

AVALIAÇÃO CINEMÁTICA E ELÉTRICA DA TRANSFERÊNCIA METÁLICA NA SOLDAGEM MIG/MAG

Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues

POSMEC/UFU/Laprosolda, Campus Santa Mônica, Av João Naves S/N, Bloco 10
ceduardo@mecanica.ufu.br

Américo Scotti

UFU/Faculdade de Engenharia Mecânica/Laprosolda, Campus Santa Mônica, Av João Naves S/N, Bloco 10;
ascotti@mecanica.ufu.br

Resumo: Atualmente, o processo de soldagem MIG/MAG é, provavelmente, o de maior aplicação industrial. Muitos esforços têm sido feitos para ampliar o conhecimento dos modos de transferência metálica neste processo de soldagem, mas ainda existem muitas lacunas a serem preenchidas nesse campo do conhecimento, tais como a mensuração das características cinéticas das gotas em transferência e a determinação da influência da resistividade da mesma sobre o desempenho dessa soldagem. Então, como objetivo deste trabalho, pretende-se adquirir conhecimentos básicos ainda não disponíveis na literatura sobre transferência metálica. Para tanto, pretende-se medir e avaliar características cinéticas da gota (velocidade, aceleração, momentum), bem como o efeito dessas características cinéticas sobre geometria e anormalidades do cordão de solda para eletrodos de aço, aço inoxidável e alumínio; executar uma verificação da influência da resistência elétrica da gota metálica sobre o desempenho do controle interno de fontes de soldagem MIG/MAG; bem como avaliar formas de se obter arcos estáveis em soldagem de chapas finas pelo processo MIG/MAG, através do controle ou interferência sobre a transferência metálica. Neste trabalho preliminar, apresenta-se um resumo dos principais desenvolvimentos atuais, bem como uma proposta de metodologia para atingir os objetivos mencionados.

Palavras-chave: MIG/MAG, Transferência metálica.

1. INTRODUÇÃO

Em termos gerais, o processo de soldagem MIG/MAG usa um arame-eletrodo de metal consumível, alimentado continuamente, que, ao conduzir a corrente de soldagem, se funde devido ao calor gerado na conexão do arco elétrico com sua ponta. Por efeito e, em menor intensidade, ao calor por efeito Joule ao longo do seu comprimento energizado. Sabe-se que um ajuste ideal dos parâmetros de soldagem, para se obter o tipo, o controle ou a variação instantânea do modo de transferência metálica neste processo, é um dos pontos-chave para a obtenção de soldas isentas de descontinuidades, com a maior produtividade possível, ótima relação custo-benefício, bem como esteticamente agradáveis e ecologicamente corretas. Por isto, transferência metálica na soldagem MIG/MAG tem sido um objeto de estudo bastante explorado.

Contudo, ainda existem inúmeras questões a serem respondidas sobre o este tema. A técnica de modelamento numérico da transferência metálica em soldagem MIG/MAG vem sendo empregada para tal e resultados promissores têm sido obtidos (Wang e Tsai, 2001; Kim et al, 2003). Técnicas de modelamento experimental também têm sido testadas. Por exemplo, Lowke (1997) apresenta uma equação para determinação da corrente de transição entre a transferência globular e goticular. Porém, estes modelos são ainda incapazes de considerar todas as condições de contorno, como por

exemplo, pequenas variações na composição do gás de proteção.

Por isto, o estudo experimental sobre transferência metálica no processo MIG/MAG continua mantendo sua importância. Aprimoramentos ao longo dos últimos anos, em particular no âmbito do Laprosolda da UFU, de técnicas de visualização (Bálsamo et al, 2000) e de monitoração e tratamento de sinais elétricos têm possibilitado importantes acréscimos aos conhecimentos sobre este assunto. Scotti (2000), por exemplo, demonstrou que a mudança de Ar ultrapuro para Ar com pureza comercial como gás de proteção altera a corrente de transição globular/goticular e a frequência de destacamento de gotas após esta transição, fato não visualizado em mapas de transferência. Isto só foi possível pelo uso de shadowgrafia com filmagem em altas velocidades e por tempo relativamente longo. Outros exemplos, tornados possíveis agora pelo uso da shadowgrafia sincronizada com os sinais elétricos, são o desenvolvimento de metodologias para determinação de quedas de tensão em arcos de soldagem (Costa, 2003) e evidências de que a resistividade elétrica da gota é maior do que a do próprio arco e eletrodo (Ponomarev et al, 2002).

