

ESTUDO DA GEOMETRIA DO CORDÃO DE SOLDA USANDO CO₂ E MISTURA DE AR E CO₂ NA SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR AWS E71T-1

Juscelino Chaves Sales

Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFETCE, Av. 13 de Maio, 2081 – Benfica. CEP: 60040-531. Fortaleza/CE juscelinochaves@hotmail.com

Jesualdo Pereira Farias

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP .60455-760. Fortaleza-Ce. jpf@truenet-ce.com.br

Temístocles de Sousa Luz

Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, Bloco 10, LAPROSOLDA/UFU. CEP 38000-400 Uberlândia – MG, tsluz@mecanica.ufu.br

Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues

Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, Bloco 10, LAPROSOLDA/UFU. CEP 38000-400 Uberlândia - MG, ceduardo@mecanica.ufu.br

Belchior Ferreira Pinto

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP .60455-760. Fortaleza-Ce. belchiorfp@yahoo.com

Resumo: *O levantamento das características geométricas do cordão de solda depositado pelo arame tubular AWS E71T-1, quando o CO₂ puro é substituído pela mistura de Ar + CO₂ como gás de proteção na soldagem convencional em tensão constante e na soldagem com corrente pulsada, é o objetivo do trabalho. Para isso, soldagens com arame tubular AWS E71T-1 de 1,2 mm de diâmetro, em simples deposição, na posição plana, foram feitas em corpos de prova de aço ABNT 1020 com dimensões de 150 x 50 x 8 mm. Empregou-se uma fonte eletrônica de soldagem e um sistema automático de posicionamento da pistola. A tensão de soldagem foi mantida em 23 V. A relação entre a velocidade de alimentação do arame, V_a , e a velocidade de soldagem, V_s , foi mantida entre 20 e 23 para garantir uma área adicionada aproximadamente constante de 18 mm². Analisaram-se os efeitos do tipo de gás de proteção (CO₂ e Ar + CO₂), da “distância bico de contato peça” (20 e 25 mm), dos níveis de corrente (160, 180 e 200 A) e sua natureza (convencional e pulsada). Os resultados indicam que o tipo de gás de proteção afeta de maneira significativa a geometria da solda.*

Palavras-chave: *aramé tubular, gás de proteção, características geométricas do cordão.*

1 INTRODUÇÃO

Em função do desenvolvimento dos processos de fabricação e da engenharia de materiais, os processos de soldagem sofreram um grande avanço tecnológico nos últimos anos, tanto relacionado aos processos quanto ao desenvolvimento de novos consumíveis. Com o intuito de se conseguir processos mais contínuos e econômicos que os processos manuais, desenvolveu-se nestes últimos anos fontes eletrônicas mais modernas, proporcionando um maior controle operacional dos processos contínuos como é o caso da soldagem MIG/MAG, do Arco Submerso e do Arame Tubular (AT). Este último é um processo de relevante importância tecnológica, uma vez que une as principais vantagens dos processos Eletrodo Revestido e MIG/MAG (Boniszewsky, 1992; Otegui & De Vedia, 1991).

Após vários anos de pesquisa, o arame tubular alcançou o nível de desenvolvimento exigido no metal de solda das modernas estruturas. A soldagem arame tubular com proteção gasosa (AT-G) é um processo que vem sendo bastante utilizado nos últimos anos (Welding Handbook, 1991). Neste processo, o arco voltaico se forma entre a peça e o eletrodo, sendo protegido pela ação de um gás externo e pela decomposição de um fluxo alojado no interior do arame (Mota, 1997; Welding Handbook, 1991). Hoje, o processo AT-G, devido à versatilidade dos arames, possibilita a obtenção de um melhor nível de resistência mecânica e melhor tenacidade com uma maior taxa de deposição, possibilitando a soldagem em todas as posições (Mota, 1997; Machado, 1997).

Para o processo de soldagem com proteção gasosa, muitos estudos vêm avançando, principalmente na área metalúrgica, como é o caso do estudo da influência do gás de proteção sobre as propriedades metalúrgicas do metal depositado por esse processo. Alguns resultados da influência benéfica da mudança do gás CO₂ (comumente utilizado na proteção gasosa do arame tubular) para uma mistura de Argônio e CO₂ são verificados através da obtenção de melhores propriedades metalúrgicas (Surian & Rissone, 1998).

