

IDENTIFICAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA METÁLICA NA SOLDAGEM MIG/MAG PULSADA DE AÇO INOXIDÁVEL A PARTIR DE UM SENSOR ÓPTICO

Hélio Cordeiro de Miranda

Dr. Prof./pesquisador – ENGESOLDA - UFC, Universidade Federal do Ceará - DEM
Campus do Pici – Bloco 714 – CEP.: 60455-760 – Fortaleza - CE. E-mail: hmiranda@ufc.br .

Valtair Antonio Ferraresi

Dr. Prof./pesquisador - LAPROSOLDA - UFU, Universidade Federal de Uberlândia - FEM
Campus Santa Mônica – 38400-902 – Uberlândia - MG. E-mail: valtairf@mecanica.ufu.br .

Resumo. *O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de um dispositivo de identificação da transferência metálica, baseado em um sensor óptico, na soldagem MIG/MAG pulsada de aço inoxidável. Empregou-se um sistema de identificação desenvolvido no LAPROSOLDA/UFU (baseado em sensor óptico e numa interface eletrônica) que tem a capacidade de adquirir o sinal luminoso do arco voltaico e relacioná-lo com a transferência metálica do processo de soldagem. A soldagem pulsada, em aço inoxidável, foi realizada automaticamente na posição plana empregando uma fonte eletrônica multiprocesso. A validação do dispositivo de identificação foi feita através da filmagem em alta velocidade da transferência metálica. Os sinais do sensor, da filmadora e da tensão e corrente de soldagem foram sincronizados para garantir uma análise adequada. Os resultados obtidos indicaram que o dispositivo de detecção desenvolvido teve bom desempenho para identificar a transferência metálica na soldagem de aço inoxidável, viabilizando desta forma, seu emprego na otimização do processo de soldagem MIG/MAG pulsado para este material.*

Palavras-chave: *Transferência metálica, MIG/MAG pulsado, Aço inoxidável, Sensor óptico.*

1. INTRODUÇÃO

A alta produtividade, a boa qualidade de solda e o custo moderado da soldagem MIG/MAG fazem com que este processo seja um dos mais empregados no mundo. Contudo, estas qualidades para estarem presentes, necessitam de um adequado ajuste dos parâmetros do processo e, conseqüentemente, de uma transferência metálica regular.

Sabe-se que o MIG/MAG apresenta três tipos básicos de transferência metálica (curto-circuito, globular e goticular) e que a soldagem pulsada deste processo visa conciliar as vantagens da transferência por curto-circuito (soldagem de chapas finas e em qualquer posição) com as vantagens da transferência goticular (alta estabilidade do arco, transferência regular e soldas com boas propriedades e bom acabamento superficial).

No MIG/MAG pulsado, convencionalmente são empregados dois patamares de corrente: um nível inferior denominado de corrente de base e um nível superior denominado de corrente de pulso, ambos com tempos determinados (tempo de base e de pulso) para manter uma relação favorável a um destacamento de metal regular a um nível de corrente média mais baixo (Craig, 1987). A transferência metálica que proporciona as melhores características é a que destaca uma gota por pulso – UGPP (Subramanian, 1996).

A condição UGPP pode ser obtida principalmente pelo correto ajuste das seguintes variáveis: corrente de pulso (I_p), corrente de base (I_b), tempo de pulso (t_p), tempo de base (t_b), velocidade de

alimentação do arame eletrodo (VALIM) e distância bico de contato peça (DBCP). No entanto, o ajuste destes parâmetros não é facilmente alcançado devido ao maior número de variáveis para uma mesma corrente média e da interação destes parâmetros sobre a transferência metálica (Ogunbiyi et al., 1999).

Para o aço inoxidável, o processo MIG/MAG pulsado tem grande aplicação na soldagem de alta responsabilidade de chapas finas, em que se exige boas propriedades mecânicas e bom acabamento superficial. Entretanto, o grande problema da soldagem MIG/MAG é que a constatação da condição UGPP é difícil de ser realizada. Os dispositivos tradicionais de detecção empregam sensores e/ou técnicas de análise para identificar o momento da transferência metálica (Pandey et al., 1995 e Wang & Li, 1997). Como exemplos, pode-se citar os sensores baseados no som e na luminosidade do arco de soldagem e também, a técnica de análise estatística dos sinais de tensão e corrente de soldagem (Siewert et al., 1997). De um modo geral, pode-se afirmar que os dispositivos tradicionais de identificação apresentam pelo menos uma das seguintes características: baixa eficiência e alto custo.