Então, pretende-se adquirir conhecimentos básicos ainda não disponíveis na literatura sobre transferência metálica, visando, no futuro, o desenvolvimento de um equipamento para soldagem de chapas finas pelo processo MIG/MAG. Nesse trabalho, apresenta-se uma breve revisão bibliográfica sobre os temas em questão, bem como uma metodologia para continuar o desenvolvimento que já tem sido apresentado.

2. AVALIAÇÃO CINÉTICA DA TRANSFERÊNCIA METÁLICA

A transferência metálica afeta muitos aspectos do processo de soldagem, inclusive o tamanho, a forma e a profundidade de penetração da poça de fusão (Murray & Scotti, 1999).

Alguns modelos teóricos de transferência de calor têm sido usados para prever o tamanho e forma da área transversal do metal fundido. São exemplos importantes o modelo de Adams (1958), baseado no modelo de Rosenthal (1946) de uma fonte de energia pontual móvel, e a extensão do modelo de Adams para uma fonte de energia distribuída, obtido por Eagar & Tsai (1983). Estes modelos assumem só a transferência de energia por condução em regime estacionário ao metal de base. Desta forma, a área da poça de fusão depende do fluxo de calor no metal de base, da mudança na entalpia que é exigida para fundir o metal de base, da difusividade térmica do metal de base, e da velocidade de soldagem. Porém, não são incluídos os efeitos de transferência de calor por convecção na poça de fusão e a deposição do metal de adição. Para superar a primeira simplificação, Mazumder & Tekriwal (1988) desenvolveram um modelo com o efeito da convecção. Outros avanços foram alcançados com modelos de fluxo fluido, como os de Tsao & Wu (1988) e Kim & Na (1995). Com estes modelos foi obtida uma boa aproximação entre as formas real e simulada da poça de fusão, adicionando-se, além do efeito da transferência de calor por convecção na poça de fusão, a deposição do metal de adição. Porém, o efeito da deposição de metal foi incluído apenas estimando-se a massa, a velocidade e a taxa de destacamento das gotas para a poça, em lugar de se fazer medições ou simulações numéricas da dinâmica do destacamento das gotas do eletrodo.

Dados experimentais fornecidos por Essers & Walter (1981) sugerem uma relação entre o impulso (momentum) das gotas que caem na poça e a profundidade de penetração. Em particular, Essers & Walter (1981) correlacionaram o impulso (momentum) das gotas e a profundidade da penetração para explicar a presença de uma penetração profunda e estreita que é observada frequentemente em MIG/MAG. Isto apenas sugere que a penetração seja afetada pela massa, velocidade, e taxa de gotas que chegam à poça. A massa, velocidade e taxa de destacamento das gotas expelidas do eletrodo são determinadas pela taxa de fusão do eletrodo e a resultante eletromagnética, gravitacional, inercial, e de arraste que age em uma gota que se forma à ponta do eletrodo (Waszink & Graat, 1983). Além disso, a velocidade com que as gotas chegam à poça é afetada pela aceleração causada pelo fluxo de gás no arco (Waszink & Graat, 1983). Uma recente tendência em estudos numéricos da poça de fusão tem sido tentar desenvolver modelos que incluem todos os efeitos de transferência de calor no arco, transferência de massa do eletrodo, fluxo de gás

no arco, transferência de calor e fluxo fluido na poça, e gotas que chegam na poça.

