

LEVANTAMENTO E AVALIAÇÃO DO MOVIMENTO DE GOTAS EM TRANSFERÊNCIA NA SOLDAGEM MIG/MAG

Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues

Universidade Federal de Uberlândia, Laprosolda, Campus Santa Mônica, Bloco 1M, 38400-032
ceduardo@mecanica.ufu.br

Américo Scotti

Universidade Federal de Uberlândia, Laprosolda, Campus Santa Mônica, Bloco 1M, 38400-032
ascotti@mecanica.ufu.br

Resumo: Neste trabalho procurou-se realizar um levantamento de diversas curvas posição versus tempo de gotas em transferência, para então avaliar o efeito da corrente de soldagem, bem como do comprimento do arco, sobre a configuração das curvas nas condições utilizadas. Para tanto, foram feitas filmagens com uma câmera de alta velocidade de arcos de aço carbono com proteção de $Ar+5\%O_2$ e, utilizando-se de ferramentas de análise de imagem, levantou-se curvas temporais da posição da gota. Utilizou-se três níveis de corrente e de comprimento de arco. Os resultados mostram que tanto a corrente como o comprimento do arco influenciam a configuração das curvas posição versus tempo das gotas em transferência. O rigor experimental aplicado indica que o resultado poderá facilitar em muito os proponentes de modelos em suas análise de validação, assim como, em si, ajudam o melhor entendimento do processo de soldagem a arco.

Palavras-chave: Soldagem, MIG/MAG, Transferência metálica, análise de imagens.

1. INTRODUÇÃO

Diversos pesquisadores vêm publicando modelos e simulações de diversos modos de transferência metálica, sobretudo da transferência goticular, o que tem permitido um grande avanço na tecnologia da soldagem, com diversos melhoramentos nos processos. Contudo, devido à dificuldade de retratar fielmente alguns fenômenos conhecidos e ao não conhecimento prático de algumas características desse modo de transferência, como a aceleração das gotas durante a trajetória, esses modelos precisam de diversas simplificações para serem viabilizados. Isto enfatiza a importância da análise experimental da transferência metálica.

Técnicas de filmagem e de observações fotográficas permitem determinar a forma e também a dimensão das gotas. Técnicas de vídeo baseadas em fenômenos periódicos (obturação e/ou estroboscópio) permitem estudar a evolução temporal da forma, do tamanho e, adicionalmente, a velocidade das gotas também pode ser determinada.

Para gotas viajando ao ar ou ao vácuo, há alguns instrumentos consolidados para a determinação das características de seu movimento. O velocímetro “Laser Doppler” (LDV) (Drain, 1980) e o velocímetro “Phase Doppler” (PDV) (Albrecht *et al.*, 2000) são os métodos-padrão para se determinar a velocidade e o tamanho de gotas, respectivamente. Com o uso destes instrumentos, a velocidade, frequência e/ou o tamanho das gotas é determinado em um dado ponto do caminho das gotas, de forma unidimensional. Quando as partículas são suficientemente pequenas (névoa, por exemplo), estes métodos podem ser utilizados para a determinação da velocidade do fluxo. Uma análise estatística pode ser empregada para determinar as propriedades de fluxos não-estacionários

(Fronh & Roth, 2000). Isso também pode ser conseguido através do uso de um velocímetro de Laser-2-focos (L2F) (Schodl, 1986). Os métodos citados até aqui têm como referência a distância entre as franjas do laser utilizado. Entretanto, há métodos que utilizam a posição da gota em si como referencial. Dentre eles, destaca-se o velocímetro de imagem das partículas (PIV) (Raffel *et al*, 1998), que permite a determinação da velocidade do fluido ou das gotas em um ponto num plano de fluxo, possibilitando obter a velocidade bidimensional. Modificações especiais desta técnica permitem a determinação adicional do tamanho das partículas (Fronh & Roth, 2000).

Para o caso de gotas viajando em meios com propriedades bastante particulares, como no caso do arco voltaico, os métodos acima citados tornam-se dependentes de um aparato laboratorial robusto e caro. Contudo, no estudo de transferência metálica em soldagem MIG/MAG, diversos pesquisadores vêm procurando medir a frequência, a velocidade e a dimensão das gotas em transferência. Lesnewich (1958) investigou o fenômeno da transferência metálica em alguns parâmetros para aço carbono. Ele observou que havia uma grande mudança na frequência das gotas em uma pequena faixa de corrente, a qual foi chamada de corrente de transição. Esta, por sua vez, aumenta com a diminuição da extensão de eletrodo percorrida por corrente e com o aumento do diâmetro do eletrodo (Lesnewich, 1958) e é sensível a pequenas mudanças na composição do gás de proteção (Scotti, 2000). Lesnewich (1958) mediu a frequência das gotas e a extensão de eletrodo percorrida por corrente usando um sofisticado (para a época) sistema oscilográfico de ultravioleta (UVO), posteriormente descrito por Allum (1983) e criticado por Rhee & Kannatey-Asibu (1992) por não permitir a gravação das imagens.

As velocidades e acelerações das gotas em transferência na soldagem MIG/MAG já foram medidas em faixas bastante restritas de corrente, em transferência globular, utilizando fotografias com taxa de obturação relativamente alta, mas não o suficiente para viabilizar as medidas em transferência goticular (Ludwig, 1957; Caron, 1962). Utilizando metodologia similar, Needham e colaboradores (1960) afirmam que as gotas são aceleradas pela dragagem no plasma, enquanto Ma & Apps (1983) propuseram que a velocidade das gotas seria constante no tempo durante a transferência. Esta contradição nos resultados revela a pouca sensibilidade e/ou robustez das técnicas usadas naquela época.