Recentemente, foi desenvolvido no LAPROSOLDA da Universidade Federal de Uberlândia, um dispositivo de identificação da transferência metálica baseado na luminosidade do arco (Miranda, 2002). As grandes vantagens deste dispositivo são o seu baixo custo e a alta flexibilidade. O princípio de operação deste dispositivo é baseado no fato de que ocorre variação luminosa do arco conforme se altera a corrente de soldagem (quanto maior a corrente maior será a luminosidade) e o comprimento do arco (quanto menor o comprimento do arco menor será a luminosidade). Como a transferência metálica pode causar uma modificação no comprimento do arco e, desta forma, na sua luminosidade, é possível a identificação do destacamento da gota por meio da utilização de um sensor óptico, desde que esta modificação seja significativa (Miranda, 2002 e Wang & Li, 1997).

Pesquisas realizadas no referido laboratório demonstraram que este dispositivo apresenta uma alta eficiência e melhor desempenho quando comparado aos demais, na soldagem MIG/MAG pulsada de aço baixo carbono (Miranda & Ferraresi, 2002). Nestas pesquisas, foi demonstrado que o sensor óptico mostrou-se capaz para classificar adequadamente a condição de transferência no MIG/MAG pulsado.

Por sua vez, o aço inoxidável apresenta propriedades diferentes das existentes no aço baixo carbono, que podem afetar o modo de destacamento do material durante a soldagem. É possível que estas diferenças reflitam no desempenho do dispositivo de detecção que foi desenvolvido, de maneira que se faz necessário uma avaliação da sua eficiência para aço inoxidável. Em função disso, propõe-se este trabalho com o objetivo de avaliar a eficiência do dispositivo de identificação da transferência metálica, desenvolvido no LAPROSOLDA/UFU e baseado em um sensor óptico, na soldagem MIG/MAG pulsada de aço inoxidável.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A identificação da transferência metálica foi realizada através do dispositivo de detecção desenvolvido no LAPROSOLDA/UFU, cujo detalhamento se encontra em Miranda (2002). Fez-se a verificação da eficiência deste dispositivo para soldagem de aço inoxidável por meio da filmagem em alta velocidade da transferência metálica, utilizando para isso a técnica denominada de “shadowgrafia” (Vilarinho, 2000). A bancada de aquisição foi composta de três sistemas de aquisição independentes, para adquirir sinais de tensão, corrente e luminosidade do arco, assim como o sinal de sincronização da filmadora. A sincronização dos sinais do sensor óptico (fotodiodo), da tensão e da corrente de soldagem foi realizada de acordo com técnica desenvolvida no LAPROSOLDA e com resultados da comprovação já publicados (Bálsamo et al., 2000 e Vilarinho, 2000). A Figura 1 ilustra esquematicamente a bancada experimental com os componentes utilizados neste trabalho.

