DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE SOLDAGEM POR GRAVIDADE PARA ELETRODO REVESTIDO

Edilon de Oliveira França; Lucas de Freitas Santos; Reinaldo Pinto Cardoso; Rener Washington Mariano dos Santos; Amir Rivaroli Junior; Emerson Augusto Raymundo

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba – Fatec Pindamonhangaba, Rod. Ver. Abel Fabrício Dias, 4010 - Agua preta, Pindamonhangaba - SP, Brasil., e-mail: edilon.franca@cps.sp.gov.br, lucas.Santos@cps.sp.gov.br, Reinaldo.cardoso@cps.sp.gov.br, rener.santos@cps.sp.gov.br, amir.rivaroli@cps.sp.gov.br, emerson.raymundo@cps.sp.gov.br.

Resumo

A soldagem a arco com eletrodo revestido (SMAW) apresenta ampla aplicação industrial por sua versatilidade, simplicidade e baixo custo, porém sua execução manual é sensível à habilidade do operador. Este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar um dispositivo de soldagem por gravidade destinado ao avanço automático de eletrodo revestido, O equipamento foi projetado para eletrodos de até 350 mm e chapas de até 400 mm, utilizando estrutura metálica com inclinação fixa de 60°, sistema de roldanas e componentes produzidos por manufatura aditiva. Nos ensaios foram utilizados eletrodos E6013 de 2,5 mm e chapas de aço ASTM A36 com 6,35 mm de espessura, aplicando-se 70 A e tensão entre 20 e 30 V. Os resultados indicaram que o dispositivo manteve a continuidade do arco e possibilitou a deposição contínua do metal de solda. A implementação de um contrapeso reduziu a velocidade excessiva do conjunto móvel e aumentou a estabilidade operacional. Conclui-se que o princípio gravitacional apresentou viabilidade técnica e potencial para aplicações didáticas e experimentais, embora sejam necessários aperfeiçoamentos mecânicos.

Palavras-chave: Soldagem por gravidade. SMAW. Eletrodo revestido. Automação da soldagem. Manufatura aditiva.

Área do Conhecimento: Engenharias – Engenharia Mecânica.

Introdução

A soldagem a arco com eletrodo revestido, conhecida pela sigla SMAW (Shielded Metal Arc Welding), permanece relevante em diferentes setores industriais em razão da simplicidade do equipamento, da versatilidade operacional e da possibilidade de execução em condições variadas de acesso. No processo, o arco elétrico é estabelecido entre o eletrodo revestido e a peça, enquanto o núcleo metálico atua como material de adição e o revestimento contribui para a proteção da poça de fusão e para a estabilidade do arco (American Welding Society, 2020; Modenesi; Marques; Bracarense, 2018).

Apesar dessas características, a operação convencional depende de decisões e movimentos realizados pelo soldador. O controle do comprimento do arco, do ângulo de trabalho e da velocidade de deslocamento influencia diretamente a estabilidade do arco, a geometria do cordão e a regularidade da deposição. Essa dependência da habilidade do operador é particularmente relevante em atividades experimentais, nas quais se busca comparar consumíveis ou condições de processo com menor interferência humana (Scotti; Ponomarev, 2018).

A mecanização e a automação podem reduzir parte dessa variabilidade ao controlar o movimento do consumível e a trajetória de soldagem. Entre as alternativas de menor complexidade destaca-se a soldagem por gravidade, na qual um conjunto móvel contendo o eletrodo se desloca pela ação do próprio peso, promovendo o avanço do consumível à medida que este é consumido. A literatura citada no trabalho de origem apresenta dispositivos por gravidade e sistemas de alimentação automática como soluções para aumentar a repetibilidade e permitir estudos controlados do processo (Cavalcanti, 2011; Kou, 2021).

Nesse contexto, este estudo concentra-se no desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo para soldagem por gravidade, integrando estrutura metálica, roldanas, sistema de avanço do eletrodo e componentes produzidos por impressão 3D. O objetivo foi projetar, fabricar e avaliar experimentalmente o equipamento, verificando sua capacidade de manter o arco e realizar a deposição contínua de metal de solda com eletrodo E6013. A proposta também buscou identificar limitações construtivas e oportunidades de melhoria para futuras aplicações laboratoriais e didáticas.