Rhee & Kannatey-Asibu (1992) investigaram o fenômeno da transferência metálica utilizando um analisador de vídeo digital de alta velocidade, associado a um sistema de laser, lentes e filtros, captando a sombra do arco. A velocidade da câmera utilizada, 1000 quadros por segundo, foi considerada adequada pelos autores para a observação realizada. A esta técnica denominou-se “shadowgrafia” ou “laser back-lighting” (Waszink & Piena, 1986; Subramanian *et al*, 1998; Scotti 2000; Balsamo *et al*, 2000). Em seu estudo sobre transferência metálica, Rhee & Kannatey-Asibu (1992) utilizaram diversos gases de proteção, com diferentes proporções de argônio, gás-carbônico e hélio, soldando aço-carbono com eletrodo de 1,6 mm de diâmetro a diferentes comprimentos de eletrodo percorridos por corrente. Seus resultados indicam que a menor corrente de transição ocorre à mínima proporção de CO₂ no argônio, fato que foi atribuído à menor tensão superficial na ponta do eletrodo, ocorrida com a utilização desta mistura.

Ainda neste trabalho (Rhee & Kannatey-Asibu, 1992), os autores consideraram muito difícil medir, através das imagens obtidas com a shadowgrafia, o diâmetro das gotas. Então, determinou-se o diâmetro das gotas indiretamente, através da medida da frequência de destacamento e da velocidade de alimentação do arame. Para a determinação da velocidade e aceleração das gotas foi utilizado um localizador x-y. Os autores consideraram muito difícil levantar as curvas posição *versus* tempo para soldagens com arcos curtos, ou quando usaram hélio ou CO₂ como gás de proteção. No caso do comprimento de arco, pela pequena quantidade de vezes que se observava a gota em sua trajetória, e no caso destes gases de proteção, porque houve grande instabilidade no movimento axial das gotas em transferência.

Lin e seus colaboradores (2001), por sua vez, utilizaram a técnica da shadowgrafia para determinar o tamanho das gotas. Devido à baixa taxa de filmagem utilizada (50 Hz) em comparação à frequência de transferência, que chega a 475 Hz (Scotti, 2000; Vilarinho & Scotti, 2000), um outro método teve de ser utilizado para determinar a velocidade das gotas em transferência. Duas

fibras ópticas foram posicionadas verticalmente, a uma distância de 2 mm uma da outra, para detectar a sombra produzida pelas gotas caindo da ponta do eletrodo. Essas duas fibras ópticas terminavam em dois sensores fotodiodos, cujos sinais foram adquiridos e digitalizados com uma resolução de 50 kHz. A velocidade das gotas era então determinada pela medida do intervalo entre o acionamento dos sensores ópticos. Devido à limitação imposta pelo posicionamento das fibras, dado que as gotas atravessam o arco em uma faixa de direções, a aplicabilidade desta metodologia só se dá, segundo o autor, na região mais próxima possível da ponta do eletrodo. Em outras palavras, utilizando este aparato, o autor conseguiu determinar apenas a velocidade das gotas após o destacamento, onde as gotas acionariam os sensores com o menor ângulo possível com a vertical. Assim, Lin *et al* (2001) afirmam ter medido a velocidade das gotas no destacamento. Este trabalho ainda apresenta um cálculo da velocidade de destacamento das gotas baseado na teoria do balanço estático das forças (Lancaster, 1984), que obteve boa aproximação dos dados experimentais.

Apesar destes avanços na direção do conhecimento dos modos de transferência metálica, se faz necessária uma avaliação mais aprofundada do movimento das gotas durante sua trajetória pelo arco voltaico, entre o eletrodo e a poça de fusão. Desta forma, pretende-se estudar neste trabalho o comportamento da transferência metálica por vôo livre sob diferentes, ou não, condições de soldagem, esperando contribuir para o fechamento de mais uma lacuna no conhecimento científico da soldagem, especialmente da transferência metálica no MIG/MAG.

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

2.1 Levantamento dos parâmetros de soldagem

O objetivo deste procedimento experimental é conseguir diferentes comprimentos de arco para uma mesma corrente de soldagem. Para se trabalhar com valores distintos de comprimento de arco para uma dada corrente de soldagem, pode-se usar o equipamento de soldagem no modo tensão constante, variar a regulagem da tensão de referência (U_{REF}) e ajustar a corrente pelo aumento ou redução da distância-bico-de-contato-peça (DBCP) ou pela variação da velocidade de alimentação do arame (V_A). Um exemplo dessa adequação é mostrado com auxílio da Figura 1, onde o ponto de trabalho inicial é representado por A (I_1 , U_1) e U_1 significa uma faixa de tensão cuja amplitude depende da inclinação da característica estática da fonte (CEF). Ao se regular somente o ajuste da U_{REF} , ou seja, mudando a CEF de CEF_1 para CEF_2 , o ponto de trabalho, neste exemplo, muda para B (I_2 , U_2). Este ponto corresponde a um maior comprimento do arco (e um menor comprimento de eletrodo, para a mesma DBCP e V_A), mas a corrente de soldagem vai de I_1 para I_2 .

