

MODELAGEM DA FUSÃO DO ELETRODO NO PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG

Paulo J. Modenesi

Prof. Adjunto, PhD., Universidade Federal de Minas Gerais, Depto. de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Rua Espírito Santo, 35, Centro, Cep. 30.160-030, Belo Horizonte-MG. E-mail: modenesi@demet.ufmg.br

Ronald Izidoro Reis

Pesquisador, Doutor, Centro Técnico Aeroespacial, Instituto de Aeronáutica e Espaço. Praça Mal. Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, CEP 12228-904, São José dos Campos – SP. E-mail: ronaldir@iae.cta.br

Resumo. *Na soldagem MIG/MAG (ou GMAW), um eletrodo é continuamente alimentado e fundido pelo arco elétrico sob a proteção de um meio gasoso. As características da fusão deste eletrodo são fundamentais para o processo, afetando a estabilidade e a produtividade do processo e o formato do cordão. O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um modelo numérico para o cálculo da distribuição de temperatura ao longo do eletrodo durante a soldagem MIG/MAG que permite levar em consideração a variação das propriedades físicas do material do eletrodo com a temperatura. Dados experimentais de testes de soldagem MIG/MAG com uma fonte de corrente constante foram utilizados juntamente com este modelo para estimar variações na quantidade de metal de adição vaporizado e na de calor fornecido pelo arco em função da corrente de soldagem. Os resultados obtidos foram comparados com dados de literatura e são usados, juntamente com filmagem de alta velocidade da região do arco para propor um mecanismo para a anomalia na variação da velocidade de fusão com a corrente de soldagem que é observada quando se usa fontes de corrente constante.*

Palavras-chave: Soldagem GMAW, eletrodo, fonte de energia, taxa de fusão, modelo.

1. INTRODUÇÃO

A velocidade de fusão do eletrodo é uma característica fundamental do processo de soldagem a arco que afeta as suas características operacionais e a sua produtividade. Na soldagem MIG/MAG com fontes de tensão constante, para uma extensão fixa do eletrodo, a relação entre esta velocidade e a corrente tem um formato típico parabólico (figura 1a).

Entretanto, na soldagem com fontes de corrente constante, uma forma de operação importante, por exemplo, na soldagem com corrente pulsada, resultados de alguns autores⁽¹⁻³⁾ mostram a existência de uma anomalia na curva de velocidade de fusão em função da corrente (figura 1b). A origem desta anomalia foi atribuída a diversos fatores como, por exemplo, uma melhor eficiência na fusão do arame na faixa de correntes da anomalia e mudanças na configuração do arco e, portanto, na distribuição de calor entrando no eletrodo para a fusão do arame no processo GMAW.

No presente trabalho, um modelo numérico que considera a contribuição do aquecimento por efeito Joule e do arco e inclui os efeitos da temperatura nas propriedades físicas do arame foi desenvolvido para calcular a distribuição de temperatura no arame e sua velocidade de fusão. Resultados experimentais foram usados juntamente com o modelo para avaliar possíveis mudanças no aquecimento devido ao arco (aquecimento anódico) e na vaporização de metal em função do valor da corrente de soldagem. Finalmente, os resultados obtidos foram comparados com dados de

literatura e são usados, juntamente com filmagem de alta velocidade da região do arco para propor um mecanismo para a anomalia na variação da velocidade de fusão com a corrente de soldagem que é observada quando se usa fontes de corrente constante.

2. MODELAGEM DA VELOCIDADE DE FUSÃO DO ARAME

Para fontes de tensão constante, a relação entre a velocidade de fusão do eletrodo (w) e a corrente (I) é geralmente descrita por um modelo (eq. 1) que considera duas formas de aquecimento do eletrodo (aquecimento pelo arco “ αI ” e por efeito Joule “ $\beta s I^2$ ”).

$$w = \alpha I + \beta s I^2 \quad (1)$$

onde α e β são constantes e s é o comprimento do eletrodo.

