

16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2025

INFLUÊNCIA DA CORRENTE ELÉTRICA NO PROCESSO DE REVESTIMENTO GTAW DE AÇO CARBONO COM AÇO INOXIDÁVEL SUPER AUSTENÍTICO

EMANUEL AUGUSTO C. PEREIRA, FÁBIO O. CARVALHO, ELI J. DA CRUZ JUNIOR

Discente do curso técnico em Eletromecânica integrado ao Ensino Médio, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Itapetininga, a.emanuel@aluno.ifsp.edu.br

Professor do curso técnico em Eletromecânica integrado ao Ensino Médio, IFSP, Campus Itapetininga, fabiocarvalho@ifsp.edu.br

Professor do curso técnico em Eletromecânica integrado ao Ensino Médio, IFSP, Campus Itapetininga, dacruz.eli@ifsp.edu.br
Área de conhecimento: 3.05.04.06-6 Métodos de Síntese e Otimização Aplicados ao Projeto Mecânico

RESUMO: A soldagem por processo GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) é amplamente utilizada devido à sua alta qualidade e precisão, sendo uma alternativa eficaz para o revestimento de aço carbono com aço inoxidável super austenítico. Este trabalho tem como objetivo investigar a influência da corrente elétrica de soldagem nas propriedades do revestimento obtido neste processo. No decorrer deste trabalho, utilizou-se para a aquisição do valor da corrente elétrica composto por um resistor de medição 200A / 75mV, um osciloscópio, permitindo o registro e a obtenção da forma de onda da corrente elétrica durante o processo de revestimento. Foram realizados três experimentos com os valores de corrente de 140, 160 e 180 amperes. Os resultados foram analisados por meio de macro e microscopia, onde verificou-se a influência da corrente nas dimensões dos revestimentos. Verificou-se a influência da corrente elétrica na penetração da solda e na zona termicamente afetada (ZTA) bem como o aumento da corrente promoveu maior penetração do revestimento e altera significativamente a ZTA. Os resultados apresentados contribuem para as pesquisas compreendendo o impacto da corrente elétrica nas propriedades metalúrgicas e mecânicas do revestimento.

PALAVRAS-CHAVE: microestrutura; soldagem; penetração; zona termicamente afetada; parâmetros elétricos; desempenho mecânico.

INFLUENCE OF ELECTRIC CURRENT ON THE GTAW COATING PROCESS OF CARBON STEEL WITH SUPER AUSTENITIC STAINLESS STEEL

ABSTRACT: Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) is widely used due to its high quality and precision, being an effective alternative for cladding carbon steel with super austenitic stainless steel. This study aims to investigate the influence of welding current on the properties of the coating obtained in this process. During the experiments, the measurement of the welding current was carried out using a 200A / 75mV shunt resistor and an oscilloscope, which enabled the recording and acquisition of the current waveform during the cladding process. Three experiments were performed with current values of 140, 160, and 180 amperes. The results were analyzed through macro- and microscopic techniques, which revealed the influence of current on the dimensions of the coatings. It was observed that the welding current affects weld penetration and the heat-affected zone (HAZ), and that higher current promotes greater penetration of the coating and significantly alters the HAZ. The results presented contribute to research on the impact of welding current on the metallurgical and mechanical properties of the coating.

KEYWORDS: microstructure; welding; penetration; heat-affected zone; electrical parameters; mechanical performance.

