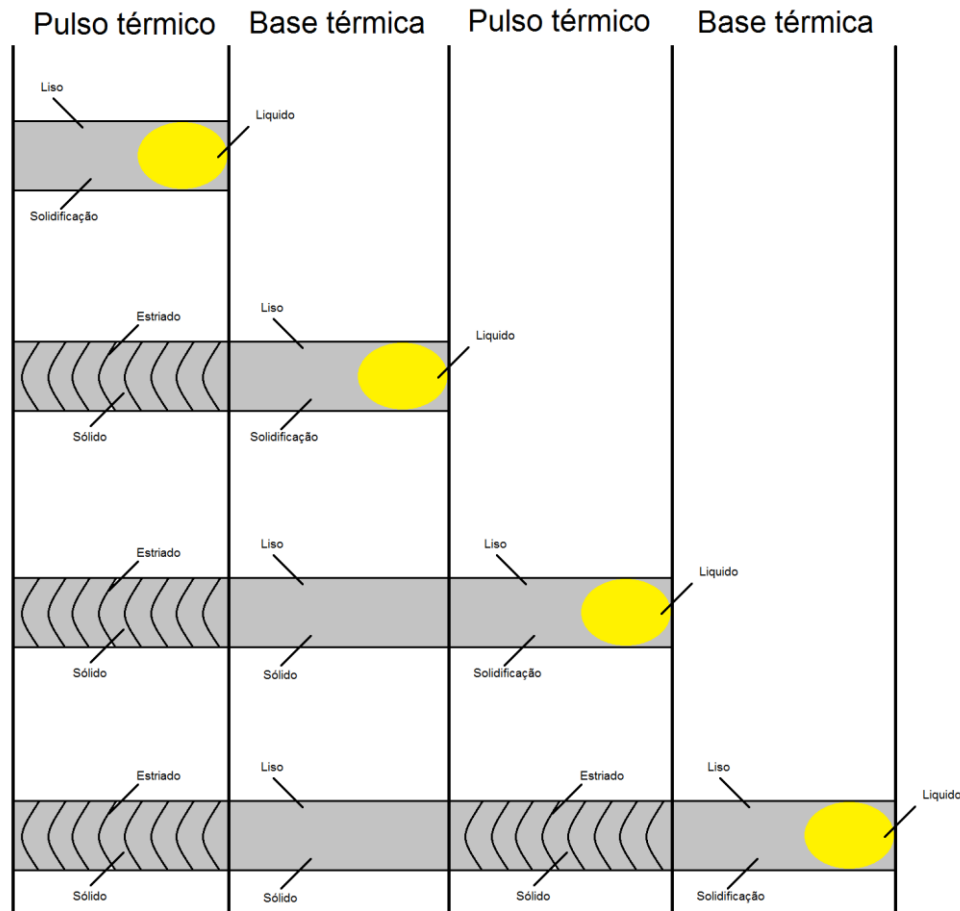


Figura 4. Períodos de formações estriado e liso durante a soldagem

Na fase de pulso térmico, é depositado um maior volume de metal, o qual começa a solidificar atrás do arco, de forma lisa. Na fase de base térmica, é depositado um menor volume de metal e com baixa frequência. Isto faz com que a poça vibre em baixa frequência (formação de ondas estrias) e esta vibração é transmitida à região ainda líquida do pulso térmico. Então, quando a região líquida do pulso térmico solidifica, as estrias são formadas. No pulso térmico seguinte, a frequência de pulso é alta e não dá tempo de estrias se formar em metalurgicamente e, assim, a região fica lisa. Depois, o processo se repete.

Para tentar entender melhor a formação das estrias, um novo teste foi realizado. Foi produzida uma solda com tempos de pulso e base térmica igual a 4 s, cujo resultado é ilustrado pela Fig. (5).

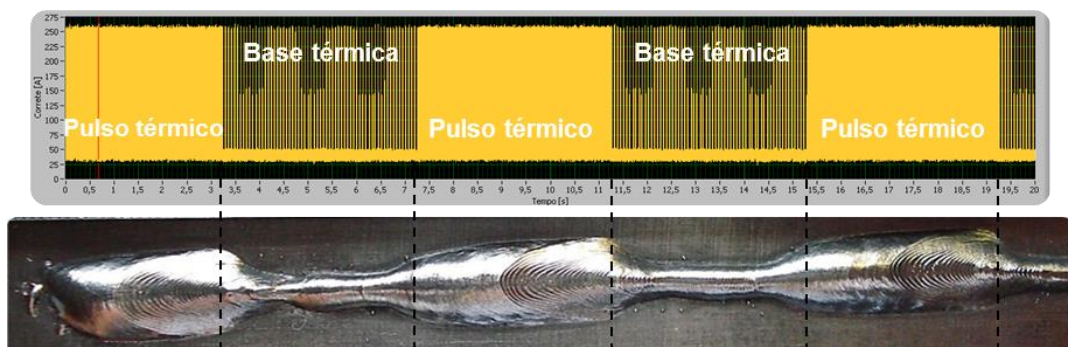


Figura 5. Aspecto superfície do cordão MIG/MAG Pulsado com pulsação térmica com oscilograma de corrente (período de pulso/base térmica igual a 4 s)

