

# CARACTERIZAÇÃO DA SOLDA FCAW, UTILIZANDO NA TRANSFERÊNCIA METÁLICA OSCILAÇÃO MAGNÉTICA DO ARCO<sup>1</sup>

**Estudar os parâmetros de soldagem através do processo FCAW, utilizando um oscilador magnético do arco**

*Benedito Carneiro de Andrade Júnior<sup>2</sup>  
Alexandre Queiroz Bracarense<sup>3</sup>  
Thiago Mendes Germano Costa<sup>4</sup>  
Diana Nepomuceno de Miranda<sup>5</sup>*

## **Resumo**

Este trabalho tem como objetivo em avaliar o efeito de oscilação magnética do arco elétrico do processo de soldagem com arame tubular (FCAW) com proteção gasosa, na geometria do cordão de solda, tal como penetração e largura. Um sistema magnético adaptável à tocha de um robô antropomórfico foi desenvolvido para realizar cordões sobre chapa, fazendo variações nos parâmetros de soldagem tais como tensão, corrente, stick-out (distância do bico de contato ao metal base) e velocidade de soldagem na posição plana. O efeito da oscilação foi medido comparando seções de cordões realizados com e sem oscilação.

**Palavras-chave:** FCAW; Oscilação magnética de arco; Morfologia de cordão.

## **CHARACTERIZATION OF THE WELDING FOR FCAW, FLUX CORE ARC WELDING, USING, IN THE METALLIC TRANSFER, ELETROMAGNETIC STIRRING OF THE ARC**

## **Abstract**

This work has as objective to evaluate the effect of magnetic oscillation of the electric arc during welding with tubular wire (FCAW – flux cored arc welding) on weld bead morphology such as penetration and width. A magnetic system adapted to the welding torch connected to an anthropomorphic robot was used to perform bead on plate changing the welding parameters such as voltage, current, stick-out (distance from the contact tip to the base metal) and travel speed. The effect of arc oscillation was measured comparing cross section of welds with and without oscillation.

**Key words:** FCAW; Electromagnetic stirring arc; penetration; width.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Metalurgista, Mestrando do curso de Pós Graduação do DEMEC da UFMG, bolsista do CNPq.*

<sup>3</sup> *Ph.D do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG.*

<sup>4</sup> *Graduando em Engenharia de Controle e Automação da UFMG.*

<sup>5</sup> *Graduando em Engenharia Mecânica da UFMG.*

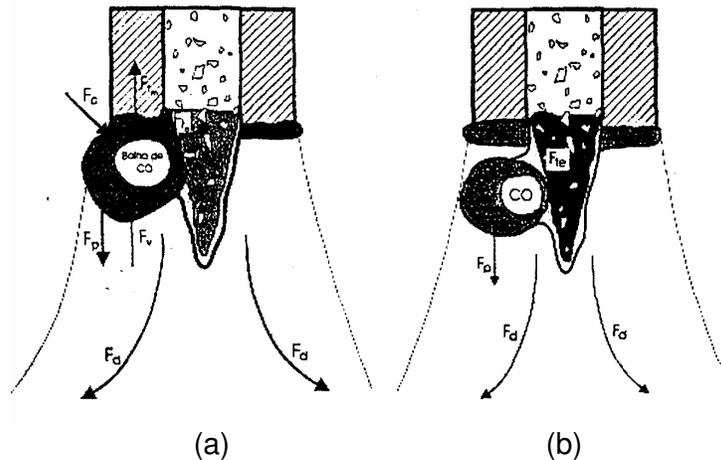
## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento e a identificação da transferência metálica é de grande importância para a maioria dos processos de soldagem, principalmente quando o arco elétrico é estabelecido à partir de um eletrodo consumível. A transferência metálica na soldagem é constituída pelo destacamento do metal do eletrodo seguido pela transferência da gota através do arco elétrico até a poça de fusão.<sup>(1)</sup>

