

EFEITO DA FORÇA DAS GOTAS EM TRANSFERÊNCIA NA PENETRAÇÃO DE SOLDAS MIG/MAG EM AÇO CARBONO: UMA INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues

Universidade Federal de Uberlândia, LAPROSOLDA, 38400-902 – Uberlândia – MG – ceduardo@mecanica.ufu.br

Oreste Guerra Neto

Universidade Federal de Uberlândia, LAPROSOLDA, 38400-902 – Uberlândia – MG – guerra@mec.ufu.br

Américo Scotti

Universidade Federal de Uberlândia, LAPROSOLDA, 38400-902 – Uberlândia – MG – ascotti@mecanica.ufu.br

Resumo. Neste trabalho tentou-se fazer a correlação entre a transferência metálica e a geometria do cordão de solda a partir do cálculo da “força” das gotas em transferência, que representa o produto do momentum de cada pelo número de gotas num determinado intervalo de tempo. Para este cálculo, foram usados os valores médios de massa de cada gota, da velocidade com que a gota atinge a poça e da frequência de incidência destas gotas. Estes parâmetros foram obtidos experimentalmente através de filmagem a alta velocidade e tratamento de imagens. Nove condições diferentes de soldagem com eletrodo de aço carbono foram avaliadas, com variação de corrente e altura do arco. Os resultados demonstram a importância da seleção correta dos parâmetros de soldagem, com os quais a “força” é otimizada, visando uma maior penetração.

Palavras - Chave. Soldagem, MIG/MAG, Transferência metálica, física do arco; Força das gotas; geometria do cordão.

1. INTRODUÇÃO

No ambiente da soldagem, é de conhecimento geral que fatores tais como intensidade de corrente, comprimento de arco, tipo de gás de proteção, ângulo de ataque e polaridade exercem influência sobre a geometria do cordão no processo MIG/MAG, mesmo que a ação de cada um dos fatores não seja quantificável com grande precisão. Neste grupo de fatores se deve incluir também o tipo de transferência, mas poucos trabalhos mencionam este fato. A provável razão é a dificuldade experimental para fazer este levantamento.

Waszink & Graat (1983) demonstram que a massa, velocidade e taxa de destacamento das gotas expelidas do eletrodo podem ser determinadas analiticamente a partir da taxa de fusão do eletrodo e das resultante eletromagnética, gravitacional, inercial e de arraste que agem em uma gota que se forma à ponta do eletrodo. Além disso, comprovam que a velocidade com que as gotas chegam à poça é afetada pela aceleração causada pelo fluxo de gás no arco. Dados experimentais fornecidos por Essers & Walter (1981) indicam uma relação entre o impulso (momentum) das gotas que caem na poça e a profundidade de penetração. Em particular, estes autores pesquisaram esta relação para explicar a presença de uma penetração profunda e estreita que é observada frequentemente em

MIG/MAG (“finger like”). Seus resultados sugerem que a penetração seja afetada pela massa, velocidade e taxa de gotas que chegam à poça.

De uma forma específica, Murray & Scotti (1999) apresentaram um modelo estocástico para o 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. Neste trabalho sugere-se que a penetração é afetada por uma alta frequência de gotas com impulso (momentum) suficiente para levar energia ao fundo da poça, aumentando assim a mistura convectiva. Observa-se na literatura uma associação do momentum com a frequência.

Apesar desses avanços em direção ao conhecimento da transferência metálica e sua relação com o comportamento da penetração na soldagem MIG/MAG, não se encontraram registros da estimativa do momentum baseada em medidas realizadas da velocidade de chegada das gotas à poça de fusão, do diâmetro das gotas, bem como de sua taxa de transferência, muito embora já existam ferramentas capazes de medi-las. Assim, o objetivo deste trabalho é tentar correlacionar a força (função do momentum e da frequência de destacamento) das gotas impingindo sobre a poça de fusão sobre a penetração obtida nas soldagens à partir de análise experimental da transferência metálica. Adicionalmente, faz-se uma breve avaliação do efeito dos parâmetros operacionais de soldagem sobre a geometria dos cordões de solda.