Nesta Figura, observa-se, claramente, a região de pulso térmico (maior volume, ou seja, maior corrente média) e a região de base térmica (menor volume, ou seja, menor corrente média). Observa-se também a região estriada formada no final do pulso térmico e início da base térmica. Ainda, é possível notar a região lisa formada no final da base térmica e início do pulso térmico.

Quando os tempos de pulso térmico e de base térmica são pequenos fica difícil visualizar onde está a formação das estrias e da região lisa, se na base ou no pulso térmico. Mas quando os tempos são suficientemente longos, fica fácil visualizar as duas regiões, pois a base e o pulso térmicos estão definidos (as regiões estriadas formadas no final do pulso térmico e início da base térmica, e a região lisa formada no final da base térmica e início do pulso térmico).

4. CONCLUSÕES

Verificou-se que a estrias acontecem durante baixa frequência de pulsação e que, ao contrário do esperado, a região de estrias é formada no final do pulso térmico e início da base térmica. Já, a região lisa é formada no final da base térmica e início do pulso térmico. Assim, a dificuldade para mitigação da regularidade da penetração e da própria superfície do cordão não deve ser feita baseando-se no preposto de que o efeito da corrente sobre a chama não sofre um retardo.

Pode-se concluir que o modelo coincide com os dados experimentais.

5. REFERÊNCIAS

- Barra, S.R., 1998, “Influência dos Procedimentos de Soldagem sobre Resistência à Cavitação de Depósitos Obtidos com a Utilização de Arames Tubulares de Aços Inoxidáveis Ligados ao Cobalto”, 131 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Dutra, J.C., Gohr Júnior, R. Ollé, L.F., 1995, “O processo MIG/MAG pulsado com pulsação térmica”, In: XXI Encontro Nacional da Tecnologia da Soldagem, ABS, Caxias do Sul, RS.
- Praveen, P., Yarlagadda, P.K.D.V., Kangb, M.J., 2005, “Advancements in pulse gas metal arc welding”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 164-165 (AMPT/AMME05 Part 2), p. 1113-1119.
- Scotti, A., Ponomarev, V., 2008, “Soldagem MIG/MAG”, Artliber Ed, 284 p.
- Silva, C.L.M., Vanderley, J.S., Scotti, A., 2004, “Reavaliação da técnica MIG Duplo Pulso quanto à geração de porosidade na soldagem de ligas de alumínio em condições mais severas”, Soldagem & Inspeção, Vol. 9, No. 1.
- Silva, L.M.C., 2003, “Avaliação da técnica de pulsação térmica na soldagem de alumínio”, 266 f. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Silva, L.M.C., Scotti, A., 2001, “Avaliação do efeito dos períodos de pulsação térmica sobre a formação do cordão na soldagem de alumínio pelo processo MIG-PT”, In: 1º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Curitiba, Paraná, Brasil.
- Threadgill, P. et al., 1979, “The Prospects for Weld Pool Grain Refinement”, In: The Welding Institute, Abington, p 33.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro das agências CAPES, CNPq e Fapemig e ao suporte oferecido pela Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica.

7. ABSTRACT

The Double Pulse GMAW, also known as Thermal Pulse GMAW, has a very limited application in industry. One possible reason is the difficulty of regulating the parameters needed since there are a large number of parameters for the thermal pulse and thermal base. Welding with this process has shown surface sections with different fusion marks and penetration. But interestingly, in the region that bead reinforcement is the largest there is more fusion marks but the penetration is the smallest, that is, where the material deposition rate is the highest and, consequently, where the current and pulsing frequency (thermal pulse) are the highest, it is where the bead penetration is the lowest. The objective of this work was to study the bead formation mechanism in Double Pulse GMAW to facilitate the adjustments of this process. For such, welds were made systematically varying the thermal pulse and the thermal base periods allowing separately verify the effect of these factors. The main form of examination was weld bead surface and profile (through macrographs) analysis. It was found that the fusion marks occur during the low frequency pulse and then, contrary to expectations, the region they formed is at the end of the thermal pulse period and at the beginning of the thermal base period. On the other hand, the smooth region (without fusion marks) is formed at the final of the thermal base period and at the beginning of the thermal pulse period. Thus, the difficulty to improve the weld penetration and also surface regularity should not be carried out based on the foundation that the current effect on the arc does not suffers of a delay.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.