

INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE AFIAÇÃO DO ELETRODO NA FORMAÇÃO DO CORDÃO EM CHAPAS DE AÇO INOXIDÁVEL

Anna Tokar, Laprosolda, UFU, annatokar@mecanica.ufu.br

Volodymyr Ponomarev, Laprosolda, UFU, ponomarev@mecanica.ufu.br

Resumo. Os fatores que determinam o processo de formação da poça fundida em soldagem por fusão são muitos numerosos, tais como características do metal base (parâmetros geométricos, condutividade térmica, composição química, etc.) e parâmetros de soldagem (comprimento de arco, corrente, etc.). Entretanto, em muitas vezes em execução da solda não se consideram muitos fatores que têm uma influência significativa sobre o processo de soldagem e sobre a penetração da solda. A saber, o ângulo de afiação do eletrodo e sua variação durante o processo de soldagem. Como é sabido, a mudança do ângulo de afiação do eletrodo altera as características do arco, a saber, distribuição da energia e pressão do arco. Em sua vez, estas características do arco influenciam na geometria do cordão, a saber, a penetração e largura do cordão. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influencia do ângulo de afiação do eletrodo na geometria do cordão na soldagem TIG Pulsada. Foram feitas soldas autógenas sobre chapas de aço inox, variando-se o ângulo de afiação do eletrodo mantendo-se constantes as amplitudes das correntes de pulso e de base, a frequência da pulsação, a corrente média e eficaz e a velocidade de soldagem. Os resultados obtidos mostraram que a penetração foi maior para os ângulos de ponta de eletrodo em torno de 60° , diminuindo em 15-20% no caso do uso os ângulos obtusos (70° - 80°). O ângulo de afiação do eletrodo, além influir nos parâmetros geométricos do cordão, influenciou também na formação de defeitos (do tipo cavidades) no fundo do cordão. As cavidades foram mais pronunciadas com os ângulos de afiação em torno de 60° , chegando a se tornar alongadas e alinhadas com o eixo do cordão. Para os ângulos de afiação de 30° - 40° , estas cavidades foram bem menores, enquanto que para os ângulos de 70° - 80° elas não foram observadas.

Palavras chave: Soldagem TIG Pulsada, Afiação do eletrodo, Geometria do cordão, Cavidade.

1. INTRODUÇÃO

O ângulo e o diâmetro de ponta do eletrodo determinam a geometria da coluna de arco, e assim, a pressão que o arco exerce na poça, influenciando na sua largura e no perfil da penetração (SMIRNOV, 1986, p. 284; KEY, 1990, v. 6, p. 86). A Figura 1 representa os parâmetros de afiação do eletrodo de tungstênio para soldagem TIG.

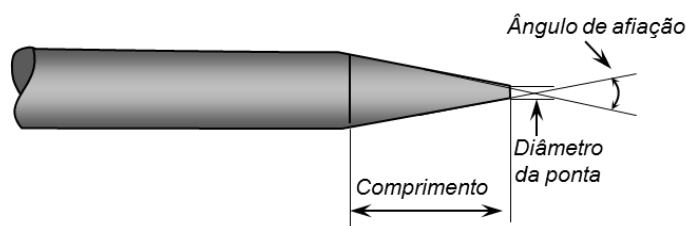


Figura 1. Eletrodo de tungstênio e seus parâmetros de afiação

Segundo Fontana (1986), a influência do ângulo de afiação na largura do cordão geralmente é consistente; a largura diminui com o aumento do ângulo de eletrodo. O trabalho de Kou (2002) também mostrou que a largura é reduzida com o aumento do ângulo do eletrodo. Erohen (1971) indica que a redução do diâmetro da ponta de eletrodo aumenta a densidade da corrente, ou seja, aumenta a pressão de arco e a concentração do fluxo de calor na peça, (acarretando assim certo aumento da penetração). Key (1990, v. 6, p. 86) mostrou os resultados que coincidem com os apresentados pelos Fontana e Kou, mas são opostos aos do Erohen, ou seja, quando menor o diâmetro da ponta do eletrodo, mais rasa se torna a penetração.

