

## **USO DE OSCILAÇÃO MAGNÉTICA DO ARCO ELÉTRICO PARA PREENCHIMENTO DE PASSE DE RAIZ EM JUNTAS CHANFRADAS DE AÇOS BAIXO CARBONO ATRAVÉS DO PROCESSO GMAW**

**Alexandre Queiroz Bracarense**, bracarense@ufmg.br<sup>1</sup>  
**Lucas Figueiredo Soares**, soares.lucas@gmail.com<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Soldagem Robótica e Simulação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 – Escola de Engenharia – Pampulha – Belo Horizonte-MG – CEP 31270-901  
<sup>2</sup>Engenharia de Manutenção, Gerdau Açominas, Rod. MG 443 Km 07 – Fazenda do Cadete – Ouro Branco-MG – CEP 36420-000

**Resumo:** Este trabalho aborda a aplicação e uso da oscilação magnética do arco elétrico no processo GMAW e os resultados obtidos. A indústria pesada demanda continuamente por processos de fabricação de alto rendimento e grande eficiência. O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade da utilização do processo GMAW na execução de passe de raiz com o uso da oscilação magnética, pois a formação da poça de fusão e a estabilidade deste processo atualmente têm características inferiores aos processos comumente utilizados para esta finalidade. Chapas de aço baixo carbono foram preparadas, segundo as normas API 1104-1999 e AWS D1.1-2002. Os passes de raiz foram executados primeiramente pelo processo GMAW robotizado e logo em seguida os mesmos parâmetros no mesmo processo eram repetidos, incluindo-se a utilização da oscilação magnética do arco elétrico. Corpos de prova foram extraídos e submetidos a macrografia, o que possibilitou a comparação entre o processo robotizado com e sem oscilação magnética do arco elétrico, podendo ainda proporcionar ajustes nos parâmetros para se obter o passe de raiz desejado. Os resultados alcançados foram bastante satisfatórios e sugerem a influência positiva da oscilação magnética do arco elétrico na execução do passe de raiz. As juntas produzidas sem oscilação magnética apresentaram falta de fusão e/ou penetração excessiva, enquanto as juntas derivadas do processo com os mesmos parâmetros com oscilação magnética são de qualidade bastante superior. Foi observado também que algumas soldagens realizadas em chanfros desalinhados, sob a influência da oscilação magnética do arco elétrico, tiveram penetração total, sem ocorrência de descontinuidades e defeitos. Os resultados encontrados neste estudo contribuem tanto para o aumento da controlabilidade deste processo de fabricação de elevado rendimento, quanto para a diminuição de paradigmas que impedem a aplicabilidade do processo GMAW na execução de passes de raiz.

**Palavras-chave:** GMAW, Passe de Raiz, Oscilação Magnética

### **1. INTRODUÇÃO**

A indústria de base e bens de produção vem trabalhando continuamente, em parceria com centros de pesquisa, no desenvolvimento de técnicas e sistemas que aprimoram a eficiência e produtividade dos processos fabris economicamente viáveis para a escala industrial. Entre os processos de fabricação por soldagem, o GMAW está entre os mais utilizados em escala industrial, por ser altamente produtivo, atendendo a uma ampla faixa de aplicação em termos de espessuras e materiais utilizados, alta flexibilidade inerente ao processo e tem baixa ocorrência de descontinuidades. O método de aplicação deste processo pode ser semi-automático ou automático. A produtividade que pode ser alcançada é advinda da própria característica semi-automática e as altas taxas de corrente envolvidas, que resultam em altas taxas de deposição e elevados fatores de trabalho, alcançando-se, pois, a qualidade requerida (Silva, 2005). Nas aplicações atuais, os processos GTAW e SMAW são muito aplicados na confecção do passe de raiz e o enchimento e acabamento já é executado com os processos SMAW, GMAW e FCAW.

Não é por acaso que estudos sobre processos de maior produtividade aumentam a elevadas taxas percentuais, como é o caso do processo GMAW (Silva, 2005). Imbuído deste desejo de aumento de produtividade a baixo custo, principalmente aliado com a forte demanda desenvolvimentista que o país vive decorrente do cenário econômico mundial e o descobrimento da camada pré-sal no litoral brasileiro, que estudos envolvendo processos há pouco tempo não imaginados para determinadas aplicações, como o GMAW, surgem e promovem discussões e resultados que podem quebrar paradigmas e colaborar para o desenvolvimento da indústria nacional. Estudos relacionados com a aplicação do

passos de raiz pelo processo GMAW já são de conhecimento público e visam à aplicação em escala industrial com resultados satisfatórios (Silva, 2005; Felizardo, 2007 e Weck, 2005).