Metodologia

O trabalho foi desenvolvido em duas etapas principais: projeto e fabricação do dispositivo e ensaios experimentais de soldagem. O equipamento foi dimensionado para trabalhar com eletrodos revestidos de até 350 mm de comprimento e chapas com comprimento máximo de 400 mm. Para a execução do processo, o sistema deveria proporcionar simultaneamente o avanço do eletrodo em direção à poça de fusão, denominado mergulho, e o deslocamento longitudinal responsável pela formação do cordão. A concepção mecânica integrou esses movimentos em uma estrutura destinada a reduzir a interferência manual durante a soldagem.

A estrutura principal foi confeccionada em perfil metalon e adotou inclinação fixa de 60°, configuração fundamentada no estudo de Cavalcanti (2011). O deslocamento foi realizado por meio de roldanas, permitindo que o conjunto móvel acompanhasse a trajetória definida pela estrutura. Para melhorar a fixação e o alinhamento das roldanas, foi desenvolvido um suporte tridimensional em ambiente CAD Onshape®. O modelo foi exportado em formato STL e preparado no software Ultimaker Cura®, que gerou o código de fabricação utilizado na impressora 3D GTMax3D®, modelo A2V2, com filamento ABS. A manufatura aditiva permitiu produzir rapidamente componentes com geometria específica e ajustar o projeto durante o desenvolvimento.

Na primeira configuração experimental, o conjunto porta-eletrodo apresentou velocidade de descida superior à desejada para a manutenção estável do arco. Para corrigir essa condição, foi incorporado um sistema de contrapeso associado a roldanas. O contrapeso foi empregado para equilibrar parcialmente as forças atuantes no conjunto móvel, reduzindo sua aceleração e proporcionando maior controle do movimento durante a soldagem. Após essa modificação, foram realizados os ensaios de deposição.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Soldagem da Fatec de Pindamonhangaba. Utilizaram-se eletrodos E6013 com diâmetro de 2,5 mm e chapas de aço ASTM A36 com 100 mm de comprimento, 50 mm de largura e 6,35 mm de espessura. A corrente de soldagem foi ajustada para 70 A e a tensão de arco permaneceu entre 20 e 30 V que estão ilustrados na Tabela 1 . A avaliação foi realizada principalmente por inspeção visual, observando-se continuidade do arco, regularidade do reforço, trajetória do cordão, presença de respingos e acúmulo de escória. O estudo de origem ressalta que avaliações complementares por macrografia, ensaios mecânicos e inspeções não destrutivas são necessárias para uma caracterização mais completa da junta.

Tabela 1 – Condições principais dos ensaios de soldagem.

Parâmetro	Condição utilizada
Processo	SMAW – eletrodo revestido
Eletrodo	E6013; diâmetro 2,5 mm
Material de base	Aço ASTM A36
Dimensões da chapa	100 × 50 × 6,35 mm
Corrente	70 A
Tensão	20–30 V
Geometria	Inclinação fixa de 60°
Movimentação	Roldanas + avanço por gravidade
Controle adicional	Sistema de contrapeso

Fonte: Adaptado dos dados do trabalho experimental.

Resultados

Os ensaios preliminares mostraram que o princípio de funcionamento por gravidade era capaz de produzir movimento contínuo do conjunto porta-eletrodo, porém a configuração inicial apresentava descida excessivamente rápida. Essa condição comprometia a manutenção do comprimento do arco e poderia produzir variações na deposição. A instalação do sistema de contrapeso modificou o comportamento cinemático do conjunto, reduzindo a velocidade de descida e favorecendo a estabilidade do movimento. O resultado foi considerado fundamental para a continuidade dos ensaios de soldagem.