Portanto, o objetivo desse trabalho é realizar um levantamento das características operacionais, do arame tubular AWS E71T-1 com base nas características geométricas da solda, empregando-se como gás de proteção CO₂ puro e uma mistura de Ar e CO₂, variando-se a DBCP - distância bico de contato peça- em 20 mm e 25 mm, em três níveis de corrente tanto em soldagem com corrente convencional (tensão constante) como em corrente pulsada.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados usando como metal base o aço ABNT 1020 nas dimensões de 150 x 50 x 8 mm, empregando uma fonte eletrônica multiprocesso, com tocha de soldagem tendo deslocamento promovido por um posicionador eletrônico linear. Como consumível foi utilizado o arame tubular para soldagem com proteção gasosa, pertencente à classe AWS E 71T-1, com 1,2 mm de diâmetro. Os gases de proteção usados neste trabalho foram uma mistura de 25% de CO₂ e 75% de Argônio, e CO₂ puro.

Foram feitas soldagens de simples deposição na posição plana. Utilizou-se o processo AT convencional (tensão constante) e o AT pulsado. Os níveis de corrente eficaz empregados para o processo convencional foram os mesmos do processo com pulsação de corrente. A distância bico de contato peça, DBCP, foi regulada em 20 mm e 25 mm. Nivelou-se o suporte da chapa e a seguir ajustou-se o ângulo da tocha a 90° da superfície do corpo de prova tanto em relação ao eixo longitudinal como transversal do suporte. A vazão do gás utilizada para todos os corpos de prova ensaiados foi de 14 l/min. Para executar testes de análise de variância (ANOVA), foram feitas 03 (três) repetições para cada condição de soldagem, totalizando 72 corpos de prova. Os parâmetros de soldagem e os níveis dos fatores de controle foram determinados a partir de testes preliminares. Esses parâmetros de soldagem adotados são mostrados nas Tab. (1) e (2).

Em todos os experimentos procurou-se manter a relação V_a/V_s (velocidade de alimentação/ velocidade de soldagem) entre 20 e 23 para garantir uma área adicionada aproximadamente constante de 18mm². As características geométricas avaliadas (reforço, a penetração e a largura)

estão apresentadas na Fig. (1) e seus valores foram obtidos por medição em microscópio óptico.

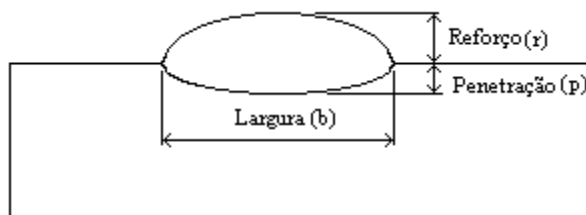


Figura 1 – Esquema de uma seção transversal da solda, ilustrando seus parâmetros geométricos.

Tabela 1. – Parâmetros de soldagem no Processo Convencional.

Corrente Eficaz Desejada (A)	160	180	200
DBCP (mm)	20	25	
Gás	CO ₂	Ar+25%CO ₂	

Tabela 2 – Valores de pulso e de base para corrente e tempo (Processo Pulsado).

Corrente desejada-I (A)	Corrente de pulso - I _p (A)	Corrente de base - I _b (A)	Tempo de pulso- t _p (ms)	Tempo de base - t _b (ms)
160	260	60	2,0	3,4
180	260	80	2,0	2,7
200	260	100	2,0	2,2

3 RESULTADOS

As Tab. (3) e (4) apresentam os valores médios de tensão e os valores médios e eficazes de corrente, para soldagem em modo convencional e pulsado respectivamente, obtidos na realização dos ensaios. A última coluna à direita da tabela, mostra os valores obtidos para as relações V_a/V_s .

Tabela 3. Parâmetros de soldagem para o processo convencional.

