

ESTUDO DO RENDIMENTO DE DEPOSIÇÃO DE MATERIAL NA SOLDAGEM MIG/MAG EM CONDIÇÕES DE TRANSFERÊNCIA METÁLICA POR CURTO-CIRCUITO FORÇADO

Alex Augusto Dobignies

Mestrando. Universidade Federal do Paraná. Centro Politécnico – Dpto de Eng. Mecânica. Jardim das Américas. Curitiba, PR – CEP 81531-990, alex.mec@bol.com.br

Paulo Cesar Okimoto

Professor. Universidade Federal do Paraná. Centro Politécnico – Dpto de Eng. Mecânica. Jardim das Américas. Curitiba, PR – CEP 81531-990, okimoto@ufpr.br

Bernard Guimarães

Graduando. Universidade Federal do Paraná. Centro Politécnico – Dpto de Eng. Mecânica. Jardim das Américas. Curitiba, PR – CEP 81531-990

Resumo

Sendo o mais importante processo de soldagem de metais, a soldagem a arco com arame contínuo e proteção gasosa apresenta, entre outras características, relativa facilidade para a sua automação e elevada taxa de deposição. Neste processo a transferência metálica mais utilizada é por curto circuito pois produz uma poça de fusão pequena e de rápido resfriamento sendo por isto adequada para chapas, soldagem fora de posição e passes de raiz. Neste tipo de transferência alguns problemas de salpicos poderão ocorrer, porém podem ser eficientemente controlados por modificações de indutância que são normalmente colocadas em série com o circuito de soldagem, diminuindo assim a velocidade de estabelecimento do pico de corrente de curto circuito. No entanto, para aumentar a produtividade na indústria, muitas vezes é utilizada a transferência metálica por curto circuito forçado, onde a velocidade de alimentação de arame atinge altos valores. Esta opção, contudo, pode apresentar uma maior sensibilidade às variações de seus parâmetros operacionais e uma maior tendência à ocorrência de problemas de instabilidade gerando maior quantidade de respingos. O objetivo será avaliar o rendimento do material depositado. Para tanto, serão feitos testes em chapas de aço utilizando-se diferentes níveis de Indutância, distância de bico de contato peça e Velocidade de alimentação de arame. Estes resultados poderão facilitar o melhor entendimento do processo de soldagem a arco, principalmente para o método de curto-circuito forçado

Palavras-chave: Curto-Circuito Forçado, Indutância, Rendimento de Deposição.

INTRODUÇÃO

Dos processos de soldagem o processo MIG/MAG tem se revelado, atualmente, como aquele de maior ascensão no ambiente industrial, decorrente de sua alta produtividade e excelente qualidade dos cordões de solda. Para este processo o modo de transferência metálica mais utilizada é por curto circuito pois produz uma poça de fusão pequena e de rápido resfriamento, sendo por isto, adequada para chapas, soldagem fora de posição e passes de raiz de acordo com GIMENES⁽¹⁾.

Quando a quantidade de salpicos gerada durante a solda é elevada, além dos gastos adicionais para removê-los, tem-se uma situação onde o soldador está sujeito a um maior desconforto e maior dificuldade de visualização da poça de soldagem, que pode induzir o mesmo a produzir uma solda com defeitos segundo SCOTTI^(5,6). A necessidade de melhorar a qualidade, minimizar os custos e reduzir os tempos em produção faz com que se busquem novos processos de soldagem que atendam estes requisitos.

A transferência por curto circuito tem esse nome porque o metal de soldagem atua curto circuitando (tocando) o metal de base muitas vezes por segundo. O número de curtos circuitos dependerá de alguns fatores como indutância, o tamanho do arame usado e velocidade de alimentação de arame.

Os salpicos são provavelmente gerados, quando o tempo de curto circuito ou tempo de arco é irregular. Um arco estável causa baixa taxa de salpicos e uma forma de onda regular enquanto que um arco instável causa uma alta taxa de salpicos. Essa taxa de salpicos pode ser controlada pela regulagem da indutância. A indutância é uma importante característica dinâmica deste processo e deve ser ajustada adequadamente. Ela permite regular a taxa de variação da corrente elétrica no decorrer da soldagem pois possibilita o controle do efeito de constrição (efeito “pinch”) do eletrodo durante o aumento da corrente elétrica no instante do curto-circuito como comentado por MODENESI⁽⁴⁾. Além disso, a adição de indutância causa na soldagem, um acréscimo na transferência de curto circuito no tempo de abertura de arco e de curto circuito, resultando em menos curtos circuitos por segundo. Uma redução na frequência de curto circuito (tempo de arco maior) gera mais calor na solda, o que pode alterar o rendimento e as características geométricas da solda, KOBAYASHI⁽³⁾.