A transferência metálica é resultante das forças atuantes na gota de material líquido que são as forças de compressão (efeito Pinch) de origem eletromagnética, força de gravidade, força devido a tensão superficial, pressão sobre o ponto catódico, força de arraste do plasma, força de arraste do gás de proteção, força devido as reações químicas e forças devido às evaporações metálicas, em suma, pode-se dizer que existem diferentes tipos de transferência e cada uma possui um grupo de forças característico.<sup>(2)</sup>

De acordo com Soraggi,<sup>(3)</sup> na transferência metálica com arame tubular as forças atuantes na gota do metal líquido são as forças de compressão ( $F_c$ ), o peso da gota ( $F_p$ ), a força devido à tensão superficial metal/gota ( $F_{tm}$ ), a força devido à tensão superficial metal/escória ( $F_{te}$ ), a força devido as reações químicas que são responsáveis para a formação das bolhas de gás no interior da gota ( $F_q$ ), a força devida à evaporação metálica ( $F_v$ ) e as força de arraste do plasma ( $F_d$ ).

O início da transferência metálica em arames tubulares ocorre em duas fases conforme pode ser observado na Figura 1. Na primeira etapa – de formação e crescimento – a gota está ligada ao tubo metálico do eletrodo e a corrente de soldagem passa pela gota; na segunda etapa, a gota está ligada somente à projeção da escória na ponta do arame. Nesta fase, a corrente é conduzida entre o metal de base e a casca metálica do eletrodo. As forças de compressão, eletromagnéticas e a tensão superficial gota/arame não mais atuam na gota.<sup>(4)</sup>



**Figura 1:** as forças que atuam na gota. (a) primeira etapa: formação e crescimento, (b) segunda etapa: projeção da gota.

Pesquisadores japoneses<sup>(1)</sup> observaram que a transferência metálica pode ser por curto circuito ou globular quando se usa arame tubular. Com correntes baixas, a transferência é por curto circuito mantida a tensão constante, já que a potência do arco é baixa. Com correntes elevadas, o aquecimento do arco é maior e a gota formada é envolvida pelo fluxo fundido, fazendo com que ela se desloque lateralmente em relação ao eixo do arame.<sup>(1)</sup>

O aumento da corrente e principalmente da tensão ocasionam o aumento do comprimento do arco que conduz a dois tipos de destacamento da gota. No primeiro, a gota flui ao longo da projeção e cai livremente na poça. No segundo, a gota é destacada pela explosão de uma bolha de gás formada no interior da gota, e que é causada pelo crescimento da bolha.<sup>(4)</sup> Com a corrente mantida constante e aumentando-se a tensão (efeito da tensão), a transferência muda de curto circuito para globular com gotas pequenas. Existe uma combinação ótima de tensão-corrente em que a casca metálica e o fluxo se fundem praticamente ao mesmo tempo.<sup>(4)</sup>

Estudo preliminar<sup>(2)</sup> mostrou que para o processo FCAW, a gota de solda tem comportamento não determinístico, podendo se comportar de forma totalmente aleatória. Esta indeterminação torna o processo de soldagem deficiente e falho, com escorrimento entre outros problemas nas posições sobre cabeça e vertical descendente em chapa fina e em chanfro. Dependendo dos parâmetros de soldagem este tipo de solda se torna praticamente impossível. Com esse comportamento da gota, soldagem de passes de raiz com FCAW apresenta uma falha grave, a falta de fusão lateral,<sup>(4)</sup> tornando a junta inaceitável para padrões comerciais mesmo utilizando um processo de alta tecnologia como a soldagem robotizada.

Este trabalho descreve o procedimento para o levantamento dos parâmetros de soldagem robotizada com arames tubulares utilizando um oscilador magnético sobre o campo elétrico do arco a fim de obter um cordão de solda mais homogêneo e característico. Ensaios metalográficos foram realizados com o objetivo principal de avaliar a morfologia dos cordões de solda realizados com diferentes parâmetros de soldagem e assim detectar possíveis não conformidades no momento em que estas viessem a ocorrer.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para soldagem foi utilizado arame tubular rutilico AWS/ASME SFA 5 .20 E71T-1, com diâmetro de 1,2 mm, uma mistura de argônio (Ar/CO<sub>2</sub>) de composição 80% de Argônio e 20% de CO<sub>2</sub> com vazão de 18,0 L/min.

