

ESTUDO DA TRANSFERÊNCIA DE METAL DE UM ARAME TUBULAR “METAL CORED”

Cícero Murta Diniz Starling

Prof. Adjunto, Dr., Universidade Federal de Minas Gerais, Depto. de Engenharia de Materiais e Construção. Rua Espírito Santo, 35, Centro, Cep. 30.160-030, Belo Horizonte-MG. E-mail: starling@demc.ufmg.br

Paulo José 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

Resumo. *A forma pela qual o metal fundido transfere-se do eletrodo para a poça de fusão influencia diversos aspectos operacionais da soldagem, em particular, o nível de respingos e fumos, a capacidade do processo ser utilizado fora da posição plana, o formato do cordão, a estabilidade e o desempenho operacional do processo. Este trabalho pretende colaborar para um maior conhecimento da soldagem com arame tubular (FCAW), avaliando alguns fatores e características determinantes da transferência metálica resultante da soldagem com um arame "metal cored". O estudo da transferência metálica foi realizado através da técnica de "shadowgrafia", utilizando-se uma fonte de laser e uma câmera filmadora de alta velocidade. As filmagens foram realizadas para um arame tubular "metal cored" com 1,2mm de diâmetro variando-se o gás de proteção (100%CO₂ e 75%Ar-25%CO₂) e mantendo-se fixos os valores dos comprimentos energizado do eletrodo (16,0mm) e do arco (3,5mm). Na soldagem com 75%Ar-25%CO₂, verifica-se que em torno de 175A a transferência é globular com a presença de alguns curtos circuitos. Em torno de 240A, ocorre uma redução no diâmetro médio da gota, passando a ser similar ao do eletrodo. Para este nível de corrente, a transferência ocorre de forma axial com um pequeno empescoçamento do arame, indicando que a mesma é similar à spray projetado. Na soldagem com 100%CO₂, verifica-se que em torno de 220A a transferência é globular repulsiva. Em torno de 240A e de 250A, a transferência continua sendo globular repulsiva, entretanto, a frequência de transferência parece aumentar com o aumento da corrente.*

Palavras-chave: *processo FCAW, arame tubular "metal cored", transferência metálica*

1. INTRODUÇÃO

Segundo Marques⁽¹⁾ e a AWS⁽²⁾, a soldagem a arco com arame tubular (FCAW) é um processo que acumula as principais vantagens da soldagem com arame maciço e proteção gasosa (GMAW), como alto fator de trabalho do soldador, alta taxa de deposição, alto rendimento, resultando em alta produtividade e qualidade da solda produzida. Inclui também as vantagens da soldagem manual com eletrodos revestidos (SMAW), como alta versatilidade, possibilidade de ajustes da composição química do cordão de solda e facilidade de operação em campo. A proteção do arco e do cordão de solda é feita por um fluxo de soldagem contido dentro do eletrodo, que pode ser suplementada por um fluxo de gás fornecido por uma fonte externa. No processo FCAW, a parte metálica do arame é a principal responsável pela condução da corrente elétrica até o arco. O arco ocorre externamente ao fluxo e, assim, as condições para a fusão do fluxo são menos favoráveis do que no processo de soldagem ao arco submerso (SAW). Na soldagem FCAW, assim como em outros processos de

soldagem com eletrodo consumível, o material do eletrodo precisa ser aquecido desde a sua temperatura inicial até a sua temperatura de fusão e, a seguir, ser fundido e separado (transferido) do eletrodo para a poça de fusão.