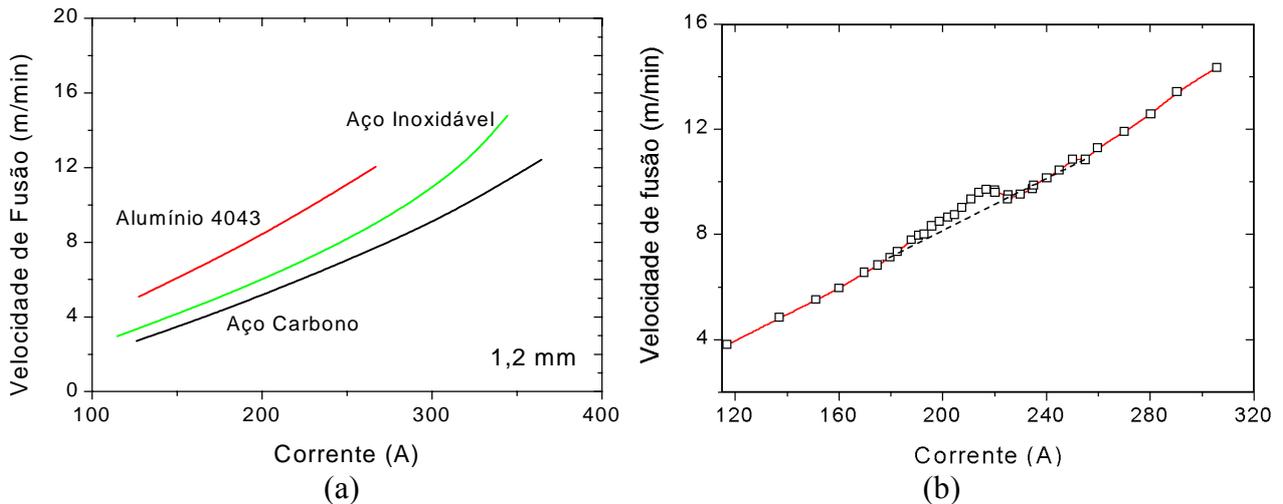


Figura 1. (a) Velocidade de fusão para arames de 1,2mm⁽⁴⁾ – fonte de tensão constante. (b) Velocidade de fusão para arame de aço carbono de 1,0mm, comprimento de eletrodo de 10mm e proteção de Ar-5%CO₂⁽²⁾ – fonte de corrente constante.

A equação 1 pode ser deduzida a partir de um balanço térmico na ponta do eletrodo. A partir deste desenvolvimento, os coeficientes α e β podem ser representados como:

$$\alpha = \frac{V_A}{\rho A [\Delta H_{TOTAL}]} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{r}{\rho A^2 [\Delta H_{TOTAL}]} \quad (3)$$

onde V_A é a tensão elétrica que caracteriza o aquecimento do arame pelo arco, r , ρ e A são a resistividade elétrica, densidade e área da seção transversal do eletrodo, respectivamente. ΔH_{TOTAL} representa o calor contido no material que está deixando o eletrodo e inclui o calor para aquecer (ΔH_{SOL}) e fundir (ΔH_f) o eletrodo, aquecer o metal líquido até a temperatura de destacamento da gota (ΔH_{LIQUID}) e vaporizar (ΔH_V) uma fração (f_V) deste material:

$$\Delta H_{TOTAL} = \Delta H_{SOL} + \Delta H_f + \Delta H_{LIQUID} + f_V \Delta H_V \quad (4)$$

Alternativamente, a velocidade de fusão do arame pode ser avaliada a partir do estudo da distribuição de temperatura ao longo do eletrodo durante a soldagem. Considerando que a temperatura seja constante ao longo da seção transversal do arame e que o calor gerado por efeito Joule ao longo do arame e recebido em sua extremidade pelo arco seja transferido ao longo do arame por condução e pelo movimento de alimentação do arame, a distribuição de temperatura no eletrodo pode ser obtida pela solução da equação:

$$\frac{d}{dz} \left(k \frac{dT}{dz} \right) + w\rho \frac{d}{dz} (c_p \cdot T) = -j^2 r \quad (5)$$

onde w é a velocidade de fusão de arame (considerada como igual, em módulo, à velocidade de alimentação, f), k é a condutividade térmica, ρ é a densidade, c é o calor específico, j é a densidade de corrente e r é a resistividade elétrica do eletrodo. Colocando-se a origem do sistema de coordenadas na extremidade do eletrodo junto do arco (figura 2), as seguintes condições iniciais podem ser consideradas:

$$T(0) = T_f \quad (6)$$

e

$$\left(\frac{dT}{dz} \right)_0 = \frac{1}{k} [w\rho (\Delta H_f + \Delta H_{LIQUID} + f_v \Delta H_v) - jV_A] \quad (7)$$

A segunda condição inicial representa o balanço térmico na ponta do eletrodo.

A equação 5 pode ser resolvida analiticamente se os seus coeficientes forem considerados constantes, resultando em:

$$T = T_f - k_1 z - k_2 \left[1 - \exp\left(-\frac{w}{\alpha} z\right) \right] \quad (8)$$

onde:

$$k_1 = \frac{r j^2}{w\rho c} \quad (9)$$

e

$$k_2 = \frac{1}{\rho c} \left[V_A \frac{j}{w} - \rho (\Delta H_f + \Delta H_{LIQUID} + f_v \Delta H_v) - \alpha r \left(\frac{j}{w} \right)^2 \right] \quad (10)$$