A dificuldade de um controle efetivo sobre a transferência metálica no processo GMAW acaba por limitar a sua aplicação em passes de raiz, sendo considerado até mesmo por muitos usuários de processo “temperamental” (Gohr Jr., 2002). É sabido que o processo GMAW possui limitações na aplicação do passe de raiz, como por exemplo, a ocorrência de falta de fusão adequada, falta de penetração e dificuldade no seu controle, elevado índice de salpicos e elevado grau de aleatoriedade de transferência metálica (Gohr Jr., 2002; Campos, 2005 e Silva, 2005).

O foco deste trabalho é a utilização de oscilação magnética do arco elétrico de uma solda no processo GMAW robotizado, visando a aplicação deste processo ao passe de raiz. A escolha pelo processo automatizado é justificada pela repetibilidade necessária dos parâmetros para que as soldas produzidas possam ser comparadas qualitativamente e seus resultados gerados com confiabilidade. Uma fonte dotada de placa controladora, placa de potência e placa alimentadora montada e calibrada no Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação da UFMG (LRSS), é capaz de emitir sinal elétrico com frequência controlada para uma bobina que fica acoplada na saída do bocal da tocha e forma um campo eletromagnético. Esta bobina foi fabricada artesanalmente e possui núcleo ferromagnético que se sobressai e direciona o fluxo magnético na direção do arco elétrico. Os estudos e publicações encontrados sobre o uso da oscilação magnética do arco elétrico (Kang, 2002 e Greene, 1960) são direcionados para o estudo morfológico de cordão sobre chapa. Seus resultados são satisfatórios, sendo esta técnica já consolidada para a soldagem de recobrimento. Buscou-se então o emprego desta técnica para o estudo da execução do passe de raiz sob a influência da oscilação magnética do arco elétrico. A próxima etapa é a busca pelo controle da ação da oscilação magnética, determinando precisamente e com a repetibilidade esperada o resultado do produto final.

Foi definida uma metodologia experimental que estabelece uma comparação entre soldas de topo de passe de raiz em juntas chanfradas de aço baixo carbono, submetidas às mesmas condições e parâmetros, com e sem o uso da oscilação magnética do arco elétrico. Corpos de prova eram extraídos das amostras geradas e eram submetidos a ensaios de macrografia para posterior análise morfológica do perfil da solda em questão. Com isto, foi possível a avaliação de formas de se obter passes de raiz com qualidade desejada, dentro das premissas básicas envolvidas de acabamento superficial, penetração, formato e ausência de defeitos e ou descontinuidades.

Este trabalho tem como principal objetivo a aquisição de conhecimento básico ainda não disponível na literatura sobre a influência da oscilação magnética no arco elétrico de soldagem GMAW, especificamente para o preenchimento do passe de raiz. Busca-se, com isto, o desenvolvimento de um sistema gerador de oscilação eletromagnética aliado a este processo, capaz de aumentar a controlabilidade na execução do passe de raiz e conseqüentemente a transferência metálica e a poça de fusão produzida. Desta forma, seria possível contar com o processo convencional de soldagem GMAW como mais uma alternativa de processo de fabricação, com alta produtividade, para a execução de passes de raiz.

## 2. DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS, PROCESSO E EQUIPAMENTOS ENVOLVIDOS

O processo escolhido é o GMAW, com modo de transferência por curto-circuito convencional, onde as forças eletromagnéticas e a tensão superficial destacam o metal líquido da ponta do arame, arrastando para a poça de fusão (Soraggi, 2004). Sua elevada produtividade é atraente e fomenta o desejo da indústria na ampliação do seu campo de aplicação.