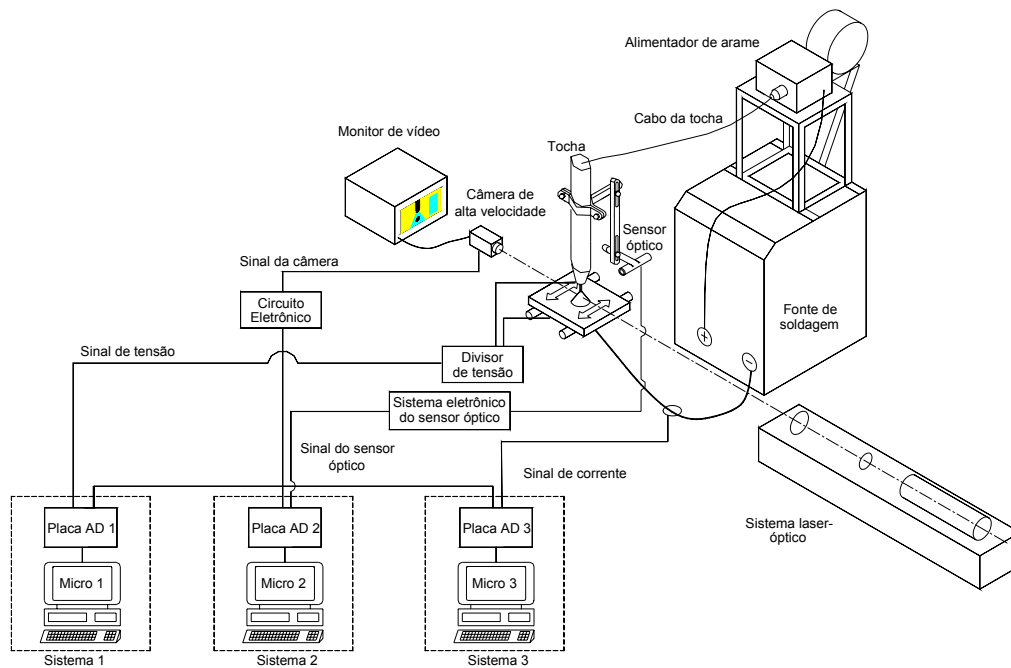


Figura 1 – Bancada experimental utilizada.

2.1. Experimentos Realizados

As soldagens automáticas de simples deposição foram realizadas na posição plana, empregando-se uma fonte de soldagem eletrônico multiprocessado com imposição de corrente. Os consumíveis utilizados foram o arame eletrodo de aço inoxidável de 1,2 mm de diâmetro (ER 308LSI) e gás de proteção constituído da mistura ternária de argônio com 3% de CO₂ e 2% de N₂. Ajustou-se a corrente de base (I_b) em 40 A, o tempo de base (t_b) em 10 ms, a vazão do gás de proteção em 12 l/min, a velocidade de soldagem em (V_{sold}) em 28 cm/min, à distância bico de contato peça (DBCP) em 18 mm, a distância (L) da ponta do sensor ao arco em 40 mm, a rampa de aceleração do cabeçote de alimentação na posição de 75% e de desaceleração em 50%. As condições de soldagens que foram modificadas se encontram descritas na Tabela 1.

Apesar do número de ensaios válidos ter sido bastante alto, optou-se por apresentar os resultados referentes apenas ao estudo de dois níveis de corrente de pulso e das três condições básicas da transferência metálica (três níveis de tempo para cada corrente de pulso) na soldagem MIG/MAG pulsada: Uma Gota Por Pulso (UGPP), menos de Uma Gota Por Pulso (-UGPP) e mais de Uma Gota Por Pulso (+UGPP). Entende-se que este número de ensaios é suficiente para atender aos objetivos propostos para este trabalho, pois abrangeram as três condições básicas da transferência metálica.

Salienta-se que a condição da transferência metálica na soldagem pulsada foi determinada por meio da observação das imagens do destacamento sincronizado com o sinal de corrente, tensão e luminosidade.

Tabela 1 – Ajustes dos parâmetros de soldagem para aço inoxidável e resultado da condição de transferência metálica – efeito do tipo de gás de proteção e dos parâmetros de pulsação.

Ensaio	I _p (A)	t _p (ms)	Valim (m/min)	Condição de Transferência
1	240	2,0	2,1	-UGPP
2	240	4,8	3,3	UGPP
3	240	8,5	4,2	+UGPP
4	330	2,0	2,7	-UGPP
5	330	3,0	3,6	UGPP
6	330	5,5	5,0	+UGPP

A análise principal deste trabalho se concentra no sinal do sensor óptico, que transforma as variações da luminosidade do arco em sinal de tensão compatível com um sistema de aquisição instalado em microcomputador. Toda a análise pertinente aos sinais de tensão e corrente de soldagem associada ao comportamento da luminosidade do arco foi feita em laboratório e se encontra publicada em Miranda (2002). Desta forma, só serão apresentados os resultados mais relevantes para se comprovar a obtenção dos objetivos deste trabalho, ou seja, os resultados com o sinal do sensor óptico e com as imagens da transferência metálica para validação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra um trecho do sinal da luminosidade gerado pelo sensor óptico juntamente com imagens da transferência metálica para o Ensaio 1. As imagens mostradas nesta figura (e também nas que serão apresentadas mais adiante) correspondem aos destacamentos das gotas nos instantes ao que elas estão posicionadas sobre o sinal.