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

Utilizou-se uma fonte de soldagem eletrônica (no modo corrente constante), uma mesa com suporte de tocha fixo e com movimento linear do suporte das peças de solda (com velocidade regulável calibrada), gás de proteção comercial (95% de argônio e 5% de oxigênio) a uma vazão de 14 l/min, um computador com um conversor A/D a 10 kHz/12 bits, um transdutor para corrente e um divisor isolado de tensão. As soldagens foram realizadas em simples deposição, sobre chapas de aço carbono (300 x 6,35 x 38,1 mm), com um arame eletrodo da classe AWS ER70S-6 (diâmetro 1,2 mm). Os parâmetros de soldagem regulados e obtidos são mostrados na Tabela 1. Visou-se neste planejamento experimental se conseguir combinações de 3 valores de correntes e 3 comprimentos de arco. Regulou-se a corrente de soldagem (I_{REG}) em três níveis, de tal forma a obter-se transferência globular estável, transferência goticular (“spray”) estável, próxima à corrente de transição, e uma transferência com a corrente de soldagem bem acima da corrente de transição. Os três níveis de distância bico de contato-peça (DBCP) foram definidos para se alcançar arcos curtos, médios e longos, evitando-se sempre curtos-circuitos. Para se obter uma área adicionada constante, para diferentes regulagens de corrente, procurou-se manter a relação V_a/V_s constante.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados na soldagem.

Teste	Valores de Regulagem				Valores Monitorados	
	I_{REG} (A)	DBCP (mm)	V_a (m/min)	V_s (cm/min)	I_M (A)	U_M (V)
A	200	18	4,8	28,8	201	29,8
B		22	4,8	28,8	200	34,9
C		26	4,8	28,8	201	36,6
D	250	18	6,9	40,8	250	29,4
E		22	6,9	40,8	248	34,1
F		26	6,9	40,8	248	36,3
G	300	18	8,3	50	299	33,2
H		22	8,3	50	297	37,4
I		26	8,3	50	297	39,6

Para viabilizar uma análise da transferência metálica nas soldagens, as mesmas foram filmadas em alta velocidade utilizando-se a técnica da shadowgrafia, a uma frequência de aquisição de 2000

quadros por segundo, com taxa de obturação de 1/24000 (minimizando a distorção dos elementos nas imagens). Para a caracterização da transferência metálica foi utilizado um programa específico (Maia, 2001), denominado “Vídeo Analisador de Imagens de Transferência Metálica em Soldagem”. Este programa, devidamente calibrado, permite a caracterização das transferências metálicas (sobretudo quanto aos parâmetros frequência de destacamento e diâmetro das gotas) e dos comprimentos do eletrodo e do arco de soldagem a partir das imagens adquiridas pela técnica da “shadowgrafia”.

Torna-se importante antes de qualquer análise relembrar algumas conceitos. *Momentum* pode ser definido como massa em movimento. Então, se um objeto move, ele tem momentum, e sua quantidade de momentum é dada pelo produto de sua massa pela sua velocidade. Quando um objeto, cuja massa permanece constante, sofre uma mudança em sua quantidade de momentum é por que sofreu a ação de uma força externa por um determinado tempo, ou seja, há mudança na velocidade do objeto. Em física, a quantidade Força x tempo é conhecida como *Impulso*. Desde que a quantidade massa x velocidade é o momentum, a quantidade massa x variação de velocidade representa a mudança do momento, ou seja, impulso é igual a mudança de momentum.

Entretanto, uma transferência com gotas de grande dimensões poderá ter uma grande quantidade de momentum, mas não necessariamente vai exercer uma ação significativa sobre a penetração. Na verdade, acredita-se que o importante é o número de vezes que o momentum de cada gota é transferido para a poça em um determinado intervalo de tempo. Ou seja, para o caso de uma transferência intermitente, entende-se que uma melhor representação experimental da ação das gotas sobre a poça seria dada pelo produto do momentum pela frequência com que as gotas chegam à poça de fusão, como mostra a Equação 1:

$$F = \rho\pi \frac{d^3}{6} \times V_{CHE} \times f \quad (1),$$

onde “F” é a força média das gotas, “ρ” é a densidade do aço líquido (7500 kg/m³)(Wang & Tsai, 2001), “d” é o diâmetro médio das gotas, “f” é a frequência média de destacamento das gotas e “V_{CHE}” é a velocidade média de chegada das gotas à poça de fusão. Esta “força” média das gotas, ao contrário das referências comumente feitas ao momentum ou impulso, é que provavelmente traduz a capacidade destas gotas contribuírem para a penetração (e outros parâmetros geométricos e metalúrgicos do cordão). Observa-se que a unidade de “F” no SI é N (Newton), considerando massas em kg, dimensões em m, velocidades em m/s e frequências em Hz (1/s).