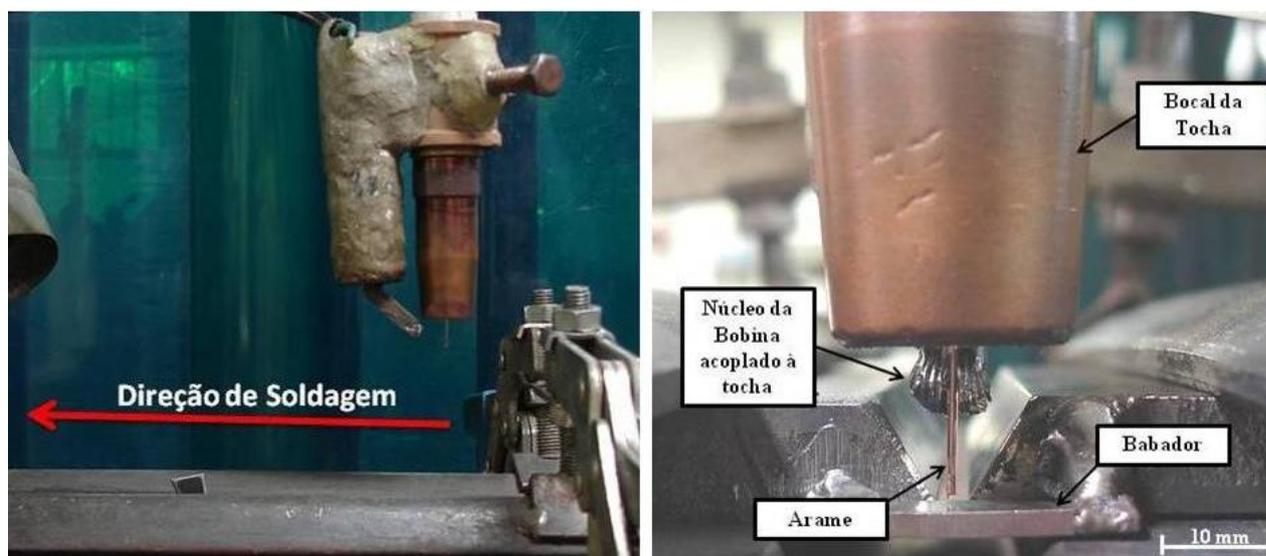
Para a soldagem envolvida em todo trabalho, foi definida a automatização do processo GMAW. Foi utilizado o robô Motoman YR-SK6-C100, conforme Fig. (1), com seis graus de liberdade com o objetivo de se garantir a repetibilidade e precisão dos experimentos, já que o processo GMAW tem como principal limitação a sua sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação do arco de soldagem, que influenciam diretamente no cordão de solda depositado, além da necessidade de um ajuste rigoroso de parâmetros para se obter um determinado conjunto de características para o cordão de solda.



Figura 1. Robô utilizado para automatização da soldagem GMAW

Vários parâmetros são interdependentes e influenciam no resultado final da operação. Com o robô, o ajuste de algumas variáveis foi mantido até o final dos experimentos: ângulo de inclinação da tocha e ângulo de soldagem. As demais variáveis, tensão, velocidade de alimentação do arame, velocidade de soldagem, distância bico de contato-peça e vazão do gás de proteção foram trabalhadas de forma correlacionada conforme necessidade da condução dos experimentos. O mais importante é o controle preciso de todas estas variáveis para cada solda realizada.

À extremidade do bocal, foi instalada uma bobina fabricada artesanalmente, como visto na Fig. (2), de núcleo ferromagnético, a partir da qual se forma um campo magnético direcionado para o arco elétrico de soldagem. Esta bobina está ligada a uma central constituída de um sistema com fonte emissora de corrente alternada e com frequência controlada por ajuste via código binário. Foram escolhidas três frequências que foram adotadas nas soldagens durante todo o experimento.



**Figura 2. Disposição da bobina formadora de campo magnético na direção do arco elétrico de soldagem.**

O gás de proteção utilizado foi a mistura 85% Ar + 15% CO<sub>2</sub>. Embora estudos já realizados apontem para outras misturas não há restrição para esta composição gasosa (Dutra, 2008), que foi sugerida por fabricantes, devido à baixa incidência de salpicos na soldagem com transferência por curto-circuito convencional. Além disto, os estudos com esta mistura possibilitam a abertura de mais um campo de pesquisa.

Chapas de aço carbono de espessura de 2 mm foram utilizadas nas duas primeiras etapas. Para a terceira e última etapa da metodologia, foi utilizada chapa extraída da alma de perfil laminado, com 11 mm de espessura, tendo as bordas biseladas formando ângulo de 60 graus e nariz de 2 mm para soldagem de topo.

A escolha e definição da espessura das chapas utilizadas na etapa 1 e 2 não foi aleatória. Buscou-se simular o comportamento do cordão de solda sobre a espessura de 2 mm, já que a chapa chanfrada 11 mm tem projeto de nariz com a mesma espessura das chapas finas. Esperava-se, além da observação da variação da geometria dos cordões de solda, a definição dos parâmetros ótimos para serem aplicados nas fases subseqüentes, inclusive no chanfro e a influência da oscilação magnética no arco elétrico.

O arame utilizado é o de norma AWS A 5.18, especificação ER 70S-6, com 0,8 mm de diâmetro.

### 3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Toda a metodologia experimental foi planejada e dividida em três etapas, sendo que os resultados obtidos em cada etapa fomentavam a continuidade da etapa seguinte, validando o experimento como um todo e formando uma linha lógica de raciocínio. As três etapas foram executadas na mesma ordem em que são apresentadas a seguir e em todas elas, cada solda realizada tinha seu parâmetro replicado em um novo cordão, com a aplicação da oscilação magnética do arco elétrico.

Dado o caráter exploratório deste estudo, os parâmetros de soldagem inicialmente utilizados (tensão, corrente, velocidade de soldagem, vazão de gás, inclinação de tocha, arame consumível, DBCP e abertura de raiz) eram passíveis de ajustes, dependendo dos resultados obtidos no decorrer dos experimentos, buscando-se a constatação e quantificação dos objetos de estudo e a obtenção de cordões com a qualidade esperada. Mesmo com as referências iniciais, tiradas de artigos correlatos (Felizardo, 2007 e Dutra, 2008), as primeiras soldas executadas acabaram por assumir função preliminar, pois foi necessário o ajuste de mais de uma variável dentro dos parâmetros inicialmente utilizados. Como não é objetivo deste trabalho avaliar a influência da inclinação da tocha no cordão resultante, optou-se pela soldagem com ângulo nulo da tocha.