Avaliando numericamente a soldagem MIG/MAG estacionária, Wang e Tsai (2001) calcularam as dimensões e tamanho da poça de fusão como uma função do tempo. Foi calculada uma complicada velocidade de fluxo fluido, bem como as distribuições de temperatura na poça de fusão causadas pela combinação do impulso (momentum) das gotas que chegam à poça de fusão, da força eletromagnética, da força devida à tensão superficial, e da força gravitacional. Para o MIG/MAG estacionário, o momentum da gota é convertido em energia cinética e potencial do fluido na poça de fusão, enquanto a penetração da solda é causada principalmente pela força devida à tensão superficial. Este estudo, apesar de também levar em consideração o modelamento matemático do momentum das gotas, não verifica experimentalmente seus valores e apresenta, apesar de seu grande valor científico, uma limitação prática; não leva em consideração a translação da poça em uma direção, o que provavelmente provocaria uma mudança substancial nos resultados.

Em um estudo bastante recente (Kim et al, 2003), o fluxo de calor e os ciclos térmicos em soldagem foram modelados utilizando um modelo tridimensional, na soldagem MIG/MAG em filete. Neste estudo, as gotas metálicas são consideradas fontes volumétricas de calor, mas não se faz registro ou citação de medições de suas características cinéticas, nem dos fluxos fluidos na poça de fusão.

De uma forma mais experimental, Murray & Scotti (1999) apresentaram um modelo do comportamento da penetração do cordão de solda em soldagem MIG/MAG de um aço inoxidável. Este modelo foi baseado na suposição de que a transferência de calor e a de massa para a poça de fusão podem ser correlacionadas com a penetração do cordão por uma relação adimensional. Esta correlação levou esses pesquisadores a uma expressão analítica para a penetração envolvendo constantes empíricas, as quais são relacionadas com a eficiência de calor e a transferência de massa para a poça de fusão. A precisão do modelo foi examinada comparando-se a profundidade teórica da penetração (predita) e a profundidade medida da poça de fusão para uma gama de variáveis do processo que abrangem, inclusive, curto-circuito e transferência metálica por voo livre. Os resultados, utilizando gás de proteção rico em argônio, confirmaram que a penetração foi afetada por variações na taxa de transferência de massa. Neste trabalho, sugere-se que a penetração é afetada por uma alta frequência de gotas com impulso (momentum) suficiente para levar energia ao fundo poça, aumentando assim a mistura convectiva.

Apesar desses avanços em direção ao conhecimento cinético da transferência metálica e sua relação com o comportamento da penetração na soldagem MIG/MAG, ainda não há registros da medição dos parâmetros cinéticos da gota metálica, tais como velocidade de chegada à poça de fusão, aceleração média, aceleração de chegada e momentum, muito embora existam ferramentas capazes de estimá-las e de medi-las. Um estudo (Scotti & Rodrigues, 2003) feito no Laprosolda/UFU, avaliou experimentalmente e aprovou uma dessas ferramentas, através do estudo da influência do comprimento do arco de soldagem sobre essas características cinéticas citadas acima.

3. AVALIAÇÃO DA RESISTIVIDADE DA GOTA

Num estudo exploratório Ponomarev e seus colaboradores (2002) levantam uma dúvida quanto a eficácia do autocontrole de comprimento de arco no processo MIG/MAG. Este estudo sugere que o controle automático do comprimento do arco, denominado de “controle interno”, pode atuar de forma incoerente, provocando instabilidade de arco. Este controle se baseia numa suposta relação direta entre comprimento e tensão arco, ou seja, quanto maior o comprimento do arco, maior a tensão e vice-versa. Porém, estes pesquisadores observaram que com o crescimento da gota antes do destacamento, fato que leva a uma progressiva redução da coluna do arco, há evidências de que, em certas condições, a tensão de arco aumente ao invés de diminuir. A razão para tal é que a tensão total do arco (a possível de ser medida) é composta das quedas de tensão nas conexões arco eletrodo e arco peça, ao longo da coluna de plasma e ao longo do comprimento energizado do eletrodo + gota. Para haver redução no comprimento na coluna de plasma (com a respectiva queda de tensão), geralmente o comprimento energizado do eletrodo + gota aumenta nas mesmas proporções. Caso a

resistividade da gota se torne maior do que a da coluna de plasma, esta redução no comprimento do arco pode significar aumento da tensão total do arco. Desta forma, o controle interno torna-se inoperante e o arco instável.