Segundo Modenesi⁽³⁾, a forma pela qual o metal fundido transfere-se do eletrodo para a poça de fusão influencia diversos aspectos operacionais da soldagem, em particular, o nível de respingos e fumos, a capacidade do processo ser utilizado fora da posição plana, o formato do cordão e, enfim, a estabilidade e o desempenho operacional do processo. O estudo da transferência do metal tem sido um assunto de interesse desde que a soldagem a arco com eletrodo foi introduzida. O modo de transferência depende de diversos fatores como, por exemplo, os parâmetros elétricos do arco (tipo e valor da corrente, tensão e polaridade), o diâmetro e composição do metal de adição, tipo e composição do meio de proteção, comprimento energizado do eletrodo, pressão atmosférica, entre outros. Diversas técnicas podem ser utilizadas para o estudo da transferência de metal de adição. Contudo, segundo Lancaster⁽⁴⁾, as técnicas mais comumente usadas podem ser agrupadas em três categorias básicas: métodos mecânicos, métodos de cinematografia (shadowgrafia) e métodos indiretos (medição de efeitos secundários). De acordo com Modenesi et al.⁽⁵⁾, técnicas mecânicas se baseiam no recolhimento, por meio de algum artifício (por exemplo, um disco rotativo e maciço de cobre sobre o qual o arco é aberto) das gotas individuais de metal de adição. Este método é freqüentemente questionado devido à dificuldade de se garantir que as gotas de metal não coalesçam. Métodos indiretos compreendem a medição e análise de um sinal relacionado com o processo de transferência, por exemplo, a corrente e/ou tensão de soldagem, luz e som.

A técnica da shadowgrafia é considerada uma das mais adequadas para o estudo da transferência de metal em soldagem, tendo sido utilizada em vários trabalhos, por exemplo, Subramaniam et al.⁽⁶⁾, Scotti et al.⁽⁷⁾, Kim e Eagar⁽⁸⁾, Baixo e Dutra⁽⁹⁾ e Lucas e Hall⁽¹⁰⁾, e revisada extensivamente por Vilarinho⁽¹¹⁾. Esta técnica consiste na formação da sombra projetada de vários elementos (como eletrodo, gotas e chapa) em um filme fotográfico ou diretamente sobre a lente de uma câmera filmadora. Como a luz do arco é muito intensa e se irradia em todas as direções, não é possível utilizá-la para se produzir esta sombra sendo, assim, necessária uma fonte de luz adicional, normalmente produzida por um laser de He-Ne. Através da utilização de filtros óticos especiais que permitem passar somente a luz do laser (ofuscando quase totalmente a luz do arco), é possível obter a sombra dos elementos interceptados pelo laser. Para se estudar adequadamente os rápidos eventos que ocorrem durante a transferência metálica em soldagem, é necessária a filmagem ou fotografia a alta velocidade da sombra das gotas transferidas. A utilização de filme fotográfico torna esta metodologia muito limitada devido à grande demora entre o experimento e a análise dos resultados, além de fornecer informações somente de um instante do processo, não possibilitando a observação de sua evolução. Com a utilização de uma câmera de alta velocidade (com capacidade para filmar 10^3 quadros por segundo ou mais), é possível uma melhor avaliação da transferência metálica, assim como a medição com maior precisão do tamanho médio das gotas e da freqüência de transferência das mesmas.

Com o desenvolvimento do processo GMAW, a maior parte das investigações passou a ser conduzida neste processo, parcialmente devido às suas ótimas características para a observação da transferência de metal (possibilidade de operar com um arco aberto, sem escória e menor nível de fumos ou fumaças). Modenesi⁽³⁾ realizou uma extensa revisão sobre as principais características da transferência de metal neste processo. De forma contrária ao processo GMAW, o volume de estudos envolvendo o processo FCAW tem sido muito menor sendo que, alguns deles, serão relatados a seguir.

No processo FCAW, a forma de transferência de metal depende particularmente das características do fluxo no núcleo do arame. De acordo com Norrish⁽¹²⁾, arames tubulares básicos operam normalmente com transferência globular não axial a correntes elevadas e curto circuito para menores correntes. Neste caso, o fluxo não fundido forma uma coluna pronunciada a qual se projeta a partir do arame em direção ao arco. Em arames auto-protegidos, as transferências por curto circuito e globular repulsiva são típicas sendo que a tendência desta última pode ser reduzida através de uma formulação adequada do fluxo. Segundo o autor, arames tubulares rutilicos operam

normalmente a altas correntes com uma transferência spray projetada não axial. Parte do fluxo forma uma camada de escória na superfície da gota, uma pequena quantidade se decompõe formando gases de proteção e a parte restante do fluxo é transferida à poça de fusão onde o mesmo se funde e produz uma camada de escória protetora. De acordo com Bracarense et al.⁽¹³⁾, que estudaram a transferência de metal na soldagem de um arame tubular rútilico com 75%Ar-25%CO₂, o fluxo forma uma coluna que toca a poça de fusão e que se quebra imediatamente antes da transferência da gota de metal fundido. Esta coluna de fluxo sustenta a gota, retardando a sua transferência para a poça e, assim, permitindo o seu crescimento.

