

EFEITO DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO TIG ALIMENTADO (ARAME FRIO) NA GEOMETRIA E DILUIÇÃO DE CORDÕES DE SOLDA DEPOSITADOS SOBRE O AÇO AISI 304

Alisson Fernandes da Rosa, alissonaula@gmail.com¹

William Bevilaqua, bevilaquawilliam@gmail.com¹

Miguel Guilherme Antonello, antonello@ctism.ufsm.br¹

Romário Maurício Urbanetto Nogueira, romario@ctism.ufsm.br¹

Cristiano José Scheuer, cristiano.scheuer@smail.ufsm.br¹

¹Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900, Santa Maria, RS, Brazil.

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência dos parâmetros do processo de soldagem TIG com alimentação automática de arame frio sobre as características geométricas de cordões de solda depositados sobre o aço AISI 304 utilizando arame de especificação AWS ER 308 como material de adição. Neste sentido, avaliou-se o efeito da corrente média de soldagem, velocidade de alimentação do arame, e velocidade de soldagem sobre a diluição, penetração, largura e reforço dos cordões. As características geométricas dos depósitos foram quantificadas por meio de análise macrográfica. A partir desta caracterização, foram estabelecidas a relação entre as variáveis citadas e a geometria dos cordões. Os resultados obtidos demonstram que um acréscimo na diluição e razão de aspecto dos cordões é obtido com o aumento da corrente média de soldagem, juntamente com a redução das velocidades de soldagem e velocidade alimentação de arame. Por outro lado, um acréscimo nos valores da altura de reforço é alcançado com acréscimo da corrente de soldagem, juntamente com a velocidade de alimentação de arame e redução da velocidade de soldagem. Por fim, os resultados obtidos evidenciam uma relação direta entre os parâmetros do processo TIG e as características geométricas dos cordões.

Palavras-chave: geometria do cordão de solda, processo TIG alimentado com arame frio, AISI 304.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, existem mais de 50 tipos distintos de processos de soldagem, o que torna este processo o método mais importante de união permanente de materiais metálicos. A técnica de soldagem a arco utilizando eletrodo sólido de tungstênio não consumível GTAW (*Gas-Shielded Tungsten Arc Welding*), comumente intitulado TIG (*Tungsten Inert Gas*), é empregada amplamente em meio industrial em função desta apresentar excelente controle de energia transferida à peça, devido ao controle independente da fonte de calor e do material de adição (Marques *et al.*, 2011). Desde a sua criação até os tempos atuais, o processo de soldagem TIG sofreu grande evolução. Dentre os aprimoramentos alcançados, o desenvolvimento de um sistema de alimentação automática de arame possibilitou um aumento na produtividade do processo (Delgado, 2000). Segundo Nagesh e Datta (2010), embora inúmeros avanços, além deste citado, tenham sido implementados ao processo de soldagem TIG, ainda há espaço para promover melhorias e avanços. Além disso, a aplicação desta técnica de soldagem ainda sofre resistência em alguns casos, o que decorre principalmente devido à complexidade no ajuste dos seus parâmetros, e ao desconhecimento do efeito destes sobre as características do cordão.

Neste sentido, de modo a obter-se um cordão de solda com qualidade satisfatória para a aplicação pretendida, é necessário conhecer a influência das variáveis que controlam as características finais dos cordões de solda (Wainer *et al.*, 1992). Dentre os parâmetros mais importantes do processo de soldagem TIG alimentado, podem ser citados a corrente de soldagem, velocidade de soldagem, velocidade de alimentação do arame. Outrossim, um parâmetro usualmente utilizado para caracterizar a geometria dos cordões de solda é a razão de aspecto (relação entre a penetração e largura do cordão – P/L), a qual determina a área de penetração (AP), que por sua vez, influencia a diluição do cordão. Dessa forma, a razão P/L exerce efeito direto sobre o volume de material de adição e, consequentemente, sobre o custo final da operação (Kannan e Murugan, 2006). Dentro desse contexto, a diluição do cordão é fortemente influenciada pela corrente de soldagem, o que ocorre devido à maior fusão do substrato metálico e, consequentemente, maior participação deste no cordão de solda formado (Shanmugan e Murugan, 2006). No que concerne ao efeito da corrente de soldagem sobre a geometria do cordão, Lu *et al.* (2005) evidenciaram um acréscimo na razão penetração/largura do cordão com o aumento deste parâmetro até o valor de 160 A. Para valores superiores, a razão culmina em uma redução do valor da referida razão. A corrente de soldagem também desempenha influência notável sobre o reforço dos cordões de solda, conforme evidenciado por Shanmugan e Murugan (2006). Outrossim, a velocidade de soldagem também exerce efeito sobre a diluição do cordão de solda, o que se dá devido a esta variável controlar a quantidade de material depositado por unidade de comprimento do cordão (Shanmugan e Murugan, 2006). Os referidos autores mostraram um comportamento parabólico da penetração, largura e reforço dos cordões de solda