Em um estudo bastante recente, Costa (2003) desenvolveu uma metodologia para a determinação da queda de tensão em arcos de soldagem, na qual se pode determinar com bastante precisão as quedas de tensão relativas à porção energizada do arame eletrodo e ao conjunto gota+arco. Uma adequação dessa metodologia direcionada à obtenção da queda de tensão no metal líquido na ponta do eletrodo poderá ser uma boa saída para que se consiga estimar e medir a resistividade da mesma.

4. OBTENÇÃO DE SOLDAGENS ESTÁVEIS MIG/MAG GLOBULAR E MIG/MAG CURTO-CIRCUITO-GLOBULAR

O processo de soldagem MIG/MAG curto-circuito é caracterizado pelo contato regular e relativamente cíclico entre o eletrodo e a poça de fusão. O crescimento da gota acontece no período de arco aberto, e durante o período de contato (curto-circuito), a transferência de metal do eletrodo para o metal de base acontece. O comportamento cíclico do processo pode ser descrito em termos do tempo de curto-circuito, o tempo de arco aberto ou a frequência de ocorrência de curtos-circuitos.

Como o arco praticamente não existe durante o período de curto-circuito, a sua contribuição no calor global é comparada à soldagem de um arco razoavelmente curto. Então, o processo MIG/MAG curto-circuito normalmente ocasiona uma poça de fusão pequena, com altas taxas de resfriamento. Logo, o processo MIG/MAG curto-circuito é caracterizado especialmente por sua grande aplicabilidade para unir secções finas, para soldagem posicional e por preencher aberturas de raiz.

Comparado com a soldagem ao arco aberto, o MIG/MAG curto-circuito é um processo muito mais dinâmico. Um dos principais problemas que acontece durante o processo MIG/MAG curto-circuito é o comportamento instável do processo, também caracterizado pela formação de respingos (Modenesi & Avelar, 1999).

Tradicionalmente os estudiosos do MIG/MAG curto-circuito apontam três causas principais da sua instabilidade: (a) curtos-circuitos instantâneos ou aleatórios, onde o eletrodo toca a poça de fusão por um período muito curto de tempo, mas nenhum metal é transferido à poça de fusão (Budai, 1988); (b) Falha no processo de re-ignição do arco (Rehfeldt et al, 1985); e (c) variações na velocidade de alimentação do arame (Quinn et al, 1995). Trabalhos mais modernos (Modenesi & Avelar, 1999) também tem atribuído a instabilidade no processo, além de algumas das causas supracitadas, à alta sensibilidade do processo MIG/MAG curto-circuito a pequenas variações nas características de fabricação dos eletrodos utilizados, tais como diâmetro, resistência mecânica, fundição e hélice (devida ao armazenamento em bobinas).

Uma publicação recente (Hermans & Olden, 1999) apresenta os resultados de uma investigação em estabilidade do processo MIG/MAG curto-circuito. Este estudo mostra que é alcançada estabilidade máxima do processo em condições de soldagem específicas. Além deste máximo, a transferência material acontece irregularmente, com uma tendência para transferência de gota por vôo livre; ou começa a acontecer o enterramento do arame-eletrodo na poça de fusão, acompanhado por comportamento de fusão com o arco apagado altamente irregular (ninho de pardal). Os resultados dessa investigação mostraram que a estabilidade de processo é relacionada diretamente com a oscilação da poça de fusão. Mais especificamente, a máxima estabilidade do processo se dá quando a frequência de curto-circuito se iguala à frequência de oscilação da poça de fusão. Nestas condições, a poça de fusão toca a gota no eletrodo ao término de toda oscilação, o que resulta na transferência regular da gota e na estabilidade alta do processo de soldagem MIG/MAG curto-circuito (Hermans & Olden, 1999). Esta última e mais importante conclusão só foi possível através da utilização de filmagem em alta velocidade (4000 quadros por segundo). Fato que demonstra que assuntos exaustivamente pesquisados no passado, sobre processos altamente consolidados no

presente ainda são passíveis de melhoramentos, e questões antigas podem ser respondidas quando esses processos são avaliados à luz de novas técnicas experimentais, indisponíveis em um passado bastante recente.