INTRODUÇÃO

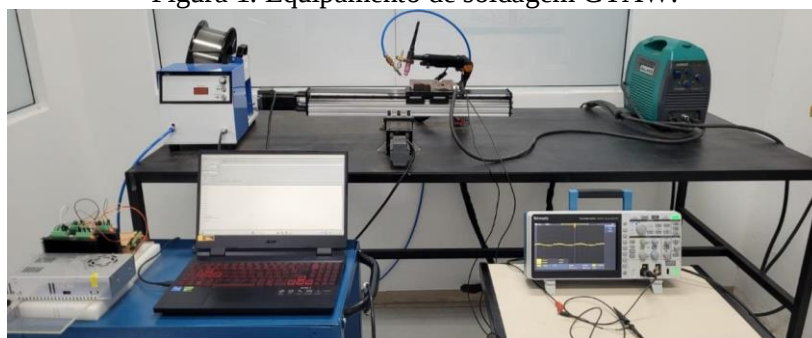
A soldagem por arco elétrico, especialmente pelo processo GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), tem sido amplamente utilizada no revestimento de aço carbono com aços inoxidáveis devido à sua alta precisão e qualidade (Hou, 2021). O revestimento por *cladding* com aço inoxidável superaustenítico visa melhorar a resistência à corrosão e à abrasão do substrato com custo competitivo (Aslam e Sahoo, 2022). A eficiência desse processo depende do controle rigoroso dos parâmetros elétricos, como a corrente, que influencia diretamente a estabilidade do arco, a penetração da solda e a formação da zona termicamente afetada (Wang, 2020; Kanemaru, 2014). A ausência de controle adequado pode comprometer a integridade do revestimento e provocar alterações indesejadas nas propriedades físico-químicas e mecânicas da junta (Larquer, 2016).

Este trabalho tem como objetivo investigar a influência da corrente elétrica na qualidade do revestimento de aço carbono com aço inoxidável superaustenítico utilizando o processo GTAW

MATERIAL E MÉTODOS

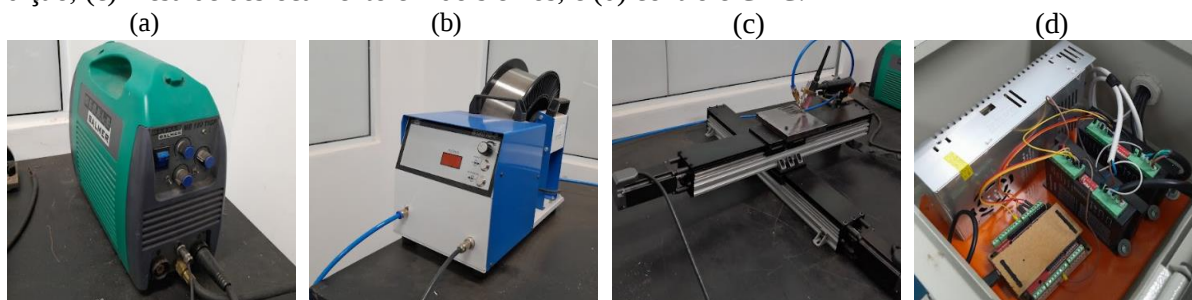
Com o objetivo de alcançar os objetivos propostos neste trabalho, utilizou-se uma estrutura experimental composta pelos seguintes equipamentos apresentados na Figura 1:

Figura 1. Equipamento de soldagem GTAW.



O conjunto apresentado na Figura 1 consiste em uma mesa CNC de 2 eixos controlada por um notebook, que movimenta uma base metálica, onde se apoia a amostra a ser processada. Uma inversora GTAW tem a sua tocha fixada ao centro da mesa CNC. Em série com o positivo da máquina de solda, inseriu-se um resistor de medição. Conectou-se um osciloscópio ao resistor, sendo que suas medidas foram registradas em um segundo notebook. As especificações dos elementos deste conjunto são apresentadas na Figura 2:

Figura 2. Detalhes do aparato de soldagem. (a) inversora GTAW; (b) alimentador do metal de adição; (c) mesa de deslocamento em dois eixos; e (d) controle CNC.