com a velocidade de soldagem, apresentando um ponto de mínimo em torno de 2,5 a 3,0 (valores codificados de velocidade de soldagem), a partir do qual o seu acréscimo mudou o comportamento da geometria do cordão. Conforme explanado pelos autores, este comportamento vai de encontro ao esperado, uma vez que, o acréscimo da velocidade de soldagem promove uma redução no aporte térmico da solda e, em consequência, uma fusão menos eficaz entre o material de adição e material base. De modo análogo à velocidade de soldagem, a velocidade de alimentação do arame também determina a quantidade de material depositado por unidade de comprimento do cordão, de modo que altas velocidades de alimentação reduzem o aporte térmico e, consequentemente, o caldeamento entre material de adição e material base (Lin, 2013), formando cordões com baixa diluição. Shanmugan e Murugan (2006) mostraram que a penetração reduz com o acréscimo da velocidade de alimentação do arame, já a largura e reforço decrescem até um determinado valor da variável citada, a partir do qual um incremento desta gera um acréscimo nas duas respostas. É importante mencionar que, segundo a AWS (1991), a aplicação de elevadas velocidades de alimentação de arame gera cordões convexos, enquanto que, o emprego de baixas velocidades gera cordões com o aspecto plano.

Tendo em vista a necessidade de correlacionar os parâmetros descritos com as características dos cordões de solda, este trabalho propõe avaliar o efeito destes sobre a geometria de cordões depositados sobre o aço inoxidável AISI 304 utilizando o processo TIG com alimentação automática de arame frio (AWS ER 308).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O material utilizado neste trabalho foi o aço inoxidável austenítico tipo AISI 304 (composição química informada pelo distribuidor: 0,08% C, 1,82% Mn, 0,02% P, 0,01% S, 0,30% Si, 18,4% Cr, 9% Ni e Fe em balanço w.t.%), procedente de lote industrial, recebido na forma de barra laminada a frio na geometria retangular, apresentando 12,7 mm de espessura e 31,8 mm de largura. A partir desta barra, foram confeccionados 27 corpos de prova com 100 mm de comprimento. Como consumível de soldagem foi utilizado o arame especificação AWS ER308 de 0,8 mm de diâmetro, sendo este alimentado na parte posterior da tocha.

Os parâmetros de soldagem aplicados durante a realização dos ensaios são descritos na Figura 1. Empregou-se um ângulo de inclinação de arame de 30° com extensão livre de 20 mm, distância eletrodo-peça de 3 mm e eletrodo-tocha de 3 mm, com eletrodo de tungstênio EW Ce-2 de 2,4 mm de diâmetro e ângulo de afiação de 180° (ponta plana). O gás de proteção utilizado foi argônio de pureza 99,99%, com uma vazão nominal de 9 l/min.

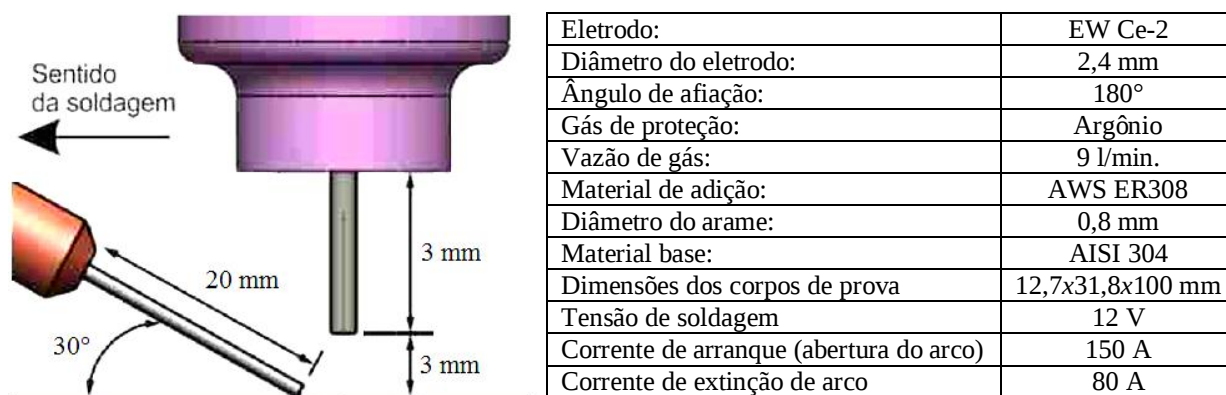


Figura 1. Parâmetros de soldagem empregados nos experimentos.