Vários parâmetros foram determinados para cada etapa. A partir de um único parâmetro, foram executados no mínimo três cordões de solda além dos seus pares com a aplicação da oscilação magnética, todos sempre no mesmo comprimento e mesmo sentido, para se garantir a repetibilidade dos resultados e delimitar as incertezas da técnica experimental.

Ao final de cada etapa, todos os cordões gerados foram cortados, sendo extraídos três corpos de prova por cordão. Todas as amostras geradas tinham suas seções transversais polidas, metalografadas e quantificadas, possibilitando a avaliação da influência da oscilação magnética na morfologia dos cordões de solda.

A imediata análise preliminar da morfologia do cordão através de metalografia, logo após a execução de soldagem, possibilitava o ajuste imediato dos parâmetros até então utilizados. Vale ressaltar que uma amostra era considerada qualitativamente aceita quando o passe de raiz obtido tinha penetração total, baixa concavidade e ausência de defeitos e/ou descontinuidades, como mordeduras, porosidade, trincas, inclusões e falta de fusão.

### 3.1. Descrição das atividades realizadas em cada etapa

Cada etapa foi minuciosamente planejada e executada para que todos os resultados obtidos tivessem total confiabilidade, o que é essencial para a validação do experimento. O planejamento desta fase foi de primordial importância, por ser diretamente responsável pela compreensão dos fenômenos envolvidos e na verificação da influência de cada parâmetro na formação do cordão de solda. De posse dos melhores parâmetros, que resultavam em cordões com perfis de solda geometricamente aceitáveis para o experimento, repetia-se então a soldagem para a verificação da repetibilidade dos resultados. Em seguida, o mesmo parâmetro de soldagem era novamente replicado com o emprego de oscilação magnética do arco elétrico de soldagem. Três frequências de oscilação foram determinadas aleatoriamente: 20Hz, 10Hz e 5Hz. Desta forma, foi possível estabelecer uma comparação entre um cordão de solda gerado sem influência de oscilação magnética, com cordões gerados com os mesmos parâmetros de soldagem, porém sob a influência de oscilação magnética do arco elétrico de soldagem, sendo esta prática repetida de forma sistemática nas três fases da metodologia experimental. A seqüência das atividades é apresentada a seguir.

1 Etapa: Soldagem de cordões de 80 mm de comprimento sobre chapa de 2 mm, conforme Figura (3);



**Figura 3. Cordões de solda sobre chapa de 2 mm**

- Corte e extração de três amostras por cordão, eliminando-se o início e o final da solda;
- Polimento metalográfico das seções de corte das amostras;
- Macrografia e quantificação do perfil morfológico das amostras;
- Análise dos resultados, seleção dos melhores parâmetros e ou determinação de novos parâmetros em busca de melhores resultados para o emprego de oscilação magnética do arco elétrico e posterior análise quantitativa.

Na Tabela (1) são apresentados os parâmetros utilizados na execução da soldagem da primeira etapa.

**Tabela 1. Faixa de utilização dos parâmetros de soldagem realizada sobre chapa**

Faixa de utilização das variáveis	Velocidade de Soldagem (cm/min)	Vazão do gás (l/min)	Distância Bico de contato-peça (mm)	Tensão (Volts)	Corrente (Âmpères)	Frequência de Oscilação (Hz)
		18 - 23	13,5 - 18	13 - 15	15 - 18,9	52 - 137

2 Etapa: Soldagem de cordões de 80 mm entre chapas de 2 mm, conforme Figura (4);



**Figura 4. Cordões de solda depositados entre chapas com espessura de 2 mm**

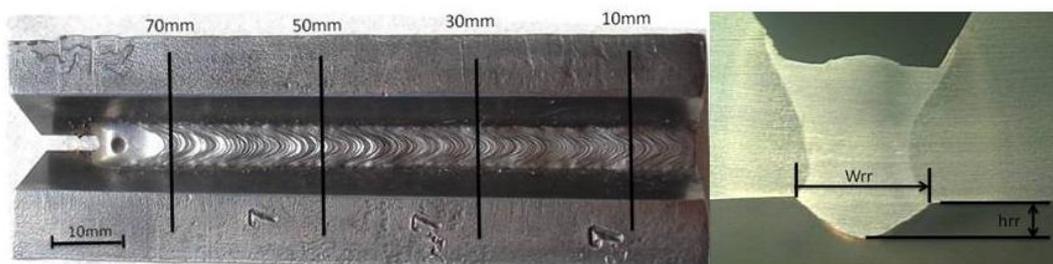
- Corte e extração de três amostras por cordão, eliminando-se o início e o final da solda;
- Polimento metalográfico das seções de corte das amostras;
- Macrografia e quantificação do perfil morfológico das amostras;
- Análise dos resultados, seleção dos melhores parâmetros e ou determinação de novos parâmetros em busca de melhores resultados para o emprego de oscilação magnética do arco elétrico e posterior análise quantitativa entre os cordões gerados com e sem a oscilação do arco elétrico.

