

# ESTUDO DA TRANSFERÊNCIA DE METAL DE UM ARAME TUBULAR BÁSICO

## **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 tubular básico. 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 básico com 1,2mm de diâmetro variando-se o gás de proteção (100%CO<sub>2</sub> e 75%Ar-25%CO<sub>2</sub>) e mantendo-se fixos os valores dos comprimentos energizado do eletrodo (16,0mm) e do arco (3,5mm). Para um menor nível de corrente (em torno de 130A), ocorre transferência globular repulsiva com a formação de gotas de grande volume (maiores na soldagem com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub>) e uma coluna de fluxo a qual se projeta em direção à poça com a presença (na soldagem com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub>) de alguns curto circuitos. Para um maior nível de corrente (em torno de 170A), ocorre transferência globular repulsiva (na soldagem com 100%CO<sub>2</sub>) e globular (na soldagem com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub>) com uma redução do diâmetro médio da gota e um aumento da frequência de transferência de material para a poça em relação ao nível de corrente mais baixo.*

**Palavras-chave:** *processo FCAW, arame tubular básico, transferência metálica*

## **1. INTRODUÇÃO**

Segundo Marques<sup>(1)</sup> e a AWS<sup>(2)</sup>, 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<sup>(3)</sup>, 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<sup>(4)</sup>, 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.<sup>(5)</sup>, 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.<sup>(6)</sup>, Scotti et al.<sup>(7)</sup>, Kim e Eagar<sup>(8)</sup>, Baixo e Dutra<sup>(9)</sup> e Lucas e Hall<sup>(10)</sup>, e revisada extensivamente por Vilarinho<sup>(11)</sup>. 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<sup>(3)</sup> 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<sup>(12)</sup>, 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. 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.<sup>(13)</sup>, que estudaram a transferência de metal na soldagem de um arame tubular rutilico com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub>, 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<sup>(12)</sup>, 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.

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 básico. 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.

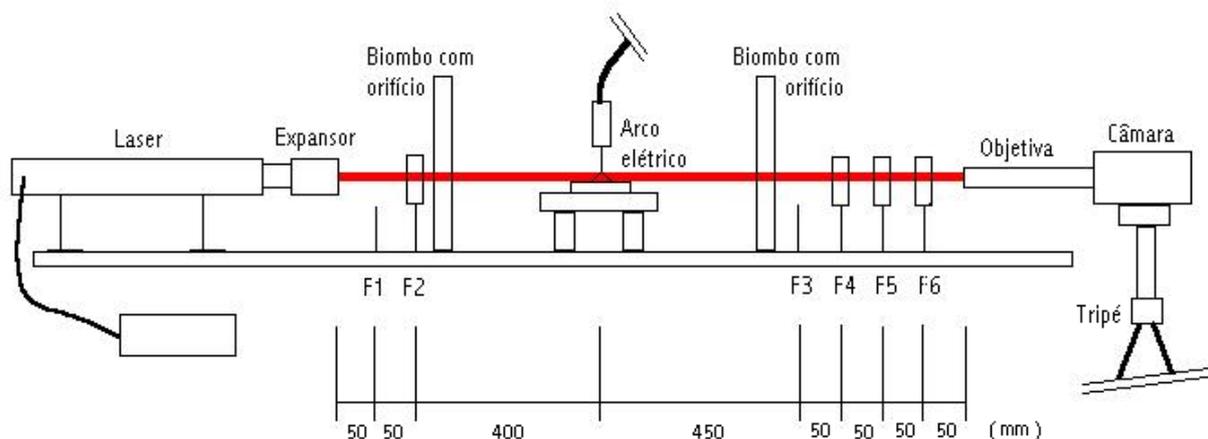


Figura 1. Representação esquemática da montagem do aparato utilizado para a filmagem da transferência de metal. F1 a F6 são os apoios para o posicionamento da seqüência de filtros óticos utilizada.