Um robô antropomórfico KUKA KR16 com 6 graus de liberdade acoplado a uma fonte de tensão constante foi utilizado para deslocar a tocha de soldagem e a bobina de geração de campo.



**Figura 2:** Foto da tocha de soldagem acoplada a bobina de geração de campo.

Foram feitos ensaios preliminares de soldagem sobre chapa na posição plana com intuito de se determinar os parâmetros de soldagem, corrente, tensão, velocidade de soldagem, velocidade de alimentação, stick-out que atendessem aos requisitos de aspectos do cordão e largura de aproximadamente 10 mm. Os parâmetros de soldagem escolhidos foram tensão iguais a 17 Volts, 18 Volts e 19 Volts, corrente de 100 Ampéres, 115 Ampéres e 130 Ampéres, velocidade de deslocamento iguais a 18 cm/min, 23 cm/min e 27 cm/min e stick-out de 15 mm, 17 mm e 19 mm. Cordões foram realizados com os parâmetros escolhidos aplicando oscilação na direção longitudinal e transversal. Para o controle do campo magnético foi criado um equipamento para gerar tensões oscilantes a uma frequência e amplitude determinadas. Um controlador Pic16F84A para rodar um programa para controlar a tensão de saída do oscilador foi desenvolvido. Este programa ajusta a frequência de trabalho e determina o tipo de onda que será usado. Para os cordões realizados neste trabalho foi utilizado um único padrão para o comportamento do campo. A frequência foi ajustada em 1,6 Hz e a amplitude em 12,7 volts, onda quadrada. Isso gera um campo de aproximadamente 600 Gauss na ponta da bobina mostrada na Figura 2.

Os resultados foram avaliados em ensaios metalográficos. As amostras foram cortadas e preparadas com procedimento padrão para observação em macrografia. Os corpos de prova foram levados ao microscópio óptico e com ajuda de um software de dimensionamento, chamado Quantikov, foram obtidos os valores de reforço, penetração, largura dos cordões de solda conforme mostrado na Figura 3.

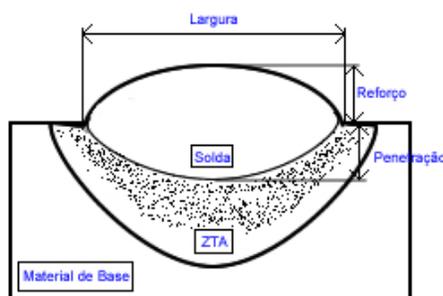


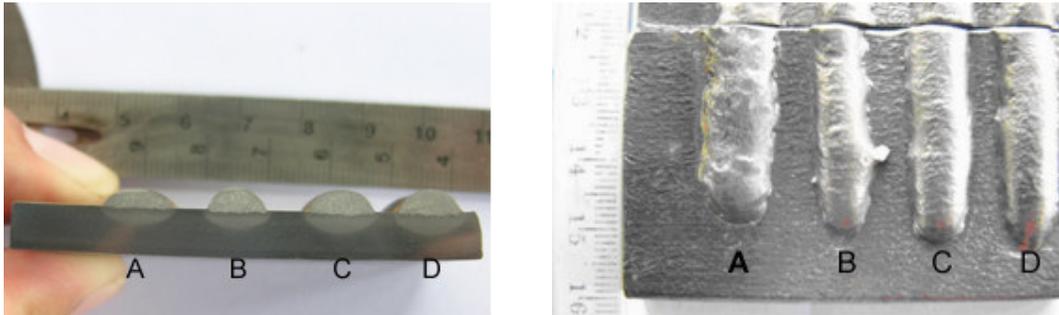
Figura 3: Morfologia do cordão de solda e dimensões estudadas

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um campo magnético aplicado a um arco elétrico deflete o arco por força eletromagnética (Força de Lorentz) no plano normal as linhas de campo. O campo magnético exerce sua força sobre os íons dentro do arco, o que causa a deflexão do arco fora do sentido normal de seu caminho. Se as linhas de campo estiverem alinhadas no mesmo sentido da soldagem esta força será perpendicular ao mesmo. Sabe-se também que a presença de materiais ferromagnéticos intensificam este campo através do fenômeno de alinhamento de carga no material magnético que por sua vez gera um campo magnético de mesmo sentido e direção vetorial que o criado pela bobina.