Para a medição da velocidade de chegada da gota à poça de fusão utilizou-se um procedimento bastante particular, que consiste na análise cinemática da transferência metálica. Nesta análise, utilizando-se um software específico (Optimas® MA 1.4) e as imagens adquiridas pela técnica da shadowgrafia, levanta-se curvas temporais da posição das gotas durante sua trajetória do eletrodo à poça de fusão. Utilizando-se os dois últimos pontos de cada curva, calcula-se a velocidade de chegada da gota à poça de fusão.

Os cordões de solda sobre as chapas de aço carbono, resultantes das soldagens cujas transferências metálicas foram filmadas e caracterizadas, foram seccionados transversalmente em três locais. As seções transversais foram preparadas para macrografia (Nital 2%) e digitalizadas. Os parâmetros geométricos medidos, via software (programa GlobalAB® ImageViewer®), foram o reforço, a largura e a penetração, bem como as áreas fundida e adicionada, conforme a Figura 1.

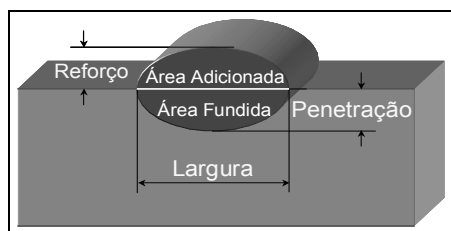


Figura 1 – Características Geométricas do cordão de solda

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta as características das transferências metálicas e também a força das gotas, obtida através da Equação (1). Inicialmente, deve-se chamar atenção para o fato de que a abordagem metodológica proposta neste trabalho para se obter diferentes comprimentos de arco (a) pela variação da distância bico de contato-peça (DBCP) foi bem sucedida. Do ponto de vista do efeito da intensidade de corrente (I), observa-se que, de uma forma coerente com o que intuitivamente se espera, os valores da força (F) das gotas aumentam com a corrente de soldagem. Isto ocorre de forma mais pronunciada na mudança de 200 para 250 A, entre quais correntes há mudança no modo de transferência metálica de globular para goticular. Observa-se ainda que a frequência da transferência (f) e a velocidade de chegada (V_{CHE}) das gotas também aumentam com a corrente. Este fato dá a entender que a maior dimensão (massa) apresentada pelas gotas na transferência globular não é o parâmetro principal, como se poderia supor baseado no fato de que a força é proporcional ao cubo do diâmetro de cada gota (Equação 1). Entretanto, as maiores frequências de destacamento (mesmo que às custas de menores diâmetros) e velocidades de chegada das gotas à poça nas soldagens com transferência goticular é que proporcionam maiores forças. Quando da mudança de 250 para 300 A, o crescimento da força com a corrente é menos pronunciado, em função das variações também menos pronunciadas das frequências, diâmetros e velocidades de chegadas das gotas. Salienta-se que, nas condições dadas, e do ponto de vista das características da transferência metálica, o aumento da frequência foi mais crítico que a redução dimensional das gotas.

Tabela 2 – Características da transferência metálica e a força das gotas

Teste	I(A)	DBCP (mm)	a (mm)	d (mm)	f (Hz)	V_{CHE} (m/s)	$F \times 10^4$ (N)
A	200	18	3,9	2,2	14	0,48	2,81
B		22	9	1,8	20	0,66	3,01
C		26	14,5	1,5	32	0,82	3,48
D	250	18	3,7	1,1	211	1,03	11,35
E		22	9,3	1,1	172	1,26	11,29
F		26	13,2	1,0	210	1,34	11,07
G	300	18	4,7	0,8	548	1,13	12,42
H		22	9,5	0,8	520	1,29	13,48
I		26	12,3	0,7	525	1,79	12,65