Na prática industrial, para se aumentar a produtividade, se faz a transferência do material fundido por curto-circuito ser elevada a altos níveis de corrente para aumentar a produtividade ou penetração da solda. Este modo de transferência por curto-circuito com alta corrente e alta deposição denomina-se Curto-Circuito forçado (CCF). Em compensação alguns problemas são esperados, como a instabilidade de arco e respingos, de difícil controle segundo MODENESI^(3,4).

Neste trabalho será focado o estudo do rendimento de deposição no modo de transferência por curto circuito forçado. O objetivo será avaliar o rendimento do material depositado tendo como parâmetros de controle a Indutância, distância de bico de contato peça (DBCP) e Velocidade de alimentação de arame. Sabe-se que o rendimento está relacionado a estabilidade do arco e conseqüente quantidade de salpicos, KOBAYASHI⁽³⁾.

A qualidade e o custo aproximado da soldagem MIG/MAG, levando-se em consideração perdas por respingos, foi estudada por SILVA⁽⁷⁾ e o rendimento de deposição para o modo de transferência metálica por curto circuito convencional foi estudado por KOBAYASHI⁽³⁾ utilizando arames tubulares, em faixas de corrente de soldagem mais baixas, onde provavelmente o CCF não foi atingido.

Apesar de ser um processo de soldagem muito usual, a literatura corrente não explora a fundo alguns aspectos importantes para um melhor conhecimento do processo de CCF. O entendimento dos modos de transferência metálica na soldagem atualmente tem proporcionado um grande desenvolvimento de técnicas e processos de união de materiais. Através desse entendimento é possível proporcionar, durante a soldagem, um melhor controle do processo.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste trabalho foi utilizado uma fonte de soldagem MIG/MAG convencional, marca ESAB, modelo Smashweld 316. Utilizado-se como metal de adição o arame de 1,0mm de diâmetro e especificação AWS ER70S6, como gás de proteção a mistura Ar-25%CO₂, foram realizados cordões de simples deposição na posição plana sobre barras chatas de aço baixo carbono de 6mm de espessura, 50mm de largura e 150mm de comprimento. Estas barras chatas foram pesadas antes e após receberem os cordões de solda em uma balança de precisão. Para evitar variações da distância entre o bico de contato e a peça, as soldagens foram executadas prendendo-se a pistola a um sistema de deslocamento de velocidade regulável, marca Tartílope, modelo V1.

Para o cálculo do rendimento de deposição - foi necessária a pesagem de 1 metro do arame (P.arames/m) utilizado para cálculo da massa total. Antes e após a realização de cada solda, os corpos de prova foram pesados, obtendo-se o valor da massa inicial (Pi) – massa do corpo de prova antes da soldagem, e a massa final (Pf), massa do corpo de prova após a soldagem medido depois

de uma limpeza para retirada de salpicos. Para cálculo do rendimento de deposição foi utilizada a equação (1).

$$\eta = \frac{P_f - P_i}{P_{\text{arame}/m} * \text{comp.}} * 100 \quad (1)$$

Equação (1). (η – rendimento de deposição; P_f – massa final em g; P_i – massa inicial em g ; $P_{\text{arame}/m}$ – Peso do arame em g/m ; comp. – consumo de arame em metros).

Considerando-se que objetiva-se estudar o curto-circuito no modo forçado, onde as velocidades de arame utilizadas já são suficientes para a obtenção do modo de transferência por pulverização, foram realizados testes preliminares para determinação da corrente de transição. Estes testes apontaram como velocidade do arame mínima de 10 a 11 m/min para se obter o modo de transferência por pulverização para a arame eletrodo utilizado. A partir desta informação, foram escolhidas 3 velocidades de arame [V_{AR}] para serem testadas : 12, 16 e 20 m/min.

Foram ainda considerados nos testes de rendimento duas outras variáveis. A distância entre o bico de contato e a peça [DBCP] foi variada em 2 níveis – 8 e 12 mm, enquanto a indutância [INDUT] foi variada em 3 níveis – 0%, 40% e 80%. As diferentes combinações testadas para determinação do rendimento são mostradas na tabela 1.