As filmagens foram realizadas para o processo FCAW com um arame tubular básico (ASME SFA-5.20: E71T-5/E71T-5M) de 1,2mm de diâmetro (cujo fluxo foi analisado por EDS, espectômetro de energia dispersiva), variando-se o gás de proteção (100%CO<sub>2</sub> e 75%Ar-25%CO<sub>2</sub>) e mantendo-se fixos os demais parâmetros de soldagem, incluindo-se os valores dos comprimentos energizado do eletrodo (16,0mm) 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 (tensão controlada) e o eletrodo com polaridade positiva (inversa, CC<sup>+</sup>). Procurou-se reproduzir algumas condições operacionais resultantes de um estudo anterior realizado pelos autores do presente trabalho, Starling et al.<sup>(14)</sup>, que possibilitou avaliar a velocidade de fusão ( $w$ ) do arame básico 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. Utilizou-se como parâmetros representativos da corrente de soldagem ( $I$ ) e da velocidade de fusão do arame ( $w$ ), respectivamente, a média dos valores coletados da corrente de soldagem e da velocidade de alimentação do arame. A Figura 2(b) mostra esquematicamente a montagem experimental utilizada, incluindo o sistema de projeção do arco elétrico.

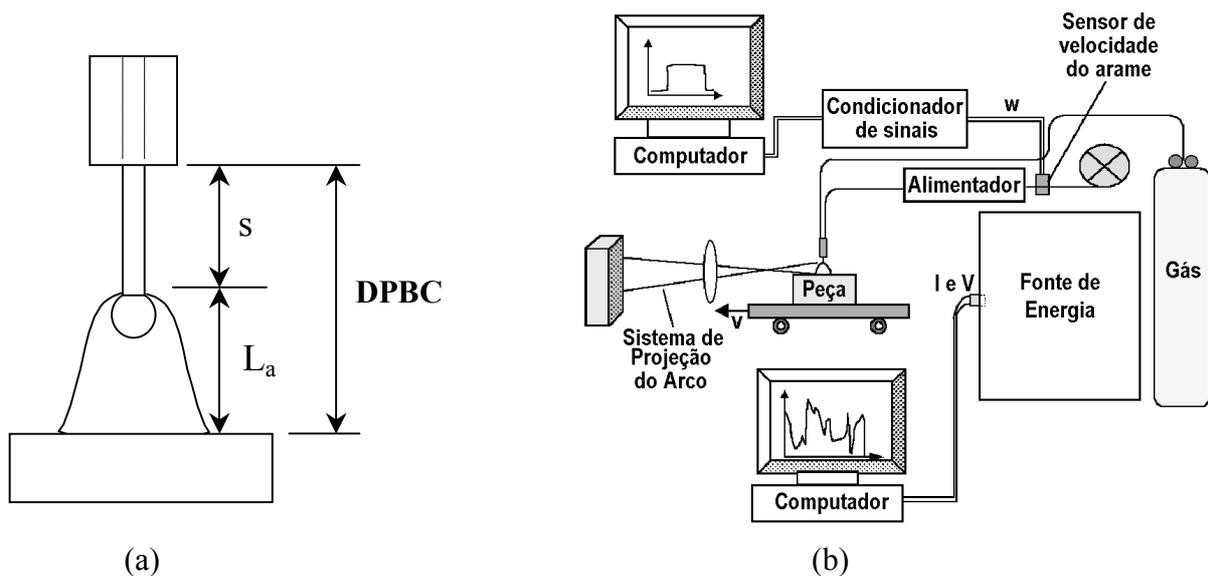


Figura 2. (a) Representação da distância entre a peça e o bico de contato (DBPC) e os comprimentos do arco ( $L_a$ ) e energizado do eletrodo ( $s$ ). (b) Representação da montagem experimental utilizada.

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.<sup>(14)</sup> 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 análise química semi-quantitativa do fluxo do arame tubular básico por EDS revelou a predominância de Ca e, em menores teores, Fe, Mn e Si, indicando, assim, a presença de grandes quantidades de carbonatos ou CaO, além de outros óxidos em menores quantidades como SiO<sub>2</sub> e MnO. É também possível que o fluxo contenha Fe-Mn, Fe-Si e pó de ferro.

A Figura 3 mostra as curvas da velocidade de fusão ( $w$ ) do arame básico em função da corrente de soldagem ( $I$ ) indicando os testes originais, realizados no estudo anterior de Starling et al.<sup>(14)</sup>, 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.