Pela Figura 2, constata-se que a condição de destacamento foi de -UGPP, com quatro pulsos para a transferência de duas gotas metálicas. O perfil do sinal de luminosidade mostrou que a soldagem de aço inoxidável produziu um efeito sobre a luminosidade do arco semelhante aos resultados para soldagem de aço baixo carbono (Miranda & Ferraresi, 2002), ou seja, com o sinal do sensor óptico irregular na fase de pulso, com intensidade e forma diferentes. No sistema de identificação, este comportamento é empregado para caracterizar a condição de -UGPP, que é associada a estes sinais que não apresentam padrão definido.

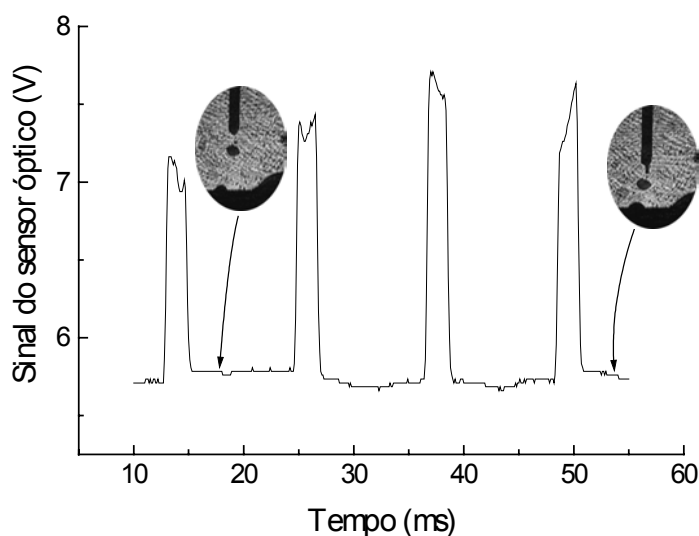


Figura 2 - Ilustração do sinal do sensor óptico para transferência de menos de uma gota por pulso (-UGPP) – destacamento na base (Ensaio 1).

A Figura 3 mostra um exemplo de comportamento do sinal de luminosidade para condição de uma gota por pulso (UGPP) obtida com o ajuste do Ensaio 2. Analisando esta figura, percebe-se que a maioria das fases de pulso apresenta um padrão definido de queda (vale) seguido de pico. Este mesmo comportamento foi observado para outros ensaios com transferência de UGPP, não mostrados neste trabalho. A tendência de queda seguida de aumento da luminosidade também foi verificada nos trabalhos de Wang & Li (1997) e Miranda (2002). Acredita-se que durante a formação da gota, o comprimento do arco diminui (queda de luminosidade) basicamente em virtude de dois fatores: aumento do diâmetro da gota e alongamento da região de transição entre a gota fundida e o eletrodo (também chamado de “empescoçamento”). Quando o arco passa da parte inferior da gota para a região de transição gota eletrodo, momentos antes do destacamento, ocorre um aumento da luminosidade do arco.

O padrão com vale e pico ou tipo “V” observado na Figura 3 foi associado a condição de UGPP pelo sistema de identificação desenvolvido e se assemelha aos resultados obtidos para aço baixo carbono (Miranda & Ferraresi, 2002). Esta afirmação implica que se isolando as imagens da transferência metálica e analisando apenas o perfil do sinal de luminosidade, seria possível afirmar que a condição predominante de destacamento é de UGPP.

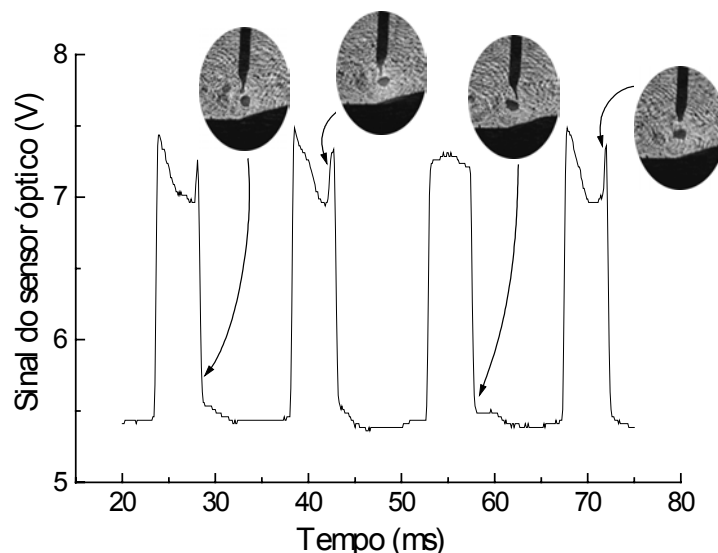


Figura 3 - Ilustração do sinal do sensor óptico para transferência de uma gota por pulso (UGPP) – final do pulso/início da base (Ensaio 2).