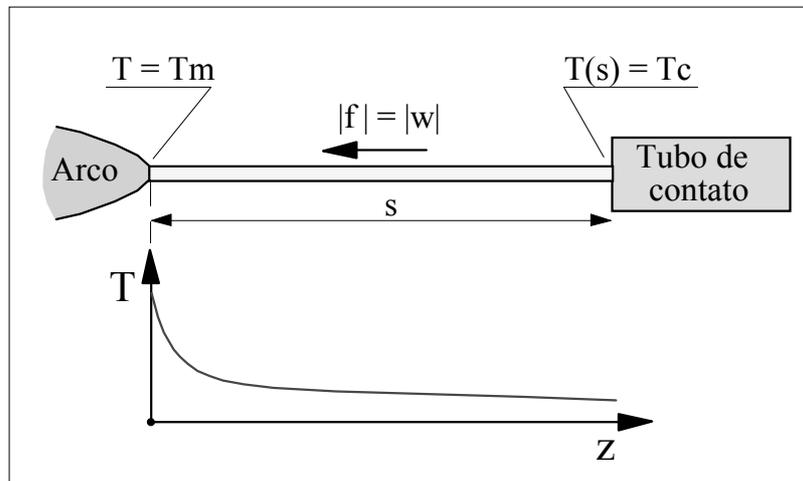


Figura 2 – Sistema modelado. T_m é a temperatura de fusão do arame, T_C é a temperatura do bico de contato, s é o comprimento do eletrodo e f e w são, respectivamente, as velocidades de alimentação e fusão do arame.

Após algumas simplificações, a velocidade de alimentação pode ser explicitada na equação 8 resultando em uma expressão igual à equação (1). No presente trabalho, a equação 5 foi resolvida numericamente pelo método de Runge-Kutta⁽⁵⁾ no ambiente MATLAB considerando a variação das propriedades físicas do material com a temperatura. Valores das propriedades físicas do aço carbono foram obtidas em WASZINK & Van den HEUVEL⁽⁶⁾, ÖZİŞIK⁽⁷⁾ e CARVALHO et al.⁽⁸⁾ e aproximadas por funções polinomiais de regressão.

Como a temperatura do eletrodo tende a variar mais rapidamente na sua extremidade próxima do arco, estas foram calculadas utilizando um passo muito pequeno próximo do arco. Este passo foi aumentado progressivamente à medida que se calculava a temperatura em regiões mais afastadas do arco. Para verificar o desempenho do modelo, os seus resultados foram comparados, considerando propriedades físicas independentes da temperatura, com aqueles previstos pela solução analítica (equação 8). Nos testes realizados, a diferença entre as temperaturas calculadas ao longo do eletrodo pelos dois modelos foi sempre inferior a 1%. No modelo numérico, a tensão de aquecimento (V_A) ou a fração vaporizada (f_V) foram colocadas como parâmetros para o ajuste do modelo a resultados experimentais (medidas de velocidade de fusão do arame em testes com uma fonte de corrente constante) obtidos em trabalho anterior⁽⁹⁾.

3. TESTES DE SOLDAGEM

A figura 3 mostra um esquema da montagem utilizada nos testes de soldagem⁽¹⁰⁻¹¹⁾. Estes foram feitos com uma fonte eletrônica multiprocessos operando no modo corrente constante em chapas de aço carbono (12mm de espessura) que foram previamente esmerilhadas para a retirada de carepa. Argônio comercialmente puro (Ar) e misturas Ar-4%CO₂ e Ar-2%O₂ foram usados para proteção do arco. Os arames usados foram de aço carbono com 1,0 e 1,2mm de diâmetro da classe AWS E70S6.

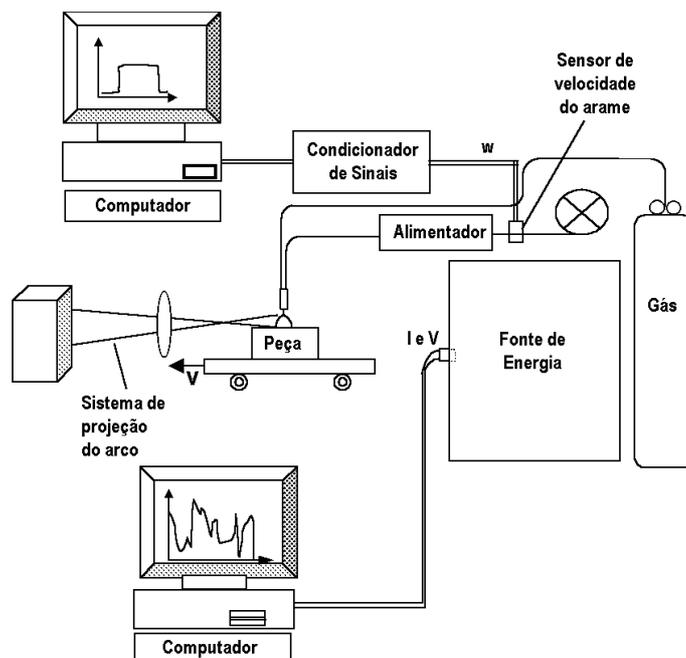


Figura 3 - Diagrama esquemático da montagem desenvolvida para os testes.

Durante os testes, o comprimento de arco foi medido na sua imagem ampliada (5x) projetada sobre um anteparo calibrado. Para permitir o ajuste fino da velocidade de alimentação um potenciômetro adicional (10k Ω) foi colocado em série com o potenciômetro de ajuste (100k Ω) do alimentador. A velocidade do arame foi medida com um sensor de disco ótico e o sinal deste foi armazenado em um computador com uma placa de aquisição de dados (taxa de aquisição de 100Hz). Os sinais de corrente e tensão de soldagem foram tomados na saída da fonte de energia por uma outra placa de aquisição de dados (taxa de aquisição de 5kHz).