A Figura 1 apresenta a configuração do dispositivo após a incorporação do contrapeso. A integração entre estrutura metálica, roldanas, porta-eletrodo e sistema de compensação de carga permitiu que o equipamento realizasse o movimento necessário para a deposição. A utilização de componentes fabricados por impressão 3D mostrou-se adequada ao desenvolvimento do protótipo, especialmente pela possibilidade de produzir suportes específicos e realizar modificações construtivas sem necessidade de processos industriais de fabricação.

Figura 1 – Dispositivo de soldagem por gravidade equipado com sistema de contrapeso.



Fonte: Dos autores

Após a estabilização mecânica, o dispositivo foi utilizado com eletrodo E6013 de 2,5 mm sobre aço ASTM A36. A análise visual demonstrou que o arco permaneceu ativo ao longo do percurso e que houve deposição contínua do metal de solda. Esse resultado confirma a viabilidade operacional do princípio adotado, pois o mecanismo foi capaz de acompanhar o consumo do eletrodo sem depender de intervenção manual contínua para o avanço do consumível.

Figura 2 – Cordões de solda produzidos pelo dispositivo durante os ensaios



Fonte: Dos Autores.

A inspeção visual, entretanto, evidenciou limitações relacionadas à geometria do cordão. Foram observados desvios laterais em relação ao eixo da junta, presença de respingos e regiões com maior concentração de escória. A irregularidade de trajetória foi associada à instabilidade do sistema de fixação e guiamento do eletrodo durante o consumo. Pequenas alterações angulares do eletrodo modificaram a direção do arco e provocaram oscilações na poça de fusão. Por outro lado, a relativa uniformidade do reforço em diferentes trechos indicou que, depois da instalação do contrapeso, a velocidade de avanço permaneceu suficientemente estável para manter a deposição na Tabela 2 está descrito um resumos das avalições sobre o dispositivo.

Tabela 2 – Síntese da avaliação visual do dispositivo.

Aspecto avaliado	Observação experimental
Continuidade do arco	Mantida durante o percurso de soldagem.
Avanço do eletrodo	Melhorado após a instalação do contrapeso.
Trajetória do cordão	Apresentou desvios laterais e geometria sinuosa.
Reforço do cordão	Relativamente uniforme em determinados trechos.
Respingos	Presença observada ao redor do cordão.
Escória	Acúmulo localizado em algumas regiões.
Fixação/guiamento	Principal ponto construtivo a ser aperfeiçoado.

Fonte: Dos Autores

Discussão

Os resultados obtidos indicam que a utilização da gravidade como princípio de avanço do eletrodo é tecnicamente viável para a mecanização do SMAW em condições experimentais. A principal contribuição do dispositivo é reduzir a necessidade de movimentação manual contínua do eletrodo, permitindo que a velocidade de avanço seja condicionada pelo sistema mecânico. Essa característica é relevante em estudos comparativos, pois pode reduzir uma fonte de variabilidade associada à atuação do soldador.

A necessidade de introdução do contrapeso evidencia, contudo, que o movimento gravitacional não deve ser considerado automaticamente estável. A massa do conjunto, a geometria da estrutura, o atrito das roldanas e o equilíbrio das forças influenciam diretamente a velocidade do eletrodo. No protótipo estudado, a primeira configuração apresentou descida excessivamente rápida; a compensação de carga tornou-se, portanto, elemento importante para estabelecer condições mais adequadas de operação como observado em estudo de Cavalcanti (2011).

A trajetória irregular do cordão constitui a principal limitação identificada. O trabalho de origem relaciona esse comportamento à instabilidade do sistema de fixação e guiamento do eletrodo, interpretação coerente com a importância do controle do comprimento e do ângulo do arco discutida por Modenesi; Marques; Bracarense (2018). Mesmo com essa limitação, a continuidade da deposição e a relativa uniformidade do reforço em determinados trechos mostram que o mecanismo gravitacional conseguiu cumprir a função básica de avanço do consumível.