Na Tabela (2) são apresentados os parâmetros utilizados na execução da soldagem da segunda etapa.

**Tabela 2. Faixa de utilização dos parâmetros de soldagem realizada entre chapas de 2 mm**

Faixa de utilização das variáveis	Velocidade de Soldagem (cm/min)	Vazão do gás (l/min)	Distância Bico de contato-peça (mm)	Tensão (Volts)	Corrente (Âmpères)	Frequência de Oscilação (Hz)
		18 - 22	13,5 - 18	13 - 15	17,3 - 18,1	60 - 73

3 Etapa: Passe de raiz de 80 mm de comprimento em juntas de topo com chanfro em V e nariz com altura de 2 mm, conforme Figura (5);



**Figura 5. Soldagem de passe de raiz em chanfro**

- Corte e extração de três amostras por cordão, eliminando-se o início e o final da solda;
- Polimento metalográfico das seções de corte das amostras;
- Macrografia e quantificação do perfil morfológico das amostras;
- Análise dos resultados, seleção dos melhores parâmetros e ou determinação de novos parâmetros em busca de melhores resultados na fase final, de soldagem em chanfro.

Na Tabela (3) são apresentados os parâmetros utilizados na execução da soldagem da última etapa, referente ao passe de raiz em chanfro.

**Tabela 3. Faixa de utilização dos parâmetros de soldagem de passe de raiz realizado em chanfros.**

Faixa de utilização das variáveis	Velocidade de Soldagem (cm/min)	Vazão do gás (l/min)	Distância Bico de contato-peça (mm)	Tensão (Volts)	Corrente (Âmpères)	Frequência de Oscilação (Hz)
	20 - 22	13,5 a 18	13 a 15	17,4 – 19,6	64 - 130	0 - 20

A análise metalográfica foi realizada a partir da extração de três corpos de prova de cada cordão de solda. Estes corpos de prova foram obtidos através do corte transversal do cordão com serra metalográfica, em três partes de mesmo tamanho aproximado, descartando-se os 10 mm iniciais e finais do cordão. Cada amostra tinha aproximadamente 20 mm de extensão, como ilustrado na Figura (5).

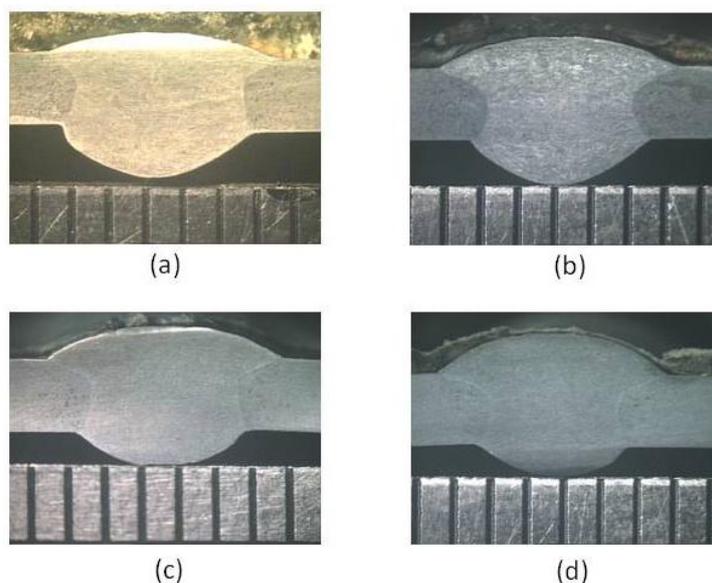
Depois de macrografadas, as imagens de todas as amostras eram analisadas através do programa Quantikov®, onde foi possível abstrair valores lineares de medidas de largura, altura, profundidade e mordeduras. Esta etapa era fundamental na tomada de decisões para a aprovação de uma solda e/ou a necessidade de se ajustar um parâmetro ou outro na busca pela solda esperada para o final do experimento.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os experimentos realizados, em um número de aproximadamente 190 soldas e 570 macrografias, foi constatado que a aplicação da oscilação magnética no arco elétrico influenciou determinadamente a formação da poça de fusão e a morfologia do cordão de solda.