De acordo com Norrish⁽¹²⁾, arames com o núcleo de pó metálico e que contêm muito poucas adições não metálicas (“metal cored”) se comportam de forma similar a arames sólidos. Transferência por curto circuito é obtida para baixas correntes e transferência por spray projetado para altas correntes. A presença, contudo, de adições capazes de estabilizar o arco possibilita a operação com transferência não repulsiva com eletrodo negativo.

Este trabalho pretende colaborar para um maior conhecimento do processo FCAW, avaliando alguns fatores e características determinantes da transferência metálica resultante da soldagem com um arame tubular “metal cored”. A transferência metálica tem sido extensivamente estudada para o processo GMAW, sendo ainda hoje um tema de interesse. Entretanto, para o processo FCAW, o volume de estudos, particularmente aqueles que envolvam seus aspectos mais fundamentais, tem sido muito menor e será o tema deste trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo da transferência metálica foi realizado através da técnica de shadowgrafia, utilizando-se uma fonte de laser e uma câmera filmadora de alta velocidade. Para a realização das filmagens, utilizou-se um canhão de laser (modelo 1125P da UNIPHASE) com sua fonte de energia e uma câmera filmadora de alta velocidade (modelo ENCORE MAC-8000S da OLYMPUS AMERICA, com possibilidade de aquisição de até 8000 quadros por segundo) acoplada a um monitor controlador de vídeo e a uma lente objetiva. Utilizou-se um suporte (confeccionado em madeira e alumínio) que possibilitou a fixação do canhão de laser, dos filtros óticos e de biombos com orifício para passagem do feixe de laser. A Figura 1 mostra a montagem utilizada a qual foi posicionada de forma perpendicular à direção de soldagem e alinhada com a região a ser filmada. Antes das filmagens, a câmera era regulada para captar 1000 quadros por segundo. Após cada filmagem, a imagem era reproduzida e digitalizada a uma taxa de 30 quadros por segundo por uma placa de captura de vídeo (modelo ATI) instalada em um microcomputador.