5. METODOLOGIA

Tendo em vista as lacunas apontadas, a metodologia constará das etapas a seguir. Deve-se ressaltar que, em todas as etapas, deverá existir um planejamento estatístico-experimental para se estudar o maior número de variáveis (corrente, comprimento do arco) com um menor número de testes possíveis, mas que sejam representativos dos fenômenos a serem investigados.

5.1. Avaliação do comportamento cinético das gotas

Em primeira vista, pretende-se executar a medição das características cinéticas (velocidade de chegada à poça de fusão, aceleração média, aceleração de chegada à poça de fusão) das gotas metálicas, pela execução de filmagens e utilização de tratamento das imagens através do software Optimas® MA, cuja eficiência foi demonstrada outro trabalho (Rodrigues et al, 2003). A caracterização das transferências metálicas será feita com uma ferramenta desenvolvida no Laprosolda, um analisador de imagens de transferência metálica (Maia, 2001). Os sinais elétricos serão monitorados e sincronizados com as filmagens pela técnica da Shadowgrafia Sincronizada (Bálsamo et al, 2000).

Um resumo das sub-etapas é apresentado a seguir:

- Confecção da bancada experimental.
- Determinação da matriz experimental e do número mínimo de experimentos a serem realizados.
- Realização de ensaios exploratórios para a identificação dos parâmetros a serem estudados, em aço, aço inoxidável e alumínio.
- Aplicação da técnica da shadowgrafia sincronizada para a filmagem e o monitoramento dos sinais elétricos das soldagens a serem avaliadas, em aço, aço inoxidável e alumínio.
- Aplicação da técnica de análise digital de imagens (Maia 2001) para a caracterização das transferências metálicas obtidas.
- Aplicação da técnica de medição das características cinéticas da transferência metálica.
- Preparação das amostras para avaliação da geometria da solda.
- Avaliação da influência das características cinéticas medidas sobre as características geométricas dos cordões de solda.
- Análise estatística, avaliação e discussão dos resultados.

5.2. Avaliação da resistividade da gota metálica

Primeiramente, pretende-se adequar a metodologia proposta por Costa (2003) para a medição da queda de tensão em arcos de soldagem. Em uma segunda etapa, procede-se a execução de soldagens MIG/MAG com uma fonte de soldagem do tipo tensão constante, para a determinação de um melhor conjunto de parâmetros para a aplicação da metodologia de determinação de quedas de tensão (Costa, 2003) para os três materiais a serem avaliados. Com a aplicação dessa metodologia, tem-se uma boa estimativa do valor da resistividade da gota. Então, faz-se um último experimento, que visa validar a metodologia, no qual se determina a resistência elétrica do metal líquido proveniente da fusão de pedaços de eletrodos. Então se pode comparar os resultados e propor, se for o caso, um novo tipo de controle para as fontes de soldagem MIG/MAG convencionais.

Um resumo das sub-etapas é apresentado abaixo:

- Montagem da bancada experimental.
- Adequação da metodologia proposta por Costa (2003)

- Execução de testes preliminares para a determinação dos parâmetros de soldagem para obtenção da transferência globular e curto-circuito+globular, nos três materiais.
- Identificação dos melhores parâmetros a serem utilizados, em aço, aço inoxidável e alumínio.
- Aplicação da técnica da shadowgrafia sincronizada (Bálsamo et al, 2000) para a filmagem e o monitoramento dos sinais elétricos das soldagens a serem avaliadas, em aço, aço inoxidável e alumínio.
- Aplicação da técnica de análise digital de imagens (Maia 2001) para a caracterização das transferências metálicas obtidas.
- Aplicação da nova metodologia, adaptada anteriormente (Costa, 2003).
- Medição estática das resistividades de arames eletrodos no estado líquido.
- Avaliação e discussão dos resultados.