Os ajustes dos parâmetros para o Ensaio 3 produziram uma condição de destacamento de mais de uma gota por pulso (+UGPP), conforme pode ser observado pela Figura 4. Verifica-se que o perfil do sinal de luminosidade na fase de pulso pode ser associado a um serrilhado, com mais de um vale e pelo menos um pico, correspondente ao destacamento de duas gotas por pulso. Este comportamento do sinal, que reflete uma situação de transferência de várias gotas, é associado a quedas e aumentos na luminosidade pelas variações do comprimento do arco (principalmente) com a transferência metálica. Os resultados para esta condição de destacamento são também semelhantes aos resultados obtidos para o aço baixo carbono (Miranda & Ferraresi, 2002), porém com melhor sensibilidade.

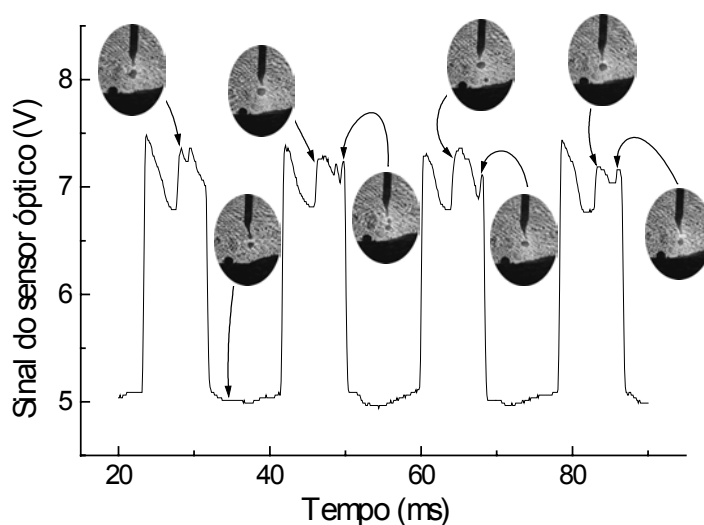


Figura 4 - Ilustração do sinal do sensor óptico para transferência de mais de uma gota por pulso (+UGPP) – segunda gota na base (Ensaio 3).

Na Figura 4, observa-se que houve a transferência de duas gotas em cada pulso. O sinal de luminosidade apresentou uma queda seguida de aumento para a primeira e a segunda gota destacada. Apenas no primeiro pulso é que a segunda gota não produziu um pico no final do pulso. Este tipo de comportamento ocorre porque na fase final do pulso, quando a gota se encontra na iminência de ser destacada, a redução da corrente mascara o efeito da oscilação do comprimento do arco e do empescoamento.

Miranda (2002) verificou que a influência da alteração da corrente é muito mais significativa sobre a transferência metálica que a alteração do comprimento do arco provocado pela transferência de metal. Esta característica pode, conforme será visto adiante, mascarar o destacamento da gota em algumas situações. A afirmação é baseada no fato de que durante o pulso a corrente é mantida constante e por isso as alterações no comprimento do arco relacionadas ao destacamento da gota são detectadas, mas para transferência ocorrendo na transição do pulso/base, a modificação do nível de corrente é mais representativa na luminosidade que as alterações provenientes do destacamento da gota.

Os resultados dos Ensaio 4, 5 e 6 serão apresentados nas Figuras 5, 6 e 7 com o objetivo de mostrar o efeito do ajuste mais elevado da corrente de pulso sobre o comportamento do perfil do sinal de luminosidade para as três condições de transferência metálica na soldagem MIG/MAG pulsada.

A Figura 5 mostra que os ajustes estabelecidos resultaram numa condição de -UGPP, com o destacamento de apenas uma gota para quatro pulsos de corrente. O comportamento do sinal foi semelhante ao observado na Figura 2, com pulsos luminosidade com amplitudes e formas diferentes sem apresentar um padrão definido.