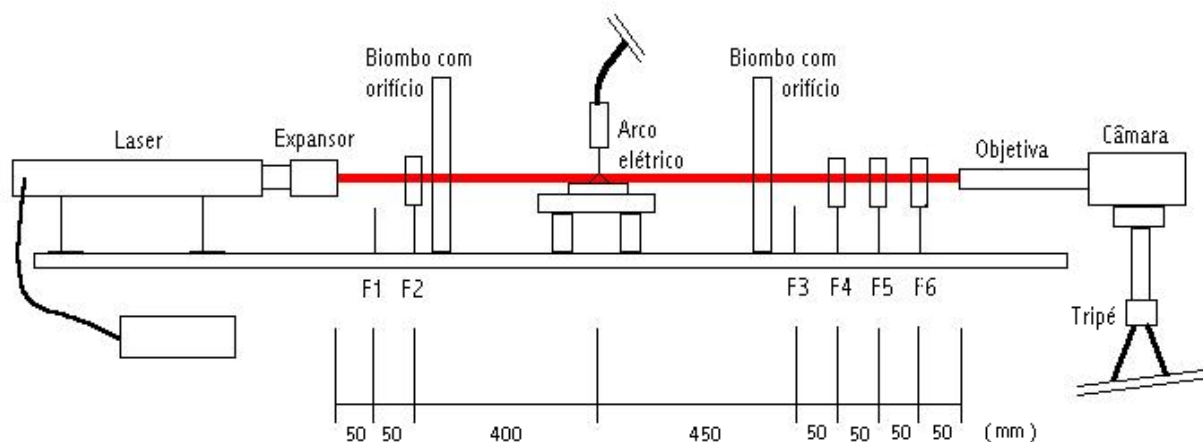
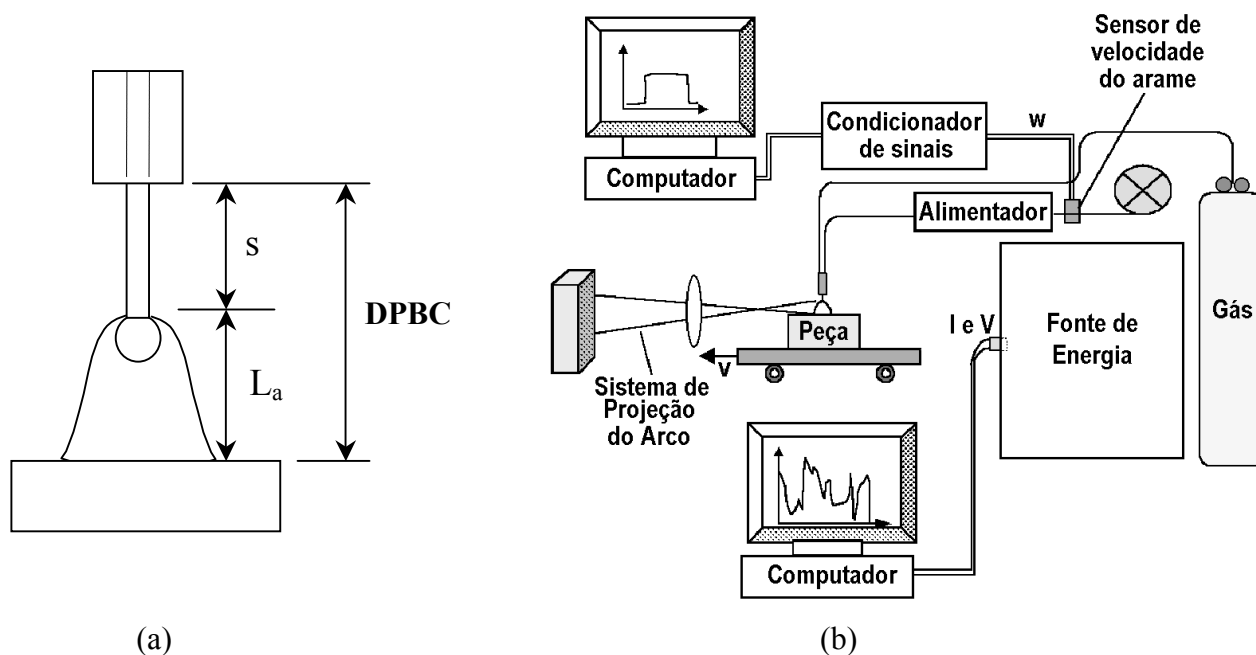


Figura 1. Representação esquemática da montagem do aparato utilizado para a filmagem da transferência de metal. F1 a F6 são os apoios para o posicionamento da seqüência de filtros óticos utilizada.

As filmagens foram realizadas para o processo FCAW com um arame tubular “metal cored” (ASME SFA-5.18: E70C-3M) de 1,2mm de diâmetro, variando-se o gás de proteção (100%CO₂ e 75%Ar-25%CO₂) e mantendo-se fixos os demais parâmetros de soldagem, incluindo-se os valores dos comprimentos energizado do eletrodo (16,05mm) e do arco (3,5mm). Os testes de soldagem foram realizados sobre chapas de aço carbono comum utilizando-se uma fonte de soldagem de tensão constante e o eletrodo com polaridade positiva (inversa, CC⁺). Procurou-se reproduzir algumas condições operacionais resultantes de um estudo anterior realizado pelos autores do presente trabalho, Starling et al.⁽¹⁴⁾, que possibilitou avaliar a velocidade de fusão (w) do arame “metal cored” em função da corrente de soldagem (I) para os mesmos gases de proteção e comprimentos do arco e energizado do eletrodo descritos acima, considerando-se condições de soldagem essencialmente sem a ocorrência de curtos circuitos.