A manufatura aditiva também se mostrou relevante para o desenvolvimento do protótipo. Os suportes de roldanas foram modelados em CAD, convertidos para STL e produzidos em ABS por impressão 3D. Conforme descrito no trabalho experimental, esse procedimento permitiu rapidez na fabricação e facilidade para adequações dimensionais. Para um dispositivo destinado a laboratório de ensino e pesquisa, essa característica reduz o tempo entre a identificação de uma limitação mecânica e a fabricação de uma nova versão do componente também observado por Nunes; Gonçalves (2016).

A avaliação realizada foi predominantemente visual e operacional. Portanto, os resultados não permitem afirmar a qualidade metalúrgica ou mecânica das juntas de maneira definitiva. Para avançar o desenvolvimento, são necessários ensaios de macrografia, caracterização geométrica da seção transversal, ensaios mecânicos e inspeções não destrutivas, conforme recomendado no trabalho de origem. A incorporação desses métodos permitiria relacionar as condições de movimentação do dispositivo com penetração, fusão, reforço e possíveis descontinuidades internas.

De modo geral, os resultados são compatíveis com a proposta de um equipamento de baixo custo para aplicações didáticas e experimentais. A possibilidade de controlar a movimentação do eletrodo por mecanismos simples, combinada à fabricação rápida de componentes em impressão 3D, constitui uma alternativa para laboratórios que necessitam realizar ensaios repetitivos sem investir inicialmente em sistemas automatizados de maior complexidade.

Conclusão

O desenvolvimento e a avaliação experimental demonstraram a viabilidade técnica de um dispositivo de soldagem por gravidade aplicado ao processo SMAW. A estrutura com inclinação fixa de 60°, o sistema de roldanas e o mecanismo de avanço permitiram realizar a deposição de metal de solda utilizando eletrodo E6013 de 2,5 mm sobre aço ASTM A36.

A principal dificuldade encontrada na etapa inicial foi a velocidade excessiva de descida do conjunto, solucionada pela implementação de um sistema de contrapeso que aumentou a estabilidade operacional.

Os ensaios mostraram continuidade do arco e deposição ao longo da junta, indicando que o princípio gravitacional pode reduzir a intervenção manual durante o avanço do eletrodo. Entretanto, a trajetória do cordão apresentou desvios, além de respingos e acúmulo localizado de escória, principalmente em razão da fixação e do guiamento do consumível.

Assim, o equipamento foi validado como protótipo funcional, mas ainda requer aperfeiçoamentos mecânicos. Como continuidade, recomenda-se desenvolver um sistema de fixação mais rígido e com ajuste fino de posição e ângulo, aperfeiçoar o controle da velocidade de deslocamento e realizar ensaios metalográficos, mecânicos e não destrutivos.

Essas melhorias poderão ampliar a aplicação do dispositivo em atividades didáticas, laboratoriais e em estudos de automação de baixo custo.

Referências

AMERICAN WELDING SOCIETY. ***Welding Handbook: Welding Processes***. 10.ed. Miami: AWS, 2020.

CAVALCANTI, C. A. **Comparação entre o comportamento de eletrodosrevestidos utilizando dispositivos de soldagem por gravidade e com controle automático do comprimento do arco elétrico**. 2011. 21 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento deEngenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CARY, H. B.; HELZER, S. C. ***Modern Welding Technology***. 7. ed. New York:Pearson, 2019.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 6. ed.Porto Alegre: AMGH, 2021.

KOU, S. ***Welding Metallurgy***. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2021.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. ***Soldagem:fundamentos e tecnologia***. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2019.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; BRACARENSE, A. Q. ***Introdução à metalurgia da soldagem*.** Belo Horizonte: UFMG, 2018.

NUNES, I. M., GONÇALVES J. B. **Desenvolvimento de um mecanismo automatizado para multiprocessos de soldagem**. São Mateus, 2016. Monografia (graduação) - Instituto Federal do Espírito Santo, Coordenadoria de Curso Superior de Engenharia Mecânica, 2016.

SCOTTI, A.; PONOMAREV, V. **Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho**. 3. ed. São Paulo: Artliber, 2018.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. **Soldagem: processos e metalurgia**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 2019.