

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO ARAME DE SOLDAGEM E DO TEOR DE DIÓXIDO DE CARBONO EM ARGÔNIO DO GÁS DE PROTEÇÃO NA SOLDAGEM MIG/MAG COM TRANSFERÊNCIA POR CURTO CIRCUITO

André Chemicatti Fabrini, andrefabrini@hotmail.com¹
Gustavo Henrique Sette Camara Braz, ghscbraz@gmail.com¹
Laura Silva Macedo Lima, laurasmlima@gmail.com¹
José Rubens Gonçalves Carneiro, joserub@pucminas.br¹

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Dom José Gáspar, 500 - Coração Eucarístico, Belo Horizonte – MG , 30535-901

Resumo: O processo de soldagem MIG/MAG com transferência metálica por curto circuito é amplamente indicado para união de chapas de aço temperado, já que este método combina grande praticidade e baixo aporte térmico. Contudo, este modo de transferência caracteriza-se por uma grande instabilidade no arco, podendo apresentar formação intensa de respingos caso a correta seleção de parâmetros e consumíveis não seja feita. Este trabalho consiste no estudo da influência da composição do gás de proteção na estabilidade do processo de soldagem do aço temperado RAEX 400 através do processo de soldagem MIG/MAG com transferência por curto circuito. Isto foi feito utilizando dois tipos diferentes de arames (ER70S-6 e ER110S-1) e gases de proteção com teores de 4%, 18% e 40% de CO₂ em Argônio. Com o auxílio de uma bancada mecanizada, cordões de solda foram executados para cada combinação de arame e gás, variando apenas a tensão de soldagem na faixa de 17 a 20 Volts, que foi monitorada por um sistema de aquisição de dados. Após a análise dos oscilogramas gerados pelo sistema, 60 corpos de prova foram soldados em pares, produzindo 30 amostras, sendo 5 para cada combinação de gás e arame. Para cada combinação de gás e arame foi utilizada a tensão de teste que gerou o oscilograma mais estável e a menor taxa de respingos. Os resultados obtidos levaram à conclusão que, embora não possua influência tão relevante quanto a tensão de soldagem, o aumento no teor de CO₂ possibilitou o aumento da quantidade de curtos durante a execução do cordão e da prevalência do tempo em curto, conferindo maior estabilidade ao processo.

Palavras-chave: Soldagem. MIG/MAG. Transferência por curto circuito. Gases de proteção. Tensão de Soldagem.

1. INTRODUÇÃO

Devido à necessidade de equipamentos cada vez mais leves e resistentes, a aplicação de aços baixo carbono e baixa liga com alta resistência mecânica e ao desgaste sob a forma de chapas (4,75mm no caso deste trabalho) tem sido cada vez maior, se tornando muito comum no ambiente industrial atual. Contudo, é preciso ter o domínio sobre os métodos e processos de união deste tipo de material para que seja possível obter uma gama ampla e confiável de aplicações do mesmo.

Dentre os processos de união dos metais, a soldagem é o mais importante e, nos últimos anos, em virtude da possibilidade de automatização e de suas múltiplas possibilidades de aplicações, a soldagem pelo processo GMAW – “Gas Metal Arc Welding” ou MIG/MAG, como também é conhecido, tem apresentado um grande crescimento (Marques; Modenesi; Bracarense, 2011). Este processo tem como princípio de funcionamento a utilização de um arco elétrico para aquecer a superfície a ser soldada e um eletrodo metálico. O calor gerado pelo arco funde a ponta do eletrodo e a superfície do metal de base para formar a poça de fusão, que é protegida dos efeitos nocivos do ar atmosférico por intermédio de um gás de proteção (Nilo Júnior, 2003).

Na soldagem com eletrodos consumíveis, o metal fundido na ponta do eletrodo tem que se transferir para a poça de fusão. O modo com que ocorre esta transferência é muito importante na soldagem MIG/MAG, pois afeta muitas características do processo (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011). Conforme MODENESI (2007), a transferência de metal no processo GMAW apresenta inúmeras facetas ao se aumentar a tensão de soldagem e manter constantes os demais parâmetros. Em termos de classificação, contudo, considerando o aumento progressivo da tensão de soldagem, podem-se destacar três formas principais: Transferência por Curto Circuito, Transferência Globular, Transferência por “Spray” (Aerossol ou Goticular).