Shirali e Mills (1993) acreditam que a influência do ângulo de afiação da ponta na penetração também não é óbvia como ilustra a Fig. 2 (a). Key (1980) observou que na soldagem de aço inoxidável 304, a relação penetração/largura (P/L) aumenta ao aumentar o ângulo do eletrodo até 90° graus, mas começa a diminuir com maiores ângulos (veja Fig. 2 (a)). Savage e colaboradores (1965), na soldagem de aço carbono, observaram um aumento contínuo da penetração (veja Fig. 2 (a)) e diminuição da largura com o aumento do ângulo, sendo que estes fenômenos foram mais pronunciados para maiores correntes. Spiller e Macgregor (1970), na soldagem de aços inoxidáveis 321, mostraram uma tendência oposta à do Savage et al. (1965), ou seja, uma ligeira diminuição da penetração com o aumento do ângulo de afiação (veja Fig. 2 (a)), mas uma tendência similar à de Savage et al. (1965) acerca da largura. Glickstein e

colaboradores (1975), na soldagem de Inconel 600, observaram um aumento da penetração até um ângulo de 45 graus, depois do qual este parâmetro começou a diminuir (veja Fig. 2 (a)).

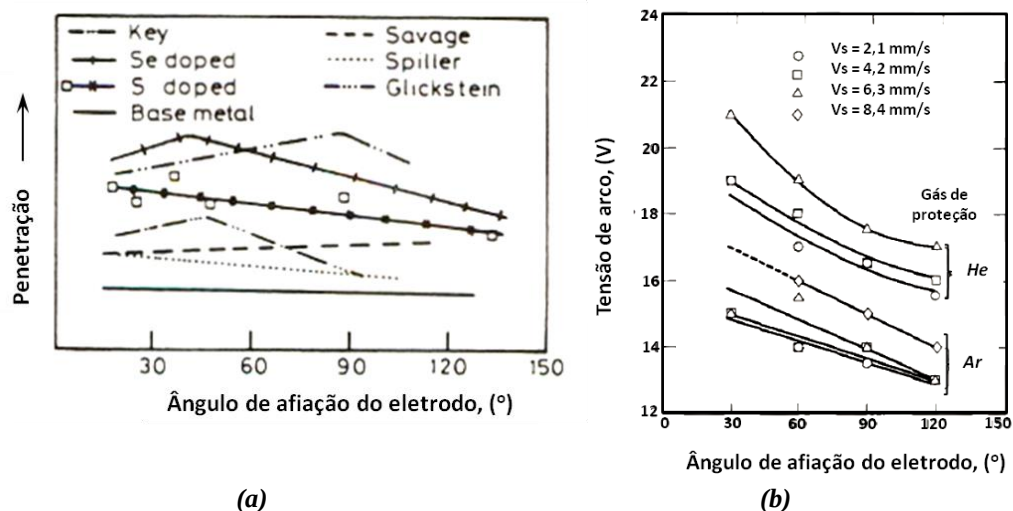


Figura 2. Influência do ângulo de afiação de eletrodo na penetração (a) (SHIRALI; MILLS, 1993) e na tensão de arco (b) (NILES; JACKSON, 1975)

Segundo Niles e Jackson (1975) o ângulo de afiação de eletrodo, além dos efeitos mencionados acima, tem uma influência significativa na tensão de arco. Eles observaram um aumento da tensão de arco com a diminuição do ângulo de afiação do eletrodo, e, como resultado, um aumento da energia disponível do arco mantendo a corrente de soldagem constante (Fig. 2 (b)).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi aplicado o processo TIG pulsado autogênio. Foi utilizada uma fonte eletrônica chaveada no secundário, com característica estática de corrente constante. A tocha usada foi do tipo refrigerada à água, com capacidade nominal de 350 A. O eletrodo de tungstênio foi do tipo toriado (AWS EWTh2%) de 4,0 mm de diâmetro. As soldagens foram feitas sobre chapas de aço carbono ABNT 1020 e de aço inox 304, com dimensões de 200 mm x 32 mm x 6,4 mm. O gás de proteção utilizado foi o argônio puro com uma vazão de 15 l/min. Os outros parâmetros, como o comprimento de arco, ângulo de ataque da tocha e ângulo de afiação do eletrodo foram variados dentro de uma determinada faixa, como será mostrado abaixo. O efeito de cada destes parâmetros de soldagem na formação do cordão foi avaliado e discutido. A manipulação da tocha foi realizada através de uma mesa de coordenadas XY, conforme mostrado na Fig. 3.