Gás	DBCP (mm)	I _{ef} (A)	I _m (A)	U _m (V)	v _a (m.min ⁻¹)	v _s (m.min ⁻¹)	Razão v _a /v _s
CO ₂ + Ar	20	161	160	23	5,4	0,24	22
		180	177	23	6,3	0,28	22
		203	200	23	7,9	0,34	23
	25	160	159	23	6,4	0,28	22
		182	179	23	7,8	0,34	23
		200	194	23	9,3	0,40	23
CO ₂	20	161	160	23	5,7	0,24	23
		182	181	24	7,3	0,31	23
		201	199	24	8,7	0,37	23
	25	160	160	23	7,1	0,29	24
		183	174	24	8,2	0,36	23
		199	192	24	10,2	0,43	23

Tabela 4 – Parâmetros de soldagem para o processo pulsado.

Gás	DBCP (mm)	I _{ef} (A)	I _m (A)	U _m (V)	v _a (m.min ⁻¹)	v _s (m.min ⁻¹)	Razão(v _a /v _s)
CO ₂ e Ar	20	156	132	23	4,6	0,21	21,9
		173	153	23	5,7	0,25	22,8
		184	170	23	6,2	0,30	20,7
	25	154	130	23	5,0	0,25	20,0
		170	152	23	6,1	0,30	20,3
		185	172	23	7,3	0,40	20,9
CO ₂	20	160	134	23	5,0	0,22	22,7
		175	156	23	5,8	0,27	21,5
		188	173	23	6,6	0,31	21,3
	25	160	135	23	5,7	0,25	22,8
		175	155	23	6,6	0,30	22,0
		188	175	23	7,8	0,35	22,3

3.1 Processo AT Convencional (Tensão Constante)

A Tab.(5) apresenta os valores médios das características geométricas representados pela largura (b), reforço (r) e penetração (p), usando o modo corrente convencional. Na Tab.(6) observam-se os resultados da análise de variância para o estudo das características geométricas da solda. Pela análise, verifica-se que todos os fatores tiveram influência na geometria da solda, salientando-se a influência marcante do tipo de gás de proteção sobre os parâmetros em questão bem como que o efeito do tipo de gás sobre o reforço depende da DBCP, e do mesmo modo, o efeito do tipo de gás sobre a penetração depende da corrente de soldagem.

Tabela 5. Resultado das características geométricas (processo convencional).

Tipo de gás	DBCP (mm)	Corrente (A)	b (mm)	r (mm)	p (mm)
CO ₂ + Ar	20	161	11,86	2,68	0,42
		180	11,57	2,72	0,53
		203	11,36	2,82	0,54
	25	160	9,70	2,92	0,57
		182	9,62	3,00	0,45
		200	7,61	3,10	0,82
CO ₂	20	161	11,20	2,92	0,42
		182	9,59	3,49	0,96
		201	9,08	3,51	1,15
	25	160	8,84	3,84	0,62
		183	8,25	3,91	0,91
		199	7,38	4,04	1,00

Tabela 6. Resultado da análise de variância para o processo convencional.

Fator	Fator α (%)		
	Características Geométricas		
	b	R	p
1 – Gás	1,67	0,00	0,05
2 – DBCP	0,00	0,52	52,72
3 – I_{ef}	5,06	37,67	0,10
Interação – 1 x 2	19,81	1,69	45,81
Interação – 1 x 3	72,57	54,36	0,11
Interação – 2 x 3	38,65	81,51	43,94

O resultado esperado para um aumento de corrente média, onde os demais parâmetros mantêm-se constantes, é um acréscimo da largura do cordão de solda. Contudo conforme a Fig. (2) constatou-se que o mesmo não ocorreu porque a área adicionada foi mantida constante. Fixando-se este parâmetro, impõe-se uma relação constante entre as velocidades de alimentação e de soldagem, ou seja, aumentando-se a corrente média, para uma área adicionada constante, aumenta-se tanto a velocidade de soldagem quanto a velocidade de alimentação do arame. No caso dos experimentos analisados, pode-se afirmar que o aumento da velocidade de soldagem foi mais crítico que o aumento da velocidade de alimentação, para os dois tipos de gás, provocando uma queda na largura do cordão de solda com o aumento da corrente média Fig. (2). O reforço do cordão de solda não foi afetado pela corrente de soldagem, Fig. (3).