Neste estudo anterior, os valores do comprimento energizado do eletrodo e do comprimento do arco foram ajustados independentemente a partir de modificações na distância entre a peça e o bico de contato, Figura 2(a). A imagem do arco elétrico era projetada (por meio de uma lupa), com uma ampliação conhecida, sobre um anteparo graduado para permitir o ajuste de seu comprimento ao valor pretendido pela variação da tensão da fonte de soldagem. Para que a projeção do arco não se movê-se em relação ao anteparo, facilitando o ajuste do comprimento do arco, manteve-se a tocha de soldagem fixa, enquanto o corpo de prova se deslocava por intermédio de um dispositivo tipo “tartaruga”. No início de cada teste, o valor desejado da velocidade de alimentação do arame era ajustado através de um potenciômetro ligado ao alimentador de arame e, em seguida, promovia-se o ajuste do comprimento do arco. Após estes ajustes, os valores resultantes de corrente de soldagem, tensão do arco (avaliada entre o bico de contato e a peça) e velocidade de alimentação do arame eram coletados através de placas de aquisição de dados acopladas a microcomputadores. Para a aquisição da corrente, utilizou-se um sensor de efeito Hall e, para a aquisição da tensão, um sensor divisor de tensão, ambos ligados a uma placa de conversão analógico/digital controlada por um programa de computador desenvolvido previamente. Para a aquisição da velocidade de alimentação do arame, utilizou-se um sensor de disco ótico ligado a uma placa de aquisição de dados, controlada por um programa de computador. A Figura 2(b) mostra esquematicamente a montagem experimental utilizada, incluindo o sistema de projeção do arco elétrico.



(a) Representação da distância entre a peça e o bico de contato (DBPC) e os comprimentos do arco (L_a) e energizado do eletrodo (s). (b) Representação da montagem experimental utilizada.

Realizaram-se as filmagens para valores baixos, intermediários e altos da corrente de soldagem das curvas de fusão, as quais consideravam condições de soldagem essencialmente sem a ocorrência de curtos circuitos. Para a realização das soldas a serem filmadas, procurou-se reproduzir a mesma metodologia do estudo anterior de Starling et al.⁽¹⁴⁾ que foi descrita anteriormente. Entretanto, em função da retirada do sistema de projeção do arco da montagem experimental (Figura 2(b)) para o posicionamento do aparato utilizado nas filmagens (Figura 1), o comprimento do arco era regulado indiretamente tomando-se como referência os valores da tensão do arco resultantes das soldas correspondentes realizadas no estudo anterior.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra as curvas da velocidade de fusão (w) do arame “metal cored” em função da corrente de soldagem (I) indicando os testes originais, realizados no estudo anterior de Starling et al.⁽¹⁴⁾, e os testes adicionais, realizados no presente trabalho, referentes às condições filmadas. Observa-se que os pontos correspondentes aos testes adicionais para a realização das filmagens se ajustaram bem às curvas de fusão.

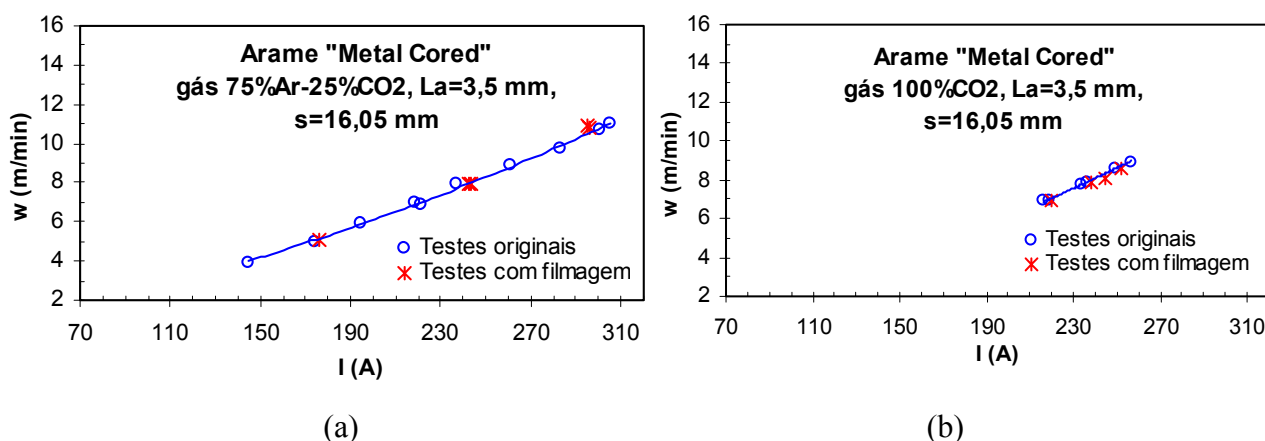
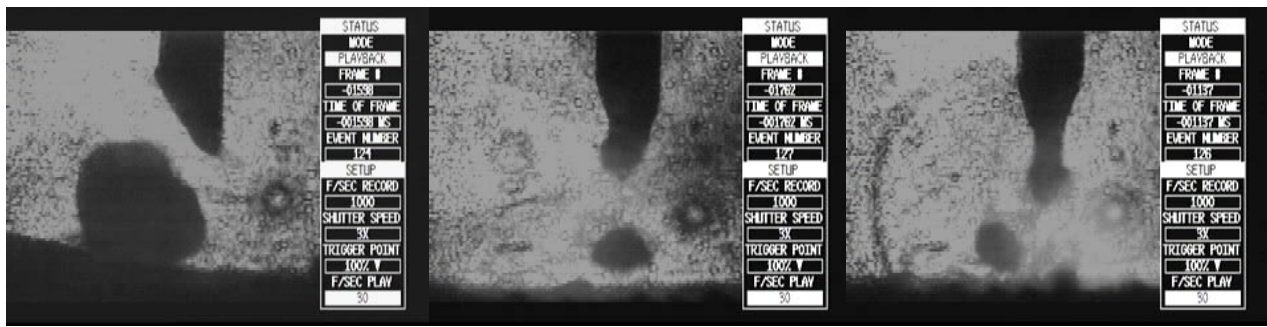