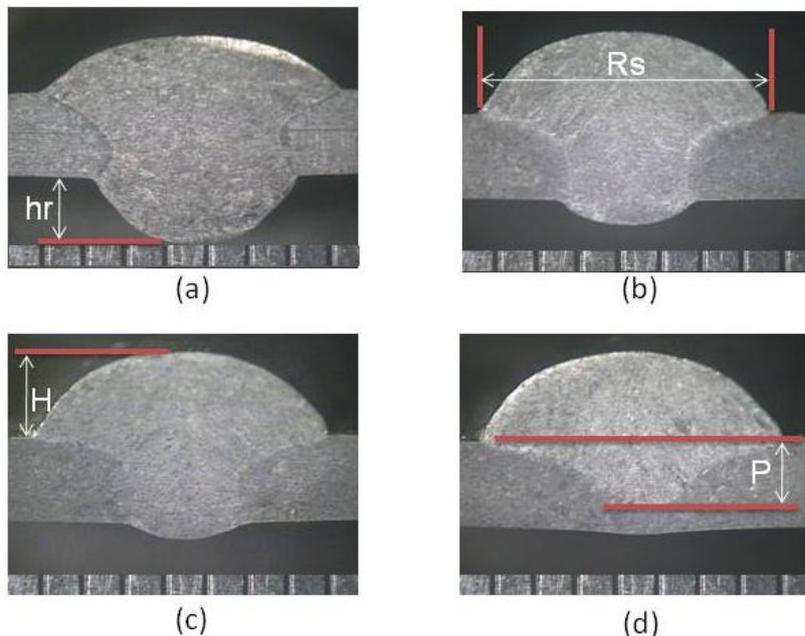
Na primeira etapa foram realizados 98 cordões sobre chapa. O elevado número de experimentos na primeira etapa se deveu a aleatoriedade inicialmente adotada na regulagem dos parâmetros. Na segunda etapa, foram realizadas 48 soldas entre chapas. O número de experimentos foi menor, já que os melhores parâmetros encontrados na etapa anterior foram o ponto de partida para esta etapa. Na terceira e última etapa foram realizadas 44 soldas em chanfro, onde as etapas anteriores contribuíram para o entendimento de várias ocorrências, ajudando na compreensão de fenômenos e resultados alcançados e na determinação dos melhores parâmetros mais rapidamente.

Para este experimento, observou-se que quanto menor a frequência de oscilação, menor a penetração e a altura do reforço da raiz e maior a largura (Rs) e a altura do reforço superior (H), como pode ser visto na Figura (6), referente a soldagem de cordões sobre chapa de 2mm de espessura, destacada abaixo.



**Figura 6. Macrografia das amostras geradas a partir de soldas de cordão sobre chapa de 2 mm, realizadas com os mesmos parâmetros, variando-se somente a frequência de oscilação magnética do arco elétrico. Em (a), solda realizada sem a ação da oscilação magnética do arco elétrico; (b), frequência de 20 Hz; (c), frequência de 10 Hz; (d), frequência de 5 Hz**

A partir da Figura (7), que representa a soldagem de cordões entre chapas de 2 mm de espessura, com abertura de 2mm, pôde-se observar também uma diminuição da altura do reforço da raiz quando a oscilação eletromagnética do arco elétrico foi empregada. Nota-se nesta etapa que embora tenha sido constatada a diminuição na altura do reforço da raiz com o emprego da oscilação do arco elétrico, as frequências de oscilação de 10Hz e 5 Hz não provocaram diminuição gradativa na altura do reforço da raiz, o que sugere a necessidade de um estudo mais detalhado sobre determinadas faixas de frequência de oscilação sobre o arco elétrico de soldagem (Kang, 2002).



**Figura 7. Macrografia das amostras geradas a partir de soldas de cordão entre chapas de 2 mm, realizadas com os mesmos parâmetros, variando-se somente a frequência de oscilação magnética do arco elétrico. Em (a), solda realizada sem a ação da oscilação magnética do arco elétrico; (b), frequência de 20 Hz; (c), frequência de 10 Hz; (d), frequência de 5 Hz**

Na soldagem entre chapas, foi verificada a ocorrência de excesso de penetração e conseqüentes furos da poça de fusão, quando da execução da solda pelo método convencional, sem a ação da oscilação magnética. Foram realizadas inúmeras tentativas de soldagem sem oscilação magnética, porém sem sucesso. Ao utilizar a oscilação magnética, verificou-se uma mudança no comportamento da poça de fusão, que tendeu a uma maior estabilidade, com grande redução de ocorrência de vazamentos e furos na chapa, sugerindo que o arco elétrico, sob a influência de oscilação magnética, fique mais estável, decorrente da força resultante da interação entre o campo eletromagnético com o arco elétrico de soldagem (Kang, 2002). Cerca de 60% das soldas realizadas com oscilação magnética foram bem sucedidas e não furaram, o que sugere que a oscilação magnética induz controle da poça de fusão, restringindo o seu escoamento no momento da formação (Koike, 1999). A Figura (8) representa uma chapa soldada sem oscilação e outra chapa soldada com oscilação magnética, ambas submetidas aos mesmos parâmetros e condições de soldagem.