Em adição aos parâmetros fixos do processo de soldagem, foram utilizados três parâmetros variáveis, os quais constituem as variáveis de estudo deste trabalho. Estes parâmetros foram determinados a partir de testes preliminares, sendo estes realizados no intuito de definir-se os limites operacionais de cada variável. Os valores estudados (contidos na Tab. 1) foram ajustados no início da deposição de cada cordão. As variáveis de estudo foram definidas a partir de uma revisão bibliográfica, por meio da qual levantou-se as variáveis que apresentaram maior relevância em estudos similares e, também, aquelas com pouca informação disponível nas bases de dados utilizadas na busca bibliográfica.

Tabela 1. Intervalo de parâmetros testados nos experimentos.

Parâmetro	Sigla	Intervalo de estudo
Corrente de soldagem	Is	70, 120 e 170 A
Velocidade de soldagem	Vs	6; 8 e 10 cm/min
Velocidade de alimentação de arame	Va	0,5; 1 e 1,5 m/min

Os corpos de prova foram fixados sobre a mesa de soldagem que compõe a bancada de ensaios. A deposição dos cordões tipo *bead-on-plate* foi realizada na posição de soldagem 1G (horizontal). O deslocamento da tocha foi efetuado utilizando-se a assistência de um manipulador robótico da marca Motoman modelo MA1440. Utilizou-se uma tocha TIG da marca Abicor Binzel modelo 27B, sobre a qual foi acoplado um direcionador de arame TIG Alimentado marca IMC Soldagem (a alimentação do arame foi feita a frio). Para realizar os cordões, utilizou-se uma fonte multiprocessos da marca IMC Soldagem modelo DIGIPLUS A7.

Para determinação das características geométricas dos cordões de solda, os corpos de prova foram seccionados em sua parte mediana, lixados (lixas de SiC com gramaturas entre 80 a 600) e atacados quimicamente por imersão utilizando o reagente Vilella (95 ml de álcool etílico + 5 ml de ácido clorídrico + 1 g de ácido pícrico). Após o preparo, as amostras foram analisadas utilizando um estereomicroscópio marca Alltion Binocular modelo SZM Zoom, e as características geométricas dos cordões foram determinados utilizando o *software* ImageJ (registraram-se a penetração – P, largura – L, altura de reforço dos cordões – R, áreas de penetração – AP e de reforço – AR, e a correspondente diluição – D, conforme indicação feita na Fig. 2).

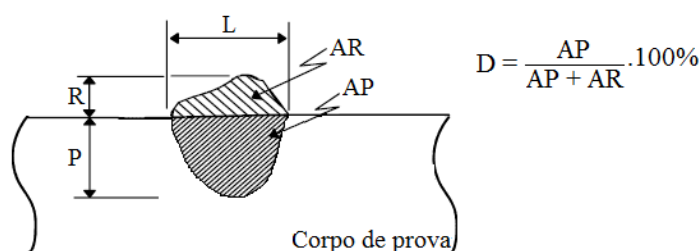


Figura 2. Características geométricas medidas nas macrografias, onde: L: largura do cordão; R: altura de reforço; P: penetração; AP: área de penetração; e AR: área de reforço.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Fig. 3 é apresentado a evolução da razão de aspecto (penetração/largura) com a corrente média de soldagem (I_s), velocidade de soldagem (V_s), e velocidade de alimentação do arame (V_a). Primeiramente, observa-se que a razão P/L sofre um acréscimo com o aumento da corrente de soldagem. Conforme sabido, o aumento de I_s promove um incremento na energia transferida pelo arco elétrico ao sistema material de adição/material de base, ocasionando uma maior penetração. Por outro lado, o aumento da velocidade de alimentação do arame promove uma redução no valor da razão de aspecto, o que se deve em função da redução do aporte térmico da solda, reduzindo o caldeamento entre o metal base e o material de adição. Por fim, verifica-se uma redução da razão P/L com o aumento da velocidade de soldagem. Tendo em vista que a V_s é inversamente proporcional ao aporte térmico, o seu acréscimo reduz o calor disponível para caldear o cordão de solda, o que resulta numa redução das suas dimensões.

