



## INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DA SOLDAGEM MIG PULSADA E CONVENCIONAL NA MORFOLOGIA DO CORDÃO E NA MICROESTRUTURA

**Celso Alves Corrêa**

Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET  
Cornélio Procópio, PR, Brasil - [cacorrea@sercomtel.com.br](mailto:cacorrea@sercomtel.com.br)

**Roseana da Exaltação Trevisan**

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica  
Campinas, SP, Brasil - [roseana@fem.unicamp.br](mailto:roseana@fem.unicamp.br)

**Resumo.** A soldagem de revestimento é muito empregada para se aumentar a resistência à corrosão e ao desgaste de equipamentos. Dentre os materiais de deposição encontrados, destacam-se os aços inoxidáveis por atenderem estas características. O processo MIG pode ser empregado na soldagem de deposição e é muitas vezes aplicado no modo automático para se obter uma boa qualidade do cordão, principalmente, quando se emprega o aço inoxidável como revestimento. Neste trabalho, as características geométricas e a microestrutura de soldas de revestimento, utilizando o processo MIG pulsado, foram comparadas com as soldas realizadas pelo processo MIG convencional. As variáveis de influência foram a corrente média e a frequência de pulso e as variáveis de resposta foram a penetração, largura e reforço do cordão, assim como a microestrutura. Utilizou-se como metal base aço carbono ABNT 1020 e como metal de adição aço inoxidável martensítico ABNT 410. Como resultado, verificou-se um pequeno incremento na penetração e na largura dos cordões quando do uso da corrente pulsada. Os valores do reforço e a microestrutura resultantes não variaram com a mudança e o tipo de corrente utilizada.

**Palavras-chave:** MIG pulsado, Morfologia do cordão, Solda de revestimento.

### 1. INTRODUÇÃO

A técnica de soldagem de revestimento é muito empregada para se aumentar ou melhorar a vida útil de componentes de engenharia mecânica e reduzir seu custo, pois se trata de um processo repetitivo de fabricação e pode ser utilizado para compor uma ou várias camadas de uma determinada seção, obtendo-se desta maneira o revestimento desejado. Sendo o desgaste definido como um dano a uma superfície sólida envolvendo uma perda progressiva de material, devido a movimentação relativa entre a superfície de um ou vários materiais; e como o desgaste é um fenômeno tipicamente superficial, a solda de revestimento tem sido utilizada com sucesso na fabricação, prevenção ou manutenção de peças desgastadas. Segundo a ASM (1983) a deposição pode variar de 5 a 50 % do total da espessura do material, mas geralmente as aplicações são da ordem de 10 a 20 %, com a espessura mínima de 1,5 mm.

Dentre os materiais de deposição utilizados, destacam-se os aços inoxidáveis, que possuem uma elevada resistência ao desgaste por abrasão, oxidação ou corrosão. Estes aços podem ser classificados em austeníticos, ferríticos e martensíticos. Nas camadas com aços inoxidáveis martensíticos, consegue-se atingir uma dureza entre 40 e 45 HRC. Segundo Brantis & Trevisan (1993), embora a resistência ao impacto destes aços seja inferior ao dos austeníticos, sua aplicação se deve ao fato de se obter uma camada dura e com resistência ao desgaste abrasivo. A finalidade dos materiais utilizados nesta aplicação é de evitar o desgaste metal-metal, do tipo rolamento ou deslizamento (Zeeman, 1999).

O processo MIG Pulsado teve seu desenvolvimento após a década de 1960, utilizando um nível de intensidade de corrente média inferior à obtida em corrente convencional. A pulsação de corrente foi originalmente introduzida para controlar a transferência do metal, por imposição artificial do ciclo de operação do sistema de arco. No nível superior de intensidade de corrente, aplicado num intervalo de tempo deve haver o destacamento da gota (Norrish, 1992 e Street, 1990) e, no nível inferior a intensidade de corrente aplicada, também por um período de tempo deve ocorrer a formação da gota, para que esta seja destacada no nível superior de corrente, sendo este tipo de corrente mostrado na Figura 1.