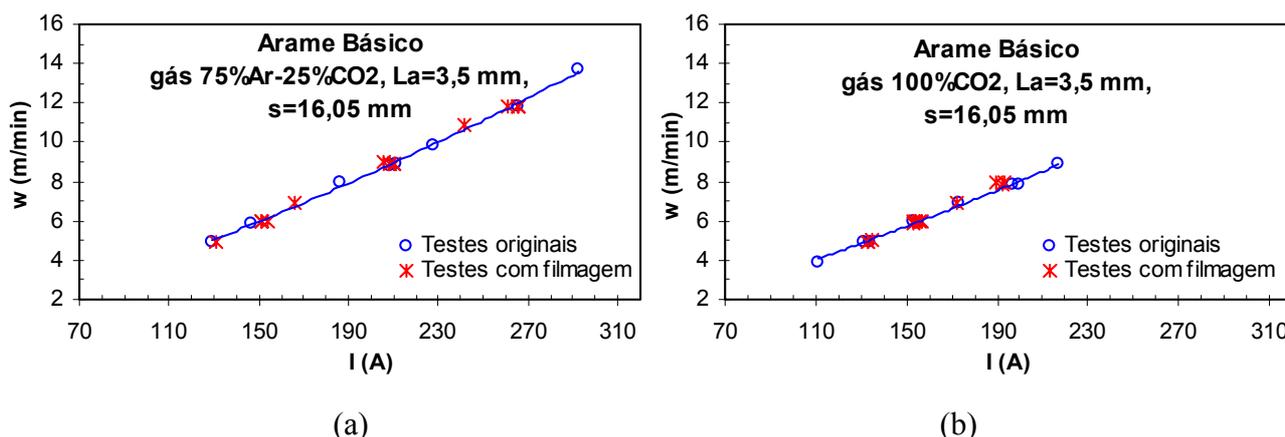


Figura 3. Curvas da velocidade de fusão ( $w$ ) do arame em função da corrente de soldagem ( $I$ ), indicando os testes originais (realizados por Starling et al.<sup>(14)</sup>) e os testes adicionais (realizados no presente trabalho) referentes às condições filmadas.

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 básico com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub>. Verifica-se que para 133A, a transferência é do tipo globular repulsiva com a presença de alguns curtos circuitos. Nota-se também que a gota metálica e o fluxo são transferidos independentemente para a poça de fusão, com o fluxo formando uma coluna projetada em direção à poça, confirmando os resultados de Norrish<sup>(12)</sup>. Esta coluna de fluxo toca constantemente a poça de fusão e retarda bastante a transferência da gota metálica, a qual assume um grande volume antes de se destacar da ponta do eletrodo. Para 151A, a gota continua a assumir um grande volume e a transferência continua sendo globular repulsiva. Para esta corrente, nota-se ainda a presença de alguns curtos circuitos e a formação da coluna de fluxo. Esta coluna continua a tocar a poça de fusão, entretanto, de uma forma menos constante, havendo (nos momentos em que o fluxo não toca a poça) uma mistura parcial da gota metálica com o fluxo antes da transferência para a poça de fusão. Para 166A, o diâmetro das gotas de metal diminuem (mantendo-se ainda acima do diâmetro do eletrodo) e a transferência de metal passa a ser globular. Nota-se que, somente em alguns momentos, a coluna de fluxo toca a poça de fusão e que há uma maior mistura da gota metálica com o fluxo antes da

transferência para a poça de fusão. Para 207A, a transferência continua sendo globular e a frequência de transferência de metal aumenta. Para 241A, nota-se que o diâmetro médio da gota de metal diminuiu, tornando-se um pouco maior do que o diâmetro do eletrodo. Percebe-se também que a coluna de fluxo em direção à poça é menos pronunciada. Para 261A, a transferência continua sendo globular com o diâmetro da gota de metal tornando-se similar ao diâmetro do eletrodo e a frequência de transferência aumentando. Percebe-se uma mistura em grande proporção entre o metal e o fluxo na região do arco a qual, em muitos momentos, assume um formato não circular antes de se transferir para a poça de fusão.