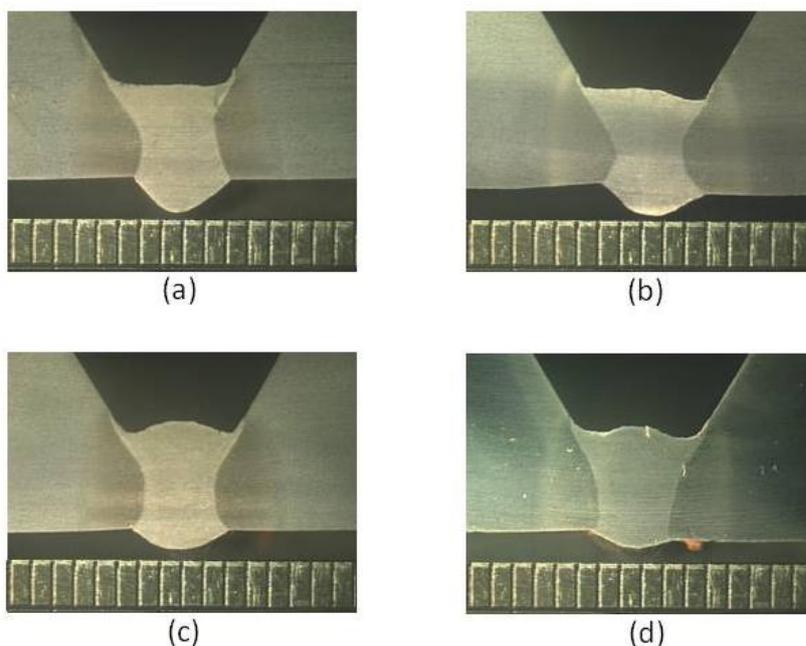


**Figura 8. Solda entre chapas. Na chapa superior, não foi aplicada oscilação magnética e houve a ocorrência de grande instabilidade da poça de fusão e vários furos. Na chapa inferior, sob a ação da oscilação magnética, foi notada notoriamente maior estabilidade na poça de fusão.**

De forma geral, foi verificado que a aplicação de oscilação magnética no arco elétrico induz como resultado um passe com menor penetração (P) e reforço de raiz (hr), maior alargamento do reforço superior (Rs) e da sua altura (H). Este fenômeno não ocorreu esporadicamente, mas sim com repetibilidade de 100% de todas as soldas com a aplicação da oscilação magnética do arco. O sistema eletrônico utilizado foi calibrado e verificado; os oscilogramas confirmaram os valores das faixas de frequência disponíveis.

Na soldagem de passe de raiz nos chanfros, a verificação se repetiu. Observa-se, a partir da Fig. (9), que a poça de fusão fica mais alta, à medida que se diminui a frequência de oscilação. A ocorrência do fenômeno nesta etapa ratifica os resultados encontrados nas etapas anteriores e sugere que a oscilação magnética interfere positivamente no mecanismo de formação da poça de fusão.

É importante destacar a baixa ocorrência de salpicos e ou respingos, o que auferir excelentes características qualitativas às soldas produzidas, como já evidenciado na Figura (5).



**Figura 9. Macrografia das amostras geradas a partir de soldas de passe de raiz em chanfro, realizadas com os mesmos parâmetros, variando-se somente a frequência de oscilação magnética do arco elétrico. Em (a), solda realizada sem a ação da oscilação magnética do arco elétrico; (b), frequência de 20 Hz; (c), frequência de 10 Hz; (d), frequência de 5 Hz**

## 5. CONCLUSÃO

Diante de todo exposto e discutido, conclui-se sobre os resultados alcançados que a oscilação magnética do arco elétrico deflete o arco elétrico de soldagem, conseguindo influenciar positivamente o processo de transferência metálica do processo GMAW, tendo sido evidenciados os principais pontos:

- Maior controle da poça de fusão e conseqüentemente o reforço, penetração e largura do cordão de solda ;
- Maior estabilidade do processo de transferência metálica;
- Simplicidade e facilidade de implantação e acoplamento do sistema de oscilação magnética ao equipamento de soldagem;
- Uma vez garantidos os parâmetros de entrada (tensão, velocidade de alimentação, DBCP, vazão do gás de proteção, inclinação da tocha e velocidade de soldagem), a obtenção de passes de raiz com a qualidade desejada pelo processo GMAW convencional com o uso de oscilação magnética foi eficaz, sugerindo maior estabilidade deste processo para esta aplicação.
- Os cordões de solda gerados possuem ótimo aspecto superficial, com ausência de mordeduras, pouca concavidade e penetração desejável para um passe de raiz.