Uma das formas de se operar com a transferência por curto-circuito é utilizando um pequeno comprimento do arco (baixa tensão) com uma baixa corrente. Nesta forma de transferência, a ponta do eletrodo toca a poça de fusão de forma periódica, ocasionando consecutivos curtos-circuitos e extinções do arco. Com o curto-circuito, a corrente eleva-se rapidamente, aquecendo o eletrodo por efeito Joule e aumentando a sua fusão. Ao mesmo tempo, o metal fundido tende a se transferir para a poça de fusão por ação da tensão superficial e de forças de origem eletromagnética. Com isto, o

curto-circuito é rompido e o arco é restabelecido (TESKE, 2006). Devido à baixa quantidade de calor transferida para a peça, o processo é recomendado para soldagem de chapas finas (FOGAGNOLO, 2011).

Este modo de transferência caracteriza-se por uma grande instabilidade no arco, podendo apresentar a formação intensa de respingos. Entretanto, a quantidade de respingos pode ser limitada pela seleção adequada de parâmetros de soldagem, de forma que os curto-circuitos ocorram de forma suave. Deste modo, a ponta do eletrodo fica parcialmente mergulhada na cratera da poça de fusão. De um modo geral, a estabilidade do arco e do processo aumenta com a frequência de curto-circuito, até determinado limite (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011).

Em condições normais de operação com este tipo de transferência, podem ocorrer cerca de 20 a 200 curtos em um segundo. Modenesi (2007) define que os menores períodos de curto-circuito (definidos como o intervalo de tempo entre dois curto-circuitos subsequentes), alcançados com valores intermediários de tensão, de um modo geral, correspondem aos melhores resultados de estabilidade e às menores taxas de respingos.

O fator de curto-circuito (definido como a fração do tempo total de operação em que o arame permanece em curto) também representa uma variável importante na avaliação da estabilidade do processo de soldagem. Matematicamente, o fator de curto-circuito pode ser definido pela Eq. (1), na qual FCC é o fator de curto-circuito, t_{CC} a duração média de um curto circuito, e T o período médio de curto-circuito.

$$FCC = \frac{t_{CC}}{T} \quad (1)$$

A relação entre período de curto-circuito e a tensão do processo, assim como suas implicações no fator de curto circuito podem ser bem observadas na Fig. (1).

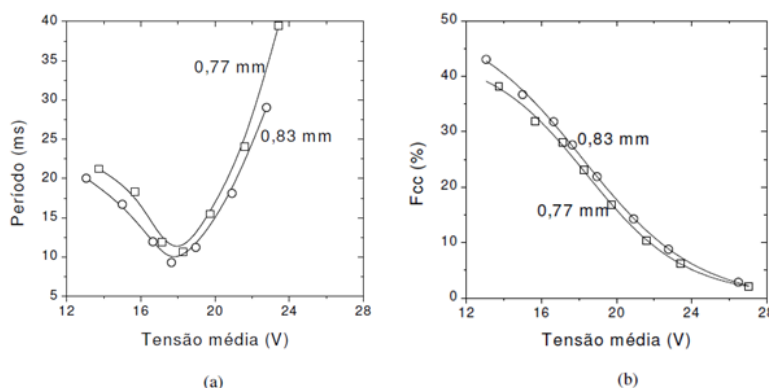


Figura 1. (a) Variação do período de curto circuito e do (b) fator de curto circuito com a tensão média de soldagem utilizando arame AWS E70S6 de 0,77 e 0,83mm e proteção com CO₂, ambas adaptadas de Modenesi (2007)

Conforme Rezende *et al* o Índice Vilarinho de regularidade da transferência por curto circuito, indicado pelo símbolo IV_{cc} , representa uma forma eficiente para analisar a constância da transferência metálica durante o processo. Este método quantifica a representatividade do desvio padrão do tempo de arco aberto, t_{ab} , e do tempo de arco fechado (ou curto-circuito), t_{cc} , em relação às suas respectivas médias. Matematicamente o Índice Vilarinho é indicado por:

$$IV_{cc} = \frac{\sigma_{tab}}{t_{ab}} + \frac{\sigma_{tcc}}{t_{cc}} \quad (2)$$

Onde σ_{tcc} = desvio padrão da média do tempo de curto-circuito; σ_{tab} = desvio padrão da média do tempo de arco aberto, t_{cc} = média do tempo de curto-circuito; t_{ab} = média do tempo de arco aberto.