Figura 3. Curvas da velocidade de fusão (w) do arame em função da corrente de soldagem (I), indicando os testes originais (realizados por Starling et al.⁽¹⁴⁾) e os testes adicionais (realizados no presente trabalho) referentes às condições filmadas.

A Figura 4 mostra, para as condições operacionais indicadas na Figura 3(a), alguns quadros típicos das filmagens da transferência de metal na soldagem do arame “metal cored” com 75%Ar-25%CO₂. Verifica-se que para 175A a transferência é do tipo globular com a presença de alguns curtos circuitos. Nota-se que o metal fundido (proveniente da fita metálica) está intimamente misturado ao fluxo (constituído por adições metálicas), tornando difícil uma distinção entre estes dois componentes, e que o diâmetro da gota é superior ao do eletrodo. Para 243A, ocorre uma redução no diâmetro médio da gota, o qual passa a ser similar ao diâmetro do eletrodo. Nota-se também que a transferência ocorre de forma axial com um pequeno empescoçamento do arame, indicando que a mesma é similar à do tipo spray projetado. Para 296A, a transferência continua parecida com spray-projetado, entretanto, o diâmetro médio da gota diminui e já se nota a formação de um pequeno filamento na ponta do eletrodo, indicando que um aumento subsequente na corrente poderia mudar a transferência para spray em fluxo. Para esta corrente, nota-se que, em alguns casos, após o destacamento da gota do eletrodo, a mesma se deforma indicando uma possível tendência de separação entre o metal e o material do fluxo.



175A

243A

296A

Figura 4. Quadros típicos das filmagens da soldagem do arame “metal cored” com 75%Ar-25%CO₂.

A Figura 5 mostra, para as condições operacionais indicadas na Figura 3(b), alguns quadros típicos das filmagens da transferência de metal na soldagem do arame “metal cored” com 100%CO₂. Verifica-se que para 220A a transferência é do tipo globular repulsiva. Novamente, nota-se que o metal fundido está intimamente misturado ao fluxo, tornando difícil uma distinção entre os dois componentes, e que o diâmetro da gota é superior ao do eletrodo. Para 241 e 252A, verifica-se que a transferência continua sendo do tipo globular repulsiva, entretanto, a frequência de transferência parece aumentar com o aumento da corrente.