Do ponto de vista do comprimento do arco (a), a força das gotas (F) aumenta com o incremento do arco somente na soldagem a 200 A. No caso, para os outros níveis de corrente, o aumento do comprimento do arco não afeta a dimensão e nem a frequência de transferência das gotas, apesar de aumentar a velocidades de chegada das mesmas. Estes resultados corroboram a teoria hoje aceita (Watkins, 1992 , Scotti, 1998) de que abaixo da corrente de transição as forças que governam a transferência obedecem à Teoria do Balanço Estático das Forças, enquanto acima da corrente de transição a transferência é governada por outros mecanismos, como pela Teoria da Instabilidade “Pinch”. Desta forma, é de se esperar que as forças de dragagem e de evaporação sejam influenciadas pelo comprimento de arco durante a transferência globular, mas que o comprimento do arco não tenha influência quando da transferência governada por outros mecanismos.

A Figura 2 apresenta a seção transversal dos cordões de solda de cada teste. Pode-se observar, principalmente para os experimentos com transferência metálica goticular (correntes de 250 e 300 A), a formação de uma geometria esbelta à base dos cordões. Esta geometria é frequentemente denominada de “finger-like” e tem sido atribuída (Essers & Walter, 1981; Wang & Tsai, 2001) teoricamente à incidência de gotas com alta energia (mecânica e térmica) ao fundo da poça de fusão na soldagem MIG/MAG goticular. Observa-se que este efeito é mais pronunciado em correntes

mais altas (maior força das gotas) e em comprimentos de arcos menores (DBCP de 18 mm). Esta última observação poderia ser atribuída à desconcentração do calor em arcos mais longos, mas suspeita-se que as gotas também começam a divergir da linha central do arco quando este arco se alonga.

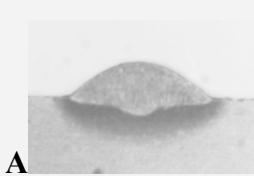
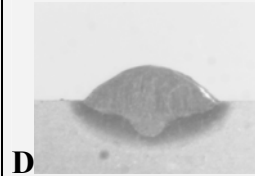
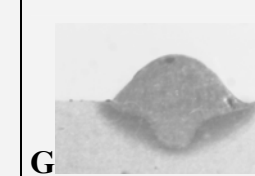
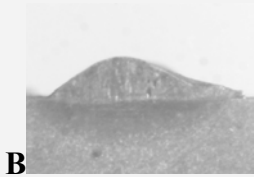
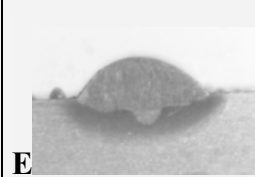
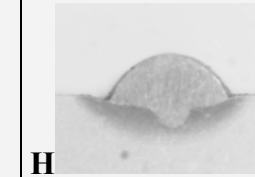
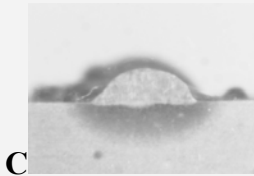
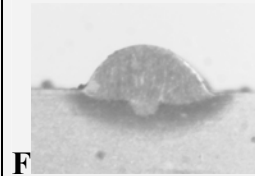
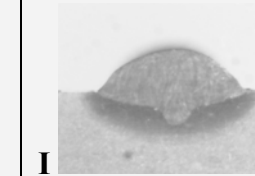
I (A) \ DBCP	200	250	300
18	 A	 D	 G
22	 B	 E	 H
26	 C	 F	 I

Figura 2 – Geometria dos cordões de solda

A Tabela 3 apresenta os valores das características geométricas medidas: P (penetração), L (largura), R (reforço), A_F (área fundida), A_{AM} (área adicionada) e A_T (área total). Cada uma dessas variáveis foi submetida à análise de variância e seus níveis de significância são apresentados na Tabela 4.