As propriedades físicas e químicas dos gases de proteção determinam, em grande parte, as características operacionais do arco de soldagem e as propriedades das soldas produzidas (Teske, 2006). A manutenção do arco elétrico, por exemplo, está intrinsecamente ligada com a ionização do gás de proteção que o envolve, criando um meio condutor de alta temperatura denominado plasma (Marques; Modenesi; Bracarense, 2011).

Conforme Tatagiba; Gonçalves; Paranhos (2012) o aquecimento do gás acarreta em um aumento da energia de suas moléculas, provocando principalmente o movimento e vibração. Em temperaturas elevadas esta energia vibracional das moléculas poliatômicas atinge níveis bastante altos, causando a ruptura ou dissociação em átomos. Um exemplo seria a dissociação do O₂ em 2O. A ionização ocorre após a dissociação, em temperaturas ainda mais elevadas, quando elétrons das camadas mais externas dos átomos são expulsos. No processo de ionização ocorrem reações endotérmicas que absorvem energia, mas próximo à região da solda, o plasma resfria e os átomos dissociados reagem com eles mesmos ou com os elementos do metal fundido gerando um processo exotérmico.

A indústria disponibiliza misturas de dois, três e até quatro gases, mas as mais populares são à base de Ar e CO₂. A seleção adequada do gás de proteção garante eficiência na deposição da solda e menor custo, sendo o hélio (He) o gás mais caro, o Ar de preço intermediário e o CO₂ o mais barato (Scotti, A.; Ponomarev, 2008).

Este trabalho será focado na realização de testes em um aço baixo carbono e baixa liga denominado Raex 400. Este aço será usado na formação de juntas soldadas utilizando o processo MIG/MAG com transferência por curto circuito e variando a composição do gás de proteção, que serão 4%, 18% e 40% de CO₂ em Ar. Espera-se que o estudo da variação da concentração de CO₂ em Ar, para dois diferentes tipos de arames, permita aprimorar os conhecimentos acerca do comportamento da soldagem de aços baixo carbono e baixa liga para uma ampla gama de parâmetros de soldagem, podendo auxiliar no aperfeiçoamento dos processos de soldagem MIG/MAG utilizando a transferência por curto circuito neste tipo de aço.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de soldagem utilizado foi o MIG/MAG, e, nesse processo, foram utilizados os equipamentos do Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação (LRSS) e do Laboratório de Soldagem e Ensaio Não Destrutivos da Universidade Federal de Minas Gerais (LABSEND).

Foi utilizada uma fonte de energia IMC Digitec 600 de tensão constante. A tocha de soldagem modelo TBI 511 foi acoplada a um carro tartaruga modelo IMC Tartilope-V1. A velocidade de soldagem e o sistema mecânico foram ajustados para garantir o movimento da tocha com velocidade constante de 0,386 metros por segundo. A vazão do gás de proteção durante a realização das soldagens foi de 18 litros de gás por minuto. Um sistema formado por um divisor de tensões, uma placa de aquisição de dados (Advantech PCP-818H) conectada a um computador, um sensor de efeito hall e um sistema de tratamento de sinais foi utilizado para aquisição de dados. Estes foram tratados no programa SINAL, desenvolvido no laboratório. Os valores de corrente e tensão foram captados numa taxa de 10.000 pontos por segundo durante 6 segundos, iniciados após a estabilização da soldagem de cada cordão.

A primeira etapa da definição de parâmetros era apenas preliminar e consistia na seleção da faixa de tensões a serem testadas. Foram realizados, sobre aço RAEX 400 de 4,75 mm de espessura, 3 cordões para cada uma das tensões de 17, 18, 19 e 20 volts. Para a determinação da faixa de tensão a ser testada, os oscilogramas gerados pelo programa SINAL eram analisados. Com base principalmente no período de curto curto-circuito, no desvio padrão dos valores captados e no aspecto do cordão, era determinada a tensão que conferisse maior estabilidade ao processo. A partir da tensão selecionada, determinava-se um intervalo de tensões a serem testadas. A diferença entre a tensão máxima e mínima do intervalo selecionado sempre tinha 1 Volt, e as tensões dentro da faixa eram testadas de 0,1 em 0,1 Volt. Cada tensão dentro da faixa foi testada em dois cordões de solda.