Entretanto, o que se deseja é manter a mesma corrente de soldagem, ou seja, que o ponto de trabalho seja o ponto C (I_1 , U_2). Essa operação teria de ser feita por uma das duas maneiras citadas (reduzindo-se V_A ou aumentando-se a DBCP), justificadas analiticamente pela equação do consumo de arame-eletrodo na soldagem MIG/MAG (Equação 1):

$$C = \alpha I + \beta \rho \ell^2 \quad (1),$$

onde “C” é o consumo, “I” é a intensidade de corrente, “ ρ ” é a resistividade elétrica do arame, “ ℓ ” é o comprimento energizado de arame e “ α ” e “ β ” são constantes dependentes dos consumíveis (diâmetro e composição), do gás de proteção e do material da peça de trabalho.

O aumento do comprimento do arco no ponto B justifica-se pelo aumento da corrente (de I_1 para I_2) e pela redução do comprimento “ ℓ ”, já que o consumo, representado pela V_A , se mantém o mesmo. Considerando que a dependência do consumo em relação à corrente é quadrática e em relação ao comprimento do eletrodo é linear, pode-se mostrar que I_2 não é muito maior do que I_1 . Mas para manter a mesma corrente da situação A, uma primeira alternativa seria ajustar V_A para um menor valor, permitindo que a corrente diminuísse, já que haveria redução do consumo de eletrodo. O novo ponto trabalho seria o ponto C, que tem um arco um pouco maior do que em A e em B, respectivamente. Uma outra alternativa seria repor a redução do comprimento “ ℓ ” de eletrodo

energizado no ponto B através do aumento da distância-bico-de-contato-peça (DBCP), mudando também o ponto de trabalho para C. Esta segunda maneira de correção permite que a corrente diminua sem afetar o consumo, já que aumenta-se também o comprimento do eletrodo.

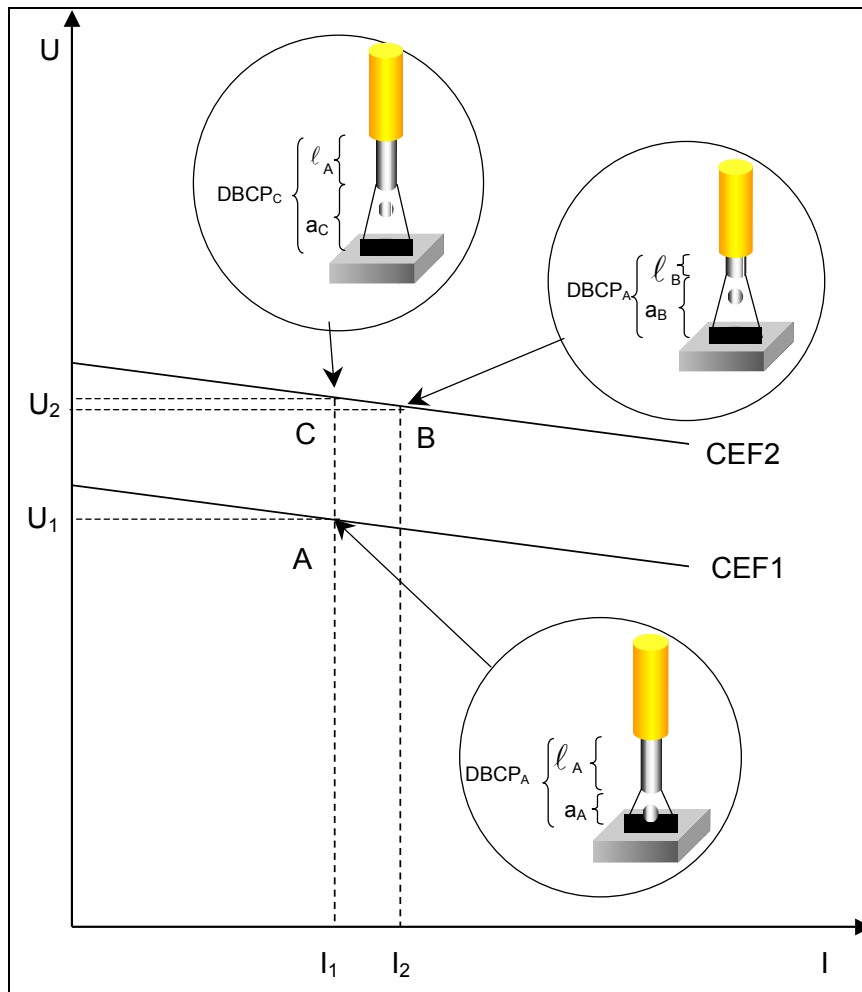


Figura 1 – Representação esquemática da adequação dos parâmetros de soldagem.

Como não é fixa a proporção direta entre U_{REF} e o comprimento do arco de soldagem, torna-se necessário realizar vários testes para a determinação da DBCP ou da nova V_A que propiciará a ocorrência do ponto de trabalho C. Mesmo assim, teria-se valores de corrente em torno do valor desejado, já que em fontes de tensão constante a corrente flutua conforme a carga e transientes.