Tabela 1 : Combinações testadas.

Combinação	V_{AR} [m/min]	INDUT [%]	DBCP [mm]
A	12	0	8
B	12	40	8
C	12	80	8
D	16	0	8
E	16	40	8
F	16	80	8
G	20	0	8
H	20	40	8
I	20	80	8
J	12	0	12
K	12	40	12
L	12	80	12
M	16	0	12
N	16	40	12
O	16	80	12
P	20	0	12
Q	20	40	12
R	20	80	12

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos são apresentados na tabela 2. Nota-se que o rendimento de deposição ficou acima de 90% em todos os casos, mostrando que as perdas por respingo são limitadas a no máximo 10%. Estes resultados mostram-se semelhantes aos de KOBAYASHY ⁽³⁾, que obteve rendimentos entre 96 a 99 % para deposição de arames tubulares.

Tabela 2 : Resultados obtidos dos ensaios executados.

Comb	V _{AR} [m/min]	INDUT [%]	DBCP [mm]	Tensão [V]	Corrente [A]	Mi [gr]	Mf [gr]	C [m]	m _e [gr/m]	η [%]
A	12	0	8	20,8	220	524,40	545,01	3,78	5,763	94,7
B	12	40	8	20,8	232	537,36	567,61	3,77	5,763	93,3
C	12	80	8	20,8	228	542,40	561,05	3,57	5,763	90,7
D	16	0	8	22,8	276	538,80	568,65	3,73	5,763	92,4
E	16	40	8	22,8	276	542,50	563,90	3,88	5,763	95,6
F	16	80	8	22,8	276	539,55	568,79	3,53	5,763	94,6
G	20	0	8	25,6	324	570,75	588,94	3,24	5,763	97,5
H	20	40	8	25,6	310	546,72	564,84	3,26	5,763	97,6
I	20	80	8	25,6	296	531,90	560,61	3,32	5,763	97,8
J	12	0	12	20,8	216	539,51	568,59	3,61	5,763	91,8
K	12	40	12	20,8	220	599,39	617,69	3,31	5,763	96,0
L	12	80	12	20,8	212	547,57	567,76	3,65	5,763	96,0
M	16	0	12	23,6	260	526,07	566,21	3,80	5,763	92,0
N	16	40	12	23,2	252	540,42	560,92	3,80	5,763	93,7
O	16	80	12	23,6	260	551,44	571,44	3,74	5,763	92,8
P	20	0	12	26,8	264	547,54	566,73	3,44	5,763	96,9
Q	20	40	12	26,8	276	534,89	563,21	3,30	5,763	96,4
R	20	80	12	26,4	280	565,90	564,45	3,35	5,763	96,1

A utilização de representações gráficas dos resultados da tabela 2 são mostradas nas figuras 1 à 7, de onde várias informações interessantes podem ser obtidas. As figuras 1 e 2 mostram a variação do rendimento de deposição em função da indutância para DBCP de 8 e 12 mm respectivamente, para as 3 velocidades do arame. A primeira informação muito interessante é que os maiores rendimentos estão associados à maior V_{AR} de 20 m/min, para quaisquer valores de DBCP e da indutância. Este resultado pode ser considerado inesperado, pois normalmente associa-se maior formação de salpicos à altas correntes de soldagem, que aumenta com o aumento da V_{AR}.

Para V_{AR} de 16 m/min, verifica-se que a indutância influi no rendimento de deposição, ao atingir o maior valor com 40% de indutância para ambos os DBCP. Para V_{AR} de 12 m/min, nota-se que o comportamento varia em função do DBCP. Com DBCP de 8 mm verifica-se uma queda crescente de rendimento de deposição com o aumento da indutância, enquanto com DBCP de 12mm observa-se um aumento do rendimento com aumento da indutância. Neste caso fica evidente a influência tanto do DBCP quanto da indutância no rendimento de deposição.

Nas figuras 3 e 4 são mostrados a variação dos rendimento de deposição em função das velocidades do arame para DBCP de 8 e 12 mm respectivamente. Fica evidente que para a V_{AR} de 20 m/min não há qualquer influência da indutância, pois os rendimentos de deposição são praticamente os mesmos para qualquer nível de indutância. Nota-se também que a variação no DBCP também tem pouca influência, pois os rendimentos de deposição para diferentes DBCP são muito próximos.