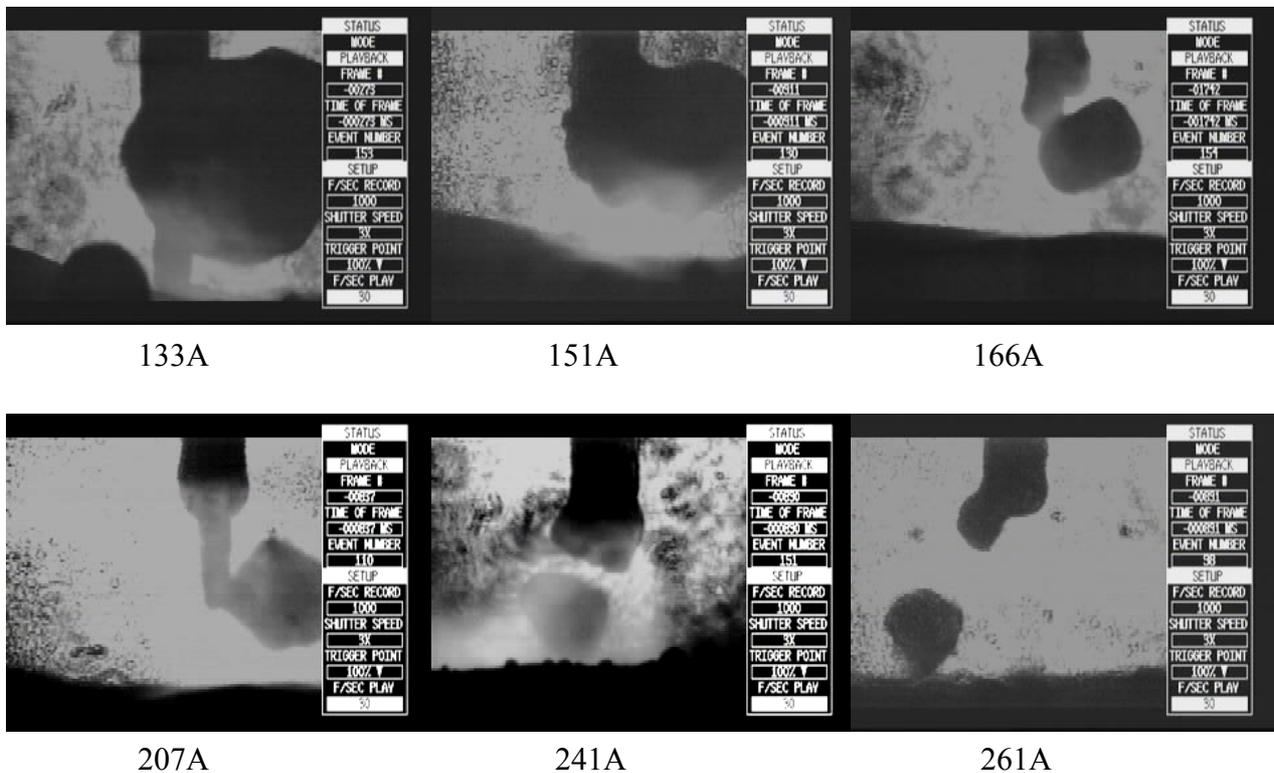


Figura 4. Quadros típicos das filmagens da soldagem do arame básico com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub>.

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 básico com 100%CO<sub>2</sub>. Verifica-se que para 134A a transferência é do tipo globular repulsiva com a formação de gotas de grande volume. Nota-se a formação de uma coluna de fluxo a qual se projeta em direção à poça, entretanto, não chega a tocá-la. Percebe-se também uma mistura entre a gota metálica e o fluxo antes da transferência para a poça de fusão. Para 154A, há uma redução do diâmetro médio da gota e um aumento da frequência de transferência de material para a poça de fusão. Nesta corrente, o metal e fluxo se misturam em uma menor proporção, podendo-se notar a formação de gotas constituídas principalmente por metal ou por fluxo. A transferência ainda é globular repulsiva mas a instabilidade do processo aumenta, com várias gotas sendo repelidas para longe da poça de fusão. Para 172 e 193A, a transferência ainda é globular repulsiva, entretanto, a instabilidade do processo aumenta com o aumento da corrente. Em particular, para a corrente de 193A, nota-se que a coluna de fluxo projetada em direção à poça é mais pronunciada.

As Figuras 6 e 7 mostram, respectivamente para correntes em torno de 130 e 170A, seqüências de quadros de filmagens da transferência de metal do arame básico na soldagem com os dois gases. Estas seqüências representam um ciclo típico, envolvendo a formação e o destacamento de uma gota do eletrodo.