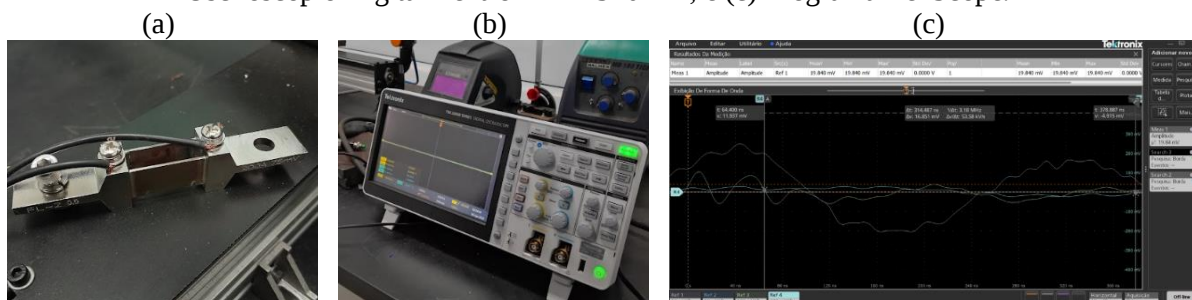


Primeiramente, na Figura 2(a) apresenta uma máquina de solda GTAW “Balmer MB 180 TIGP” com ajuste de corrente elétrica de até 180A, responsável pelo fornecimento da corrente elétrica e pelo controle do fluxo do gás inerte (argônio). Em seguida, apresenta-se o alimentador do metal de adição “IMC STATIG-P” (Figura 2b), que é um dispositivo utilizado para controlar (m/min) a inserção do metal de adição. Dando seguimento, na Figura 2c observa-se a mesa CNC, que proporciona movimentos da base de apoio, controlada por um Notebook. Ainda, na Figura 2d, observa-se os controladores do motor de passo (drivers) e uma placa Uno utilizadas no controle.

O metal base utilizado foi o aço ASTM 516 Gr.70 e o metal de adição utilizado para os revestimentos foi o AWR ER385 (composição similar ao AISI 904L).

Para o monitoramento das grandezas elétricas, foi implementado um sistema de medição de corrente elétrica e as suas especificações são apresentadas na Figura 3:

Figura 3. Detalhes do sistema de aquisição de dados. (a) resistor de medição 200 A / 75mV; (b) Osciloscópio Digital Tektronix TBS2072B; e (c) Programa TekScope.



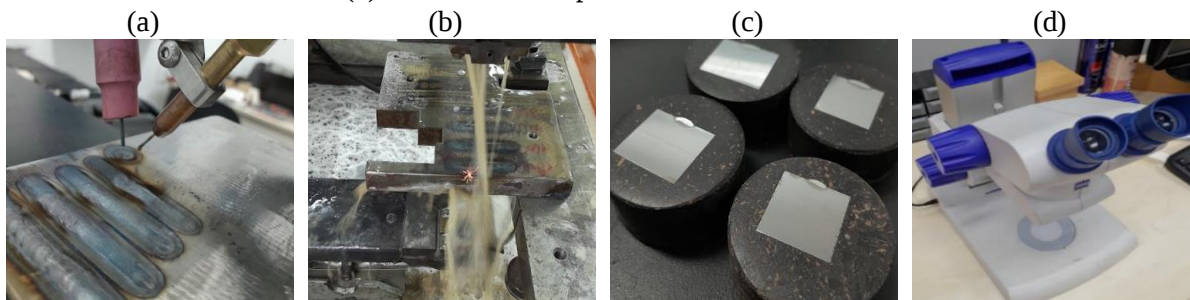
Neste sistema, utilizou-se um resistor de medição de 200 A / 75 mV (Figura 3a) instalado em série com o positivo do circuito de corrente da máquina de solda. Utilizou-se um osciloscópio digital (Figura 3b), conectado ao programa TekScope (Figura 3c), para monitorar e registrar os sinais elétricos produzidos por este resistor, concluindo aqui os dispositivos utilizados neste trabalho.

O procedimento utilizado para a produção das três amostras consistiu em realizar com a mesa CNC, um movimento em cada uma das amostras na direção do eixo x, na distância de 50 mm. Durante este movimento, foi aplicado a um substrato de aço carbono, através do processo GTAW, um revestimento de aço superaustenítico (Figura 4).

O valor da corrente elétrica da máquina de solda foi de 140, 160 e 180 A, respectivamente para cada amostra. O comportamento da corrente elétrica fornecida pela máquina de solda durante o processo foi registrado através do equipamento de aquisição de dados.