Devido a esta dificuldade, pensou-se em alterar o comprimento do arco de outra forma. Como a fonte de soldagem utilizada permite trabalhar no modo corrente constante e sem o autocontrole do comprimento do arco, pode-se regular a corrente de soldagem (I) para o valor desejado e ajustar a velocidade de alimentação do arame (V_A), de forma independente, até atingir o comprimento de arco também desejado (por exemplo, o ponto A). Assim, pode-se mudar da situação “A” diretamente para a “C” (Figura 1) apenas com o aumento da DBCP, sem passar pelo ponto B, mantendo-se a mesma corrente e velocidade de alimentação (manteria-se as velocidades iniciais das gotas as mesmas).

Assim, realizou-se soldagens em três níveis correntes e três níveis de DBCPs (o que equivale a três comprimentos de arco distintos para cada corrente), conforme Tabela 1, utilizando-se a fonte de soldagem eletrônica no modo corrente constante e velocidade de alimentação constante, por entender que seria a melhor opção. Este planejamento prevê ainda o uso de arame de aço da classe AWS ER70S-6, $\varnothing 1,2$ mm, gás de proteção Ar + 5%O₂ e chapas de teste de aço baixo-carbono (300 x 38 x 12,7 mm). Os valores de tensão e corrente durante os experimentos foram monitorados via conversor A/D e programa específico.

Tabela 1 – Parâmetros de regulação para soldagens com diferentes comprimentos de arco.

I_{REG} (A)	DBCP (mm)
200	18
	22
	26
250	18
	22
	26
300	18
	22
	26

2.2 Caracterização da transferência metálica

2.2.1. Filmagem em alta velocidade das condições determinadas

Determinados os parâmetros de soldagem a serem estudados, planejou-se utilizar um canhão laser, um sistema óptico e uma câmera para filmagens em alta velocidade (técnica da shadowgrafia, Bálamo *et al*, 2000), para a realização de filmagens das gotas em transferência, conforme planejamento experimental do item 2.1. O sistema citado é mostrado na Figura 2. As filmagens são gravadas em uma sequência de imagens a uma frequência de 250 a 2000 quadros por segundo, monocromáticos, no formato TIFF (Tagged Image File Format). Utiliza-se uma objetiva com zoom para focar o eletrodo e a peça. Usou-se a velocidade de filmagem de 2000 quadros por segundo, com obturação mecânica, e em cada quadro a obturação eletrônica a 1/24000 (possibilitando reduzir distorções devidas ao movimento dos elementos filmados, no caso, as gotas). Essas configurações permitem imagens com resolução de 252 x 188 pixels (h x v).

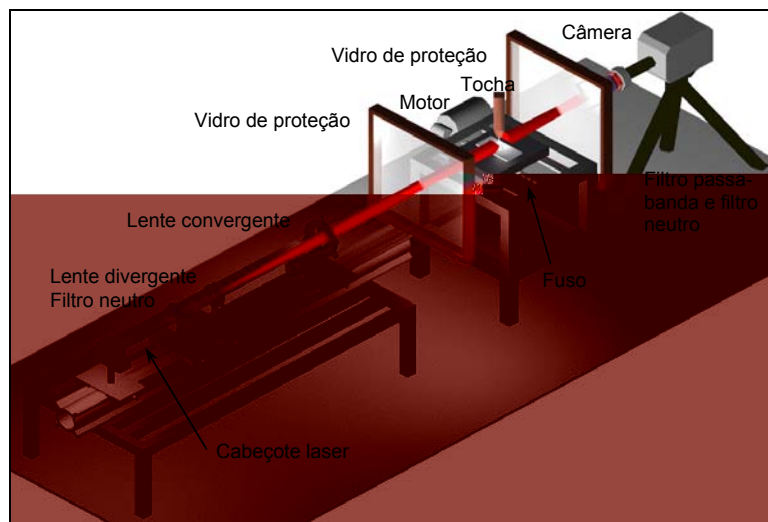


Figura 2 – Técnica de filmagem Shadowgrafia. (Vilarinho, 2000)

2.2.2. Utilização de um software específico para a análise da transferência metálica

Para a caracterização da transferência metálica será utilizado um programa específico (Maia, 2001), feito na plataforma LabView®, denominado “Vídeo Analisador de Imagens de Transferência Metálica em Soldagem”. Este programa permite uma perfeita caracterização das transferências metálicas (sobretudo quanto aos parâmetros frequência de destacamento e diâmetro das gotas) e dos

comprimentos do eletrodo e do arco de soldagem. As imagens analisadas utilizando o programa “Vídeo Analisador” são aquelas adquiridas através da técnica da “shadowgrafia”.

2.3 Levantamento das curvas posição *versus* tempo das gotas em transferência

Este levantamento será realizado utilizando um outro software de análise de imagens (Optimas MA 1.4), agora comercial. Trata-se de um programa com recursos para análise cinemática de elementos nas imagens, os quais são definidos pelo usuário. Sua destinação primária é a análise de “crash-tests” para o meio automobilístico, porém, percebeu-se diversas possíveis aplicações do mesmo, sendo uma delas na análise das filmagens em alta velocidade da transferência metálica.

Sua utilização é baseada na localização de “alvos” numa seqüência de imagens TIFF, como mostrado na Figura 3. O programa permite a localização de até 3 “alvos” por vez, ou sejam, caracterizar 3 elementos individualmente. Desta forma, após uma seqüência de quadros, o programa é capaz de calcular e fornecer características cinemáticas de cada elemento (alvo), como a posição espacial e a velocidade e aceleração instantâneas ao longo do tempo. Os dados fornecidos pelo programa (vetores) são salvos em tabelas que podem ser tratadas em planilhas eletrônicas comerciais. Um exemplo de curva levantada é mostrado na Figura 4.