A mudança do tipo de gás influi na geometria do arco voltaico, de acordo com Miranda, et al (1999), gerando mudanças na forma do cordão. O arco gerado com CO_2 puro tende a ser mais constrito, promovendo influência marcante na geometria da solda, diminuindo a largura do cordão, aumentando o seu reforço e a penetração. A solda com $Ar + CO_2$, por sua vez, tende a apresentar uma maior largura e um menor reforço, pois o arco gerado por esse tipo de gás incide numa área maior do metal de base. Verifica-se que as penetrações utilizando o CO_2 foram maiores que aquelas utilizando a mistura gasosa $Ar + CO_2$ (Fig. 4). É observado também que a DBCP afeta a largura do cordão, sendo que para o valor de 25mm a largura do cordão se mostrou menor, mantendo constante os demais parâmetros (Figuras 2, 3 e 4).

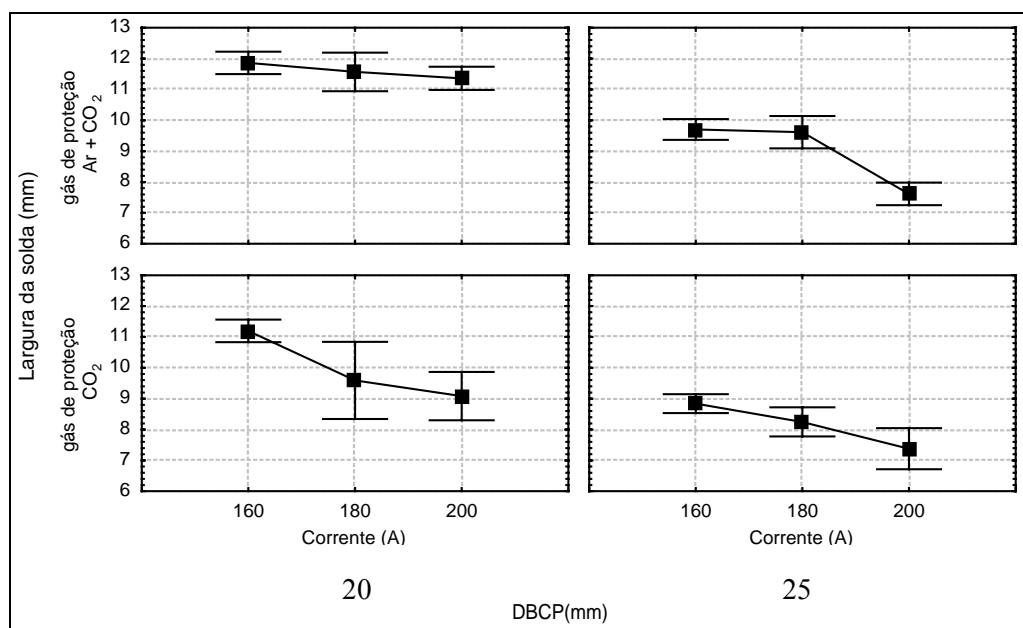


Figura 2 – Efeito dos fatores sobre a largura.