Os resultados apresentados na Tabela 3 são melhor visualizados através das Figuras 3 a 7. Deve-se chamar a atenção para o fato de que, para evitar sobreposição dos pontos, as curvas referentes às correntes de 200 e 300 A foram deslocadas de suas posições originais em relação às DBCP. O uso do fator DBCP ao invés do fator comprimento do arco (a) nas análises a seguir se justifica no fato de que este foi o fator realmente utilizado no planejamento experimental (a é função da DBCP), ou seja, 100% ortogonal em relação à corrente. A Figura 3 ilustra como a penetração aumenta com o aumento da corrente, mesmo que se tenha mantido a área adicionada (relação V_a/V_s) constante (aproximadamente a mesma energia imposta), e que diminui com o aumento do comprimento do arco. A sensibilidade do efeito é maior entre as correntes de 200 para 250 A (efeito do modo de transferência) e entre as DBCP de 18 para 22 mm. A Tabela 4 respalda estatisticamente este resultado.

Nas Figuras 4 e 5 apontam para um efeito da corrente sobre o perfil do cordão de solda, sempre lembrando de que a relação V_a/V_s é constante; quanto maior a corrente, mais convexo o cordão. O efeito do comprimento do arco sobre o reforço e largura do cordão é pequeno e estatisticamente insignificante.

A área total do cordão de solda (A_T), que compreende a somatória das áreas adicionada e fundida tende a sofrer efeito (estatisticamente significativo) apenas devido a corrente; quanto maior a corrente, maior a área (Figura 6). Este fato é devido principalmente ao efeito da corrente sobre a área fundida (A_F) (Figura 7). O fato da área adicionada ser a mesma, parece mascarar o efeito de um maior comprimento do arco, que, de acordo com a Tabela 4 e Figura 7, mostra reduzir a área fundida. Esta última observação acompanha a tendência revelada pelo comportamento da penetração da solda nestes experimentos (Figura 3).

Como o objetivo deste estudo era avaliar o efeito da força das gotas sobre a penetração, procurou-se também traçar a relação entre esta força e a penetração (Figura 8). Deve-se chamar a atenção para o fato que esta figura retrata um efeito combinado e concorrente entre a intensidade de corrente, comprimento de arco (proporcional à DBCP) e a força medida. Então, para se tentar chegar a uma melhor noção desta combinação de efeitos, os parâmetros I, DBCP e F foram codificados (variando-se entre -1 e 1) e procedeu-se uma regressão múltipla linear com estes parâmetros e a penetração dos cordões de solda, obtendo-se como resultado a Equação 2.

$$P = 0,769 + 0,288*I - 0,199*DBCP + 0,122*F \quad (2)$$

Tabela 3 – Características geométricas medidas

I (A)	DBCP (mm)	Teste	P (mm)	R (mm)	L (mm)	A _T (mm ²)	A _{AM} (mm ²)	A _F (mm ²)
200	18	A	0,59	1,09	4,05	4,09	2,82	1,27
			0,72	1,15	4,45	4,92	3,37	1,55
			0,43	1,05	3,89	3,76	2,77	0,99
	22	B	0,25	1,14	3,61	3,09	2,53	0,55
			0,22	1,20	5,31	4,63	4,06	0,57
			0,37	1,09	5,99	4,49	3,40	1,10
	26	C	0,40	1,32	5,21	4,97	4,42	0,55
			0,20	0,99	3,05	2,44	1,99	0,45
			0,09	1,22	5,34	4,67	4,19	0,48
250	18	D	1,08	1,14	4,05	5,13	3,08	2,05
			1,09	1,06	3,82	4,79	2,71	2,08
			1,07	1,11	3,87	4,99	2,88	2,11
	22	E	0,88	1,19	3,76	4,75	3,13	1,62
			0,77	1,21	3,91	5,03	3,24	1,79
			0,74	1,20	3,70	4,26	2,73	1,53
	26	F	0,67	1,17	3,66	4,04	2,71	1,34
			0,79	1,40	3,79	5,09	3,60	1,49
			0,57	1,34	3,69	4,54	3,30	1,24
300	18	G	1,43	1,42	4,11	6,22	3,60	2,62
			1,44	1,28	3,98	6,10	3,14	2,96
			1,43	1,20	3,75	5,24	2,56	2,67
	22	H	1,08	1,19	4,08	5,19	3,14	2,05
			1,08	1,28	3,71	5,18	3,20	1,98
			1,00	1,26	3,46	4,49	3,05	1,44
	26	I	1,07	1,25	4,24	5,70	3,79	1,91
			1,01	1,81	3,75	6,72	4,82	1,89
			0,91	1,13	3,95	4,67	3,02	1,64

Tabela 4 – Níveis de significância obtidos.