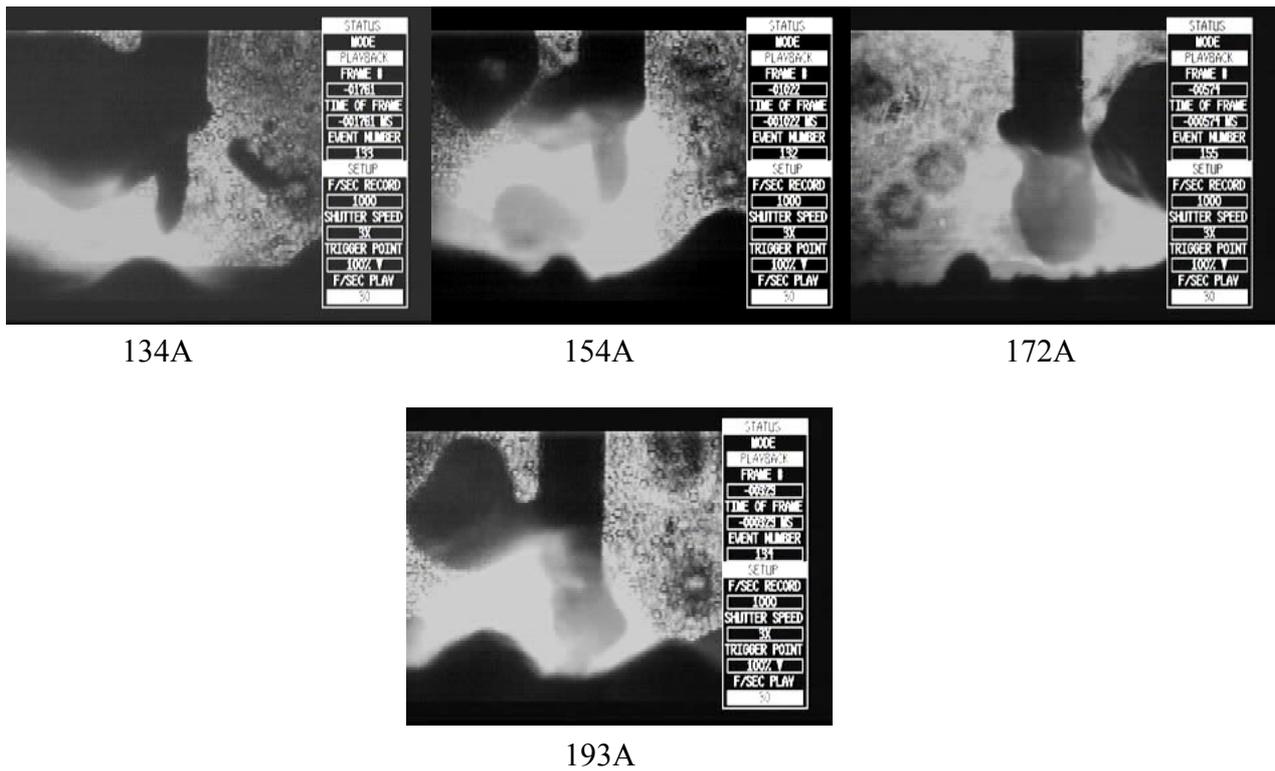


Figura 5. Quadros típicos das filmagens da soldagem do arame básico com 100%CO<sub>2</sub>.