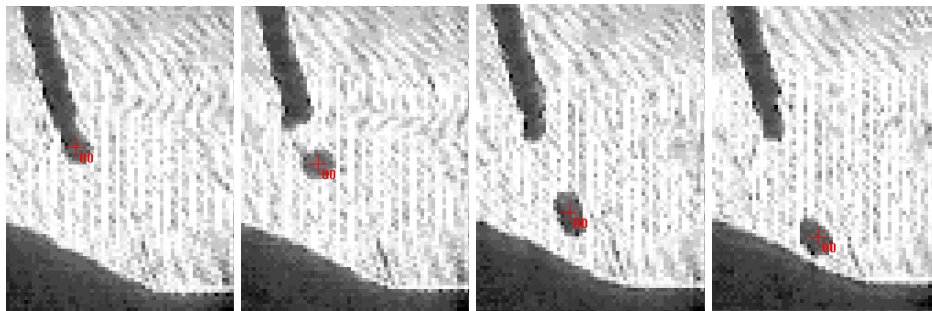


Figura 3 – Seqüência de localização de alvos nas imagens de transferência metálica, com a definição de uma alvo por quadro.

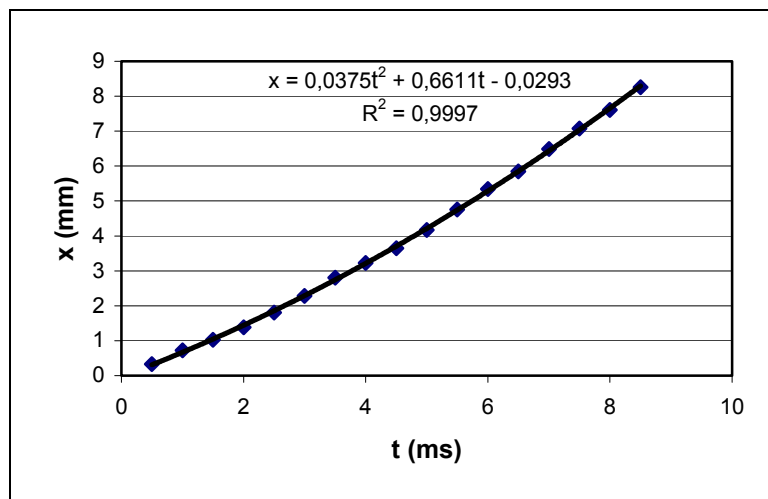


Figura 4 – Curva típica posição versus tempo de uma gota em transferência.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 5 mostra quadros representativos das soldagens realizadas, permitindo uma visualização dos tipos de transferências e comprimentos de arco alcançados com as combinações de parâmetros. Pequenas variações nos valores do comprimento de arco real em relação ao esperado podem ser devido ao fato de que, ao se alterar a corrente e/ou o comprimento do arco, também se

promovam alterações nas composições químicas do plasma, conseqüentemente nas propriedades térmicas (podendo modificar as constantes α e β da equação geral de consumo – Equação 1) e nas formas de escoamento do mesmo (afetam a velocidade do plasma, conseqüentemente agindo de forma diferenciada sobre o arraste da gota e atrito com o meio).

Observa-se, por outro lado, que, para um dado valor de corrente, há uma tendência de redução dos diâmetros das gotas com o aumento da DBCP (na verdade, aumento do comprimento do arco). Fato não esperado, já que a corrente e o comprimento do eletrodo mantiveram-se praticamente constantes para cada caso. Este fenômeno também pode estar relacionado às variações de propriedades do plasma mencionadas anteriormente, que provavelmente modificam a tensão superficial, a taxa de vaporização na gota e a velocidade de escoamento do jato de plasma. Em outras palavras, o aumento do comprimento de arco afeta os componentes considerados pela teoria do balanço estático das forças, a qual governa bem o modo globular, muito embora não se aplique fielmente ao modo goticular de transferência metálica (Scotti, 1998).