Variáveis / Fatores	P	R	L	A _T	A _{AM}	A _F
I	0,00	0,06	0,04	0,01	0,55	0,00
DBCP	0,00	0,20	0,84	0,43	0,22	0,00
I x DBCP	0,84	0,85	0,64	0,83	0,92	0,33

A Figura 9 apresenta os valores da penetração da solda preditos pela Equação 2 versus os valores obtidos experimentalmente. O coeficiente de correlação obtido para estes pontos foi de 0,93.

A confiabilidade desta abordagem não é alta, já que a força não é uma variável ortogonal em relação à I e DBCP, dada a sua natureza experimental. Mas pode-se entender que o peso da corrente e o do comprimento de arco sobre a penetração da solda são maiores que o da força das gotas na composição do valor de penetração do cordão predito pela Equação 2. Do ponto de vista físico, esses coeficientes não tem a precisão de bons preditores, mas fornecem um bom indício da maior ou menor dependência da resposta P em relação a cada um dos fatores. Assim, com base no resultado apresentado na Figura 8, bem como na correlação apresentada na Equação 2, pode-se afirmar que o efeito da força das gotas não é o mais significativo na formação da penetração ($I > DBCP > F$), mas relativamente alto para também governar este fenômeno.

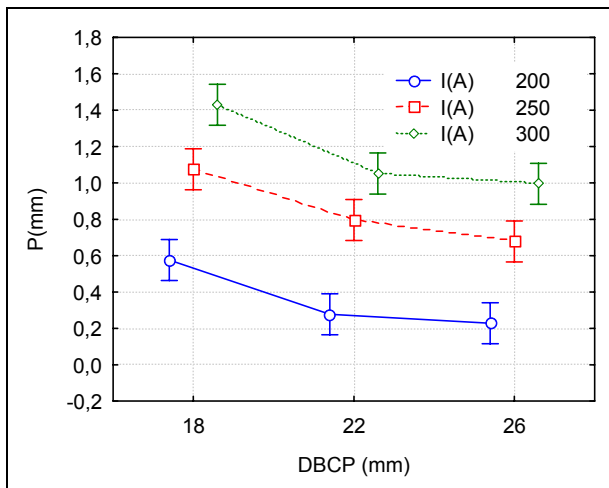


Figura 3 – Efeito dos parâmetros sobre P.

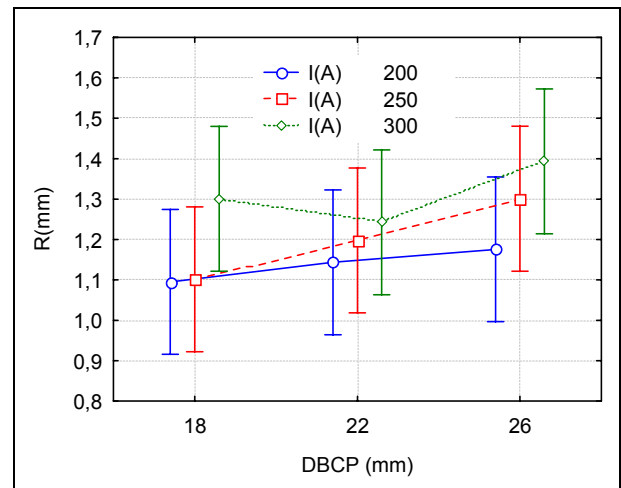


Figura 4 – Efeito dos parâmetros sobre R.

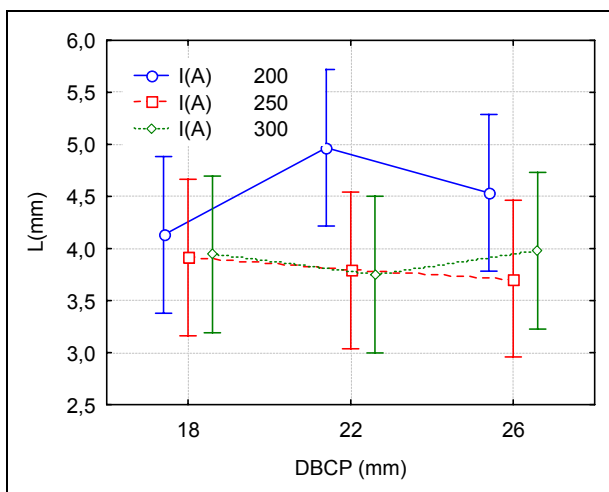


Figura 5 – Efeito dos parâmetros sobre L.