Na condição de -UGPP, o sistema de identificação emprega uma lógica inversa de análise, estabelecida no fato de que quando não há alterações consideráveis (formato “V” não observado) e quando as fases de pulso não apresentam um padrão definido, é porque não houve destacamento durante a fase de pulso.

Se o sinal de luminosidade fosse analisado sem a imagem da transferência metálica, seria possível afirmar que o destacamento é de -UGPP em virtude da falta de padronização (ausência de formato tipo “V” e com amplitudes e inclinações diferentes). No entanto, deve-se atentar que quando a transferência é de -UGPP, é possível afirmar a que a condição é de -UGPP, mas nem sempre é possível determinar o instante de destacamento, pois quando a transferência é na base, o sinal não apresenta o padrão tipo “V” ou semelhante.

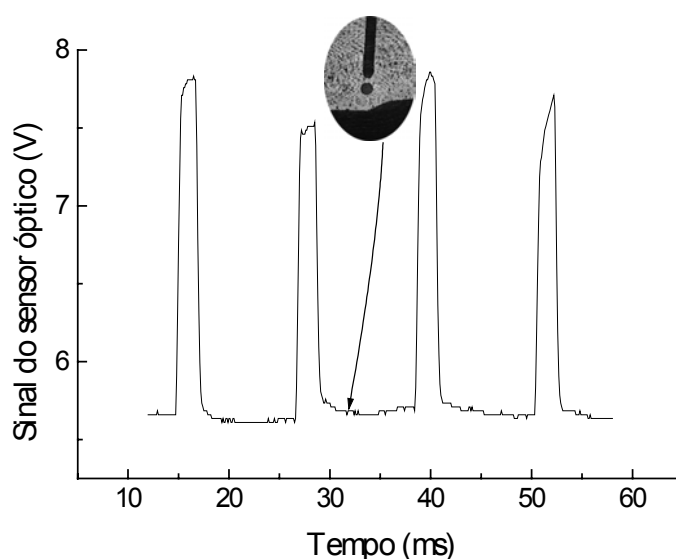


Figura 5 - Ilustração do sinal do sensor óptico para transferência de menos de uma gota por pulso (-UGPP) (Ensaio 4).

Um trecho representativo do perfil do sinal de luminosidade para o Ensaio 5 é mostrado na Figura 6. Por meio das imagens, constata-se que a condição de transferência é de UGPP, com quatro destacamentos para quatro pulsos. Contudo, observa-se que o perfil do sinal do sensor óptico não corresponde ao que foi mostrado para o Ensaio 2 (Figura 3), cujo comportamento foi relacionado a um perfil tipo “V” com um vale e um pico.

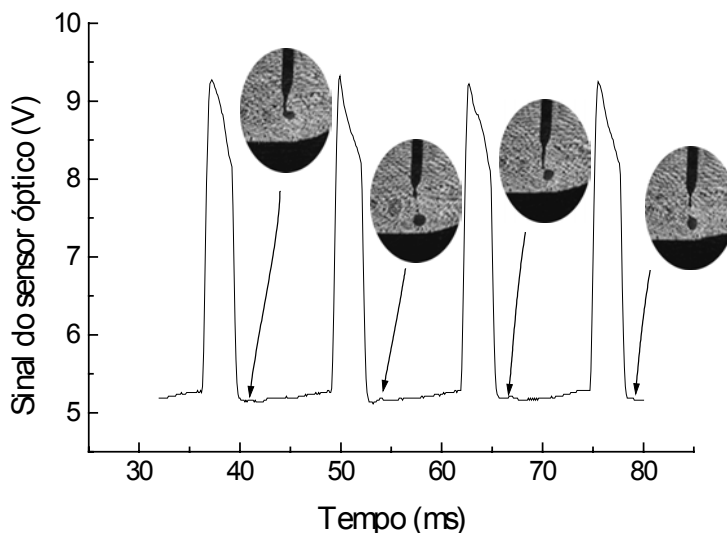


Figura 6- Ilustração do sinal do sensor óptico para transferência de uma gota por pulso (UGPP) – do final do pulso para início da base (Ensaio 5).