Após a determinação dos parâmetros de soldagem, foram preparados 60 corpos de prova do aço RAEX 400 de dimensões 4,75 x 100 x 170 mm que foram montados em pares, obtendo-se 5 amostras para cada combinação de composição de gás (4%, 18% e 40% de CO₂ em argônio) e arame (ER70S-6 e ER110S-1). Os corpos de prova foram soldados na posição plana aplicando um filete de solda para a união das chapas. Durante esta etapa foi realizada, assim como na fase de testes, a captação dos dados de tensão e corrente.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Durante a soldagem de todos os corpos de prova, foram captados os oscilogramas e alguns parâmetros elétricos sob os quais os processos foram realizados, constatando-se a estabilidade dos mesmos. Os oscilogramas de tensão captados durante as soldagens podem ser observados na Fig. (2) e os valores médios destes parâmetros, assim como os desvios padrões, foram apresentados na Tab. (1).

Tabela 1. Parâmetros elétricos de soldagem.

		Tensão setada (V)	Número de pulsos	Período (ms)	Per. de curto (ms)	F _{cc}
4% CO₂ - ER70S-6	Média	19,100	372,000	16,122	2,944	18,3%
	DP	-	20,012	8,854	0,188	1,5%
18% CO₂ - ER70S-6	Média	18,400	605,200	9,940	2,496	25,2%
	DP	-	53,434	4,525	0,123	2,1%
40% CO₂ - ER70S-6	Média	20,200	454,200	13,346	2,880	21,7%
	DP	-	60,363	6,842	0,277	1,6%
4% CO₂ - ER110S-1	Média	18,700	500,800	11,971	2,033	17,0%
	DP	-	25,361	5,742	0,050	0,5%
18% CO₂ - ER110S-1	Média	18,800	588,400	10,204	2,441	23,9%
	DP	-	28,510	4,083	0,068	0,7%

40% CO ₂ - ER110S-1	Média	18,800	707,000	8,486	2,297	27,0%
	DP	-	35,348	3,670	0,199	1,0%

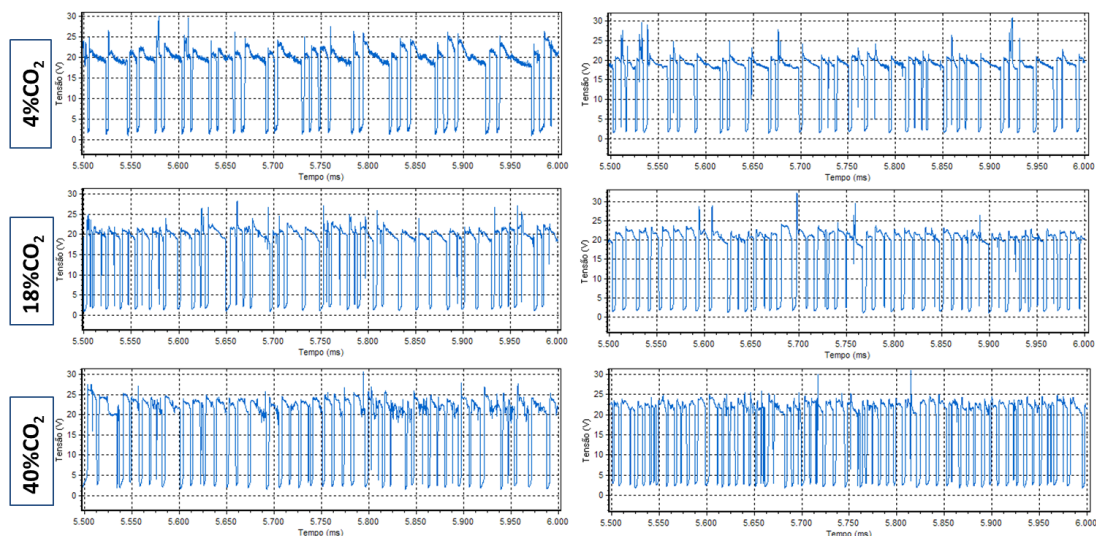


Figura 2. (a) Oscilograma referente ao arame ER70S-6 e (b) Oscilograma referente ao arame ER110S-1

Conforme a Fig. (3), o Índice Vilarinho foi evidenciado para todos os valores de tensão testados durante o ajuste fino de seleção de tensão. O fato de o IVcc dos valores de tensão selecionados (explicitados por uma reta vertical) para a soldagem dos corpos de prova estarem sempre entre os mais baixos da faixa de teste indica que as tensões selecionadas proporcionaram boa regularidade da transferência metálica e da estabilidade do processo como um todo.