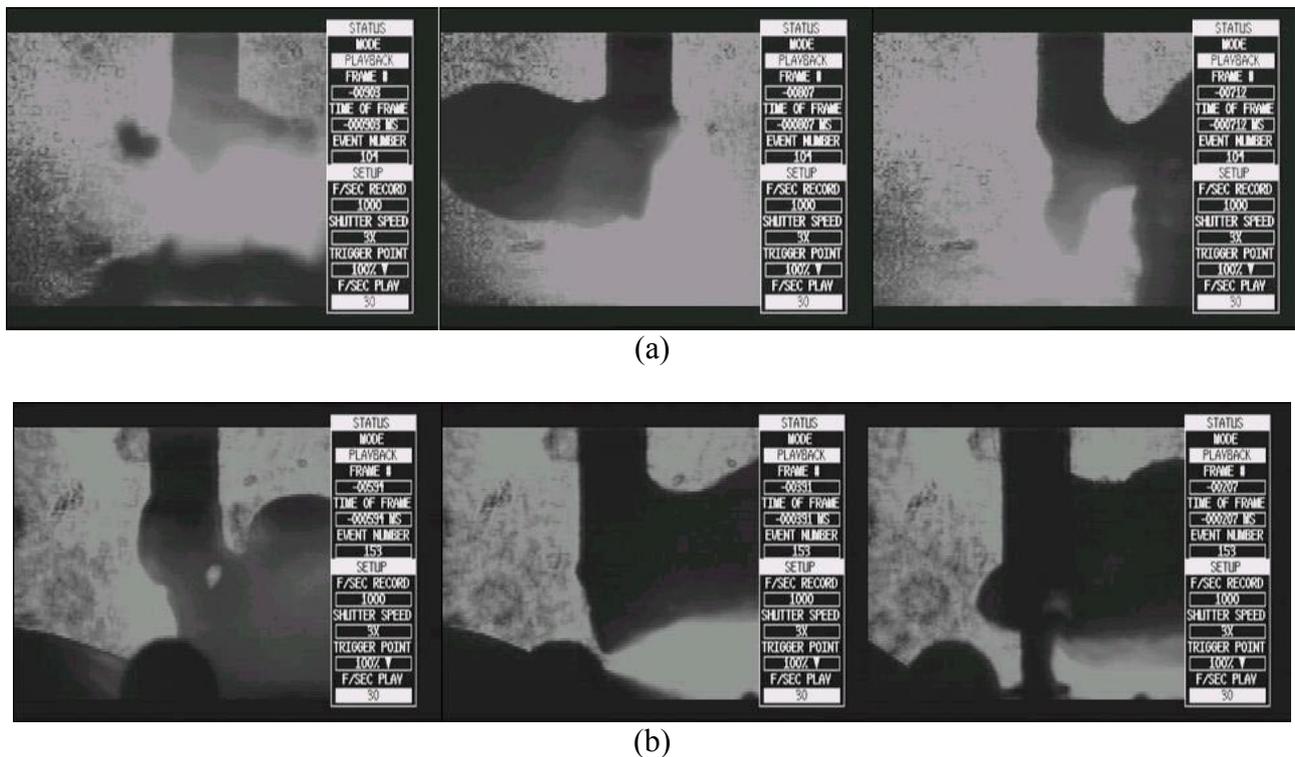
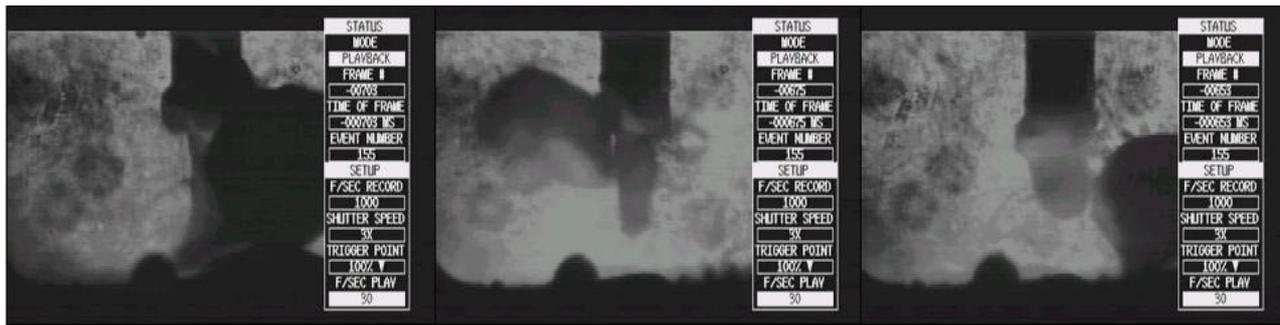
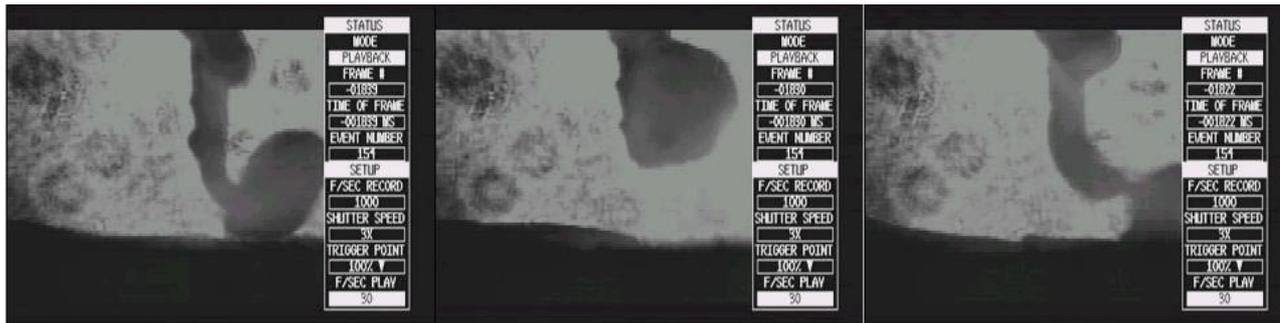


Figura 6. Sequências de filmagens da transferência de metal do arame básico para uma corrente em torno de 130A. (a) Soldagem com 100%CO<sub>2</sub> (quadros defasados em média 96ms). (b) Soldagem com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub> (quadros defasados em média 192ms).