Figura 3. Mesa de coordenadas XY para manipulação da tocha de soldagem

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa, foram programados e feitos 5 testes utilizando a mesma corrente média ($I_m = 183,0 \text{ A}$) e as mesmas amplitudes da corrente de pulso ($I_p = 350,0 \text{ A}$) e de base ($I_b = 15,0 \text{ A}$), mantendo assim a mesma diferença entre delas

(ΔI) de 335,0 A. A frequência de pulsação (f_p) foi mantida também constante igual a 2 Hz, com o tempo de pulso igual ao de base ($t_p = t_b$). A única variável foi o ângulo de afiação do eletrodo (γ) variada conforme a Tab. 1.

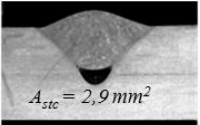
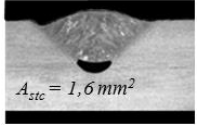
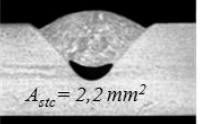
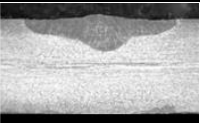
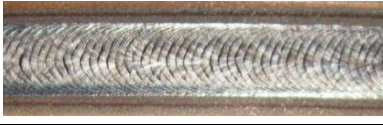
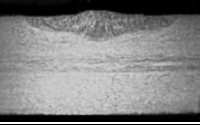
Tabela 1. Parâmetros regulados e monitorados dos testes sobre a influência do ângulo de afiação do eletrodo na ocorrência das cavidades em chapas de aço inoxidável

Teste	Valores regulados								Valores monitorados		
	γ (°)	f_p (Hz)	$t_p = t_b$ (s)	I_p (A)	I_b (A)	ΔI (A)	I_{rms} (A)	I_m (A)	I_{rms} (A)	I_m (A)	U_m (V)
1	30	2,0	0,25	350	15	335	248	183	243	178	11,4
2	40								244	179	12,2
3	60								243	178	11,8
4	70								243	178	11,0
5	80								244	179	10,4

Os resultados obtidos, apresentados na Tab. 2, mostram que os menores ângulos de afiação do eletrodo (30°, 40° e 60°) favorecem um perfil da zona de fusão de um formato triangular com a área fundida e a penetração altas, ao passo que os ângulos maiores (70° e 80°) acarretam uma menor área fundida com um perfil achatado (largo e raso). Partindo-se do fato de que o perfil de penetração da solda em algumas condições de soldagem teve uma forma irregular (veja, por exemplo, os testes com ângulo 70° e 80° na Tab. 2), a penetração foi avaliada por seu valor máximo alcançado.

O caráter da influência do ângulo de afiação do eletrodo na penetração e na largura do cordão, mostrado na Tab. 2, pode ser explicado levando em consideração os valores da tensão apresentados na Tab. 1. A menor tensão foi registrada nos testes com os eletrodos obtusos. Este fato deixa supor que, neste caso, o arco também permanecia mais curto, apesar do fato que os testes foram feitos com a mesma folga entre a ponta do eletrodo e a peça de 3,5 mm. Este fenômeno pode ser explicado pelo fato que com o aumento da corrente (durante o pulso) o arco no caso dos ângulos obtusos torna mais largo com um acréscimo limitado de seu comprimento, ao passo que no caso dos ângulos agudos, o comprimento de arco cresce bem mais (devido ao requisito de haver a mesma área da mancha ativa na ponta de eletrodo para a mesma corrente, como ilustrado na Fig. 4).

Tabela 2. Aspecto superficial e geometria dos cordões dos testes conforme as condições indicadas na Tab. 1

Teste (γ)	Aspecto superficial do cordão	Seção transversal do cordão	A_{ft} (mm ²)	L (mm)	P (mm)
1 (30°)			20,5	8,9	3,7
2 (40°)			20,4	8,3	3,8
3 (60°)			21,9	8,8	3,9
4 (70°)			13,8	10,1	1,9
5 (80°)			11,4	9,8	1,6

Obs.: As amostras metalográficas foram preparadas da mesma maneira como é descrito no item 4.5. A_{ft} inclui a área da cavidade