O comportamento do sinal do sensor óptico para o sinal do Ensaio 5 mostra que há uma redução do sinal de luminosidade do arco na fase de pulso, sem que ocorra qualquer pico indicando o destacamento. Esta ausência de pico, de acordo com o que foi abordado anteriormente, indica o efeito da mudança da corrente de pulso para a base predominando sobre a alteração do comprimento do arco durante a transferência metálica. Em outras palavras, a luminosidade cai durante os pulsos porque a gota começa a se formar e diminuir o comprimento do arco, porém no instante em que a mesma vai ser destacada, a corrente muda do pulso para base e mascara o pico de luminosidade proveniente da transferência metálica.

Um ponto que necessita ser explicado é o porquê da gota ser destacada na transição do final do pulso para o início da base. Acredita-se que o principal motivo é que, a gota para ser destacada na fase de base, requer que a força devido à aceleração obtida na fase de pulso supere a força devido à tensão superficial quando o nível de corrente for reduzido. Isto faz com que no momento final do pulso (gota acelerada para a poça e com empescoçamento) o arco atinja a região de empescoçamento (passando da superfície inferior da gota para a região gota/eletrodo) e que no momento inicial da base, exista uma força de retenção da tensão superficial, puxando a gota e desacelerando a mesma, mas não o suficiente para evitar seu destacamento. Como foi visto, este destacamento não provoca alterações significativas no comprimento do arco.

Um trecho dos resultados de luminosidade com a transferência metálica para o ajuste do Ensaio 6 é mostrado na Figura 7. Constata-se por esta figura que a transferência foi de +UGPP, com o destacamento de duas gotas por pulso, sendo a primeira gota na fase de pulso e a segunda na transição pulso/base. De acordo com o que já foi abordado neste trabalho, percebe-se que o comportamento do sinal de luminosidade foi coerente com o modo da gota ser transferida. A primeira gota é destacada no pulso e acarreta num perfil tipo “V” (ver Figuras 3 e 4) e a segunda gota é destacada na transição pulso/base e provoca apenas uma redução da luminosidade no pulso (ver Figura 6). As explicações para estes comportamentos já foram abordadas.

De qualquer modo, mais uma vez é observado um perfil serrilhado no sinal de luminosidade para a condição de +UGPP, com mais de um vale e pelo menos um pico. Quando estas características estiverem presentes, pode-se afirmar que a condição é de +UGPP utilizando apenas o sinal do sensor de luminosidade.

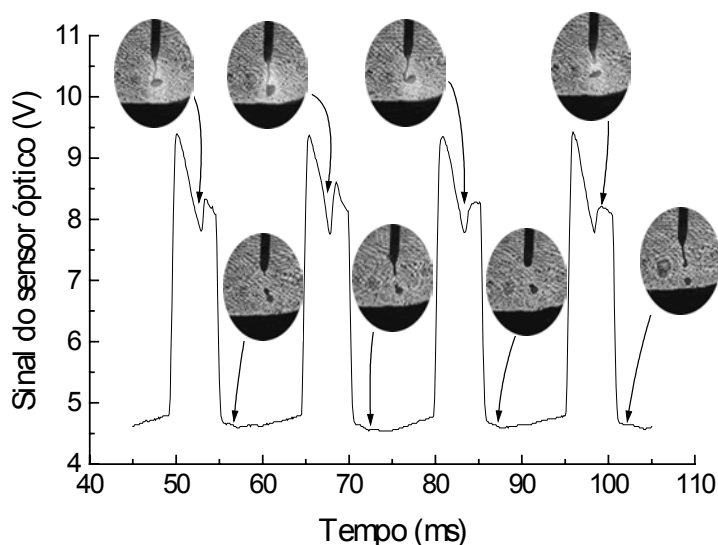


Figura 7 - Ilustração do sinal do sensor óptico para transferência de mais de uma gota por pulso (+UGPP) (Ensaio 6).