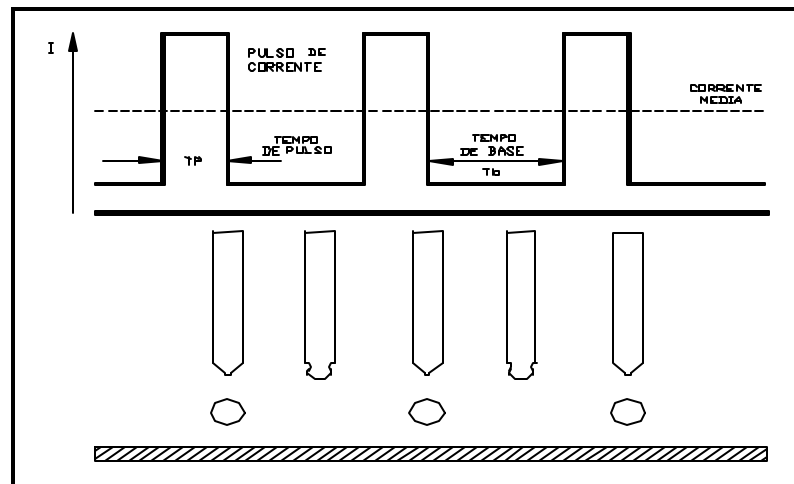


Figura 1 - Corrente pulsada, onde:  $I_p$  = Intensidade da Corrente de Pico,  $I_b$  = Intensidade da Corrente de Base,  $t_p$  = tempo de duração da corrente de pico e  $t_b$  = tempo de duração da corrente de base.

Na corrente pulsada, a transferência metálica é obtida com uma baixa corrente média, em virtude da aplicação de altas forças eletromagnéticas em curtíssimos espaços de tempo, geradas pela imposição da corrente de pulso acima do valor de transição. Como resultado, a gota metálica é destacada e projetada em direção à poça. Para que o processo de transferência seja estável, apenas uma gota deverá ser transferida a cada pulso de corrente. Neste processo de soldagem, o arco se torna mais estável e com menos respingos, havendo também uma melhor estabilidade do arco e, por conseqüência, uma maior facilidade no controle da morfologia do cordão (Corrêa, 1998).

O objetivo principal deste trabalho, é comparar a morfologia e a microestrutura das soldas de revestimento, realizadas pelos processos MIG pulsado e convencional. Para tanto, as variáveis de influência utilizadas são a corrente média e a frequência de pulso e as variáveis de resposta são a penetração (P), o reforço (R), a largura (L) e a microestrutura dos cordões.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

As soldagens foram automatizadas, em CCEP, na posição plana, utilizando-se uma fonte multiprocessado, ajustada no modo pulsado com imposição de corrente e uma tocha refrigerada a água perpendicular à chapa, com 15° de inclinação no sentido puxando. O gás utilizado foi argônio com 2 % de oxigênio. Como metal base foram utilizadas chapas de aço ABNT 1020 de 120x76,5x19 mm e como metal de adição um arame comercial da classe ABNT 410, de 1,2 mm de diâmetro. Permaneceram constantes os valores da tensão do arco de 25 V, velocidade de soldagem em 30 cm/min, o “*stick-out*” em 10 mm, a temperatura de interpasse em 150 °C, a intensidade da corrente de pico ( $I_p$ ) em 310 A, o tempo de pico ( $t_p$ ) em 2,5 ms e a vazão do gás em 15 l/min. Para que fosse caracterizado revestimento, os corpos de prova eram formados por cinco cordões paralelos com superposição de 30 %.

As variáveis de influência deste trabalho foram a intensidade da corrente média e a frequência de pulso, sendo que os níveis foram escolhidos de tal forma que se obtivesse uma maior sensibilidade das respostas. Para tanto, foi utilizado um planejamento fatorial completo, com três repetições em cada condição, perfazendo-se 36 ensaios. Os níveis escolhidos para a intensidade da corrente média ( $I_m$ ) foram 130, 180 e 230 A, e a frequência de pulso (F) nos níveis 0, 55, 70 e 85 Hz. Para minimizar possíveis erros aleatórios, optou-se por fazer uma combinação aleatória da seqüência dos ensaios.