Para cada condição experimental (diâmetro e composição do gás de proteção) foram feitos cerca de 20 testes de soldagem com valores de corrente entre cerca de 140 e 340A. Duas extensões do eletrodo foram usadas (13 e 20mm) para o mesmo comprimento de arco (7mm). Para cada teste, um valor inicial para a velocidade de alimentação foi calculado da equação (1) usando valores de α e β obtidos da literatura⁽¹²⁻¹³⁾. No início do teste, o comprimento do arco foi ajustado variando-se a

velocidade de alimentação com um potenciômetro de ajuste fino. Uma vez que o processo se estabilizava, os valores de corrente, tensão e de velocidade de alimentação eram registrados.

A transferência de metal, para valores de corrente em que se observava a anomalia na velocidade de alimentação, foi estudada com a técnica de "shadowgrafia" por laser⁽¹⁴⁻¹⁵⁾ uma câmara de vídeo de alta velocidade (operando a 2000 quadros/s). Estes testes foram realizados com o arame E70S6 (1,0mm), proteção por Ar-2%O₂.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 4 mostra a distribuição de temperatura prevista pelo modelo numérico para o eletrodo de 1,0mm, utilizando-se resultados experimentais de três níveis de corrente de soldagem. Considerou-se, para estes cálculos, uma temperatura do bico de contato de 100°C, uma taxa de vaporização de 5% ($f_v = 0,05$) e utilizou-se V_A como o parâmetro de ajuste do modelo para um comprimento do eletrodo de 13mm que foi utilizado nos testes considerados.

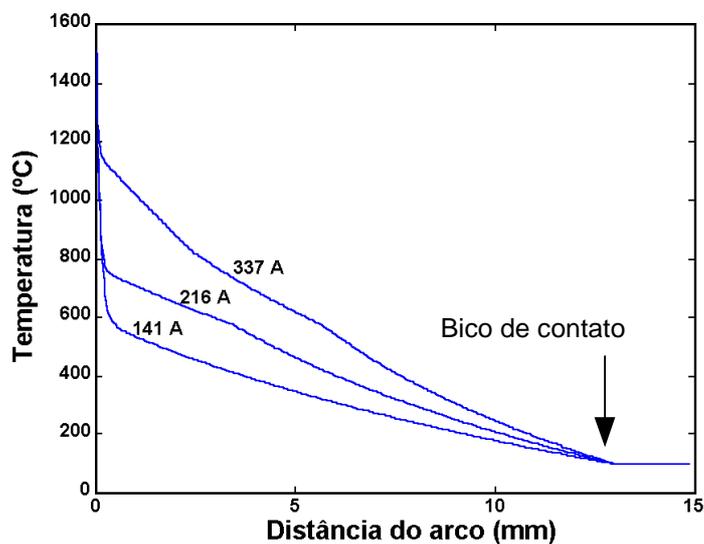


Figura 4 – Distribuição de temperatura no eletrodo prevista pelo modelo para diferentes níveis de corrente. Arame de aço carbono de 1,0mm de diâmetro.

Pode-se observar que o perfil de temperatura previsto apresenta duas regiões características (descritas a partir do lado direito da figura 3): (a) a primeira, que corresponde a quase toda extensão do eletrodo, apresenta um aumento da temperatura relativamente suave a partir do bico de contato e (b) a segunda, bem junto ao arco, caracterizada por um aumento abrupto de temperatura. Na primeira região, o aquecimento do eletrodo é dominado pelo efeito Joule e, na segunda, além deste, o calor recebido pelo arco desempenha um papel importante. Esta distribuição é similar à indicada por outros autores⁽⁶⁾ e à obtida quando se utiliza a equação 5⁽¹⁶⁾. Contudo, como no presente estudo, o modelo utilizado considera a variação das propriedades físicas com a temperatura, o primeiro trecho da curva de aquecimento (dominado pelo efeito Joule) não é linear como o previsto pela equação 5.

O modelo sugere que uma maior corrente de soldagem resulta em uma contribuição mais importante do efeito Joule para a fusão do eletrodo. Na figura 4, a variação da corrente de soldagem de 140 para 335A elevou a temperatura do arame, na região de transição entre o aquecimento predominantemente por efeito Joule para o aquecimento pelo arco de cerca de 600°C para 1200°C.

A figura 5 mostra curvas da velocidade de fusão para arames com diâmetro de 1,0 e 1,2mm. Pode-se observar a anomalia na curva (setas), caracterizada pela redução de sua derivada, particularmente visível nas curvas obtidas com comprimento do eletrodo de 13mm. A anomalia começa ao redor de 200A para arame de 1,0mm e de 250A para arame de 1,2mm, Estes valores são

próximos e similares aos indicados por NUNES⁽²⁾ e estão próximos da transição entre a transferência globular e spray para as condições de soldagem usadas.