4. CONCLUSÕES

- ◆ O sistema de detecção da transferência metálica, desenvolvido pelo LAPROSOLDA/UFU apresentou bons resultados para soldagem pulsada de aço inoxidável.
- ◆ O sistema foi capaz caracterizar a transferência metálica na soldagem pulsada de aço inoxidável para diferentes condições de destacamento – menos de uma gota, uma gota, mais de uma gota no pulso.
- ◆ A transferência da gota que ocorre na transição do pulso para base não acarretou num aumento do sinal de luminosidade do arco imediatamente após o destacamento devido ao efeito combinado de redução da luminosidade pela diminuição da corrente.
- ◆ É possível caracterizar a condição de transferência metálica de menos de uma gota por pulso (-UGPP), mas nem sempre se consegue identificar o instante do destacamento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LAPROSOLDA/UFU, CAPES e WHITE MARTINS pelo apoio laboratorial e suporte financeiro e ao Eng. Márcio Vilela pelo auxílio na construção do sistema eletrônico do dispositivo de detecção.

6. REFERÊNCIAS

- Bálsamo, P.S.S., Vilarinho, L.O. e Scotti, A., 2000, “Determinação Criteriosa dos Parâmetros de Pulso para Soldagem MIG Pulsada em Alumínio e Aço Inoxidável”, Revista Soldagem & Inspeção - Suplemento Técnico, Maio, ano 6, n.º 2, pp. 1-9.
- Craig, E., 1987, “A Unique Mode of GMAW Transfer”, Welding Journal, September, pp. 51- 55.
- Miranda, H. C., 2002, “Reconhecimento e controle da transferência metálica no processo MIG/MAG pulsado”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 218 pp.

- Miranda, H. C.; Ferraresi, V. A., 2002, “Verificação da possibilidade de identificação da transferência metálica no processo MIG/MAG pulsado através de um sensor óptico”, CONEM 2002, João Pessoa – PB.
- Ogunbiyi, B.; Nixon, J.; Richardson, I; Blackman, S., 1999, “Assessing the P-GMAW Process Performance”, Proceedings of the International Conference on the Joining of Materials – JOM – 9, pp. 130-137.
- Pandey, S.; Rao, U. R. K.; Aghakhani, M., 1995, “Metal Transfer and V-I Transients in GMAW of Aluminium”, Trends in Welding Research, Proceedings of the 4th International Conference, pp. 385-397.
- Siewert, T. A.; Madigan, R. B.; Quinn, T. P., 1997, “Sensors – Control Gas Metal Arc Welding”, Advanced Materials & Processes, Vol. 4, pp. 23-25.
- Subramaniam, S., 1996, “Process Modeling and Analysis for Pulsed Gas Metal Arc Welding of an Aluminum Automotive Spaceframe”, Dissertation, West Virginia University, 227 pp.
- Vilarinho, L. O., 2000, “Desenvolvimento e Avaliação de um Algoritmo Alternativo para Soldagem MIG Sinérgica de Alumínio”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia – Uberlândia – MG, 111 pp.
- Wang, Q. L.; Li, P. J., 1997, “Arc Light Sensing of Droplet Transfer and its Analysis in Pulsed GMAW Process”, Welding Journal, November, pp. 458s-469s.

POSSIBILITY VERIFICATION OF METAL TRANSFER IDENTIFICATION IN THE PULSED GMAW THROUGH OPTICAL SENSOR

Hélio Cordeiro de Miranda

Dr. Eng., Teacher/researcher - ENGESOLDA - UFC, Ceará Federal University- DEMP.
Campus do Pici – Bloco 714 – CEP.: 60455-760 – Fortaleza - CE. E-mail: hmiranda@ufc.br .

Valtair Antonio Ferraresi

Dr. Eng., Teacher/researcher - LAPROSOLDA - UFU, Uberlandia Federal University- FEM
Campus Santa Mônica – 38400-902 – Uberlândia - MG. E-mail: valtairf@mecanica.ufu.br .

***Abstract.** This work is aimed to verify the possibility of the use of an identification metal transfer device, with low costs and high flexibility, in pulsed GMAW. The automated welding pulsed was conducted in stainless steel, using an electronic power source. The metal transfer was recorded by high-speed camera to validate the device efficiency. The voltage and current welding signals, as well as, the optical sensor and camera signal were synchronized to guarantee suitable analysis. The results showed that the device is suitable to be used for metal transfer identification, in pulsed GMAW, with good performance in stainless steel. Thus, it is possible to assert that the developed device is a low cost and high flexibility tool, which can be applied in optimisation of pulsed GMAW.*

***Keywords:** Metal transfer, Pulsed GMAW welding, Stainless steel, Optical sensor.*