Antes da execução da soldagem, todos os corpos de prova sofreram jateamento abrasivo, para que se obtivesse uma superfície isenta de óxidos, óleos, gorduras e outros contaminantes. Em seguida, as superfícies foram limpas com ar comprimido isento de água.

A avaliação da morfologia dos cordões, foi feita através das amostras preparadas metalograficamente. Na retirada dos corpos de prova para análise metalográfica, tomou-se sempre o cuidado de retirá-los da mesma região, fazendo-se um corte transversal nos cordões. Após o corte, cada corpo de prova foi polido metalograficamente. O ataque após o polimento foi realizado com reagente Nital 2 %, durante 15 segundos. As amostras, assim preparadas, foram então levadas a um microscópio óptico, com precisão de 0,0001 mm, para as medições da morfologia do cordão (largura, penetração e reforço).

Objetivando verificar a microestrutura dos cordões de solda, para as diferentes condições de soldagem, as amostras foram retiradas sempre da região central de amostragem isto é, no cordão central do conjunto de cinco que formavam os corpos de prova. As amostras utilizadas neste procedimento tinham dimensões aproximadas de 5 x 5 mm. A preparação metalográfica consistiu de lixamento seguido de polimento com pasta de diamante com 6, 3 e 1  $\mu$ m, respectivamente. Após o polimento foi feito um ataque utilizando o reagente de Vilella, por 1 minuto. As análises metalográficas foram feitas em um microscópio óptico, com ampliação de 100 vezes.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Estudo da morfologia do cordão

Os resultados obtidos na morfologia do cordão (penetração, reforço e largura) estão apresentados na Tabela 1. Nesta tabela, a frequência de pulso de 0 Hz indica que a corrente utilizada é a convencional. A corrente pulsada está representada pelas frequências de pulso de 55, 70 e 85 Hz. Os resultados apresentados na Tabela 1, foram submetidos ainda a uma Análise de Variância (ANOVA), através de um software comercial sendo apresentados nas Tabelas 2 e 3. Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos, os mesmos são mostrados graficamente através das Figuras 2, 3 e 4.

Tabela 1 – Resultados da morfologia do cordão

Im (A)	F (Hz)	Morfologia do cordão		
		Penetração (mm)	Reforço (mm)	Largura (mm)
130	0	1,1	3,0	24,6
	55	1,7	2,7	30,4
	70	2,0	2,8	29,5
	85	2,0	2,8	30,2
180	0	2,0	3,8	32,2
	55	2,1	3,6	35,0
	70	2,0	3,7	35,5
	85	2,2	3,6	35,3
230	0	2,0	4,5	36,8
	55	2,0	4,4	39,4
	70	2,0	4,5	38,8
	85	2,3	4,5	36,6

Tabela 2 – Resultado da ANOVA – Morfologia do cordão para três níveis de corrente média

Im (A)	Fator	Morfologia do Cordão		
		Penetração	Reforço	Largura
130	Frequência	<b>0,18</b>	<b>3,51</b>	<b>0,26</b>
180	Frequência	55,44	70,83	<b>3,95</b>
230	Frequência	<b>4,95</b>	84,49	35,33

Obs.: Nível de significância em %

Tabela 3 – Resultado da ANOVA – Morfologia do cordão para quatro níveis de frequência de pulso

Frequência (Hz)	Fator	Morfologia do Cordão		
		Penetração	Reforço	Largura
0	Corrente Média	<b>0,04</b>	<b>0,31</b>	<b>0,00</b>
55	Corrente Média	21,99	<b>0,94</b>	<b>4,27</b>
70	Corrente Média	90,73	<b>1,03</b>	<b>0,40</b>
85	Corrente Média	8,15	<b>1,51</b>	<b>0,57</b>