5.3. Obtenção de soldagens estáveis MIG/MAG globular e MIG/MAG curto-circuito-globular

Partindo dos dados obtidos na investigação proposta na Etapa C, pretende-se executar o controle adequado da corrente de soldagem, com vistas a possibilitar a soldagem MIG/MAG globular e curto-circuito-globular de forma estável. Para que isso ocorra, é necessário o projeto e a implementação de uma forma de onda de corrente que, ao passo que aconteça a formação e a transferência da gota metálica possibilite a geração de cordões de solda livres de defeitos, principalmente de respingos, e de conformação estável e esteticamente agradável.'

Um resumo das sub-etapas é apresentado abaixo:

- Planejamento da forma de onda, de acordo com a resistividade do material do eletrodo.
- Implementação da onda, através de um programa de controle da fonte de soldagem MIG/MAG.
- Ajuste dos níveis, tempos e rampas de corrente utilizados nessas ondas, para cada material.
- Avaliação e discussão dos resultados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização da metodologia apresentada, considera-se que terão sido dados passos importantes no conhecimento e desenvolvimento da soldagem MIG/MAG.

De forma específica, tem-se:

- Medir e avaliar características cinéticas da gota (velocidade, aceleração, momentum), bem como o efeito dessas características cinéticas sobre geometria e anormalidades do cordão de solda para eletrodos de aço, aço inoxidável e alumínio;
- Verificação da influência da resistência elétrica da gota metálica sobre o desempenho do controle interno de fontes de soldagem para arames de aço, aço inoxidável e alumínio;
- Avaliar formas de se obter arcos estáveis em soldagem de chapas finas pelo processo MIG/MAG, através do controle ou interferência sobre a transferência metálica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams Jr., C. M.. 1958. Cooling Rates and Peak Temperatures in Fusion *Welding Journal* AWS Maio 1958, pp210–215.
- Bálsamo, P.S.S., Vilarinho, L. O., Vilela, M. & Scotti, A.; Development of an Experimental Technique for Studying Metal Transfer in Welding: Synchronized Shadowgraphy, *The Int. Journal for the Joining of Materials*, vol 12, no. 1, 2000, The European Institute for Joining of Materials (JOM), Denmark, pp1-12
- Budai, P. 1988. Measurement of droplet transfer stability in weld processes with short circuiting drop transfer. *Conf. Computer Technology in Welding*. pp149–155.