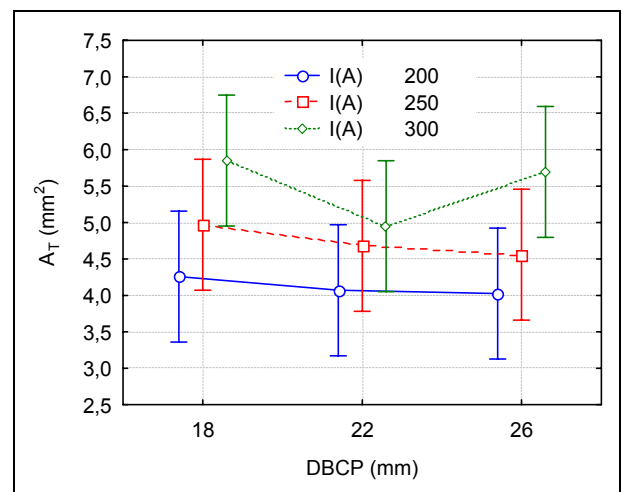


Figura 6 – Efeito dos parâmetros sobre A_T.

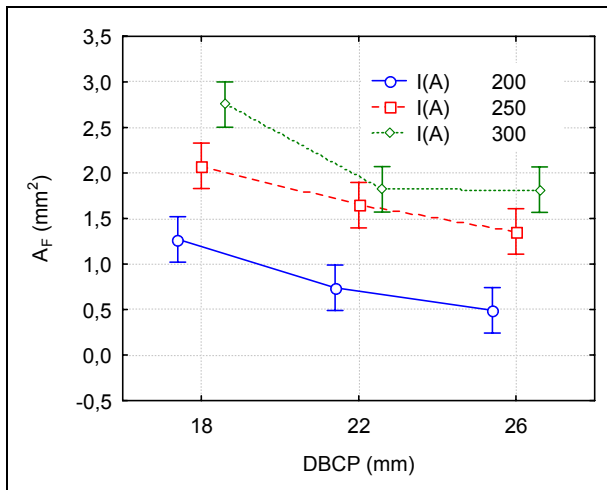


Figura 7 – Efeito dos parâmetros sobre A_F .

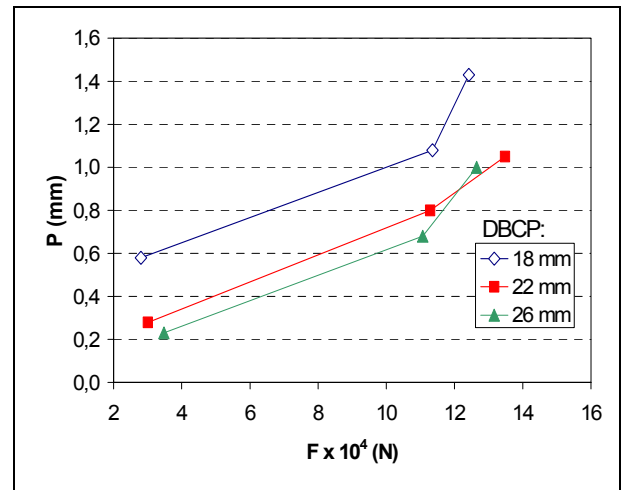


Figura 8 – Efeito de F e DBCP sobre P.

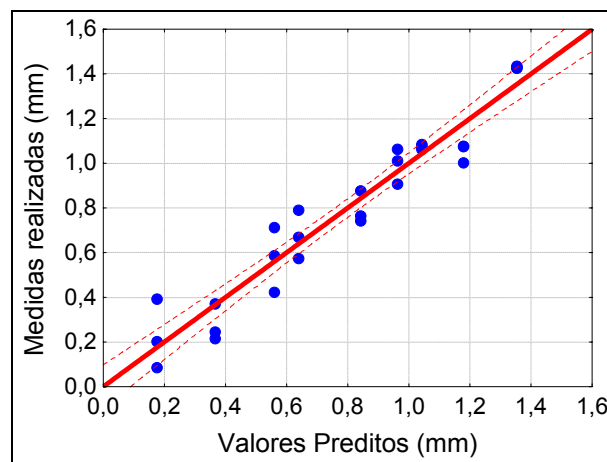


Figura 9 – Penetração obtida pela Equação 2 versus valores experimentais ($R^2 = 0,93$).