Obs.: Nível de significância em %

Quando se analisa a Figura 2, que mostra o efeito da frequência de pulso e corrente média sobre a penetração, para as correntes médias de 130, 180 e 230 A, nota-se que a frequência de pulso teve um maior efeito sobre a penetração na corrente média de 130 A, já na corrente média de 180 A, a penetração não teve qualquer alteração com a frequência de pulso e na corrente média de 230 A, a penetração teve um pequeno crescimento com o aumento da frequência de pulso de 70 para 85 Hz. Quando se observa a Tabela 2, que mostra os resultados da Análise de Variância – ANOVA referentes a estes ensaios, verifica-se que a frequência de pulso afetou a penetração nas correntes de 130 A (  $\alpha=0,18\%$  ) e 230 A (  $\alpha=4,95\%$  ), sendo que a maior intensidade foi na corrente de 130 A. Na corrente de 180 A, a frequência de pulso não afetou a penetração. Na Análise de Variância – ANOVA da Tabela 3 que mostra o efeito

da corrente média sobre a morfologia do cordão, verifica-se que apenas na corrente de 130 A e frequência de pulso de 0 Hz, a penetração foi afetada ( $\alpha=0,04\%$ ). O crescimento do reforço e largura, se deve ao aumento do insumo de calor, fazendo com que uma maior quantidade de material seja depositada (Machado,1996).

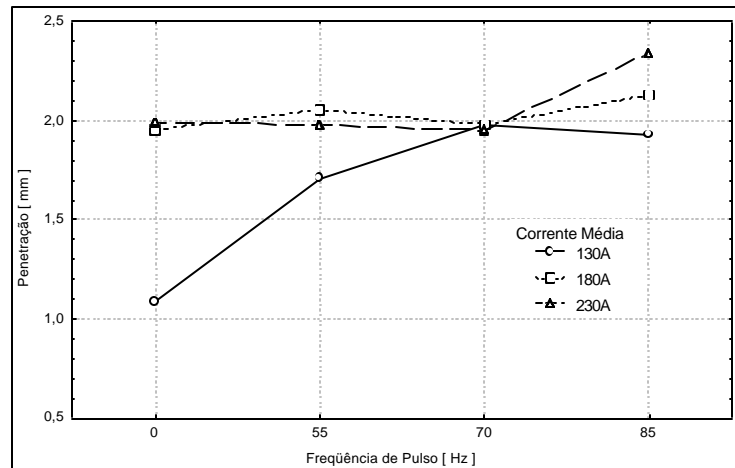


Figura 2 – Efeito da frequência de pulso e corrente média sobre a penetração.

A Figura 3 mostra o efeito da frequência de pulso e corrente média sobre o reforço. Verifica-se que com o aumento da corrente há um crescimento do reforço, e que a frequência de pulso praticamente não exerceu influência nesta variável. Na Tabela 2, dos resultados da Análise de Variância – ANOVA, verifica-se que a frequência de pulso afetou o reforço apenas na corrente de 130 A ( $\alpha=3,51\%$ ), e na Tabela 3 da ANOVA, que mostra o efeito da corrente média sobre a morfologia do cordão, verifica-se que o reforço foi afetado pela corrente média em todas as condições utilizadas.

Os resultados apresentados na Figura 3, estão de acordo com as pesquisas de Gosh et al (1998), que utilizou o processo MIG e com Gosh & Rai (1996) que utilizou o processo arame tubular, onde estes autores citam que com o aumento da corrente média houve um crescimento do reforço e não houve efeito significativo deste fator com a aumento da frequência de pulso.

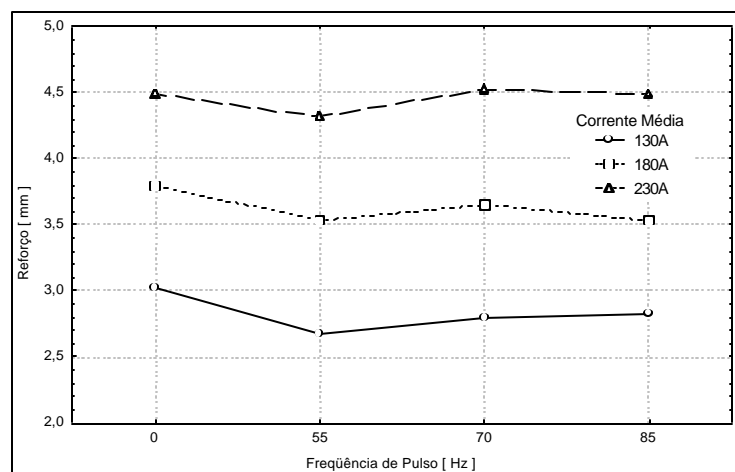


Figura 3 – Efeito da frequência de pulso e corrente média sobre o reforço.