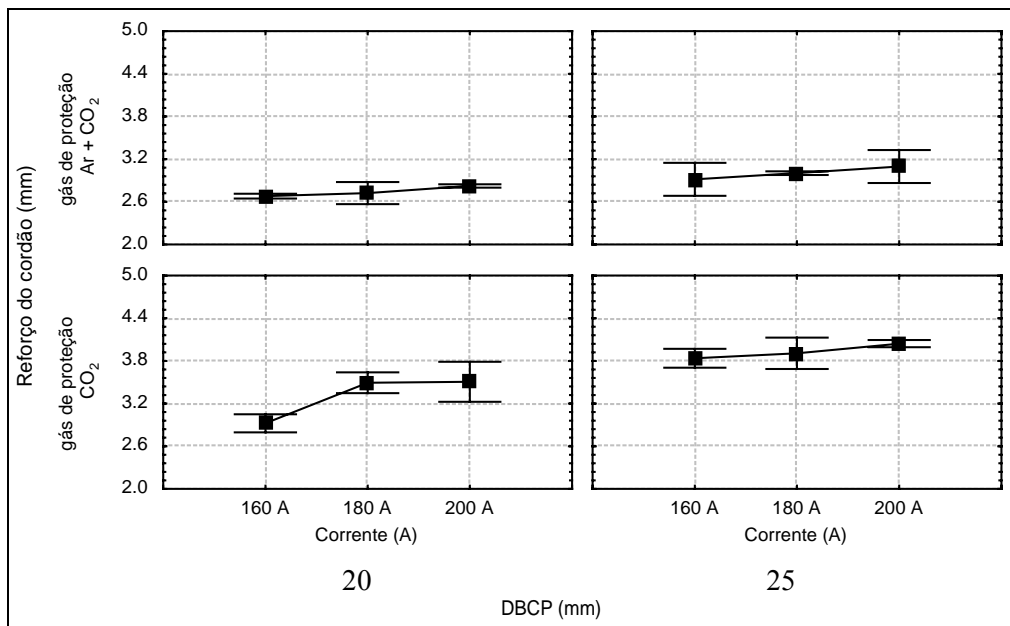


Fig. 3 – Efeito dos fatores sobre o reforço.

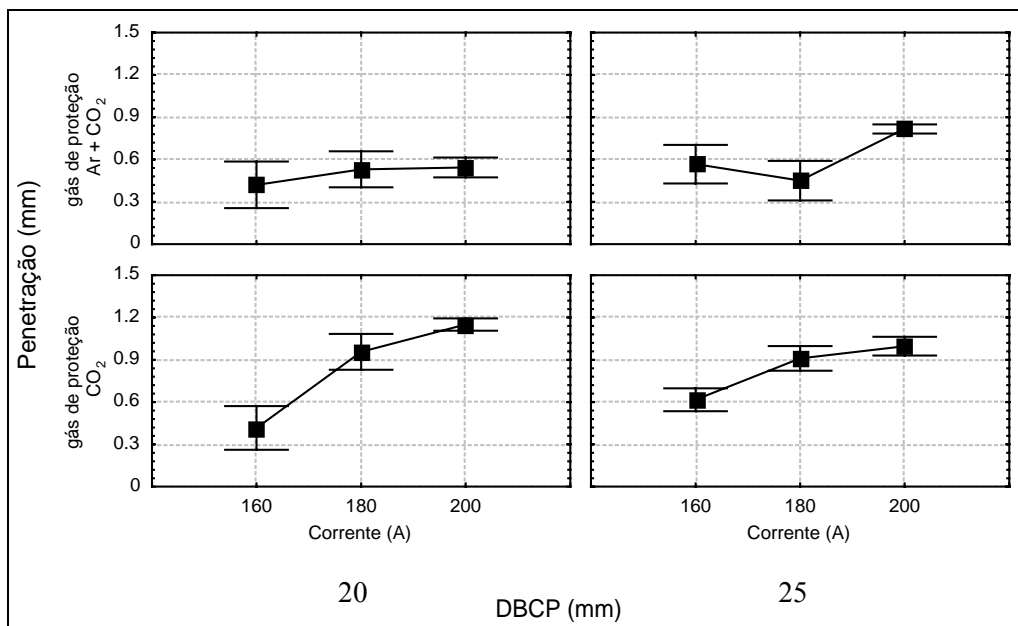


Figura 4. – Efeito dos fatores sobre a penetração.

Observa-se, na Figura (3), que na soldagem com CO₂, a mudança da DBCP de 20 para 25 mm provocou um aumento significativo no reforço do cordão de solda. Observando-se a Figura (2), percebeu-se que para a corrente de 160A, o aumento da DBCP de 20mm para 35mm diminui a largura do cordão de solda para os dois tipos de gases. Soldando com 160 A, o cordão de solda é bem mais tênue com DBCP de 20 que de 25 mm.

A maior constrição do arco para o CO₂, provoca uma maior pressão do arco sobre a poça de fusão, o que causará uma maior penetração, como pode ser visto na Fig. (4). Ainda nesta figura, constata-se que este efeito é muito dependente do valor da corrente. Este fato está associado ao efeito da corrente sobre a pressão do arco, que é um fator determinante da penetração. Para maiores valores da corrente observa-se um aumento da penetração que é mais marcante para a soldagem com CO₂ puro.

3.2 Soldagem AT com Corrente Pulsada

As Tabelas (7) e (8) apresentam os valores médios das características geométricas do cordão, e o resultado da análise de variância. As Figuras (5), (6) e (7) apresentam o comportamento da largura, do reforço e da penetração, respectivamente.

Tabela 7.– Resultado das características geométricas (processo pulsado).