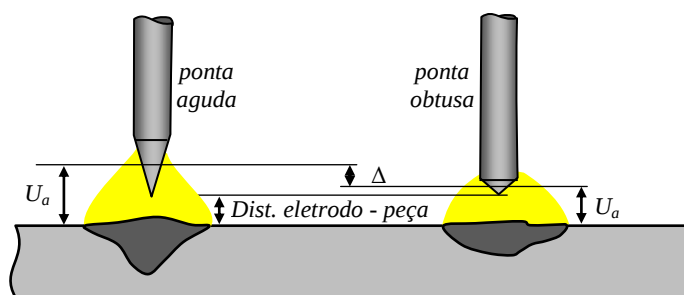


Figura 4. Influência do ângulo de afiação do eletrodo sobre a tensão do arco e na geometria da zona fundida

Estes resultados confirmam a hipótese do Erohen (1971) que mostrou que com a redução do ângulo de afiação de eletrodo aumenta a concentração do fluxo de calor na peça, ou seja, cresce a densidade da corrente e, consequentemente, a pressão de arco (acarretando assim um aumento certo da penetração). Vale mencionar, que na literatura se encontram trabalhos com os resultados opostos. Por exemplo, Key (1990) mostrou que quando menor é o ângulo de afiação do eletrodo, menor se torna a penetração.

Além disso, da Tab. 2, pode se perceber que os cordões feitos com os ângulos mais agudos (40° e 60°) apresentaram formação das mordeduras, ao passo que nos ângulos mais obtusos (70° - 80°), o cordão se formou sem defeito superficial qualquer. Segundo Erohen (1971), este resultado pode ser explicado de maneira seguinte. As mordeduras se formam nos casos, quando o nível do metal líquido nas bordas da solda, de onde começa a solidificação, está abaixo da superfície do metal sólido devido à inclinação significativa da poça e à alta velocidade de solidificação. No caso da ponta aguda, a pressão do arco se torna mais concentrada aumentando a depressão da poça e, assim, favorecendo ao aumento da inclinação da poça e, consequentemente, à profundidade da mordedura.

O ângulo de afiação do eletrodo, além de exercer uma influência nos parâmetros geométricos do cordão, influi também na formação dos defeitos denominados "efeito de túnel" ou "porosidade de túnel" (MENDEZ; EAGAR, 2003). Estas cavidades foram mais pronunciadas nos ângulos com ponta de 60° , chegando a se tornar alongadas (até 12 - 13 cm) e alinhadas com o eixo do cordão, como ilustra a Fig. 5.

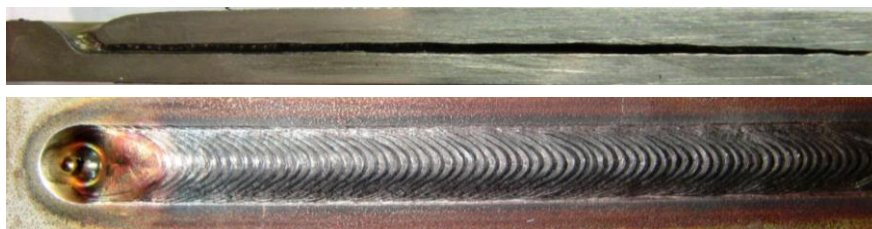


Figure 5. Cavidade alongada e alinhada com o eixo do cordão (o ângulo de afiação do eletrodo de 60°)

Para os ângulos de afiação do eletrodo de 30° a 40° , estas cavidades foram mais curtas (chegando, no máximo 50 - 70 mm), enquanto para os ângulos de 70° a 80° o cordão foi maciço (sem a presença de cavidades). Segundo Erohen; Bukarov; Ishenko (1972) este fenômeno pode ser explicado pela influência da forma da ponta de eletrodo sobre os parâmetros dinâmicos da pressão do fluxo de plasma de arco. Os ângulos menores provocam o aumento da concentração da pressão de arco sobre a poça, deslocando o metal líquido para cima. Com grandes ângulos de afiação do eletrodo, o fluxo de arco é distribuído mais uniformemente sobre toda a superfície do metal líquido. O arco, neste caso, não se aprofunda muito dentro da poça, formando uma cratera mais rasa.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que a penetração foi maior para os ângulos de ponta de eletrodo em torno de 60° , diminuindo em 15-20% no caso do uso dos ângulos obtusos (70° - 80°). O ângulo de afiação do eletrodo, além de influir nos parâmetros geométricos do cordão, influenciou também na formação de defeitos (do tipo cavidades) no fundo do cordão.