A Figura 4 mostra o efeito da frequência de pulso e corrente média sobre a largura. Nesta figura, verifica-se que há um aumento da largura com o crescimento da corrente média, e que a largura teve pequena influência da frequência de pulso. Pela ANOVA da Tabela 2, a frequência de pulso afetou a largura nas correntes de 130 A ( $\alpha=0,26\%$ ) e 180 A ( $\alpha=3,95\%$ ), com maior efeito na corrente de 130 A. Já na Tabela 3 da ANOVA, que mostra o efeito da corrente média na largura, verifica-se que esta foi afetada em todas as correntes médias, porém, com maior intensidade na frequência de pulso de 0 Hz ( $\alpha=0,00\%$ ) e com menor intensidade na frequência de pulso de 55 Hz ( $\alpha=4,27\%$ ).

Os resultados obtidos para esta variável concordam com diversos autores ( Gosh et al, 1998; Kalligerakis & Mellor, 1995; Brantis & Trevisan, 1993 ), que afirmam que com o aumento da corrente média, tem-se um aumento da largura do cordão de solda. Verifica-se que a largura foi menor com a corrente convencional do que com a corrente pulsada nas correntes médias de 130 e 180 A. Dependendo das condições de soldagem, segundo Kalligerakis & Mellor (1995), na corrente convencional pode-se ter uma transferência globular ou curto-circuito e na corrente pulsada, uma transferência por “spray”. Na transferência por “spray”, tem-se uma velocidade de choque maior das gotas na poça de fusão, fazendo com que a largura aumente com a utilização da corrente pulsada. Segundo Jilong & Apps (1983), isto acontece porque na transferência globular ou curto-circuito o volume da gota transferido é significativamente maior do que aquela projetada pela transferência por “spray”. Na transferência por “spray” a velocidade no choque da gota com a poça de fusão é maior do que a transferência globular ou curto-circuito, fazendo que se aumente a largura.

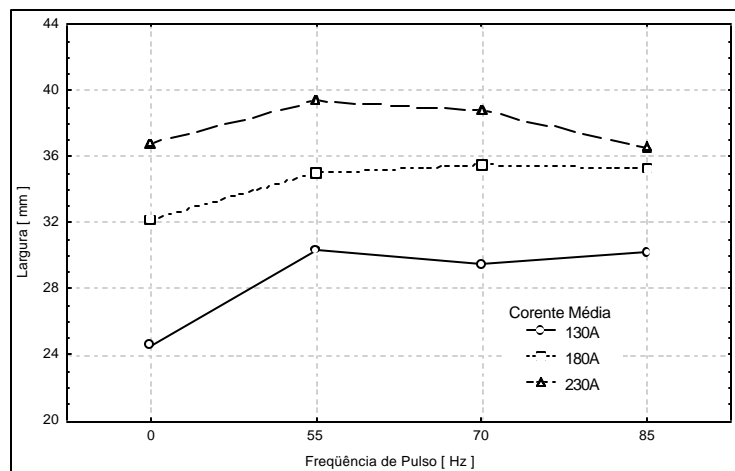


Figura 4 – Efeito da frequência de pulso e corrente média sobre a largura.

### 3.2 Estudo da microestrutura dos cordões

Com relação a microestrutura resultante nos cordões, foi verificado que independentemente dos níveis utilizados, de corrente média e frequência de pulso, a microestrutura resultante foi sempre a martensita. A Figura 5 mostra, de maneira representativa, a microestrutura martensítica presente em todos os corpos de prova. Quando se trabalha com solda de revestimento de metais dissimilares, é importante que não ocorra uma grande diluição para que o revestimento resultante apresente as propriedades do eletrodo escolhido. Considerando-se que o eletrodo era martensítico e que a microestrutura resultante dos cordões era também martensítica, pode-se afirmar que as condições de soldagem usadas não causaram diluição suficiente para que ocorressem mudanças microestruturais.