Para V_{AR} de 16 m/min percebe-se uma certa influência da indutância sobre o rendimento de deposição, com maior sensibilidade para DBCP de 8mm. O maior rendimento de deposição alcançado com 40% de indutância para ambos os DBCP mostram a importância desta regulagem para a obtenção de maiores rendimentos.

Nas figuras 5, 6 e 7 verifica-se ligeira tendência de queda de rendimento com o aumento da DBCP para as velocidades de 16 e 20 m/min e para todas as indutâncias. Para velocidade de alimentação de 12 m/min com indutância 0% o aumento da DBCP proporciona a queda de rendimento, visto na figura 5, mas com o aumento da indutância 40%, na figura 6 e 80% figura 7, o rendimento aumenta com o aumento da DBCP.

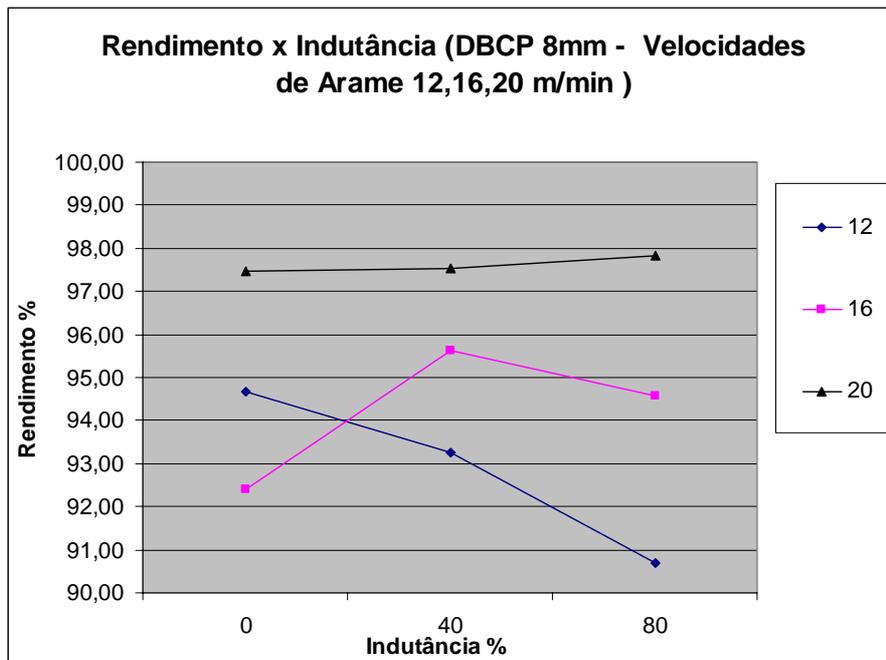


Figura 1 : Rendimento de deposição versus Indutância para DBCP de 8mm.

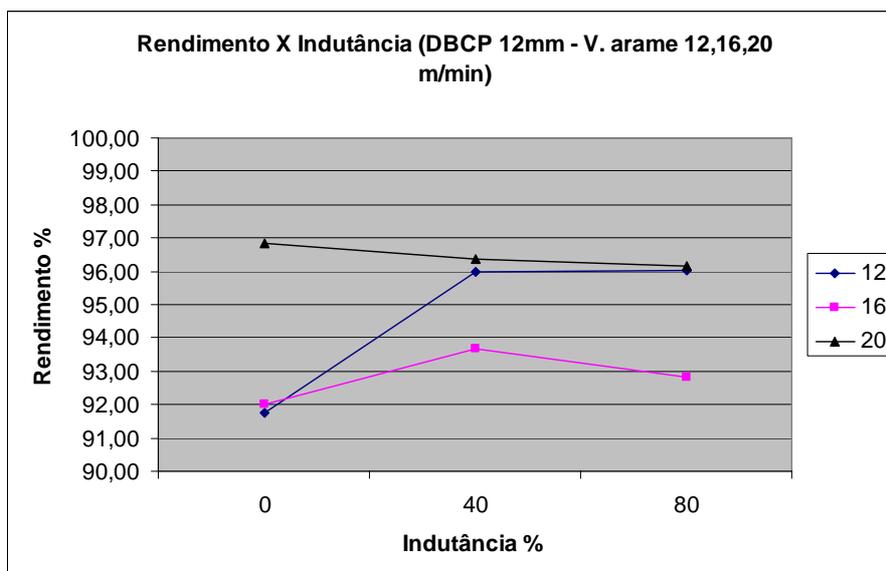


Figura 2 : Rendimento de deposição versus Indutância para DBCP de 12mm.