5. REFERÊNCIAS

- Glickstein, S. S.; Friedman, E.; Yeniscavich, W. Investigation of Alloy 600 Welding Parameters. Welding Journal. USA, v. 54, n. 4, p. 113-122, 1975.
- Erohen, A. A et al. Influence of Tungsten Cathode Geometry on Some Welding Arc Characteristics and Metal Penetration. Welding Production. Moscow, n.18, p.25-28, 1971.

- Erohen, A. A.; Bukarov, V. A.; Ishenko, U. S. Influence of Angle Grinding of Tungsten Electrode Cavities. Welding Production. Moscow, n.5, p.20-22, 1972.
- Fontana, A. Relação entre o Ângulo da Ponta do Eletrodo e Geometria do Cordão de Solda no Processo de Soldagem TIG. 1986. 98 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Key, J. F. Anode/Cathode Geometry and Shielding Gas Interrelationships in GTAW. Welding Journal. USA, v. 59, n.12, p. 364s-370s, dez. 1980.
- Key, J. F. et al. Arc Physics of Gas – Tungsten Arc Welding. In: American Welding Society. The Welding Handbook. v.6, 1990, 86 p.
- Kou, S. Welding Metallurgy. 2.ed. USA: John Wiley & Sons, Inc., 2002. 455p.
- Mendez, P. F.; Eagar, T. W. Penetration and Defect Formation in High-Current Arc Welding. Welding Journal. USA, p.296s-305s, oct. 2003.
- Niles, R. W., Jackson, C. E. Welding Thermal Efficiency of the GTAW Process. Welding Journal. USA, v.54, n. 1, p.25s - 32s, jan. 1975.
- Shirali, A. A.; Mills, K. The effect of Welding Parameters on Penetration in GTA Welds. Welding Journal. USA, v. 72, n. 7, p.347s-353s, jul. 1993.
- Smirnov, V. V. Equipamento para Soldagem a Arco Elétrico. São Petersburgo: Energoatomizdat, 1986. 650p.
- Spiller, K. R., Macgregor, G. J. Effect of Electrode Vertex Angle on Fused Weld Geometry in TIG-Welding. Proceedings of the Conference on Advances in Weld Processes, the Welding Institute, April 14-16, 1970, Abington Hall, Cambridge, UK, pp. 82 to 88.
- Savage, W. F., Strunck, S. S., Ishikawa, Y. The Effect of Electrode Geometry in Gas Tungsten-Arc Welding. Welding Journal. USA, v. 44, n. 11, p. 489s - 496s, nov. 1965.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LAPROSOLDA/UFU pelo apoio logístico e de infraestrutura laboratorial, assim como ao CNPq e CAPES pela bolsa de pós-graduação e à FAPEMIG pelo suporte financeiro.

7. ABSTRACT

There are a lot of factors that determine welding pool formation phenomena. Some of numerous factors that can influence the formation of welding pool during the arc welding are base metal physical characteristics (geometric parameters, thermal conductivity, chemical composition, etc.) and welding parameters (arc length, current, etc.). However, some important factors such as electrode sharpening angle and its variation during the welding process frequently are not considered. It was proved that a change of the electrode sharpening angle can alternate the arc characteristics, especially energy distribution and pressure in the arc. Besides, alternating these characteristics could lead to geometrical changes in bead (width and penetration). As the aim of this assessment an assessment of the influence of electrode sharpening angle on the bead geometry in the Pulsed TIG welding was chosen. Autogenous welds were performed on stainless steel plates. The electrode sharpening angle was set to be 30° - 80°, amplitude of the pulse, pulse current, pulse rate, average effective current and welding speed were kept as constants. The results showed that penetration was higher for the electrode tip angles around 60 degrees, decreasing by 15 - 20% in the case when obtuse angles (70° - 80°) were used. Therefore, electrode sharpening angle influences the geometric parameters of the bead and also has a certain effect on defect formation (such as cavities) at the bead's base. As for the defects, the cavities were most pronounced for the specimens welded using sharpening angle around 60 degrees and the had an elongated form becoming aligned with the bead's axis. For sharpening angles 30° to 40°, the occurrence of cavities were less, whereas for angles of 70° -80° they were observed more frequently.

Keywords: Pulsed TIG welding, Sharpening angles of tungsten electrode, Weld bead geometry, Cavity.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.