Embora os resultados práticos para a execução de passes de raiz com o uso de oscilação eletromagnética do arco elétrico ainda não tenham um vasto respaldo teórico em função de poucas discussões ocorridas sobre o assunto até o momento, este trabalho serve como um forte indício para a viabilização técnica do processo GMAW para a aplicação em passes de raiz, possibilitando a indústria o aumento da produtividade da indústria nacional (Soares, 2010).

## 6. REFERÊNCIAS

- Campos, P.T., Caracterização Mecânica e Microestrutural de Juntas Soldadas Pelos Processos MIG/MAG (GMAW) e Arame Tubular (FCAW). Dissertação de Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2005.
- Dutra, J. C., MIG/MAG – Transferência Metálica por Curto-Circuito – Fontes de Soldagem Versus Gases do Arco., Soldagem Insp. São Paulo, Vol. 13, No. 1, p. 019-024, Jan/Mar 2008.
- Felizardo, I., Bracarense, A.Q., Fagundes, Hernandes C., Pereira, Flaviano L., 2007, “Qualificação do Procedimento de Soldagem Orbital de Dutos Utilizando Robô Dedicado de 4 Graus de Liberdade.”, Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, Cuzco, Peru, 2007.
- Gohr Jr, R., Novos Métodos de Controle da Soldagem MIG/MAG. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- Greene, W. J. Magnetic Oscillation of Welding Arc. Patent: Scotch Plains, 1960.
- Kang, B. Y. H., Na, S. J., A Study on the Modeling of Magnetic Arc Deflection and Dynamic Analysis of Arc Sensor. Welding Journal 2002: 8-S to 13-S.
- Koike, C.C., Barros, M. H. I. L., Carvalho, G. C., Alfaro, S. C. A, Monitoração da Poça de Fusão no Processo de Soldagem GMAW, Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindóia, São Paulo, 1999.
- Silva, R. H. G., Soldagem MIG/MAG em Transferência Metálica por Curto-Circuito Controlado Aplicada ao Passe de Raiz., Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- Silva, R.H.G., Gohr, R., Dutra, J. C., Oliveira, M. A., Soldagem MIG/MAG em Curto-Circuito Controlado (CCC) Aplicada ao Passe de Raiz, 2005.
- Soares, L.F., Uso de Oscilação Magnética do Arco Elétrico para Preenchimento do Passe de Raiz em Juntas Chanfradas de Aço Baixo Carbono com o Processo GMAW., Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.
- Soraggi, C., Estudo Paramétrico para Robotização da Soldagem Orbital de Dutos com Arame Tubular., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.
- Weck, L.W.A., Silva, R., “Processo MIG/MAG CCC Aplicado ao Passe de Raiz e Metodologia para Formulação de Programas Sinérgicos.”, Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador, Brasil, 2005.



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

## **USE OF ELECTRIC ARC MAGNETIC OSCILLATION FOR COMPLETION OF ROOT PASS IN LOW CARBON STEELS BEVEL JOINTS THROUGH GMAW PROCESS**

**Alexandre Queiroz Bracarense**, bracarense@ufmg.br<sup>1</sup>  
**Lucas Figueiredo Soares**, soares.lucas@gmail.com<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LRSS, Department of Mechanical Engineering, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 – Escola de Engenharia – Pampulha – Belo Horizonte-MG – CEP 31270-901

<sup>2</sup>Maintenance Engineering Department, Gerdau Açominas, Rod. MG 443 Km 07 – Fazenda do Cadete – Ouro Branco-MG – CEP 36420-000

**Abstract.** *This assignment broaches the application and use of magnetic oscillation of the electric arch at the GMAW process and its results. The heavy industry demands continuously high utilization and great efficiency processes. The main goal of this assignment is to judge the viability of the GMAW process in the execution of root pass with the use of magnetic oscillation because the formation of the fusion pool and the stability of this process have inferior characteristics if compared with the other processes widely used for this kind of purpose. Low carbon steel plates were prepared according to the standards API 1104 and AWS D1.1. The root pass were done first using the robotized GMAW process and, following it, the same parameters used before were repeated, adding to it the use of magnetic oscillation of the electric arch. Specimens were extracted and submitted to macrography, allowing the comparison between the robotized process with and without magnetic oscillation of the electric arch, still leaving gaps for parameter adjustments to obtain the desired root pass. The achieved results were surprising and the influence of the magnetic oscillation on root pass was confirmed. The joints produced without magnetic oscillation have lack of fusion and/or desired penetration, while the joints made from the same process but with magnetic oscillation have quality over the expectations. It was also possible to note that some welds made in disordered bevels had full penetration, without imperfections or defects. This assignment has positive signs for the use of this model inside the industries, easing the raise of productivity at the welding of root pass.*

**Keywords:** *GMAW, Root Pass, Magnetic Oscillation*