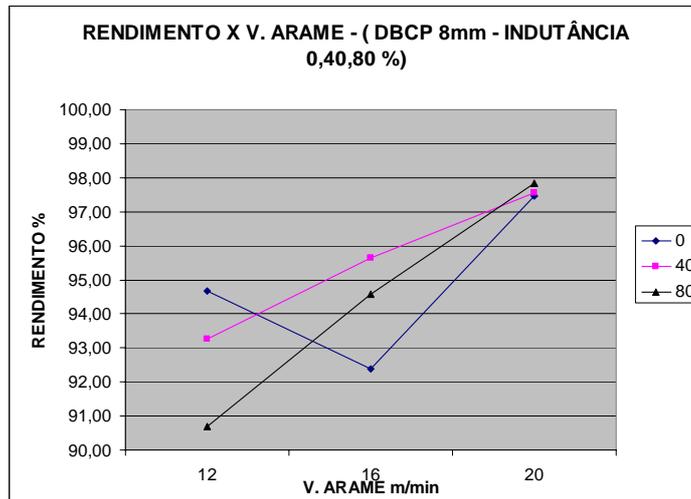


Figura 3 : Rendimento de deposição versus Velocidade do arame para DBCP de 8mm.

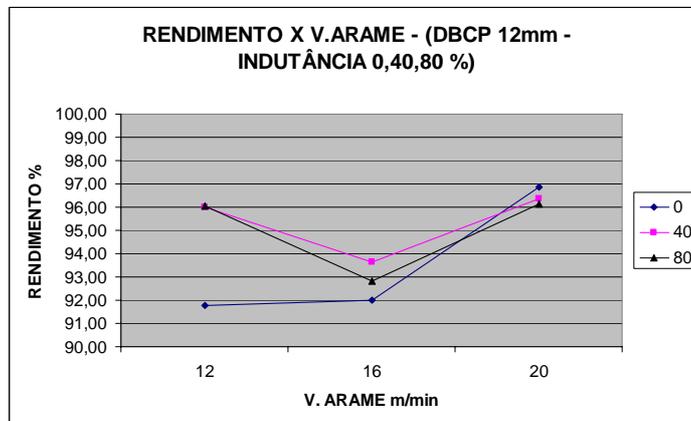


Figura 4 : Rendimento de deposição versus Velocidade do arame para DBCP de 12mm.

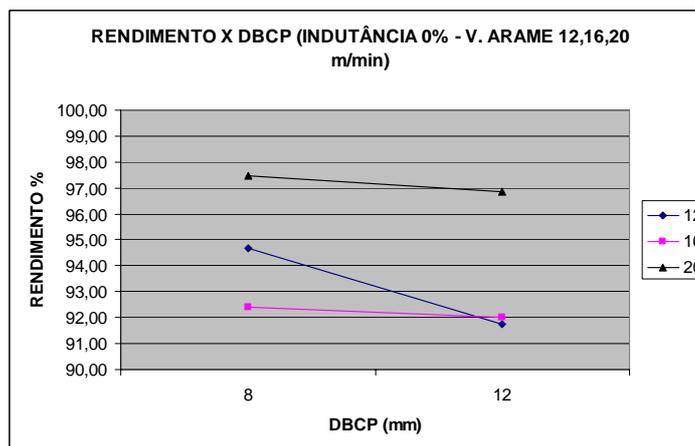


Figura 5 : Rendimento de deposição versus DBCP para Indutância 0%.