Tipo de gás	DBCP (mm)	Corrente (A)	b (mm)	r (mm)	p (mm)
CO ₂ + Ar	20	156	11,67	2,97	0,60
		173	11,58	2,87	0,57
		184	11,57	2,86	0,69
	25	154	11,23	3,42	0,51
		170	11,41	3,36	0,54
		185	11,07	3,56	0,55
CO ₂	20	160	10,85	3,43	0,35
		175	11,30	3,40	0,49
		188	11,03	3,20	0,75
	25	160	11,18	3,86	0,41
		175	10,18	4,20	0,49
		188	9,45	4,00	0,43

Avaliando o resultado da análise de variância, Tabela (8), verifica-se que a DBCP afetou o reforço, a penetração e a largura, enquanto que o gás não influenciou a penetração da solda. Uma vez que a velocidade de soldagem foi ajustada para manter a área adicionada constante, em corrente pulsada não foi possível determinar os efeitos da corrente eficaz sobre a geometria da solda. A utilização de uma mistura de gases no lugar do CO₂ puro afetou significativamente o reforço e a largura do cordão de solda.

Tabela 8. Resultado da análise de variância para o processo pulsado.

Fator	Fator α (%)		
B	R		p
1 – Gás	0,42	0,05	10,99
2 – DBCP	3,23	0,00	0,00
3 – I _{ef}	38,12	96,40	14,74
Interação – 1 x 2	35,62	44,35	99,20
Interação – 1 x 3	57,63	66,58	52,43
Interação – 2 x 3	30,30	60,31	16,80

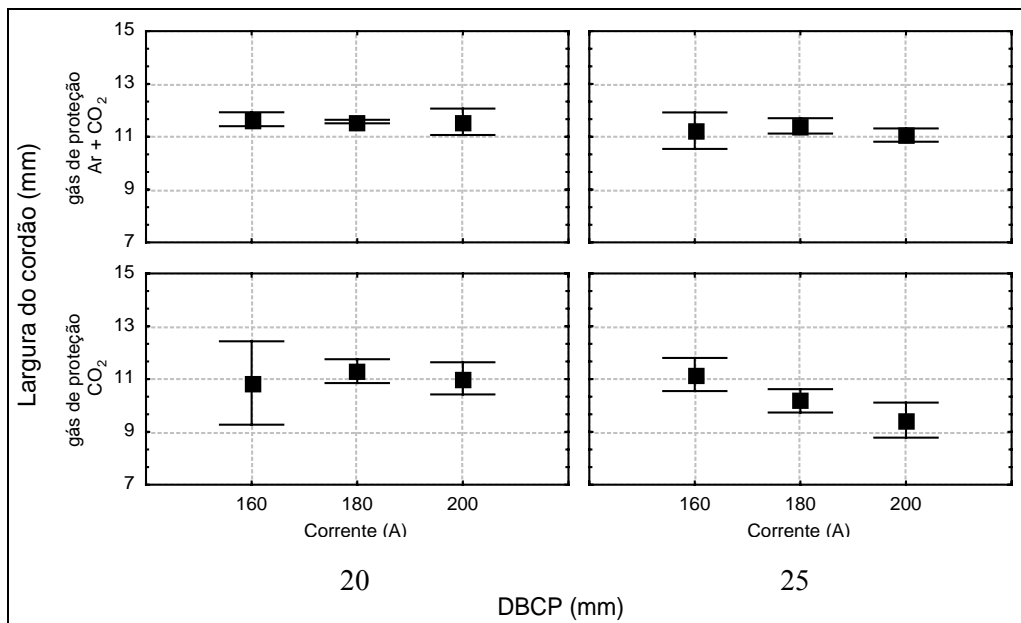


Figura 5. Efeito dos fatores sobre a largura.