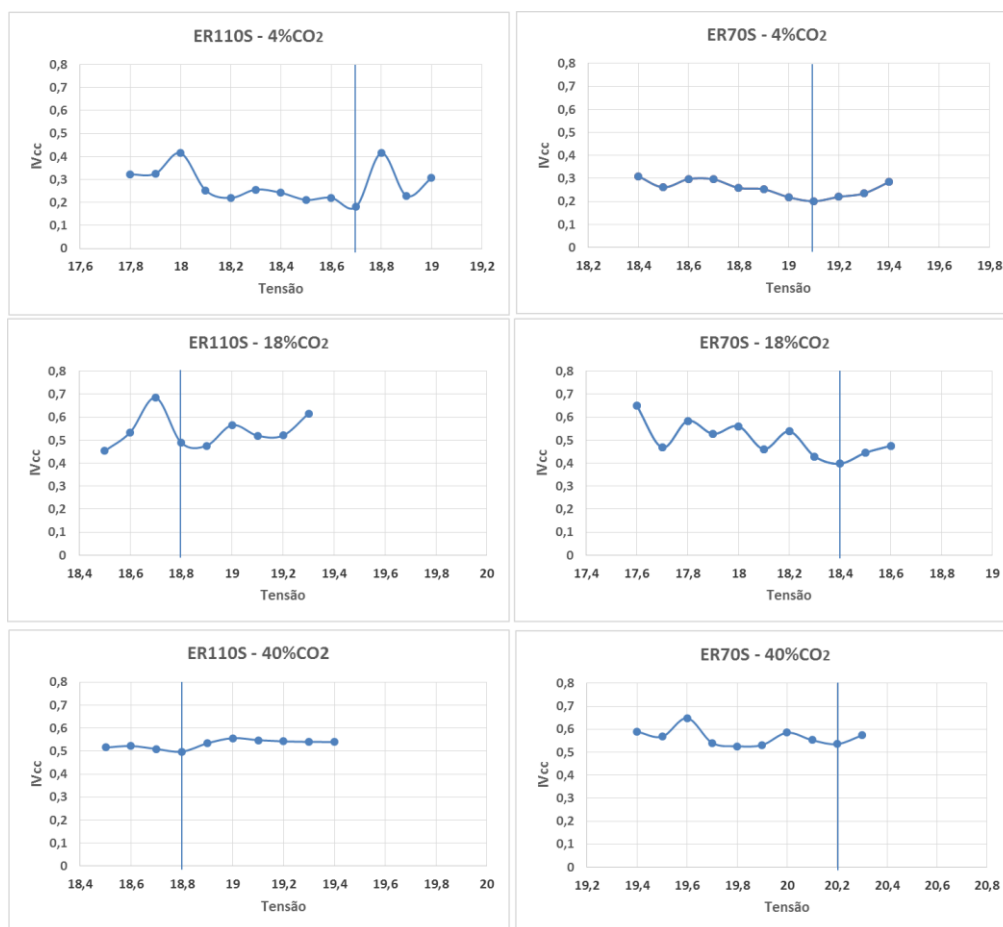


Figura 3. Índice Vilarinho dos valores de tensão testados

Construiu-se um gráfico evidenciando as variações de tensão setada para cada combinação de arame e concentração de dióxido de carbono no gás de proteção conforme apresentado na Fig. (4).