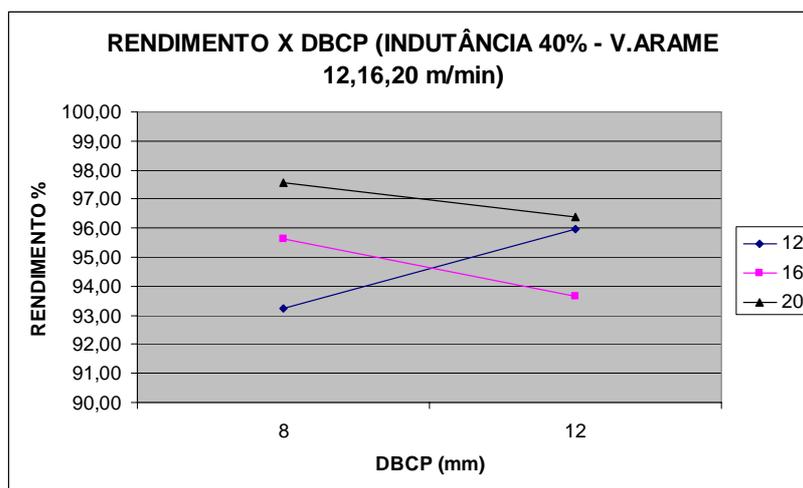


Figura 6 : Rendimento de deposição versus DBCP para Indutância de 40%.

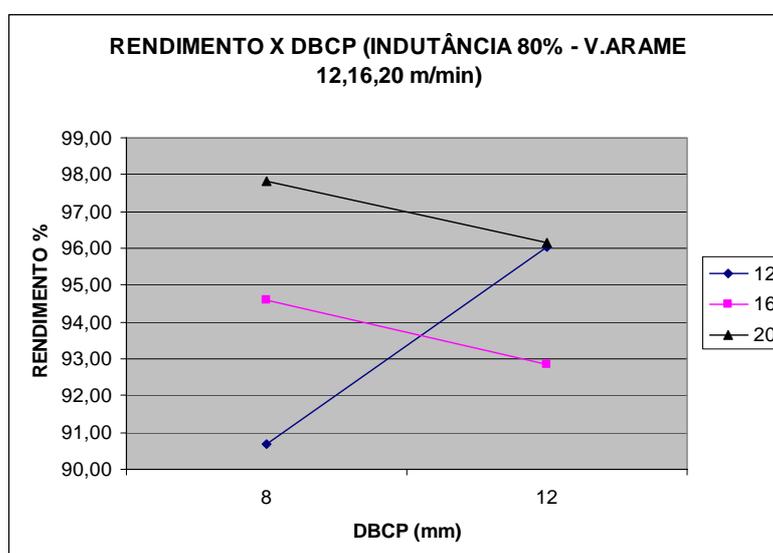


Figura 7 : Rendimento de deposição versus DBCP para Indutância 80%.

DETERMINAÇÃO DE CUSTOS DE SOLDAGEM.

Apenas para efeito comparativo, fez-se uma comparação de custos de soldagem com os arames maciços em modo curto circuito forçado (CCF) estudados neste trabalho e os arames tubulares em modo por curto circuito convencional estudado por KOBAYASHY⁽³⁾.

Inicialmente o custo total de soldagem pode ser aproximado pela seguinte equação (2) usada em SCOTTI⁽⁷⁾ :

$$CTS = CM + CT + CEQ + CEL \quad (2)$$

Onde CTS é o custo total de soldagem, CM é o custo de material, CT é o custo de trabalho, CEQ é o custo de equipamento e CEL é o custo de eletricidade. Pode-se considerar que CT, CEQ e CEL sendo semelhantes pois os custos de trabalho, equipamento e energia elétrica podem ser considerados iguais.

Para fins comparativos levou-se em consideração o arame tubular custando três vezes mais caro que o arame maciço. Usando a equação (2) verifica-se que com arame tubular o processo pode custar até 44% mais caro do que o arame maciço no custo total de soldagem CTS, tabela 3.

ARAME	GÁS	ARAME	TRABALHO	INVESTIMENTO	DEPRECIACÃO	MANUTENÇAO	ELETRICIDADE	CTS (\$/m) x 10-3
MACIÇO CCF	195	124	192	18	12	5	17	563
TUBULAR CC	195	372	192	18	12	5	17	811

Tabela 3. Custo comparativo de custos em unidade monetária para arame maciço e arame tubular.

Como o que muda entre os dois arames é o valor do custo de material CM. Para calcular a influência no custo total do custo entre os dois arames usou-se a seguinte equação (3), também usada em SCOTTI⁽⁷⁾ :

$$CM = Pa \times (D \times 100 / re) / (Dvel \times 60 / 100) \quad (3)$$

Onde Pa = preço do arame, D = taxa de deposição, Re = rendimento %, Dvel = Velocidade de deslocamento da tocha.