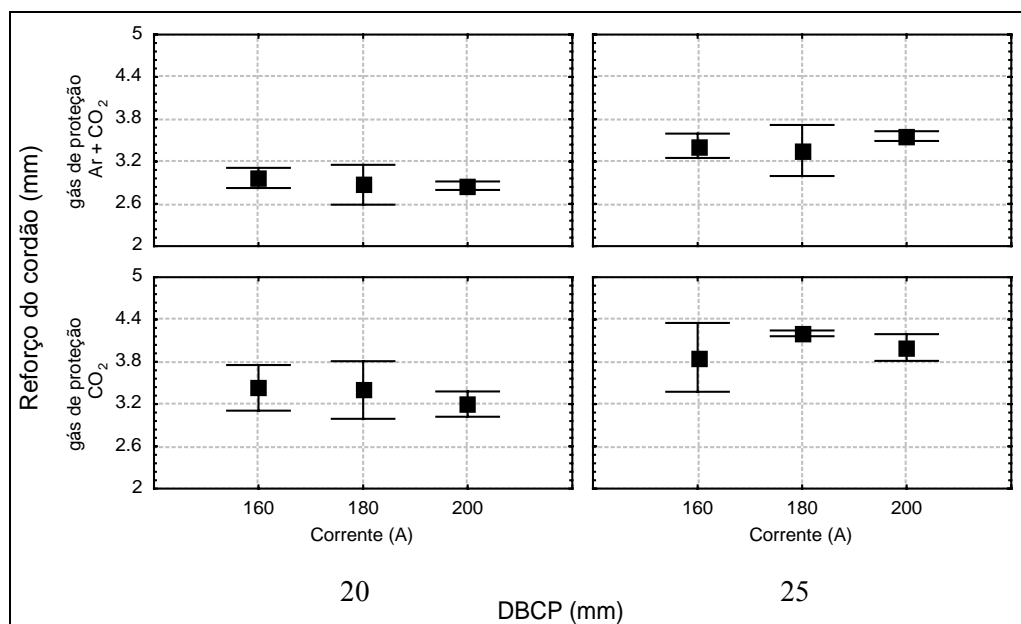


Fig. 6 – Efeito dos fatores sobre o reforço.

Observa-se que as soldas com Ar + CO₂ tendem a possuir um menor reforço e uma maior largura, Fig. (5) e (6). Isto indica que as soldas com a mistura Ar + CO₂ possuem um aspecto mais tênue, com uma melhor conformação do cordão, reduzindo a formação de pontos de concentração de tensão e melhorando o aspecto do depósito. O aumento da DBCP tende a diminuir a largura e aumentar o reforço do cordão de solda. Esta tendência é mais pronunciada para a soldagem com CO₂ puro, Fig. (5) e (6). Na Tabela (8), observa-se que não houve efeito significativo da corrente sobre a penetração para o processo AT pulsado. No entanto, observando-se a Fig. (7) verifica-se que se utilizando CO₂ puro à DBCP de 20 mm, um aumento da corrente de soldagem tende a aumentar a penetração.

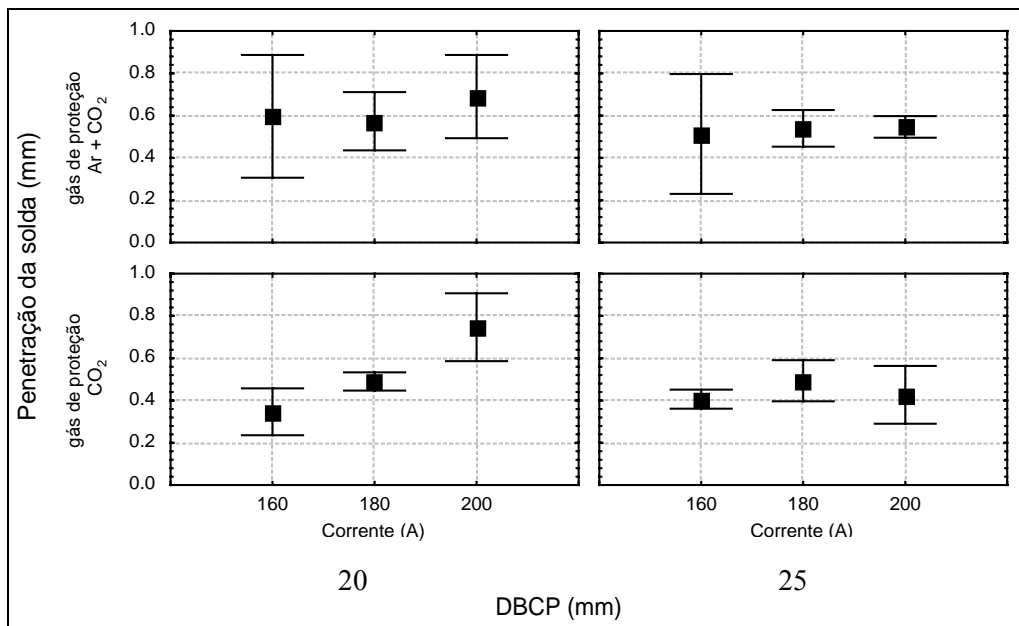


Fig. 7 – Efeito dos fatores sobre a penetração.