(a)



(b)

Figura 7. Sequências de filmagens da transferência de metal do arame básico para uma corrente em torno de 170A. (a) Soldagem com 100%CO<sub>2</sub> (quadros defasados em média 25ms). (b) Soldagem com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub> (quadros defasados em média 9ms).

Para a corrente em torno de 130A, apesar do mesmo modo de transferência com os dois gases (globular repulsiva), nota-se que o tamanho das gotas de metal é maior na soldagem com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub> (Figura 6(b)) e a frequência de destacamento das mesmas é maior na soldagem com 100%CO<sub>2</sub> (Figura 6(a)).

Para a corrente em torno de 170A, além das diferenças no modo de transferência, globular repulsiva na soldagem com 100%CO<sub>2</sub> (Figura 7(a)) e globular na soldagem com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub> (Figura 7(b)), nota-se que o tamanho das gotas é maior na soldagem com 100%CO<sub>2</sub> e a frequência de destacamento das mesmas é maior na soldagem com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub>. Para este nível de corrente, a soldagem com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub> resulta em uma operação bem mais estável em relação à soldagem com 100%CO<sub>2</sub>.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir do estudo, pela técnica da shadowgrafia, da transferência de metal de um arame tubular básico na soldagem FCAW com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub> (entre 133 a 261A) e com 100%CO<sub>2</sub> (entre 134 a 193A) verificou-se que:

- . Para os dois gases, a transferência metálica é do tipo globular repulsiva para menores níveis de corrente. Para maiores níveis de corrente, a transferência de metal passa a ser globular na soldagem com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub> e se mantém globular repulsiva na soldagem com 100%CO<sub>2</sub>. Nota-se, na soldagem com os dois gases, a formação de uma coluna de fluxo projetada em direção à poça.

- . De uma forma geral, na soldagem com os dois gases, um aumento na corrente resulta em uma redução no tamanho médio das gotas de metal e em um aumento na frequência de destacamento das mesmas. Entretanto, na soldagem com 100%CO<sub>2</sub>, o aumento da corrente aumenta a instabilidade do processo, com várias gotas sendo repelidas para longe da poça de fusão.

- . Para um menor valor de corrente (em torno de 130A), apesar do mesmo modo de transferência com os dois gases (globular repulsiva), nota-se que o tamanho das gotas de metal é maior na

soldagem com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub> e a frequência de destacamento das mesmas é maior na soldagem com 100%CO<sub>2</sub>.

. Para um maior valor de corrente (em torno de 170A), além das diferenças no modo de transferência, globular repulsiva na soldagem com 100%CO<sub>2</sub> e globular na soldagem com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub>, nota-se que o tamanho das gotas é maior na soldagem com 100%CO<sub>2</sub> e a frequência de destacamento das mesmas é maior na soldagem com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub>. Para esta corrente, a soldagem com 75%Ar-25%CO<sub>2</sub> resulta em uma operação bem mais estável em relação à soldagem com 100%CO<sub>2</sub>.

## 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<sup>a</sup>. 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 BASIC 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 welding 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 flux cored arc welding with a basic wire. This study was performed by filming the arc region with a high speed video camera using the laser shadowgraphy technique. An 1.2mm basic flux cored wire was used with 100%CO<sub>2</sub> and 75%Ar-25%CO<sub>2</sub> shielding. In all trials, an arc length of 3.5mm and an electrode extension of 16mm were used. Repulsive globular transfer with a flux column projecting towards the weld pool predominated for the low current (130A) with, mainly for the 75%Ar-25%CO<sub>2</sub> shielding, bigger liquid metal drops and sporadic short circuits. For current levels around 170A, globular transfer was predominantly repulsive only for the 100%CO<sub>2</sub> shielding. For this higher current level, drop size was reduced and metal transfer frequency increased relative to the low current level.*

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