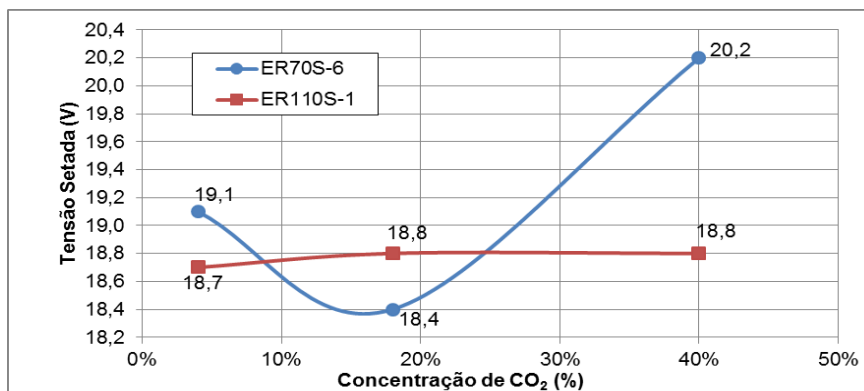


Figura 4. Variação da tensão em função da concentração de CO₂.

Notou-se que os valores de tensão setados para a realização das soldagens com o arame ER110S-1 foram relativamente constantes, o que possibilitou realizar uma análise em função, apenas, da concentração de CO₂ na composição do gás de proteção. Para a realização de tal análise foram plotados em um gráfico os valores de período de curto-circuito (T) em função da concentração de CO₂.

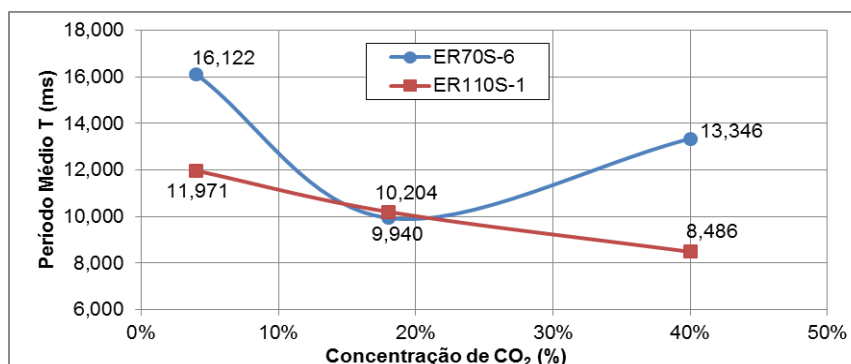


Figura 5. Variação do período médio em função da concentração de CO₂.

A partir da curva referente ao arame ER110S-1, presente no gráfico da Fig. (5), observou-se que o aumento na concentração de CO₂ na composição do gás de proteção ocasionou uma redução no período de curto circuito. Uma possível explicação para isto seria o fato de o CO₂ ser um gás poliatômico, demandando mais energia para ser ionizado quando comparado ao Argônio. Desta forma, quanto maior a porcentagem de CO₂ presente no gás de proteção, mais energia será conduzida ao meio e à junta soldada, reduzindo o comprimento do arco ocasionando a fusão mais rápida do arame. Sendo assim, o efeito combinado da redução do comprimento do arco elétrico e da fusão mais acelerada do arame, ocasionou maiores quantidades de pulsos conforme cresceu a porcentagem de dióxido de carbono na mistura do gás de proteção.

Evidenciou-se, comparando as curvas referentes ao arame ER70S-6 dos gráficos das Fig. (4) e (5), que para a faixa das tensões testadas, o período de curto circuito (T) variou de forma diretamente proporcional à tensão.

A ideia de que a concentração de CO₂ e tensão de soldagem possuem efeitos contrários sobre a variação do período de curto circuito (T) foi reforçada ao serem comparados os dois intervalos da curva do arame ER70S-6 referente ao gráfico da Fig. (5). Considerando o primeiro intervalo entre os pontos de 4% e 18% de CO₂ e o segundo entre os pontos de 18% e 40% de CO₂, ficou claro que o primeiro intervalo variou diferentemente do segundo. No primeiro intervalo, o aumento na concentração de CO₂ e a diminuição no valor de tensão setada representaram variações que possuíram a mesma influência no período de curto-circuito (T), fazendo-o decrescer de forma acentuada. Já no segundo intervalo, entretanto, foi possível observar que a inclinação da curva se mostrou mais amena, já que o aumento de tensão e a diminuição na concentração de CO₂ representaram influências inversas na variação do período de curto-circuito (T).