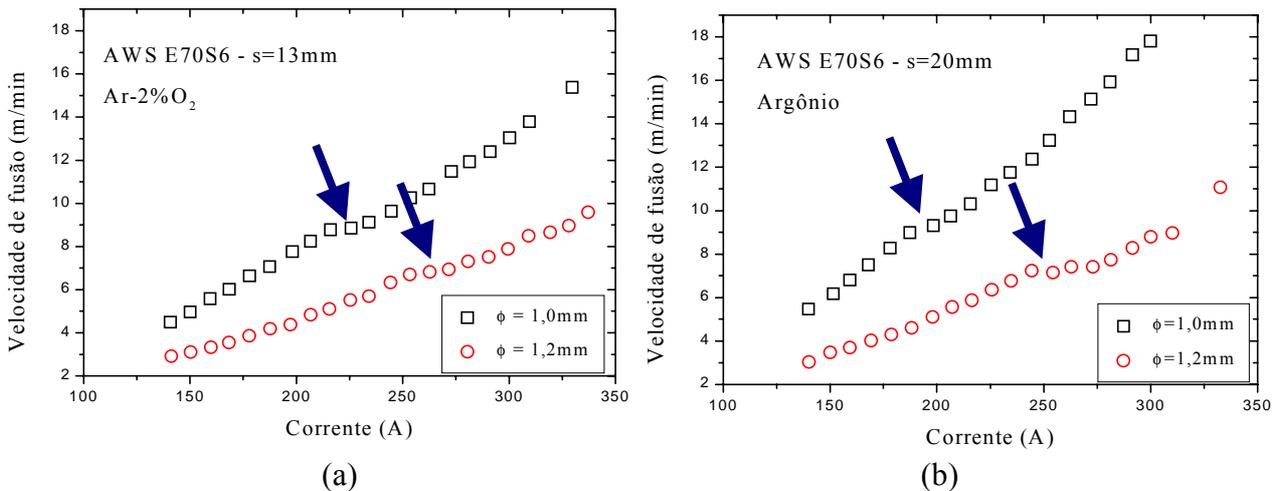


Figura 5 – Velocidade de fusão do arame de aço carbono E70S6 com extensão de (a) 13mm e (b) 20mm. ϕ = diâmetro do arame. As setas indicam a região da anomalia.

A figura 6 apresenta os valores da tensão de aquecimento pelo arco (V_A) preditos para uma vaporização constante de 5% ($f_v = 0,05$) em função da corrente para a série de testes com o arame de 1mm. Os resultados sugerem que, caso a vaporização do metal de adição possa ser considerada como insensível à corrente de soldagem, a anomalia na velocidade de fusão seria caracterizada por uma queda no aquecimento do eletrodo pelo arco. Observou-se, ainda, que esta queda foi mais acentuada e ocorreu em uma faixa mais ampla de corrente na soldagem com o arame de 1mm (em comparação com o arame de 1,2mm de diâmetro).

A figura 7 apresenta, novamente para o arame de 1mm, a variação da fração vaporizada (f_v) do metal do eletrodo predita pelo modelo numérico considerando os dados experimentais e uma tensão de aquecimento do eletrodo pelo arco fixa de 4V. Observa-se, de forma similar à figura anterior, uma mudança no padrão de variação de f_v para níveis de corrente associados com a anomalia na velocidade de fusão, sendo o início da região da anomalia caracterizada por um mínimo na fração de metal vaporizado. Resultados similares foram observados para as outras condições de ensaio, por exemplo, para maiores valores do comprimento do eletrodo e diâmetro de eletrodo de 1,2mm.

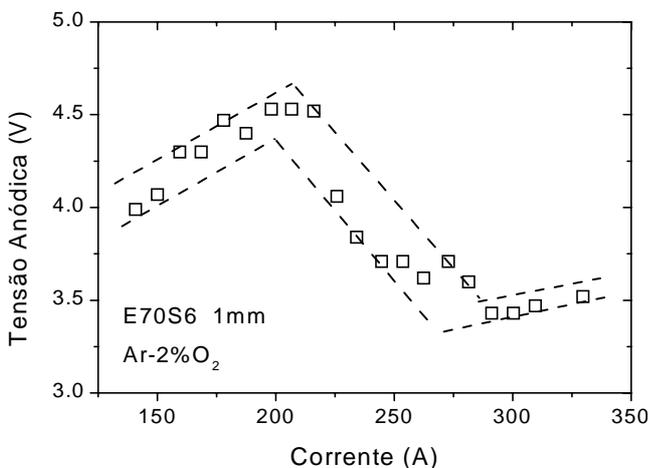


Figura 6 - Variação da tensão de aquecimento pelo arco (V_A) para o arame E70S6, extensão de 13mm, soldando com Ar-2%O₂ e diâmetro de 1,0mm, calculada para uma vaporização constante de 5%.