Figura 5 – Micrografia representativa da microestrutura martensítica presente em todos os cordões de solda (100X)

#### 4. CONCLUSÕES

Para as condições deste trabalho, conclui-se que:

- 1 - com o aumento da corrente média, há um crescimento da largura e do reforço.
- 2 - a frequência de pulso não afetou o reforço; mas afetou a penetração e a largura em níveis baixos de correntes médias;
- 3 - a microestrutura não foi afetada pela corrente média, nem pela frequência de pulso.

#### *Agradecimentos*

Os autores gostariam de manifestar o agradecimento à FAEP e CAPES pelo auxílio financeiro e à UNICAMP pela infra-estrutura indispensável de seus laboratórios.

#### REFERÊNCIAS

- American Society for Metals, 1983, Metals Handbook: “Weld Overlays”, v 6, 9ª Ed., Metal Park, Ohio, ASM, pp. 526-534.
- Brantis, F.C.A. & Trevisan, R.E., 1993, Efeito dos parâmetros do processo de soldagem nas propriedades do revestimento, ENTS, 1993, Águas de São Pedro-SP, Anais Associação Brasileira de Soldagem, pp. 245-263.
- Corrêa, C.A., 1998, Aço inoxidável martensítico aplicado em revestimento pelo processo MIG pulsado e convencional, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 91p., Dissertação de Mestrado.
- Gosh, P.K., Gupta, P.C. & Goyal, V.K., 1998, Stainless Steel Cladding of Structural Steel Plate Using the Pulsed Current GMAW Process, Welding Journal, Welding Research Supplement, vol. 77, n. 7, pp. 307s-314s.
- Gosh, P.K. & Rai, B.K., 1996, Characteristics of pulsed current bead on plate deposit in flux cored GMAW Process, ISIJ International, vol. 36, n. 8, pp. 1036-1045.
- Jilong, M.A. & Apps, R.L., 1983, Analyzing metal transfer during MIG welding, Welding and Metal Fabrication, vol. 51, pp. 119-128.

- Kalligerakis, K. & Mellor, B.G., 1995, Overlay welding using pulsed MIG welding: bead profile and dilution, *International Journal for the Joining of Materials*, vol. 7, n. 1, pp. 16-22.
- Machado, I.G., 1996, *Soldagem e Técnicas Conexas : Processos*. Porto Alegre. Editado pelo Autor, Cap. 8 : Soldagem a Arco com Proteção por Gás e Eletrodo Consumível (MIG/MAG), pp. 193-217.
- Norrish, J., 1992, *Advanced Welding Process*, IOP Publishing Ltd, Cap. 7: Gas Metal Arc Welding. pp. 131-173.
- Street, J.A., 1990, *Pulsed Arc Welding*. Cambridge, Columbus, 57p.
- Zeeman, A., 1999, *Revestimentos Contra Desgaste, Soldagem e Inspeção*, vol. 5, n. 1, pp. 11-17.

## **INFLUENCE OF THE PULSED AND CONVENTIONAL GMAW ON WELD MICROSTRUCTURE AND MORPHOLOGY**

***Abstract:** Cladding is often used to increase corrosion and wear resistance of components in mechanical equipments. Stainless steel is very common as a cladding deposition material for its outstanding properties regarding corrosion and wearing strength. GMAW has been applied to cladding, very often in the automated mode in order to produce a high quality bead, mainly when using stainless steel as the deposition material. In the present work, the geometrical characteristics and the microstructure of pulsed GMAW cladding weld were compared with similar claddings produced by conventional GMAW. Observations were made on parameters such as bead penetration, bead width and reinforcement, besides the microstructure, after varying systematically the mean current and the pulse frequency. Experiments were carried out using a ABNT 1020 steel as base metal and a ABNT 410 martensitic stainless steel as filler metal. Results show a slight increase on the weld penetration as well as on the bead width when using pulsed arc. The reinforcement and the resulting microstructure did not change significantly with the variation of level and type of the current used.*

**Keywords:** Pulsed GMAW; Martensitic Stainless Steel; Weld Morphology, Cladding