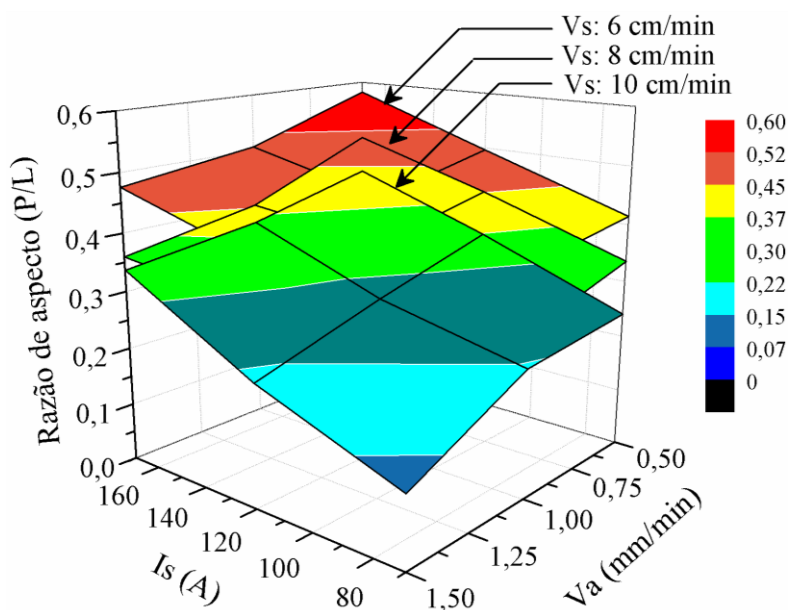


Figura 3. Efeito da corrente de soldagem, velocidade de soldagem, e velocidade de alimentação do arame sobre a razão de aspecto (penetração/largura) dos cordões de solda.

A Fig. 4 ilustra a variação da altura de reforço (R) com I_s , V_s e V_a . É possível verificar que o aumento da corrente de soldagem provoca um acréscimo no valor de R . Esse resultado pode ser justificado pelo aumento da energia de soldagem com I_s , o que por sua vez, promove um incremento no caldeamento entre os materiais base e de adição. O aumento da velocidade de alimentação do arame promove um acréscimo na altura de reforço, o que é explicado pelo fato de que, para um mesmo aporte térmico, o aumento de V_a promove um acréscimo no fornecimento de material de adição à poça de fusão, culminando em um acúmulo de material no reforço do cordão. Nota-se, também, que um aumento no valor de V_s acarreta uma diminuição na altura de reforço dos cordões de solda. Tendo em vista que com altas velocidades de soldagem a tocha permanece por um tempo reduzido em determinada posição ao longo do cordão, reduzindo o volume de material depositado, limitando o valor da altura de reforço.

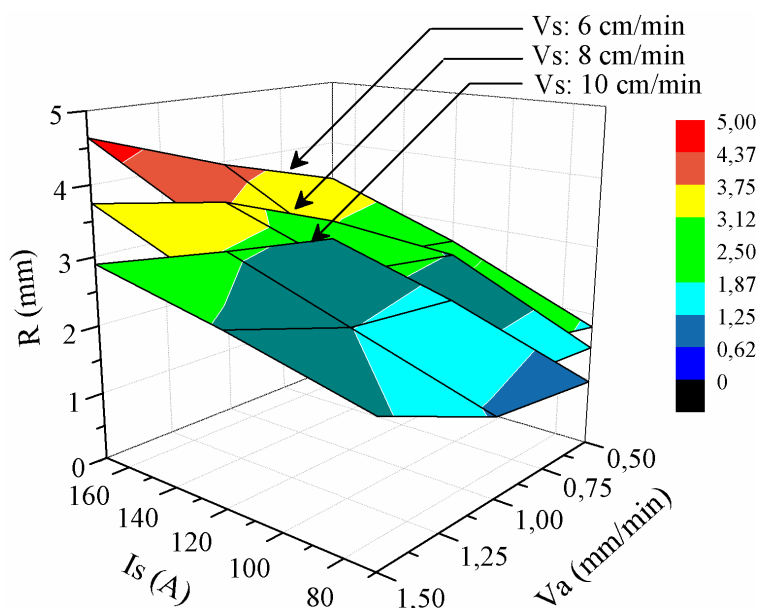


Figura 4. Efeito da corrente de soldagem, velocidade de soldagem, e velocidade de alimentação do arame sobre o reforço dos cordões de solda.