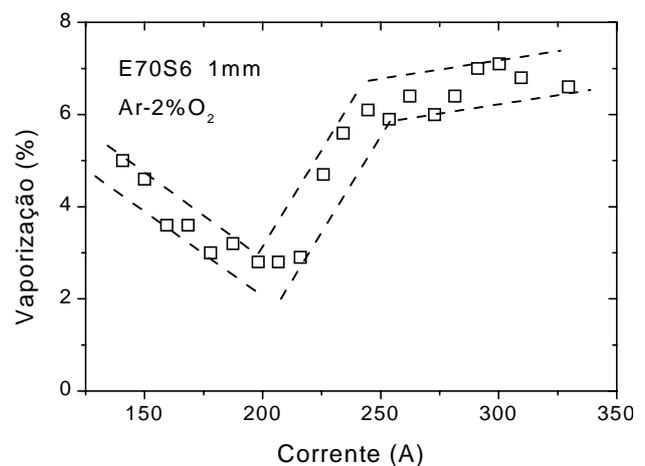


Figura 7 - Variação da vaporização para o arame E70S6, extensão de 13mm, soldando com Ar-2%O₂ e diâmetro de 1,0mm, calculada para uma V_A constante de 4V.

Uma forma de se verificar estes resultados pode ser através da sua comparação com resultados da medida da quantidade de fumos gerados pelo processo de soldagem uma vez, que estes são formados principalmente pela oxidação do material vaporizado das gotas de metal fundido pelo arco⁽¹⁷⁻¹⁸⁾. Pode-se, assim, esperar uma relação entre f_v e a quantidade de fumos gerados pelo processo de soldagem. Segundo HAIDAR⁽¹⁹⁾, na soldagem GMAW, o vapor de metal no arco se origina principalmente da gota na extremidade do arame e de gotas no plasma entre o arame e a peça e da poça de fusão. A evaporação proveniente da poça é relativamente pequena devido à menor temperatura superficial do metal líquido nesta. A evaporação das gotas após o seu destacamento do arame deve também ser pequena devido ao curto tempo de deslocamento no interior do plasma até a poça de fusão, particularmente no modo de transferência spray.

MA & APPS⁽¹⁾ observaram para níveis de correntes associados com a transição de modo de transferência globular para spray projetada, uma redução na formação de fumos (figura 8), cuja forma é similar à predita pelo modelo aqui desenvolvido. Eles, entretanto, associaram este resultado a uma redução na temperatura da gota de metal líquido devido à maior eficiência de fusão do arame.

DENNIS et al.⁽²⁰⁾ avaliaram, através de um modelo e de testes experimentais, a taxa de formação de fumos (*FFR-Fume Formation Rate*) na soldagem GMAW para os modos de transferência globular e spray com proteção de Ar-5%CO₂-2%O₂ e arame de 1,2mm. Os resultados obtidos também indicam um mínimo na quantidade de fumos gerados similar à indicada por MA & APPS⁽¹⁾ e à variação na quantidade de vaporização aqui prevista.

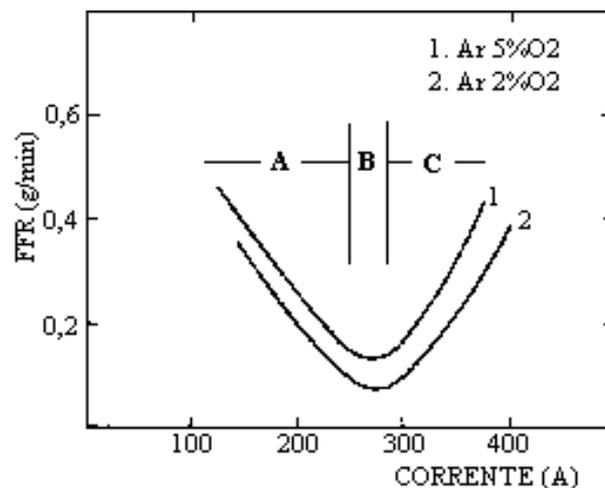


Figura 8 - Taxa de geração de fumos (FFR) na soldagem GMAW com eletrodos de aço carbono de 1,2mm. A, Globular; B, Spray projetado; C, Spray em fluxo⁽¹⁾.

A figura 9 mostra o resultado da filmagem com a câmera de alta velocidade da região do arco para condições de soldagem dentro ou próximas da faixa de corrente em que a anomalia na velocidade de fusão ocorre. Nesta figura, os quadrados correspondem aos testes experimentais originais e os círculos aos testes com filmagem.

Observa-se que a anomalia na velocidade de fusão ocorre na transição entre os modos de transferência spray projetada e spray em fluxo e não entre os modos de transferência globular e spray como proposto originalmente por NUNES⁽²⁾. Para as condições experimentais, correntes entre cerca de 200 e 250A, a extremidade do arame, apresentando inicialmente apenas uma pequena redução de diâmetro característica da transferência spray projetada muda para uma longa e fina coluna de metal líquido típica de transferência spray em fluxo.