Percebeu-se, após analisar a evolução da curva do arame ER70S-6 referente à Fig. (5), que a variação de tensão se mostrou um fator de maior influência na variação do período de curto circuito (T) do que a concentração de CO₂. Isto pôde ser observado comparando os períodos de curto-circuito (T) do segundo e do último ponto. Notou-se que mesmo

aumentando em 22% a concentração de CO₂ na composição do gás de proteção, a curva sofreu um crescimento, originado, provavelmente, do acréscimo de 1,8 Volts na tensão setada.

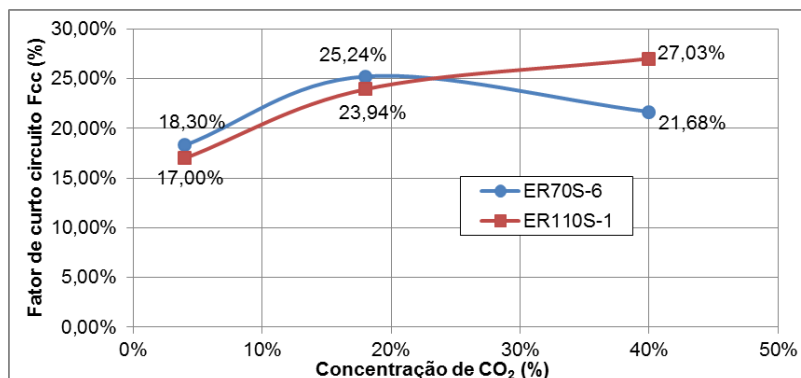


Figura 6 – Variação do fator de curto circuito médio em função da concentração de CO₂.

Evidenciou-se, a partir do gráfico da Fig. (6), que para pequenas variações de tensões e mesmas concentrações de CO₂ nos gases de proteção, os fatores de curto circuito dos dois arames foram praticamente iguais. Observou-se isto relacionando os pontos referentes à concentração de 4% entre si e fazendo o mesmo com os pontos referentes à concentração de 18%. Nestas comparações as concentrações de CO₂ foram constantes e a diferença de tensão foi de 0,4V em média. Notou-se, ainda, que em uma das comparações, mais especificamente a referente ao ponto de 18% de CO₂, o arame ER70S-6 apresentou uma tensão menor do que o arame ER110S-1. Isto mostrou uma tendência maior de o arame ER70S-6 permanecer em curto, com o arco apagado. Esta tendência, contudo, pode ser suplantada quando a diferença de tensão cresce. Explicitou-se isto com base nos pontos referentes à concentração de 40%, nos quais a tensão do arame ER70S-6 foi 1,4V maior em relação ao arame ER110S-1, fazendo com que o fator de curto circuito (Fcc) para o primeiro arame decrescesse consideravelmente e caminhasse em direção ao modo de transferência globular.

Os pontos ressaltados na análise acima demonstram que a escolha do arame influenciou no tempo em que o arco elétrico do processo permaneceu apagado, porém a tensão de soldagem se mostrou um parâmetro de operação mais influente no fator de curto circuito (Fcc).

Considerando somente a curva referente ao arame ER110S-1 no gráfico da Fig. (6), ao longo da qual o único parâmetro de soldagem que sofreu alteração considerável foi a composição do gás, não foi possível deixar de notar que o aumento na concentração de CO₂ no gás de proteção elevou o tempo total em que o arco permaneceu apagado. Entretanto, o aumento contínuo na concentração de dióxido de carbono não implicou em uma resposta equivalente do fator de curto circuito (Fcc), mostrando um comportamento decrescente da variação do fator de curto circuito (Fcc) conforme aumentou-se a porcentagem de CO₂ no gás de proteção.

4. CONCLUSÃO

Após a apresentação e discussão dos resultados foi possível tirar algumas conclusões acerca do trabalho realizado:

O controle da concentração de CO₂ na composição do gás de proteção permite de alterar o aquecimento da junta e do meio próximo a ela durante o processo, se mostrando uma ferramenta importante para modular as características do processo e, consequentemente, sua estabilidade. Isto pôde ser observado a partir dos comportamentos do fator de curto circuito (Fcc) e período de curto circuito (T) durante os processos.

Também foi possível verificar que a alteração na concentração de CO₂ no gás de proteção possui uma influência mais representativa apenas dentro de uma faixa limitada. Desta forma, considerando os mesmos resultados citados acima, o aumento na concentração de dióxido de carbono de 18% para 40% não resultou em alterações muito significativas.