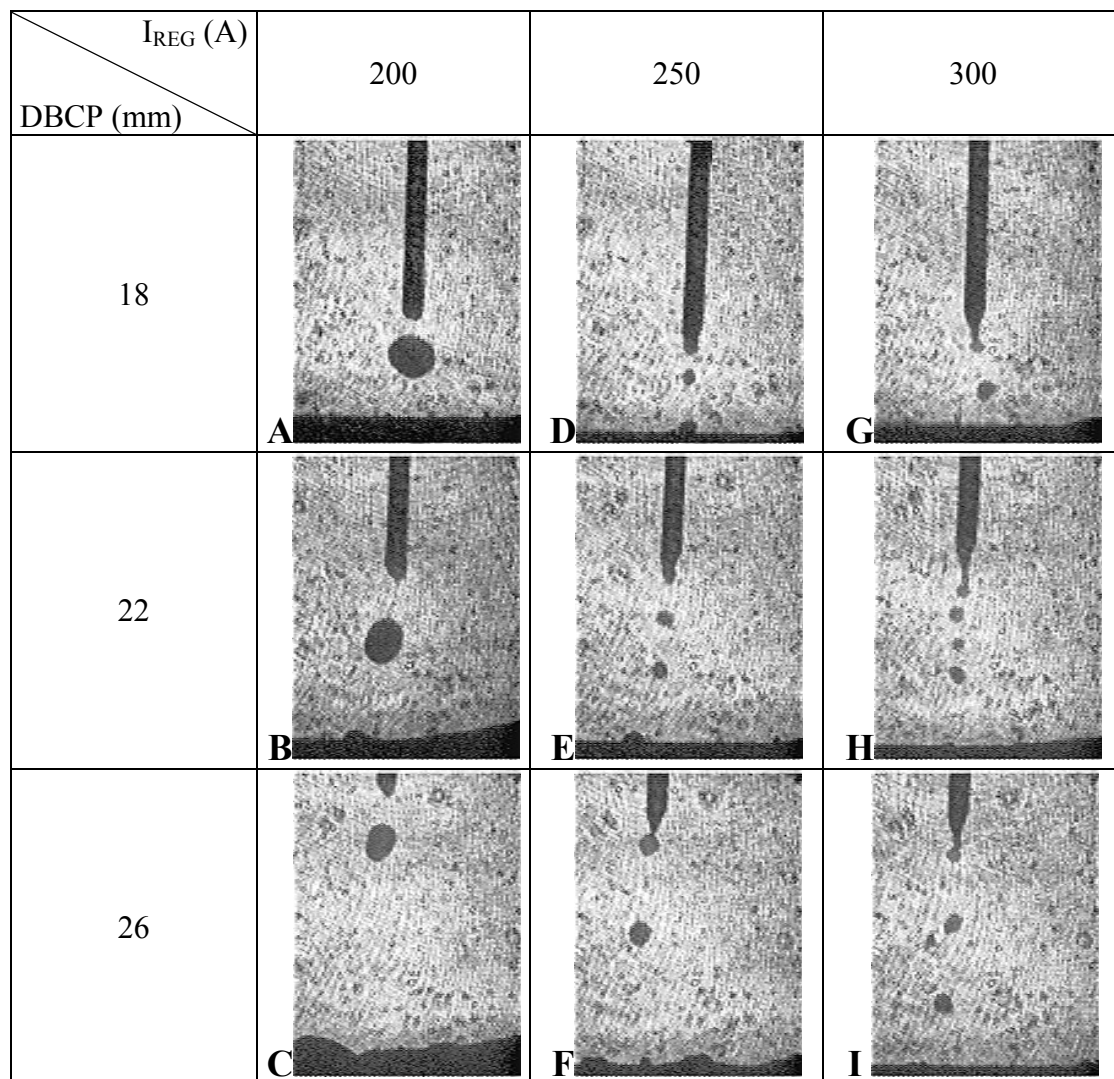


Figura 5 – Filmagens realizadas em alta velocidade, dispostas em função da DBCP e da corrente de soldagem utilizadas.

A Figura 6 apresenta as curvas de posição x tempo para cada condição estudada. Como pode ser visto nesta figura, existe uma razoável dispersão dos resultados entre cada gota medida, o que não é verificado quando se olha as curvas de cada gota separadamente, como ilustrado na Figura 7. Isso pode ser verificado observando-se o coeficiente de correlação " R^2 " das regressões polinomiais de cada curva, que se aproximaram muito de 1.

O fato das curvas em cada experimento serem diferentes entre si leva a crer que cada gota é criada e viaja no plasma de maneira particular, mesmo sob, em média, a mesma condição. Este fenômeno pode ser causado por várias razões aleatórias, dentre as quais as variações no fluxo de plasma, como turbulências e variações na densidade, forças de reação advindas da própria gota, tais como reações químicas com perda ou ganho de massa, mudanças de forma e dimensão ou variações na densidade da gota. Mas, de uma forma geral, os experimentos com maior corrente e menor comprimento de arco apresentaram um comportamento mais homogêneo com relação à dispersão. Acredita-se que isso pode ser devido a diferenças de massa entre as gotas de experimentos com correntes diferentes (pode-se esperar que gotas maiores sejam mais sensíveis a perturbações de fluxo) ou diferenças de massa entre as gotas num mesmo experimento.

Ainda observando a Figura 6, um aumento no comprimento do arco, bem como uma redução de corrente tornam as curvas mais “parabólicas”, evidenciando a existência de uma aceleração média (positiva) sobre as gotas nestas condições.