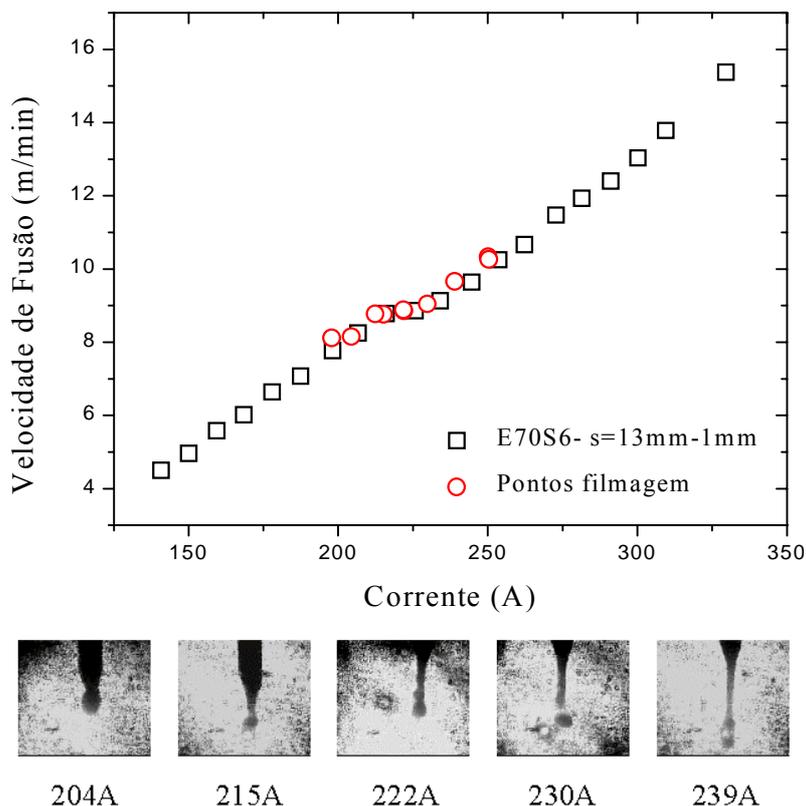


Figura 9 - Características de transferência de metal na região de correntes da transição de modo de transferência. Quadrados - resultados originais. Círculos - testes que foram filmados. Gás: Ar-2%O₂.

Esta mudança na forma da extremidade do arame aumenta a área superficial do arame que está em contato direto com o arco. Por outro, o calor absorvido pelo metal fundido nas regiões próximas da extremidade do filamento de metal líquido, o qual é típico da transferência spray em fluxo, encontra condições menos favoráveis para a sua difusão até a interface sólido-líquido na ponta do arame. Isto é, ao mesmo tempo em que a mudança de geometria da ponta do eletrodo favorece a maior transferência de calor para o metal líquido, parte deste calor é mais dificilmente transferido até o metal sólido e, portanto, menos eficientemente utilizado para a sua fusão. Esta situação deve favorecer um maior aquecimento e uma maior vaporização do metal líquido e, portanto, uma menor eficiência na fusão do eletrodo. A figura 10 ilustra o que foi discutido.

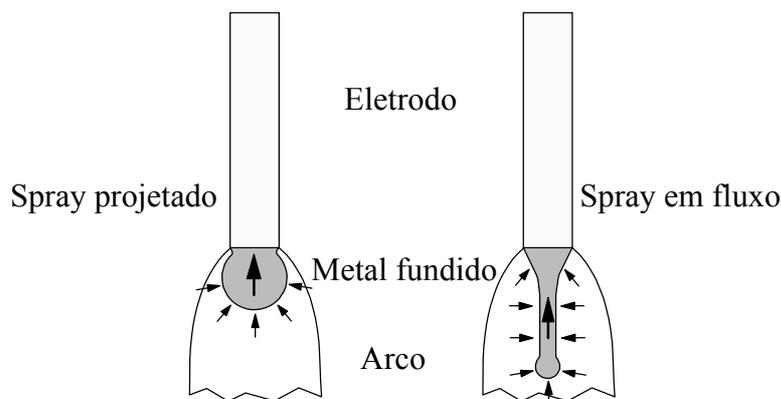


Figura 10 – Mudança de geometria na ponta do eletrodo e seu efeito na transferência do calor fornecido pelo arco através do metal fundido até a ponta sólida do eletrodo.

5. CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um modelo numérico para a distribuição de temperatura ao longo do eletrodo que permite considerar as variações das propriedades físicas do material com a temperatura e permite o uso da fração vaporizada de material do eletrodo pelo arco ou da tensão que caracteriza a transferência de calor do arco para o eletrodo (V_A) como parâmetro de ajuste de dados experimentais ao modelo. A anomalia na velocidade de fusão foi associada com a transição entre os modos de transferência spray projetado e spray em fluxo. O modelo numérico desenvolvido sugere que, para valores de corrente associados com presença da anomalia na velocidade de fusão, mudanças bruscas nas condições de aquecimento do eletrodo pelo arco e/ou na fração do metal sendo fundido que é vaporizado pelo arco. A vaporização prevista pelo modelo numérico foi comparada com dados de literatura para a formação de fumos na soldagem GMAW e a forma dos resultados concordou bem com os dados de alguns autores.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo apoio financeiro, ao CNPq pela concessão de bolsa de iniciação científica e à ESAB pelo fornecimento do arame sólido.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. MA, J. APPS, R.L. MIG Transfer Discovery of Importance to Industry, **Welding and Metal Fabrication**, setembro 1982, p. 307-316.
2. NUNES, J.L. Metal Transfer Investigations with a Synergic Power Supply. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Soldagem) - Cranfield Institute of Technology, Cranfield, UK, 1982, 198p.
3. KIM, Y.S. Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Department of Materials Science and Engineering, MIT, Cambridge, 1989, 294p.
4. HOLLIDAY, D.B. et al., Gas Metal Arc Welding. In: **Welding Handbook: Welding Processes**, Vol. 4, 8th Ed., Miami: American Welding Society, p. 109-155.
5. PACITTI, T. **Programação e Métodos Computacionais**. Rio de Janeiro: Editora LTC S.A., 1977 - Vol.2, 2a edição, p.495-497
6. WASZINK, J.H., Van den HEUVEL, G.J.P.M. Measurements and Calculations of the Resistance of the Wire Extension in arc Welding, In: ARC PHYSICS AND WELD POOL BEHAVIOUR. The Weld. Inst., London, 1979, p.227-239.
7. ÖZİŞİK, M.N. **Transferência de Calor: Um Texto Básico**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 1990, 661p.
8. CARVALHO, J.L.R., ASSIS, P.S., FIGUEIRA, R.M., CAMILO, R.D., CAMPOS, V.F. **Dados Termodinâmicos para Metalurgistas**. Belo Horizonte: Editora da Universidade Federal de Minas Gerais, 1977. 392p.
9. REIS, R.I. Anomalias na Velocidade de Fusão do Eletrodo na soldagem GMAW. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004. 123p.
10. REIS, R.I., LEMOS, E.A., MODENESI, P.J. Fusão do Arame na Soldagem GMAW com Fonte de Corrente Constante. In: II COBEF - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2003, Uberlândia. **Anais...** São Paulo: ABCM, 2003.
11. MODENESI, P.J., STARLING, C.M.D., REIS, R.I. Wire Melting Phenomena in GMA Welding, **Science and Technology of Welding and Joining**, 2004. (Trabalho submetido e aceito para publicação)

12. QUINTINO, L., ALLUN, C.J. Pulsed GMAW: Interactions Between Process Parameters –part I, **Welding and Metal Fabrication**, março 1984, p.85-89.
13. FOOTE, W.J. Welding C-Mn Steels Using the Pulsed Current MIG Welding Process. Tese (Doutorado em Engenharia de Soldagem) - Cranfield Institute Technology, Cranfield, UK, 1986, 246p.
14. SUBRAMANIAM, S., WHITE, D.R., JONES, J.E., LYONS, D.W. Droplet Transfer in Pulsed Gas Metal Arc Welding of Aluminum, **Welding Journal**, v.77, n.11, nov. 1998, p. 458s-464s.
15. VILARINHO, L.O. Desenvolvimento e Avaliação de um Algoritmo Alternativo para Soldagem Mig Sinérgica de Alumínio. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, UFU, Uberlândia, 2000, 120.p.
16. MODENESI, P.J. Distribuição de Temperatura e Fusão do Eletrodo na Soldagem GMAW, In: XXII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA SOLDAGEM, Blumenau: Associação Brasileira de Soldagem, 1996, p. 197-206.
17. BOSWORTH, M.R., DEAM, R.T. Influence of GMAW Droplet Size on Fume Formation Rate, **J. Phys.D: Appl. Phys.**, n.33, 2000, p. 2605-2610.
18. REDDING, C.J., Fume Model for Gas Metal Arc Welding, **Welding Journal**, v.81, n.6, junho 2002, p.95s-103s.
19. HAIDAR, J. An Analysis of Heat Transfer and Fume Production in Gas Metal Arc Welding. III. **Journal of Applied Physics**, v. 85, n. 7, abril 1999, p. 3448-3459.
20. DENNIS, J.H., HEWITT, P.J., REDDING, C.A.J., WORKMAN, A.D. A Model for Prediction of Fume Formation Rate in Gas Metal Arc Welding (GMAW), Globular and Spray Modes, DC Electrode Positive. **Ann. Occup. Hyg.**, v.45, n.2, 2001, p. 105-113.

WIRE MELTING MODELING IN GMA WELDING

Paulo J. Modenesi

Associate Professor, PhD., UFMG, Dept. of Metallurgical and Materials Engineering. Rua Espírito Santo, 35, Centro, 30.160-030, Belo Horizonte-MG. E-mail: modenesi@demet.ufmg.br

Ronald Izidoro Reis

Researcher, PhD, Aerospace Technical Center, Institute of Aeronautics and Space. Praça Mal. Eduardo Gomes, 50, Vila das Acacias, 12228-904, Sao Jose dos Campos-SP. E-mail: ronaldir@iae.cta.br

Abstract. The melting of the wire is a fundamental characteristic of GMA welding which influences process stability and productivity, and weld bead shape. The present work describes a numerical model that was developed to calculate temperature distribution along the electrode during welding and to adjusted melting rate and welding current data using the fraction of vaporized material or the arc heating of the electrode as control parameters. The results from this procedure were compared to data from the literature and used with high speed video image recording of the arc region to present a model to explain the anomaly in the melting rate curve that is observed when welding is performed with constant current power supplies.

Keywords. GMA welding, electrode, power supply, wire melting rate, modeling