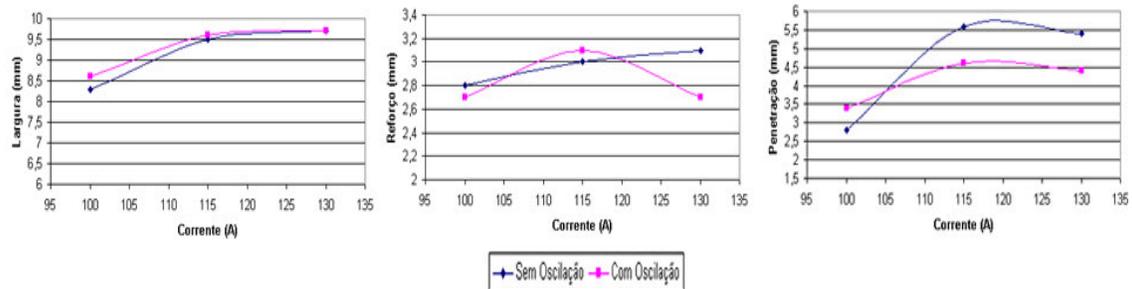
A foto da Figura 4 apresenta as seções dos cordões de solda realizados sem oscilação magnética (C e D), com oscilação transversal (A) e com oscilação longitudinal (B). Por este resumo quantitativo observa-se que o campo magnético induzido altera a forma do cordão como esperado. Na oscilação transversal, o arco ao oscilar separa as gotas fazendo o cordão ficar mais largo e mais raso. Por outro lado, quando a oscilação é longitudinal o arco ao oscilar “arremessa” as gotas para

frente e para trás fazendo o cordão ficar mais estreito com tendência de penetrar mais que nos cordões sem oscilação e ter mais reforço.

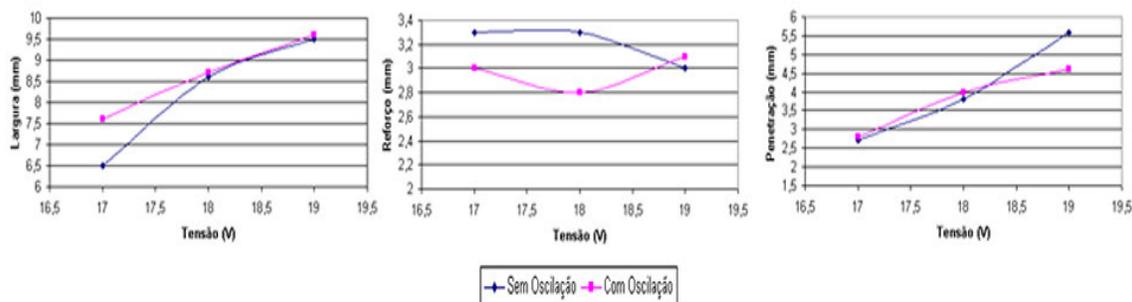


**Figura 4:** Vista superior e seção transversal dos cordões com oscilação transversal (A), com oscilação longitudinal (B) do arco e sem oscilação (C e D)