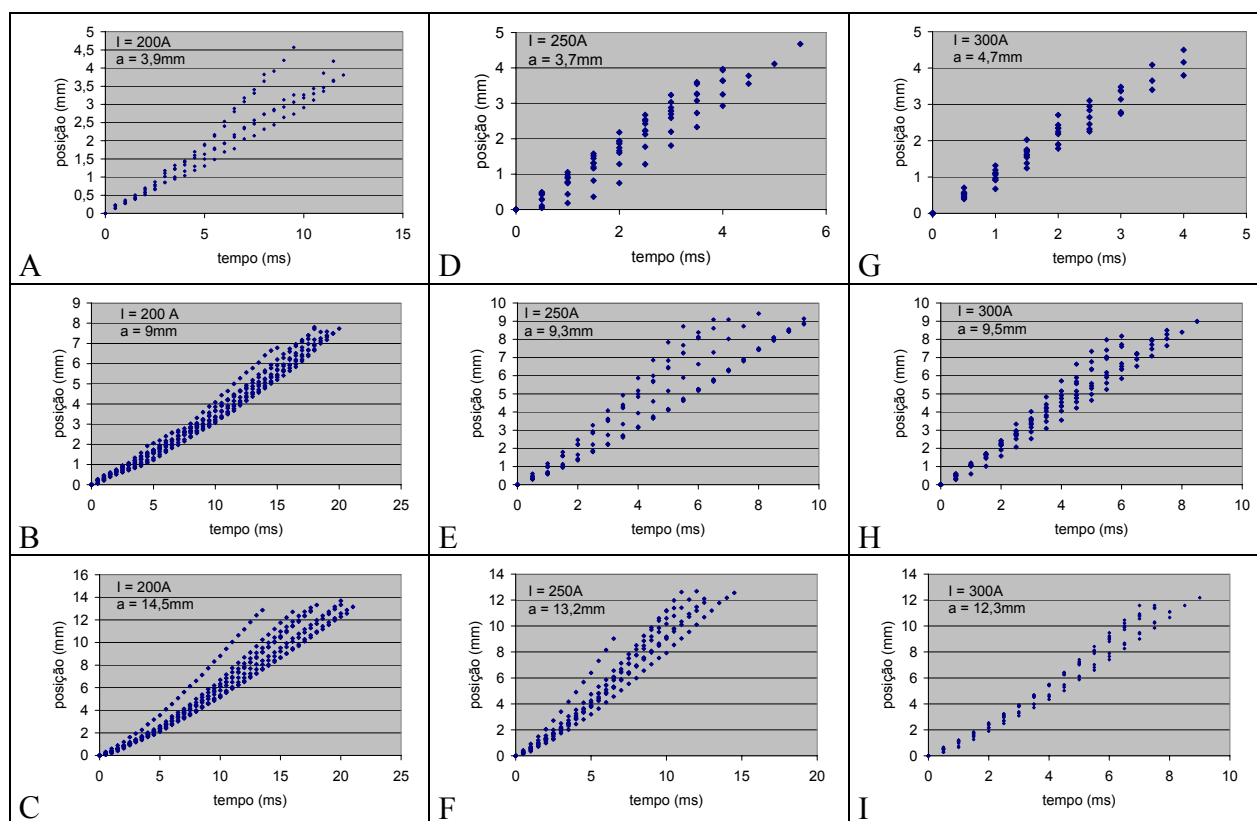


Figura 6 – Curvas posição x tempo levantadas com as combinações de I e DBCP

Como pode ser visto na Figura 7, mesmo que pequena, ainda pode-se observar alguma dispersão no trajeto de cada gota. Essa pequena dispersão pode ser atribuída aos mesmos fatores que foram usados para justificar a dispersão entre as curvas para cada gota, mas outra causa pode ser apontada, ou seja, o erro experimental durante o levantamento dessas trajetórias. Para se certificar das razões da aleatoriedade do fluxo de plasma e da estabilidade físico-química da gota em transferência, necessitar-se-ia de condições muito sofisticadas para o momento atual. Não se pode afirmar de forma conclusiva se a dispersão observada em cada uma das curvas levantadas é devida a algum outro fator além do próprio erro experimental, que foi levantado em outro experimento.

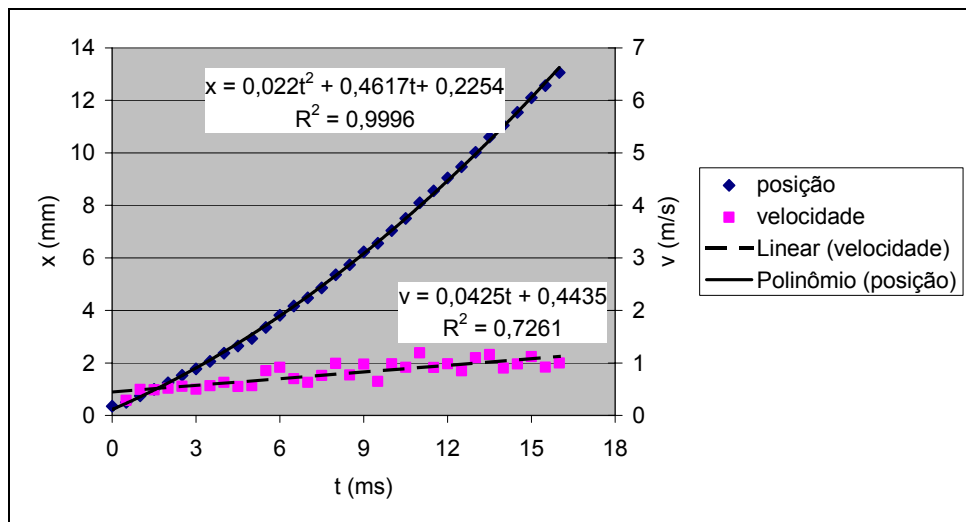


Figura 7 – Equações horárias da velocidade e posição para o experimento C.