Foram calculados os valores obtidos de corrente elétrica, tendo como base, os valores de queda de tensão medidas sobre o resistor, e em concordância com as especificações do referido resistor. Posteriormente, as amostras passaram por processos para sua análise, observados na Figura 4:

Figura 4. Detalhes do processamento de uma amostra. (a) Placa de aço carbono após revestimento; (b) Processo de corte por máquina de eletroerosão; (c) amostra após processamento; e (d) Esteriomicroscópio ZEISS Stemi DV4.

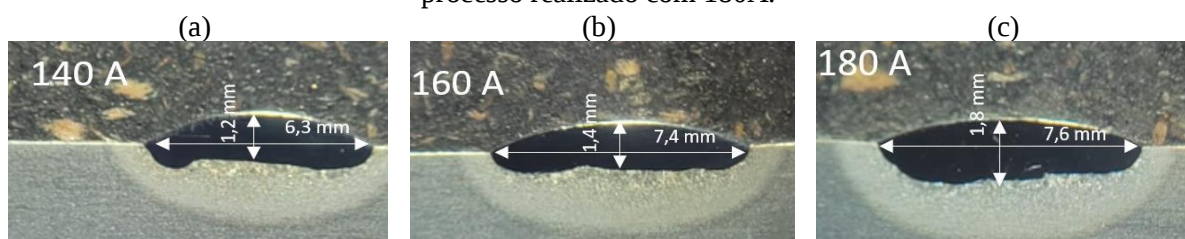


No processamento das amostras, após realizado o revestimento na placa de aço carbono (Figura 4a), são cortadas em máquina de corte de eletroerosão (Figura 4b), e preparadas em processo padrão para metalografia (Figura 4c). Neste processo, realizou-se o ataque com Nital 2%. Logo após, foram realizadas análises utilizando um esteriomicroscópio (Figura 4d) para produzir imagens de cada amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

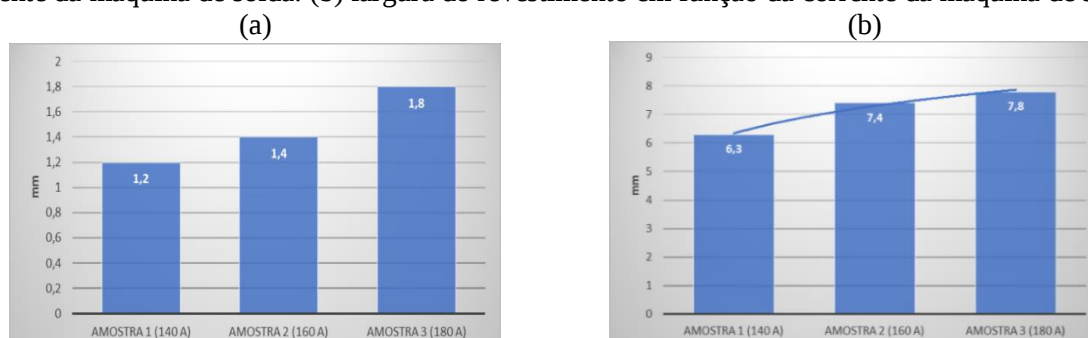
A análise dos dados obtidos ao longo dos experimentos demonstrou a influência da corrente elétrica sobre a qualidade do processo de soldagem GTAW aplicado ao revestimento-revestimento de aço carbono com fio de aço inoxidável superaustenítico. Demonstra-se na Figura 5, a imagem metalográfica das amostras processadas e dos sinais elétricos obtidos.

Figura 5: Detalhes da análise das amostras. (a) amostra submetida a 140A; (b) sinais de tensão elétrica do processo realizado com 140A; (c) amostra submetida a 160A; (d) sinais de tensão elétrica do processo realizado com 160A; (e) amostra submetida a 180A; e (f) sinais de tensão elétrica do processo realizado com 180A.