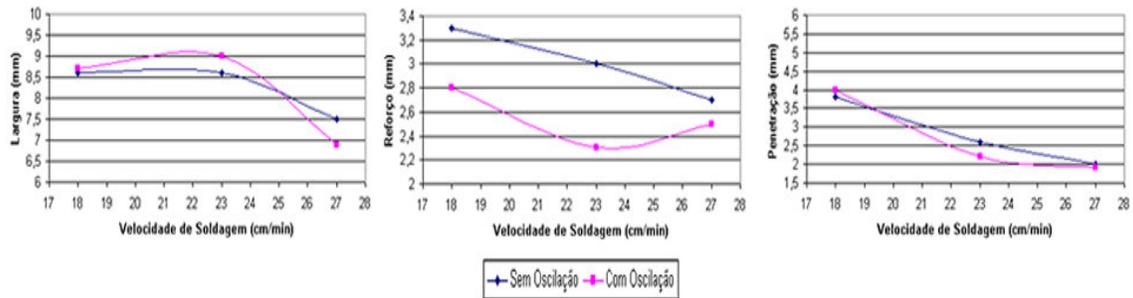
Os gráficos das Figuras 5, 6 7 e 8 mostram as variações das dimensões (largura, reforço e penetração respectivamente) do cordão de solda com e sem oscilação transversal do arco em função da corrente, tensão, velocidade de soldagem e stick-out mantendo-se todos os outros parâmetros constantes.



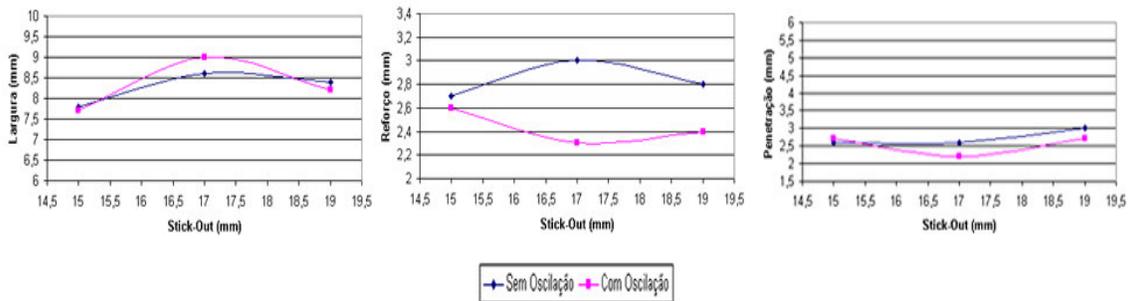
**Figura 5:** Gráficos das dimensões do cordão de solda em função da corrente com e sem oscilação magnética do arco (Tensão = 19 volts; Vel. Soldagem = 18 cm/min; Stick-out = 17 mm)



**Figura 6:** Gráficos das dimensões do cordão de solda em função da tensão com e sem oscilação magnética do arco (Corrente = 115 ampères; Vel. Soldagem = 18 cm/min; Stick-Out = 17 mm)



**Figura 7:** Gráficos das dimensões do cordão de solda em função da velocidade de soldagem com e sem oscilação magnética do arco (Corrente = 115 ampères; Tensão = 18 volts; Stick-Out = 17 mm)



**Figura 8:** Gráficos das dimensões do cordão de solda em função do stick-out com e sem oscilação magnética do arco (Corrente = 115 ampères; Tensão = 18 volts; Vel. Soldagem = 23 cm/min).

Comparou-se o efeito da oscilação sobre o cordão em função da variação dos parâmetros de soldagem, tais como, velocidade de soldagem, stick-out, corrente e tensão. É importante salientar que todos os outros parâmetros de soldagem foram mantidos constantes para garantir repetibilidade nos ensaios.

Para determinar as curvas foram escolhidos 3 pontos distintos para cada parâmetro analisado. Desta forma foi possível visualizar uma tendência no comportamento do cordão de solda sob a influência do oscilador magnético.

Os gráficos da Figura 5 indicam a influência da corrente quando utiliza-se oscilação magnética. No reforço há uma tendência de aumento com aplicação da oscilação, o que era esperado visto que a oscilação é transversal. Com aumento da corrente, aumenta-se o volume de material depositado, tornando difícil o movimento da gota pelo campo magnético. Evidenciou-se este fato pela diminuição da variação da largura do cordão com o aumento da corrente. Para correntes mais baixas (100 Amperes) observou-se um aumento da penetração do cordão. Já para correntes mais altas (115 Amperes a 130 Amperes) tem-se uma diminuição da penetração.