Concluiu-se que na maioria das discussões e análises apresentadas, o controle da tensão de soldagem se mostrou um parâmetro mais influente na modulação dos resultados a serem obtidos quando comparado à composição do gás de proteção.

5. AGRADECIMENTOS

Ao professor José Rubens Gonçalves Carneiro pela orientação. Aos professores Paulo José Modenesi e Alexandre Queiroz Bracarense da UFMG por disponibilizarem o laboratório de soldagem LABSEND/LRSS para a realização dos ensaios práticos.

6. REFERÊNCIAS

- Fognolo, J. B., 2011, “Introdução a Processos e Metalurgia da Soldagem”. Campinas: [s.n.]. 98 p.
- Rezende, G. M. C., Liskévych, O., Vilarinho, O., Scotti, A., 2011, “Um Critério para Determinar a Regulagem da Tensão em Soldagem MIG/MAG por Curto-Circuito”. Soldagem & Inspeção, São Paulo, v.16, n. 2, p. 098-103, abr/jun.
- Marques, P. V., Modenesi, P. J., Bracarense, A. Q., 2011, “Soldagem: Fundamentos e Tecnologia”. 3 ed. Belo Horizonte.
- Modenesi, P. J., 2007, “Introdução à Física do Arco Elétrico e Sua Aplicação na Soldagem dos Metais”. Belo Horizonte: [s.n.]. 146 p.
- Nilo Júnior, L. P., 2003, “Otimização de um Processo de Solda MIG/MAG para Aplicação na Indústria Automobilística Através da Utilização da Técnica do Projeto e Análise de Experimentos. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Itajubá.
- Scotti, A., Ponomarev, V., 2008, “Soldagem MIG/MAG: Melhor Entendimento, Melhor Desempenho”, Artliber Editora, São Paulo, 284 p.
- Teske, M., 2006, “Influência da Composição do Gás de Proteção na Soldagem do Aço ASTM A516 Pelo Processo GMAW”. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba.
- Tatagiba, L. C. S., Gonçalves, R. B., Paranhos, R., 2012, “Tendências no Desenvolvimento de Gases de Proteção Utilizados na Soldagem MIG/MAG”. Soldagem & Inspeção, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 218-228, jul/set.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

INFLUENCE OF LEVEL OF CO₂ IN ARGON OF SHIELDING GAS ON THE MIG/MAG WELDING PROCESS WITH SHORT CIRCUIT TRANSFER MODE

André Chemicatti Fabrini, andrefabrini@hotmail.com¹
Gustavo Henrique Sette Camara Braz, ghscbraz@gmail.com¹
Laura Silva Macedo Lima, laurasmlima@gmail.com¹
José Rubens Gonçalves Carneiro, joserub@pucminas.br¹

¹Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Dom José Gáspar Ave., 500 - Coração Eucarístico, Belo Horizonte – MG , 30535-901

Abstract: The MIG/MAG welding process with short circuit transfer is widely indicated for weld temperate steel plates, since this method combines high practicality and low heat input. However, that transfer mode presents a great instability in its electrical arc, which can result in a high weld splash rate. It can be avoided by complying with the correct supplies and parameters selection. This work consists in a study on the influence of the composition of the shielding gas over the stability of the welding process of the tempered steel RAEX 400, using MIG/MAG process with short circuit transfer. It was done by using two different welding wires (ER70S-6 e ER110S-1) and shielding gases containing percentages of 4%, 18% and 40% of CO₂ in Argon. With the support of a mechanized stand and with the variation of the welding voltage (monitored by a data acquisition unit) between 17 and 20 Volts, weld beads were made for each combination of wire and gas. After analyzing the oscillograms generated by the system, 60 proof-bodies were welded in pairs, resulting in 30 samples, 5 for each combination of wire and gas. Each combination used the test voltage, which resulted in the most stable oscillogram and the lowest weld splash rate. In conclusion, a rise in CO₂ percentage made possible a higher amount of short circuits along the weld bead execution and a rise in the time of prevalence in short circuit, giving greater stability to the process, even though it is not as relevant as the welding voltage.

Keywords: Welding. GMAW. Transfer by short circuit. Shielding gases. Welding voltage.