- Costa, A. V. da. 2003. Desenvolvimento de metodologias para a determinação de quedas de tensão em arcos de soldagem. *Tese de Doutorado*, Universidade Federal de Uberlândia. Fevereiro, 2003.
- Eagar, T.W., Tsai, N.S.. 1983. Temperature Fields Produced by Traveling Distributed Heat Sources. *Welding Journal* AWS, Dezembro, 1983 p346.
- Essers, W. G. e Walter, R.. 1981. Heat Transfer and Penetration Mechanisms with GMA and Plasma-GMA Welding, *Welding Journal*, 1981, 60, 37s–42s.
- Hermans, M. J. M., Ouden, G. Den. 1999. Process Behavior and Stability in Short Circuit Gas Metal Arc Welding. *Welding Journal* 76 (1) pp132-137
- Kim, C.-H., Zhang, W., Debroy, T.. 2003. Modeling of temperature field and solidified surface profile during gas–metal arc fillet welding *Journal Of Applied Physics* Volume 94, Number 4. 15 de Agosto de 2003.
- Kim, J.-W. & Na S.-J. 1995. A study of the effect of contact tube-to-workpiece distance on weld pool shape in gas metal arc welding. *Welding Journal*, Maio de 1995, 74, pp. 141–152.
- Maia, T. C. G.. 2001. Utilização de técnicas de processamento digital de imagens no estudo de transferência metálica em soldagem a arco voltaico. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Uberlândia, maio 2001.
- Mazumder, J., Tekriwal P.. 1988. Finite Element Analysis of Three-Dimensional Transient Heat Transfer in GMA Welding. *Welding Journal* AWS Jul. 1988 pp150-156
- Modenesi, P. J., Avelar, R. C. de. 1999. The influence of small variations of wire characteristics on gas metal arc welding process stability. *Journal of Materials Processing Technology* 86, pp. 226–232
- P. E. Murray and A. Scotti. (1999). Depth of penetration in gas metal arc welding. *Science and Technology of Welding and Joining* .1999 Vol. 4 No. 2, pp 112 – 117.
- Ponomarev V., DA Costa A.V. & Scotti A. 2002. Effect of electrode metal drop on arc voltage in shielded-gas welding, *Patton Welding Journal*, no. 4 (589), April 2002, pp. 7- 11 (in English) (ISSN: 0957-798X - www.nas.gov.ua/pwj).
- Ponomarev V., DA Costa A.V. & Scotti A. 2002. Effect of electrode metal drop on arc voltage in shielded-gas welding, *Avtomaticeskaya Svarka (Automatic Welding)* , no. 4 (589), April 2002, pp. 7- 11 (in Russian), Ed. The Paton Welding Institute (ISSN: 0005-111X - www.nas.gov.ua/pwj)
- Quinn, T. P., Madigan, R. B., Mornis, M. A., Siewert, T. A. 1995. Contact tube wear detection in gas metal arc welding. *Welding Journal* 74(4): pp115-121.
- Rehfeldt, D., Seyferth, J., and Wandtke, R. 1985. Arc short circuiting and arc reignition during GMAW. IAW doc. 212-629-85: pp1–10.
- Rosenthal, D. 1946. *Trans. ASME*, 1946, 68, pp849–866.
- Scotti, A., Rodrigues, C. E. A. L.. 2003. Seminário da disciplina de estudo dirigido II. *Programa De Pós-Graduação em Engenharia Mecânica*. Maio 2003.
- Scotti, A.. 2000. Mapping transfer modes for stainless steel gas metal arc welding. *Science and Technology of Welding & Joining*, 1 April 2000, vol. 5, no. 4, pp. 227-234(8). Institute of Materials, published by Maney Publishing
- Tsao, K.C., Wu, C.S.. Fluid Flow and Heat Transfer in GMA Weld Pools, *Welding Journal* AWS pp70-75 Mar. 1988
- Wang, Y., Tsai, H.L. 2001. Impingement of filler droplets and weld pool dynamics during gas metal arc welding process. *International Journal of Heat and Mass Transfer* (44) pp. 2067-2080
- Waszink, J. H., Graat L. H. J.. 1983. Experimental Investigation of the Forces Acting on a Drop of Weld Metal. *Welding Journal* AWS 1983, 62, 109s–116s.

CINEMATIC AND ELECTRICAL EVALUATION OF MIG/MAG PROCESS METAL TRANSFER

Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues

POSMEC/UFU/Laprosolda, Campus Santa Mônica, Av João Naves S/N, Bloco 10
ceduardo@mecanica.ufu.br

Américo Scotti

UFU/Faculdade de Engenharia Mecânica/Laprosolda, Campus Santa Mônica, Av João Naves S/N, Bloco 10;
ascotti@mecanica.ufu.br

Abstract. *The goal of this research is to acquire basic knowledge about metal transfer still not presented in literature. Probably, MIG/MAG process is the most important welding process in industry environment. Various researches have been made to expand the knowledge about metal transfer modes, but there are still some questions without answers, like the measurement of free flight droplets kinetics characteristics and the determination of the effect of its resistance in metal transfer and welding performance. So, the intention is to measure and evaluate the kinetic characteristics of the droplets (speed, acceleration) in transfer, as well as the effect of these kinetic characteristics in the geometry and abnormalities of weld beads for steel, stainless and aluminum wires; execute a verification of the influence of the metal droplets electric resistance on the performance of the arc length's self control in MIG/MAG welding sources; as well as analyze skills to obtain stable arcs in MIG/MAG process of thin plates, by controlling or interfering on metal transfer. This preliminary work presents a summary of the main recent development as well as a proposal of a method to obtain the mentioned goals.*

Key-words: MIG/MAG process, metal transfer.