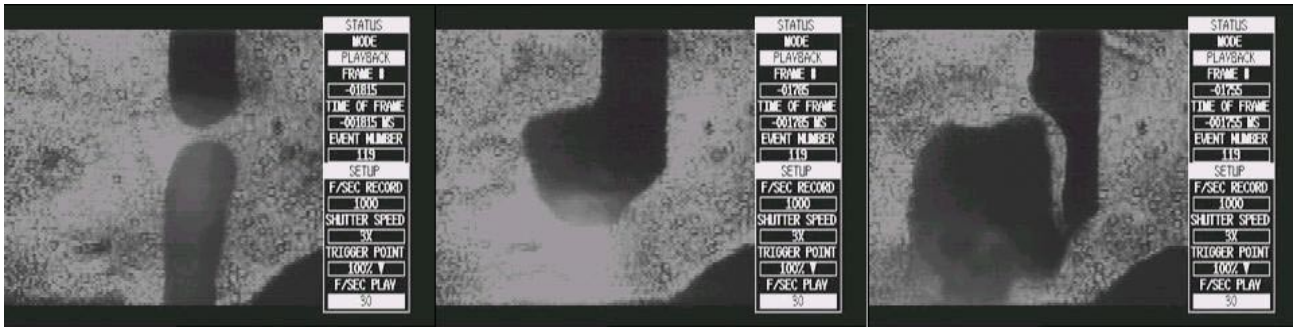
220A

241A

252A

Figura 5. Quadros típicos das filmagens da soldagem do arame “metal cored” com 100%CO₂.

A Figura 6 mostra para corrente em torno de 240A e velocidade de alimentação do arame em torno de 8m/min seqüências de quadros de filmagens da transferência de metal do arame “metal cored” na soldagem com os dois gases. Estas seqüências representam um ciclo típico, envolvendo a formação e o destacamento de uma gota do eletrodo. Além das diferenças no modo de transferência, globular repulsiva na soldagem com 100%CO₂ (Figura 6(a)) e spray projetado na soldagem com 75%Ar-25%CO₂ (figura 6(b)), nota-se que o tamanho das gotas transferidas parece ser maior na soldagem com 100%CO₂ e a frequência de destacamento das mesmas parece ser maior na soldagem com 75%Ar-25%CO₂.



(a)



(b)

Figura 6. Sequências de filmagens da transferência de metal do arame “metal cored” para uma corrente em torno de 240A. (a) Soldagem com 100%CO₂ (quadros defasados em média 30ms).
(b) Soldagem com 75%Ar-25%CO₂ (quadros defasados em média 6ms).

4. CONCLUSÕES

A partir do estudo, pela técnica da shadowgrafia, da transferência de metal de um arame tubular “metal cored” na soldagem FCAW com 75%Ar-25%CO₂ (entre 175 a 296A) e com 100%CO₂ (entre 220 a 252A) verificou-se que:

. Durante a transferência, nota-se de uma forma geral que o metal fundido (proveniente da fita metálica) está intimamente misturado ao fluxo do arame (constituído por adições metálicas), tornando difícil uma distinção entre estes dois componentes.

. Na soldagem com 75%Ar-25%CO₂ para valores mais baixos de corrente, a transferência é do tipo globular com a presença de alguns curtos circuitos. Para valores intermediários de corrente, ocorre uma redução no diâmetro médio da gota (passando a ser similar ao do eletrodo) e a transferência ocorre de forma axial com um pequeno empescoçamento do arame, indicando que a mesma é similar à spray projetado. Para maiores valores de corrente, o diâmetro médio da gota diminui e já se nota a formação de um pequeno filamento na ponta do eletrodo, indicando que um aumento subsequente na corrente poderia mudar a transferência para spray em fluxo.

. Na soldagem com 100%CO₂ para valores mais baixos de corrente, a transferência é do tipo globular repulsiva. Para maiores valores de corrente, a transferência continua sendo do tipo globular repulsiva, entretanto, a frequência de transferência parece aumentar com o aumento da corrente. Considerando um mesmo nível de corrente (em torno de 240A), a soldagem com 100%CO₂ resulta em gotas com maior tamanho médio e com menor frequência de destacamento em relação à soldagem com 75%Ar-25%CO₂.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos que contribuíram para a realização deste trabalho. Em particular à FAPEMIG pelo apoio financeiro, ao CNPq pela concessão de bolsa de iniciação científica e à ESAB pelo fornecimento do arame tubular.