Na Fig. 5 é ilustrado o efeito das variáveis corrente de soldagem, velocidade de soldagem, e velocidade de alimentação do arame sobre a diluição dos cordões de solda. Pode-se notar que o aumento na corrente média de soldagem provocou um acréscimo nos valores da diluição. Esse comportamento ocorre devido à maior fusão do material de base promovida pelo aumento da energia de soldagem (provocado, por sua vez, pelo aumento de I_s) e, consequentemente, à sua maior participação na formação do cordão. Através da Fig. 5 é possível verificar também que a diluição sofre decréscimo com o incremento da velocidade de alimentação do arame. Esse comportamento é justificado pelo fato de V_a além de determinar a quantidade de material de adição depositado por unidade de comprimento do cordão, também afetar o aporte térmico. Neste sentido, supõem-se que a redução no aporte térmico com o incremento de V_a , promoveu uma diminuição no caldeamento entre o material de base e de adição, culminando na formação de cordões com baixa diluição. A análise da Fig. 5 permite inferir que, analogamente à velocidade de alimentação do arame, a diluição é inversamente proporcional à velocidade de soldagem, uma vez que, o emprego de altas velocidades de soldagem tende a reduzir o aporte térmico da solda e, dessa forma, o caldeamento entre material de base e de adição. Deste modo, valores elevados de V_s tendem a gerar cordões de solda com baixa diluição. Em contraste, valores reduzidos de V_s promovem o aumento do aporte térmico disponível e, por consequência, o acréscimo nos valores de diluição dos cordões de soldas. De outro modo, esse comportamento pode ser justificado pela redução na quantidade de material depositado com o aumento de V_s , considerando que, o emprego de baixas V_s permite uma completa fusão do material de adição sobre o material base, ao passo que, valores elevados de V_s implicam em uma fusão superficial entre ambos.

Finalmente, a análise do sinergismo entre as variáveis estudadas permite inferir que o aumento da corrente de soldagem, associado à uma redução nas velocidades de alimentação de arame e de soldagem leva à obtenção de cordões de solda com dimensões maiores e com maior diluição ao substrato. Por outro lado, o emprego de baixos valores de corrente de soldagem e valores elevados de velocidade de soldagem e alimentação de arame geram cordões com dimensões e diluição inferiores, porém apresentando um reforço maior.

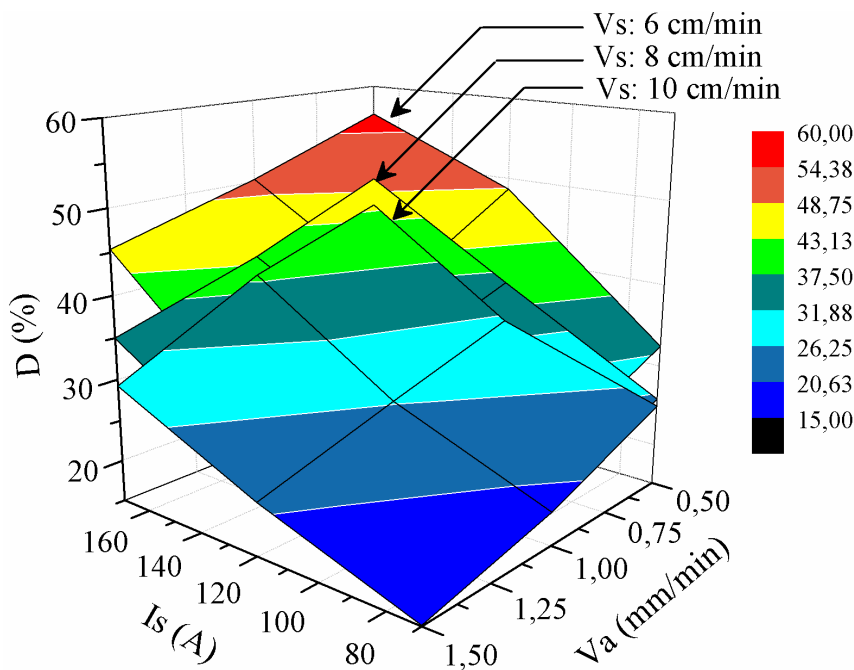


Figura 5. Efeito da corrente de soldagem, velocidade de soldagem, e velocidade de alimentação do arame sobre a diluição dos cordões de solda.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi avaliado o efeito das variáveis do processo TIG com alimentação de arame frio sobre as características geométricas e diluição de cordões de solda depositados em aço AISI 304. Com base na análise e discussão dos resultados apresentados, pode-se concluir que:

- A menor razão de aspecto passível de obtenção é atingida empregando-se valores mínimos de corrente média de soldagem, e valores máximos de velocidade de soldagem e velocidade de alimentação de arame. A maior razão de aspecto é auferida pelo emprego de valores elevados de corrente, e reduzidos de velocidade de soldagem e velocidade de alimentação de arame;
- O menor valor de diluição passível de obtenção é alcançado utilizando-se valores mínimos de corrente média, e valores máximos de velocidade de soldagem e velocidade de alimentação de arame. O maior valor de diluição é alcançado empregando-se valores máximos de corrente média, e valores mínimo de velocidade de soldagem e de velocidade de alimentação de arame; e,
- A mínima altura de reforço passível de obtenção é alcançada utilizando-se valores mínimos de corrente e de velocidade de velocidade de alimentação do arame, e valores máximos de velocidade de soldagem. A obtenção da máxima altura de reforço é atingida quando empregado valores máximos de corrente de soldagem e de velocidade de alimentação de arame, e velocidades mínimas de soldagem.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Colégio Técnico Industrial da Universidade Federal de Santa Maria pela concessão da bolsa de iniciação científica ao graduando Alisson Fernandes da Rosa, e por dispor da infraestrutura física necessária para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- American Welding Society (AWS), 1991, "Welding handbook", 8ª ed., Miami, Vol. 2. pp. 479. 1991. Welding processes.
- Delgado, L.C., 2010, "Estudo e Desenvolvimento do Processo TIG com Alimentação Automática de Arame. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 98.
- Kannan, T., Murugan, N., 2006, "Effect of flux cored arc welding process parameters on duplex stainless steel clad quality". Journal of Materials Processing Technology, Vol. 176, pp. 240-239.
- Lin, C.-M., 2013, "Relationships between microstructures and properties of buffer layer with Inconel 52M clad on AISI 316L stainless steel by GTAW processing". Surface & Coatings Technology, Vol. 228, pp. 234-241.

- Lu, S., Fujii, H., Nogi, K., 2005, "Influence of Welding Parameters and Shielding Gas Composition on GTA Weld Shape". ISIJ International, Vol. 45, No. 1, pp. 66-70.
- Marques, P.V., Modenesi, P.J., Bracarense, A.Q., 2011, "Soldagem: Fundamentos e Tecnologia", 3ª ed., Editora UFMG, Belo Horizonte, Brasil, 362.
- Nagesh, D.S., Datta, G.L., 2002, "Prediction of weld bead geometry and penetration in shielded metal-arc welding using artificial neural networks". Journal of Materials Processing Technology, Vol. 123, No. 2, pp. 303-312.
- Shanmugan, R., Murugan, N., 2006, "Effect of gas tungsten arc welding process variables on dilution and bead geometry of Stellite 6 hardfaced valve seat rings" Surface Engineering, Vol. 22, No.5, pp. 375-383.
- Wainer, E., Brandi, E., Mello, F.D.H., 1992 "Soldagem: Processos e Metalurgia". 2ª ed., Editora Edgar Blucher, São Paulo, Brasil, 504.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

EFFECT OF TIG COLD WIRE FEED PROCESS VARIABLES ON THE GEOMETRIC CHARACTERISTICS AND DILUTION OF WELDING BEAD DEPOSITED ON AISI 304 STEEL

Abstract: The objective of this study was to evaluate the influence TIG cold wire feed process variables on the geometric characteristics of AWS ER308 welding bead deposited on AISI 304 steel. Therefore, the effect of the average welding current, wire speed feed, and welding speed on the dilution, and bead penetration, width and reinforcement were evaluated. The geometric characteristics of welding bead were quantified through macrographic analysis. From the characterization, the relation between the process variables and welding bead geometry were established. The obtained results demonstrated that an increase in welding bead dilution and aspect ratio is obtained by increasing the welding current, and reducing the welding speeds and wire speed feed. In contrast, an increase in the welding bead reinforcement is achieved with addition of the welding current and wire feed speed and reduction of the welding speed. Finally, the results obtained show a direct relationship between the TIG process parameters and the geometric characteristics of the welding bead.

Palavras-chave: welding bead geometry, TIG cold wire feed process, austenitic stainless steel weldability.