4 CONCLUSÕES

Tendo em vista os objetivos apresentados, conclui-se que:

- A mudança de CO₂ puro para uma mistura de CO₂ + Ar afeta sensivelmente as características geométricas do cordão de solda, mas não exerce efeito significativo sobre a penetração no modo pulsado.
- O aumento da DBCP de 20 mm para 25 mm afeta a largura e o reforço do cordão de solda, mas não exerce efeito significativo sobre a penetração no modo convencional.
- Para uma relação V_a/V_s constante, o efeito da corrente sobre as características geométricas do arame tubular E71T-1 depende sensivelmente do tipo de corrente (convencional ou pulsada) e do tipo de gás de proteção.

5 REFERÊNCIAS

- Boniszewsky, T. "Self-shielded arc welding". Woodhead Publishing Ltd. In Association with the Welding Institute, Cambridge England, 1992
- Miranda, H. C. "Influência da indutância na soldagem GMAW na posição sobrecabeça". Universidade Federal de Uberlândia, 1999.
- Mota, C. A. M. "Níquel e manganês como controladores da tenacidade na soldagem com arames tubulares autoprotégidos". Tese de Doutorado, UFSC, Dezembro, 1997.
- Machado, I. G. "Soldagem e técnicas conexas". Livro editado pelo autor, 1997.
- Otegui, J. L. e De Vedia, L. A. "Soldadura com alambres tubulares sin protección gaseosa". Boletín Técnico Conarco, n. 81, p. 2-14/27-29, Jan., 1985.
- Surian, E. S., Rissone, N. M. R. "Efeito del gas de protección y del procedimiento de soldadura sobre las características del metal depositado por alambre tubular tipo AISI/WELDING HANDBOOK A5.20-95 E71T-1". DEYTEMA, Fac. Reg. San Nicolás, Buenos Aires, Argentina 1998.
- Welding Handbook. Chapter 5, vol. 2, eighth edition, 1991.

WELD BEAD GEOMETRY ANALYSIS IN THE FLUX CORED ARC WELDING PROCESS: THE EFFECT OF THE SHIELDEDING GAS

Juscelino Chaves Sales

Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFETCE, Av. 13 de Maio, 2081 – Benfica. CEP: 60040-531. Fortaleza/CE juscelinochaves@hotmail.com

Jesualdo Pereira Farias

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP .60455-760. Fortaleza-Ce. jpf@truenet-ce.com.br

Temístocles de Sousa Luz

Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, Bloco 10, LAPROSOLDA/UFU. CEP 38000-400 Uberlândia – MG, tsluz@mecanica.ufu.br

Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues

Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, Bloco 10, LAPROSOLDA/UFU. CEP 38000-400 Uberlândia - MG, ceduardo@mecanica.ufu.br

Belchior Ferreira Pinto

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP .60455-760. Fortaleza-Ce. belchiorfp@yahoo.com

ABSTRACT: *Bead on plate welding was performed using the flux cored wire AWS E71T-1 with a diameter of 1,2 mm, in flat position on samples of ABNT 1020 steel with a size of 150x50x8 mm. An electronic welding source and a positioning system were used. It was sustained a welding tension of 23 V. The relationship between the wire feed speed and the travel speed was kept constant between 20 and 23 to guarantee a deposit area of approximately 18 mm². The influence of shielding gas (CO₂ and Ar and CO₂), the contact tube-to-work (TTW) (20 and 25 mm), the welding current (160, 180 and 200 A) and its nature (conventional and pulsed) were analyzed regarding the weld geometry. The results showed that the shielding gas type influences in the welding geometry. It was also shown that the effect of the current intensity on the weld bead geometry of the flux cored wire AWS E71T-1 depends perceptibly on the current type (conventional or pulsed).*

Keywords: shielding gas, geometric characteristics, flux cored arc welding.