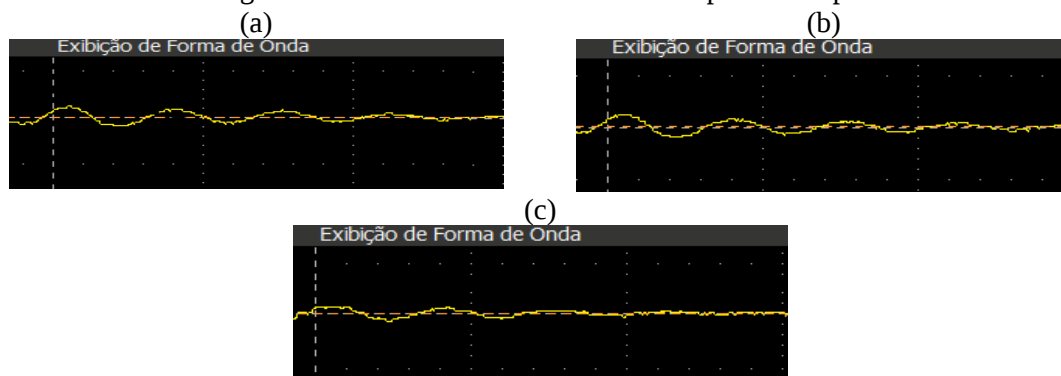
Observou-se que a variação da corrente está diretamente relacionada a espessura o revestimento. Isso ocorre porque as correntes elétricas maiores promoveram maior calor, aumentando a profundidade do metal de adição no substrato (Figura 5 (a), (b), e (c)). A Figura 6 apresenta os valores obtidos de espessura e de largura do revestimento em função da corrente elétrica da máquina de solda.

Figura 6: Dimensões da camada de revestimento. (a) espessura do revestimento em função da corrente da máquina de solda. (b) largura do revestimento em função da corrente da máquina de solda.



Observa-se que a espessura obtida para o valor de corrente de 140 A é de 1,2 mm, enquanto a espessura obtida para a corrente de 180 A é de 1,8 mm (Figura 6a). Esse resultado demonstra que o valor da corrente da máquina de solda influencia na espessura do revestimento. Por outro lado, nesta mesma figura (Figura 6b), apresenta-se o resultado da largura do revestimento em função da corrente da máquina de solda. Por outro lado, observa-se que a largura obtida para o valor de corrente de 140 A é de 6,3 mm, enquanto a espessura obtida para a corrente de 180 A é de 7,8 mm (Figura 7). Esse resultado demonstra que o valor da corrente da máquina de solda influencia também na largura do revestimento-revestimento, porém de forma mais contida. Observando outra grandeza, a Figura 7 apresenta o resultado da forma de onda do sinal elétrico produzido pela solda.

Figura 7: Forma de onda do sinal elétrico produzido pela solda.



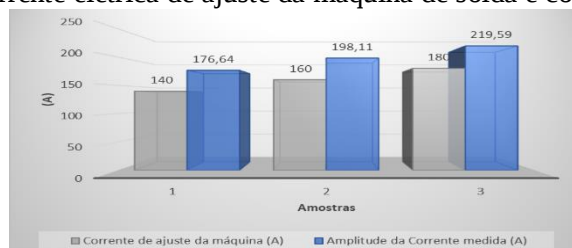
Observa-se que a forma de onda da corrente elétrica produzida pela máquina de solda possui comportamento oscilatório, que é imposto pelo controle da máquina. Os valores obtidos nas medições de corrente elétrica estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Medição da corrente elétrica produzida pela máquina de solda.

Amostra	Corrente de ajuste da máquina (A)	Queda de tensão sobre o resistor (mV)		Corrente elétrica obtida (A)		Amplitude da Corrente medida (A)
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
1	140	-2,79	63,45	-7,44	169,19	176,64
2	160	-2,91	71,38	-7,76	190,36	198,11
3	180	-3,03	79,32	-8,07	211,52	219,59

Na Tabela 1 são apresentados os valores obtidos nas medições elétricas realizadas durante os processos de GTAW. Observa-se que, na coluna de Queda de tensão sobre o resistor (mV) (Tabela 1) os valores medidos pelo osciloscópio, ligado ao resistor de medição. Ao lado, na coluna Corrente elétrica obtida (A) (Tabela 1), observa-se os valores obtidos da corrente elétrica da solda. A Figura 8 apresenta graficamente estes resultados.