4. CONCLUSÃO

Tendo em vista os objetivos do trabalho, e as condições empregadas (soldagem com eletrodos de aço carbono, posição plana, fonte no modo corrente constante, etc.), conclui-se que:

- A força das gotas que impingem na poça aumenta a penetração dos cordões de solda, embora com efeito menos marcante que a corrente e o comprimento arco;
- O aumento da corrente provoca aumento da força impingida pelas gotas na poça de fusão, mas há uma clara dependência do tipo de transferência metálica, tornando-se significativamente maior quando se passa de globular para goticular;
- O aumento do comprimento do arco de soldagem aumenta a força impingida pelas gotas na poça de fusão, mas também claramente dependente do tipo de transferência metálica, acontecendo apenas em transferência globular;
- A corrente de soldagem aumenta a penetração do cordão de solda e a sua área fundida, bem como modifica a convexidade do cordão de solda, mesmo mantendo-se a mesma área adicionada (aproximadamente mesma energia de soldagem);
- O aumento do comprimento do arco diminui a penetração do cordão de solda e sua área fundida, mesmo mantendo-se a mesma área adicionada (aproximadamente mesma energia de soldagem);

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Louriel Oliveira Vilarinho por sua contribuição ao trabalho. Também ao LAPROSOLDA e ao LTM (Lab. de Tribologia e Materiais) da UFU pela infraestrutura indispensável à realização do mesmo. Finalmente, à FEMEC/CPGEM, ao CNPq e à FAPEMIG pelo suporte financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- ESSERS, W. G., WALTER, R. 1981. Heat Transfer and Penetration Mechanisms with GMA and Plasma-GMA Welding, *Welding Journal*, AWS, 60, 37s–42s.
- 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.
- 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.
- MURRAY, P. E., Scotti, A. 1999. Depth of penetration in gas metal arc welding. *Science and Technology of Welding and Joining* . Vol. 4 No. 2, pp 112 – 117.
- SCOTTI, A., 1998. A Review on Special Metal Transfer Modes in GMAW, *Rev. Bras. de Ciências Mecânicas - RBCM*, ABCM, vol XX, no. 3, pp. 465-478.
- 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, 62, 109s–116s.
- WATKINS, A.D., SMARTT, H.B. & JOHNSON, J.A., 1992. A Dyanmic Model of Droplet Growth and Detachment in GMAW, 3rd Int. Conf. on Trends in Welding Research, ASM, Gatlimburg, Tennessee, USA, 1-5 Jun, pp. 993-997

EFFECTS OF DROPLETS FORCES ON STEEL MIG/MAG WELD BEAD PENETRATION: AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION

Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues

Federal University of Uberlândia, LAPROSOLDA, 38400-902 – Uberlândia – MG –
ceduardo@mecanica.ufu.br

Oreste Guerra Neto

Federal University of Uberlândia, LAPROSOLDA, 38400-902 – Uberlândia – MG –
guerra@mec.ufu.br

Américo Scotti

Federal University of Uberlândia, LAPROSOLDA, 38400-902 – Uberlândia – MG –
ascotti@mecanica.ufu.br

***Abstract:** In this work was tried to correlate metal transfer and geometrical profile of weld beads by means of calculations of the “impingement force” of droplets in transfer during GMAW. This force represents the product between the momentum of each droplet and the number of droplets at a time interval. For this calculation, average values of the droplet mass, the droplet arrival velocity and the droplet frequency were used. These parameters were experimentally obtained by laser back lighting high speed camera filming and image digital processing. Nine different plain carbon steel electrode-welding conditions were evaluated at three levels of currents and arc lengths. The results show the importance of the proper parameter selection, with which the force is optimized towards deeper penetrations.*

***Key-words:** Welding, GMAW, Metal Transfer, Physics of Arc; Droplet Force; Bead geometry*