6. REFERÊNCIAS

1. MARQUES, P. V. (coord.) Soldagem Mig/Mag e com arame tubular. In: TECNOLOGIA DA SOLDAGEM. 1^a. ed. Belo Horizonte: ESAB, 1991. cap. 10, p. 213-237.
2. AWS – American Welding Society. **Welding handbook - welding processes**. vol. 2, 8th ed. Miami: AWS, 1991. p. 158-190.
3. MODENESI, P. J. **Introdução à física do arco elétrico e sua aplicação na soldagem dos metais**. 100p. Apostila Didática - Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.
4. LANCASTER, J. F. The physics of welding. Part 2: Mass Transfer and Heat Flow. **IEEE Proceedings B**, 134(6), nov., p. 297-316, 1987.
5. MODENESI, P. J. et al. Transferência de metal de adição na soldagem com eletrodos revestidos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA SOLDAGEM, 10, 1984, Vitória. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Soldagem, 1984. p. 285-296.
6. SUBRAMANIAM, S. et al. Droplet transfer in pulsed gas metal arc welding of aluminum. **Welding Journal**, Miami, p. 458s-464s., nov. 1998.
7. SCOTTI, A. et al. Mapeamento da transferência metálica em MIG com aço inoxidável. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA SOLDAGEM, 24, 1998, Fortaleza. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Soldagem, 1998, 10p.
8. KIM, Y. S; EAGAR, T. W. Metal transfer in pulsed current gas metal arc welding. **Welding Journal**, Miami, 72(7), p. 279s-287s, 1993.
9. BAIXO, C. E. I; DUTRA, J. C. O. Estudo da transferência metálica no processo de soldagem MIG/MAG através de projetor e de tratamento de oscilogramas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA SOLDAGEM, 15, 1989, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Soldagem, 1989. p. 193-209.
10. LUCAS, W; HALL, A. The application of the synergic pulsed process and the influence of the weave pattern in mechanized MIG-welding. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VERTICAL WELDING, 68, 1981, Dusseldorf, Dus Berichte. **Proceeding...** 1981. p. 19-26.
11. VILARINHO, L. O. **Desenvolvimento e avaliação de um algoritmo alternativo para soldagem MIG sinérgica de alumínio**. 2000. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2000.
12. NORRISH, J. **Advanced welding processes**. Bristol: IOP, 1992. 375 p.
13. BRACARENSE, A. Q. et al. Welding current effect on diffusible hydrogen content in flux cored arc weld metal. **Revista Brasileira de Ciências Mecânicas**, v. 24, n. 4., 2002.
14. STARLING, C. M. D. et al. Avaliação da velocidade de fusão de arames tubulares. In: CONGRESSO NACIONAL DE SOLDAGEM, 29, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Soldagem, 2003. 10p.

METAL TRANSFER STUDY OF A METAL CORED TUBULAR WIRE

Cícero Murta Diniz Starling

Associate Professor, Department of Materials Engineering and Construction - School of Engineering, Federal University of Minas Gerais. Rua Espírito Santo, 35, Cep 30.160-030, Belo Horizonte-MG, Brazil. starling@demc.ufmg.br

Paulo J. Modenesi

Associate Professor, Department of Metallurgy and Materials Engineering – School of Engineering, Federal University of Minas Gerais. Rua Espírito Santo, 35, Cep 30.160-030, Belo Horizonte-MG, Brazil. modenesi@demet.ufmg.br

Abstract. *Welding metal transfer affects different aspects of the process including spatter and fume levels, positional capabilities of the process, bead shape, and process stability and operational performance. The present work aims to evaluate different factors and characteristics of metal transfer in tubular wire arc welding with a metal cored wire. This study was performed by filming the arc region with a high speed video camera using the laser shadowgraphy technique. An 1.2mm metal cored wire was used with 100%CO₂ and 75%Ar-25%CO₂ shielding. In all trials, an arc length of 3.5mm and an electrode extension of 16mm were used. Globular metal transfer with sporadic short circuits was observed in the welding trials with 75%Ar-25%CO₂ shielding when a current of about 175A was used. Around 240A, liquid metal drop diameter was reduced to approximately the wire diameter. At this current level, metal transfer was axial with a clear necking of the electrode tip similar to that of drop spray metal transfer. With 100%CO₂ shielding, metal transfer was essentially globular and repulsive up to 250A. An increase in metal transfer frequency was, however, observed when the welding current was increased.*

Keywords. *FCAW process, metal cored tubular wire, metal transfer*