Figura 8: Corrente elétrica de ajuste da máquina de solda e corrente elétrica medida.



Observa-se nesta figura que, o sinal da máquina de solda não se refere a um sinal contínuo, e que o sinal obtido é variável e supera a corrente de ajuste.

CONCLUSÕES

Este trabalho conclui que a intensidade da corrente elétrica de ajuste da máquina de solda exerce influência sobre as dimensões do revestimento-revestimento obtido pelo processo GTAW. Nota-se, que o valor da corrente elétrica aumenta os valores de espessura e largura do revestimento, porém eles não crescem na mesma proporção. Conclui ainda que o sinal da corrente elétrica da máquina de solda é pulsante, e que os valores de corrente elétrica medidos são diferentes dos valores de corrente elétrica de ajuste da máquina de solda. Os dados obtidos contribuem para as pesquisas em andamento, pois revelam a necessidade de mais pesquisas a respeito do comportamento das grandezas elétricas durante os

processos de revestimento-revestimento, bem a influência destas grandezas nas características mecânicas dos materiais processados. Sugere-se para continuidade das pesquisas, mais testes variando as correntes elétricas de ajuste com o objetivo de identificar um padrão de espessura e largura proporcionado pela corrente elétrica, realizar a instalação de outros equipamentos de aquisição de dados para verificar os valores de corrente obtidos e a aquisição de outros parâmetros elétricos como a tensão da máquina de solda e a potência elétrica utilizada pela máquina de solda durante o processo.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

F.O.C. e E.J.C.J. contribuíram com a conceituação, metodologia, curadoria e análise de dados, além da revisão e aprovação final do trabalho. E.A.C.P. contribuiu com a metodologia, curadoria e análise de dados, bem como com a revisão do manuscrito. Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa, ao Instituto Federal de São Paulo – Campus Itapetininga pelo incentivo e suporte técnico, ao 16º CONICT pela oportunidade de divulgação dos resultados, e ao grupo Núcleo de Pesquisa em Soldagem Avançada (NuPeSA) pela disponibilização da infraestrutura necessária à execução dos experimentos e análises.

REFERÊNCIAS

HOU, Z. et al. Microstructure and mechanical performances of stainless steel cladding by twin-electrode GTAW. *Materials Transactions*, v. 62, n. 7, p. 995–1000, 2021.

KANEMARU, S. et al. Study for TIG–MIG hybrid welding process. *Welding in the World*, v. 58, n. 1, p. 11–18, jan. 2014.

CASANUEVA, R. et al. Characterization of an energy efficient pulsed current TIG welding process on AISI 316 and 304 stainless steels. *Heliyon*, v. 9, n. 9, set. 2023.

WANG, Y.; CHEN, M.; WU, C. High-frequency pulse-modulated square wave AC TIG welding of AA6061-T6 aluminum alloy. *Welding in the World*, v. 64, n. 10, p. 1749–1762, out. 2020.

ASLAM, M.; SAHOO, C. K. Numerical and experimental investigation for the cladding of AISI 304 stainless steel on mild steel substrate using Gas Metal Arc Welding. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, v. 37, p. 378–387, maio 2022.

LARQUER, T. R.; SOUZA, D. M. de; REIS, R. P. Soldagem TIG com oscilação magnética sincronizada. *Soldagem & Inspeção*, v. 21, p. 363–378, set. 2016.

KRÜGER, R. D. S. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ. 2020.

MURKUTE, P.; PASEBANI, S.; ISGOR, O. B. Production of corrosion-resistant 316L stainless steel clads on carbon steel using powder bed fusion-selective laser melting. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 273, p. 116243, nov. 2019.

LI, C. et al. Microstructures and mechanical properties of stainless steel clad plate joint with diverse filler metals. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 9, n. 2, p. 2522–2534, mar. 2020.

UNGETHÜM, T. et al. Analysis of metal transfer and weld geometry in hot-wire GTAW with indirect resistive heating. *Welding in the World*, v. 64, n. 12, p. 2109–2117, dez. 2020.