Neste cálculo considerou-se que o único fator que difere para avaliação do custo entre os dois arames é o preço Pa pois as outras variáveis apresentam valores com mínimas diferenças. Usando valores de preço de arame 3 vezes maior para o arame tubular e usando a equação (3) vê-se na tabela 4, que o custo do material pode representar até 56,7 % do custo total da solda MIG por curto circuito forçado e arame maciço. Já para o curto circuito normal com arame tubular essa porcentagem sobe para 69,9 %.

ARAME	MATERIAL	TRABALHO	EQUIPAMENTO	ELETRICIDADE	TOTAL
MACIÇO CCF	56,7	34,1	6,2	3,0	100,0
TUBULAR CC	69,9	23,7	4,3	2,1	100,0

Tabela 4. Percentagem de cada fator no custo total processo MIG com arame maciço e arame tubular.

CONCLUSÕES

Os rendimentos de deposição mostram-se sensíveis a indutância, ao DBCP e à velocidade do arame utilizados durante a soldagem. Dentre as condições testadas, verificou-se que :

- Para a velocidade de arame de 12 m/min a indutância e a DBCP apresentam influências significativas no rendimento de deposição.
- Nota-se rendimentos maiores com indutância de 40% para a velocidade de 16 m/min.
- Os maiores rendimentos de deposição foram obtidos com a maior velocidade do arame de 20 m/min, independente da indutância ou do DBCP utilizados;
- Ao contrario do que se pensava o modo de transferência por curto circuito forçado pode apresentar bons rendimentos, sobretudo em velocidades maiores de deposição.
- O estudo de custos ajuda com que se faça uma avaliação menos focada na questão do rendimento quando se deseja escolher entre os dois arames.

REFERÊNCIAS

- (1) GIMENES, JR. LUIZ; RAMALHO, JOSÉ – Conceitos de Soldagem MIG/MAG. Disponível em. www.infosolda.com.br/download/61dpe.pdf - 2005
- (2) KOBAYASHI, YUKIO. Estudo da Influência da Corrente de Curto Circuito , através da indutância, sobre as características geométricas e rendimento real de deposição. UNESP-Campus de Bauru. COBEF 2002.

- (3) MODENESI P. JOSÉ; COSTA C. MARIA – Influência de alguns parâmetros Operacionais na Instabilidade de Arco do Processo MIG – COBEF 2002.
- (4) MODENESI, PAULO J. Introdução À Física Do Arco Elétrico E Sua Aplicação Na Soldagem De Metais. Belo Horizonte . MG, Setembro de 2004.
- (5) SCOTTI AMÉRICO; RODRIGUES. Efeito Da Força Das Gotas Em Transferência Na Penetração De Soldas Mig/Mag Em Aço Carbono: Uma Investigação Experimental. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. COBEF 2002.
- (6) SCOTTI AMÉRICO; RODRIGUES E. CARLOS. Cinemática da Gota no Processo MAG com aço carbono: Efeito da Corrente e comprimento de Arco. COBEF 2002.
- (7) SILVA CÉSAR; FERRARESI ALTAIR; SCOTTI AMERICICO. A Quality And Cost Approach For Welding Process Selection. J. of the Braz. Soc. Mechanical Sciences, Vol. XXII, No 3. Pp 389-398, 2000.

STUDY OF THE REVENUE DEPOSITION MATERIAL OF WELDING GMAW IN METALLIC TRANSFER FOR FORCED SHORT CIRCUITING CONDITIONS.

Abstract:

Being the most important process of weld of metals, the welding with arch, continuous wire and gaseous protection presents, among other characteristics, relative easiness for your automation and high deposition rate. In this process, the metallic transfer more used it is for short circuit because produces a small pool coalition and cools quickly, being adapted for this reason for foils, welding position rejection and root passes.

In this transfer type some problems of sparkling can happen, however they can be controlled efficiently by inductance modifications that they are placed usually in series with the welding circuit, reducing like this the speed of establishment of the pick of current of short circuit.

However, to increase the productivity in the industry, a lot of times the metallic transfer is used by short forced circuit. This option, however, it can present a larger sensibility to the variations of your operational parameters and a larger tendency to the occurrence of problems of instability generating larger amount of sparkling.

The objective will be to evaluate the real revenue of the deposited material. For so much, they will be made tests in steel plates being used different levels of Inductance, distance of contact beak asks (DBCP) and Speed of wire feeding. These results can facilitate the best understanding of the welding process with arch, mainly for the method of forced short circuit

Keywords: *Forced Short Circuiting, Revenue, Indutance.*