Já nos gráficos da Figura 6 mostra-se o efeito da tensão sobre o movimento do arco com oscilação magnética. Nos gráficos observa-se que há uma redução do reforço no cordão por consequência do aumento da penetração, porém com pouca influência na largura. Assim, podemos concluir que em baixas tensões o arco é mais susceptível a deflexão do campo, mostrado no Gráfico de largura. Com 19 volts de tensão os gráficos se cruzam e há uma inversão, onde penetração diminui e o reforço aumenta.

Nos gráficos da Figura 7 o reforço sempre está sendo menor com a presença de oscilação magnética. Com o aumento da velocidade este efeito, a diminuição do reforço, é menor. Para um ganho de largura existe um ponto ótimo de velocidade, evidenciado pelo gráfico da Figura 7, em torno de 23 cm/minutos. Neste ponto

observa-se, também, uma diminuição da penetração como era de se esperar. Conseqüente há perda de reforço do cordão, este fato está ligado principalmente a freqüência de oscilação do campo, visto que para uma velocidade muito baixa, a gota tende a oscilar mais vezes em um determinado trecho enquanto que em altas velocidades esse efeito diminui consideravelmente.

Os gráficos da Figura 8 mostram o efeito do stick-out, de um modo geral pode-se observar que para valores em torno de 17 mm tem-se um cordão mais largo e achatado e com maior penetração.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho levaram as seguintes conclusões:

- O campo magnético consegue influenciar o comportamento da gota e conseqüentemente a deposição de metal no processo de soldagem FCAW. Verificado pela metalografia dos cordões soldados.
- É possível controlar através da oscilação do arco elétrico, a largura, a penetração e o reforço do cordão de solda. À medida em que mudanças dos parâmetros de soldagem são realizadas nota-se a influência no arco elétrico pelo campo magnético.
- Não foram feitas mudanças na freqüência e nem na amplitude do campo magnético oscilante. Porém foi detectado durante os ensaios que se faz necessário a mudanças destas variáveis para complementar os estudos da oscilação.

#### Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar seus agradecimentos ao Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação do DEMEC/UFMG pela estrutura fornecida para a realização deste trabalho, ao CNPq pela ajuda financeira na forma de bolsas.

#### REFERÊNCIAS

- 1 LANCASTER, J. F. **The Physics of welding**. 2.ed. Oxford , Inglaterra: Perganon Press, p.228-234, 1985.
- 2 BRACARENSE, A. Q. ; SOUZA, R. L. ; COSTA, M. C. S. ; FARIA, P. E. ; LIU, S. **Welding current effect on diffusible hydrogen content in flux cored arc weld metal**. Journal of Brazillian Society Mechanical Science, Estados Unidos, v.24, n.4, p.278-285, 2002.
- 3 SORAGGI, P. M. **Estudo paramétrico para robotização da soldagem orbital de tubos com arame tubular**. *Dissertação de mestrado*, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.
- 4 SOUZA, P. C. R. D. **Análise da transferência metálica na soldagem com arame tubular**. São Paulo, 1998. 129p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- 5 VILLANI, P. M. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de soldagem TIG mecanizada** . *Dissertação de mestrado*, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1984.
- 6 OLIVEIRA, J. E. M. **Estudo dos parâmetros de soldagem fora de posição com arame tubular**. Belo Horizonte, 2002. 101f. *Dissertação (Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica da ) – EEUFMG*, Universidade Federal de Minas Gerais.
- 7 PETROBRÁS. **N1438d**: Termos e Definições.

- 8 CRAIG, E. **Flux Core Process Control**. Disponível em [www.weldreality.com](http://www.weldreality.com). Acesso em: dez. 2008.
- 9 FORTE, C. **Arames Tubulares**. Belo Horizonte: Grupo ESAB, p. 3-36, 2003.
- 10 MONDENESI, P. J. **Introdução à física do arco elétrico e sua aplicação na soldagem dos metais**. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Metalúrgica de Materiais – Universidade Federal de Minas Gerais, 1998.
- 11 Y. H. Kang ; S. J. Na **Characteristics of Welding and Arc Signal in Narrow Groove Gás Metal Arc Welding Using Eletromagnetic Arc Oscillation** Supplement to the Welding Journal , Maio 2003