4. CONCLUSÃO

Tendo em vista as condições empregadas (soldagem com eletrodos de aço carbono, posição plana, fonte no modo corrente constante, etc.), conclui-se que cada gota viaja de forma particular dentro do plasma, muito embora sob condições idênticas de corrente e comprimento de arco (tensão). Entretanto, há uma tendência a um comportamento médio em cada experimento, o que permitiria diferenciar o comportamento apresentado em cada corrente e comprimentos de arco utilizados. Conclui-se também que as correntes maiores apresentam mais homogeneidade entre as suas gotas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a: Prof. Louriel Vilarinho, Temístocles de Sousa Luz e Oreste Guerra Neto por sua contribuição à pesquisa; CNPq e FAPEMIG pelo suporte financeiro; e ao Laprosolda pela infraestrutura indispensável para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRECHT, H. –E., TROPEA, M. B., DAMASCHKE, N. 2000. *Laser Doppler and Phase Doppler Measurement Techniques*. Experimental Fluid Mechanics. Springer-Verlag, Berlin.
- ALLUM, C. J. 1983. MIG welding – time for a reassessment. *Metal Construction*, 15, pp. 24-29.
- BÁLSAMO, P.S.S., VILARINHO, L. O., VILELA, M. & SCOTTI, A.; 2000, Development of an Experimental Technique for Studying Metal Transfer in Welding: Synchronized Shadowgraphy, *The Int. Journal for the Joining of Materials*, vol 12, no. 1, The European Institute for Joining of Materials (JOM), Denmark, pp1-12
- CARON, V. 1962. Study of drop motion in the mild steel-argon arc welding system. *Canadian Metallurgical Quarterly*, Vol. 9, n. 1, pp. 373-380.
- DRAIN, L. E. 1980. *The Laser Droplet Technique*. John Wiley & Sons, New York.
- FROHN, A., ROTH, N., 2000. *Dynamics of Droplets*. Springer-Verlag, Alemanha, 292p.
- LANCASTER, J. F. 1984. *The physics of welding*. Pergamon Press, pp 54-258.
- LESNEWICH, A. 1958. Control of melting rate and metal transfer in gas shielded metal arc welding. *Welding Journal, AWS*, 37 (8), pp 343s-353s e 418s-425s.
- LIN, Q., LI, X. SIMPSON, S. W. 2001. Metal Transfer Measurements In Gas Metal Arc Welding. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 34, pp 347-353.
- LUDWIG, H. C. 1957. Metal Transfer Characteristics in Gas-Shielded Metal Arc Welding, *Welding Journal, AWS*, 36 (1), pp . 23s-26s.

- MA, J.; APPS, R. L.. 1983. Analyzing Metal Transfer During MIG Welding. *Welding and metal fabrication*, Vol. 51, pp. 119-128.
- MAIA, T. C. G.. 2001. Utilização de Técnicas de Processamento Digital de Imagens no Estudo de Transferência Metálica em Soldagem a Arco Voltaico. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Uberlândia, maio 2001.
- NEEDHAM, J. C., COOKSEY, C. J., MILNER, D. R. 1960. Metal transfer in inert gas shielded arc welding. *British Welding Journal*, 7 (2), pp. 101-114.
- RAFFEL, M., WILLERT, C., KOMPENHANS, J. 1998. *Particle Image Velocimetry: A Practical Guide*. Experimental Fluid Mechanics. Springer-Verlag, Berlim.
- RHEE, S., KANNATEY-ASIBU JR, E.. 1992. Observation of Metal Transfer During Gas Metal Arc Welding. *Welding Journal*, 71 (10), pp381s-386s
- SCHODL, R. 1986, Laser-two-Focus Velocimetry. *Proc. Advanced Instrumentation for Aero Engines Components*, AGARD-CP-399, pp. 7-1 a 7-31.
- SCOTTI A.. 1998. A review on special metal transfer modes in gas metal arc welding. *Journal of Brazilian Society of Mechanical Sciences*, Vol. XX, (3), pp. 465 – 478.
- SCOTTI, A.. 2000. Mapping transfer modes for stainless steel gas metal arc welding. *Science and Technology of Welding & Joining*, 1 April 2000, vol. 5, no. 4, pp. 227-234(8). Institute of Materials, published by Maney Publishing
- SUBRAMANIAM, S.; WHITE, D. R.; JONES, J. E.; LYONS, D. W. 1998. Droplet transfer in pulsed gas metal arc welding of aluminum. *Welding Journal, AWS*, 77 (11), pp. 458s-464s.
- VILARINHO, L. O., SCOTTI, A. 2000. An Alternative Algorithm For Synergic Pulsed Gmaw Of Aluminium. *Australasian Welding Journal*, v. 45, n. 2nd, pp. 36-44.
- WASZINK, J. H.; PIENA, M. J. 1986. Experimental investigation of drop detachment and drop velocity in GMAW, *Welding Journal*, vol. 65 (11), pp. 289s – 298s.

MEASUREMENT AND EVALUATION OF THE DROP MOTION IN MIG/MAG METAL TRANSFER

Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues

Federal University of Uberlândia, Laprosolda, Campus Santa Mônica, Bloco 1M, 38400-032
ceduardo@mecanica.ufu.br

Americo Scotti

Federal University of Uberlândia, Laprosolda, Campus Santa Mônica, Bloco 1M, 38400-032
ascotti@mecanica.ufu.br

Abstract: *In this work, a set of position versus time curves referring to droplets in transference was analyzed, to evaluate the effect of the welding current and arc length on the configuration of the curve in the employed welding conditions. High-speed filming of carbon steel arcs shielded with Ar + 5%O₂ was taken, and the respective images was analyzed by appropriated digital analysis tools. Three levels of current and arc length were used. The result shows that both current and arc length influence the configuration of the current versus time curves of the droplets in transference.*

Keywords: *Welding, MIG/MAG, Metal transfer, digital imaging.*