



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECANICA

ERICK ROBERTH SOUSA E SOUSA

**EFEITO DOS PARÂMETROS DA TÉCNICA DE SWITCHBACK SOBRE A
GEOMETRIA DE SOLDAS GMAW DEPOSITADAS COM ARAME AWS ER 70S-6**

TUCURUÍ-PA
2024

ERICK ROBERTH SOUSA E SOUSA

EFEITO DOS PARÂMETROS DA TÉCNICA DE SWITCHBACK SOBRE A GEOMETRIA DE SOLDAS GMAW DEPOSITADAS COM ARAME AWS ER 70S-6

Trabalho de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Data da aprovação: 01/11/2024

Conceito: Excelente

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
DOUGLAS NEVES GARCIA
Data: 12/11/2024 15:23:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador: Prof. Dr. Douglas Neves Garcia
FEM/CAMTUC/UFPA



Documento assinado digitalmente
FERNANDO NUNES DA SILVA
Data: 12/11/2024 19:39:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro Interno: Prof. Dr. Fernando Nunes da Silva
FEM/CAMTUC/UFPA



Dados:
2024.11.12
19:15:02
-03'00'

Membro Externo: Prof. Me. Welliton Paulo da Silva
IFPA/MARABÁ

EFEITO DOS PARÂMETROS DA TÉCNICA DE SWITCHBACK SOBRE A GEOMETRIA DE SOLDAS GMAW DEPOSITADAS COM ARAME AWS ER 70S-6

Erick Roberth Sousa e Sousa (UFPA) E-mail: erick.sousa@tucurui.ufpa.br
Douglas Neves Garcia (UFPA) E-mail: dgarcia@ufpa.br

Resumo: Este trabalho investiga o efeito dos parâmetros da técnica de switchback na geometria de soldas produzidas pelo processo GMAW utilizando arame AWS ER70S-6. Foram analisados cordões de solda fabricados com diferentes comprimentos de avanço e reversão da tocha de soldagem. A técnica de switchback demonstrou impactar significativamente a geometria do cordão, com maior distribuição de calor e elevação nas áreas de reversão. A análise dos oscilogramas de corrente e tensão indicou instabilidade no arco elétrico, principalmente em velocidades de soldagem mais altas, resultando em defeitos como o "humping". A microestrutura das soldas revelou recristalização dos grãos na zona de fusão, confirmando o efeito térmico da técnica. Os resultados sugerem que, embora a técnica de switchback seja promissora para melhorar a distribuição de calor e a geometria do cordão, é necessário um controle preciso dos parâmetros para evitar falhas na solda.

Palavras-chave: Estabilidade do arco elétrico, Qualidade superficial da solda, Refino de Grãos

EFFECT OF SWITCHBACK TECHNIQUE PARAMETERS ON THE GEOMETRY OF GMAW WELDS DEPOSITED WITH AWS 70S-6

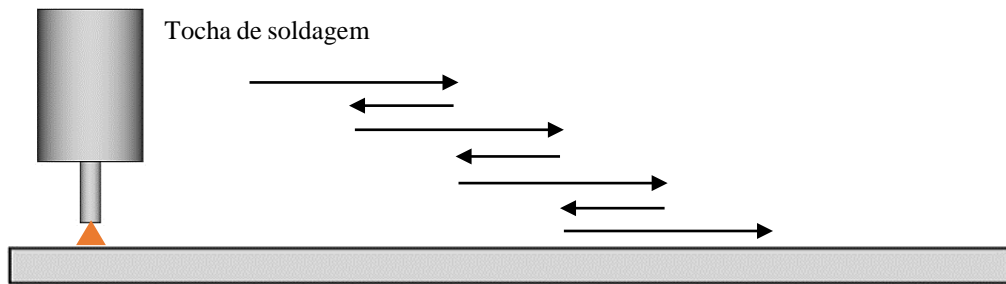
Abstract: This study investigates the effect of switchback parameters on the geometry of welds produced using the GMAW process with AWS ER70S-6 wire. Weld beads fabricated with varying torch advance and reverse lengths were analyzed. The switchback technique significantly influenced the bead geometry, increasing heat distribution and causing raised areas at the reversal points. Analysis of current and voltage oscillograms revealed arc instability, especially at higher welding speeds, leading to defects like "humping." The welds' microstructure showed grain recrystallization in the fusion zone, confirming the thermal effect of the technique. The results suggest that, while the switchback technique is promising for improving heat distribution and bead geometry, precise control of welding parameters is necessary to avoid weld defects.

Keywords: Arc stability, Weld surface quality, Grain refinement

1. Introdução

Incorporar tecnologias novas e modernas à indústria metalmeccânica é uma estratégia para aumentar a produtividade e a qualidade dos diversos produtos e componentes produzidos por soldagem. Nesse contexto, destaca-se a soldagem com a técnica switchback. Durante a aplicação dessa técnica, o cordão de solda é depositado por meio da movimentação coordenada e contínua da tocha de soldagem (e do arco voltaico), que alterna entre movimentos de avanço e reversão. A figura 1 representa a utilização dessa técnica.

Figura 1 - Ilustração da técnica de switchback



Fonte: Autoria própria (2024).

Yehorov et al. (2019) investigaram o uso da técnica de switchback em processos de adição de material (WAAM) para ligas de alumínio, observando um refinamento significativo da estrutura de grãos e redução da porosidade. Embora o processo WAAM apresente diferenças em relação à soldagem GMAW, os resultados obtidos por Yurii sugerem que a oscilação da tocha pode induzir mecanismos de refinamento de grãos semelhantes em outros processos de fusão.

A técnica de switchback na soldagem tem demonstrado benefícios na modificação da microestrutura de ligas metálicas, promovendo melhor homogeneidade e refinamento nos grãos, o que impacta diretamente na resistência e durabilidade do material. Saji et al. exploraram esses efeitos, observando uma redução significativa de defeitos microestruturais, como porosidade e zonas de fragilidade, ao utilizar a técnica em diversas ligas (SAJI et al., 2020).

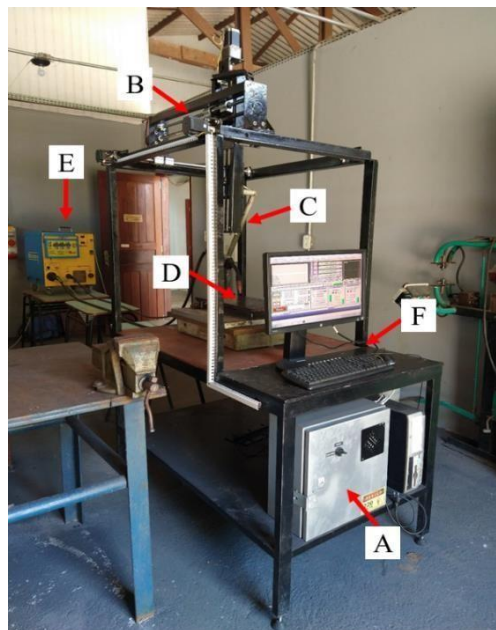
No entanto, ainda há lacunas na compreensão dos efeitos metalúrgicos na região soldada ao usar a técnica de switchback. O movimento oscilatório contínuo pode levar à refusão do cordão de solda já solidificado ou em processo de solidificação. Conforme Kou (2003), observou em processos de soldagem com múltiplos passes, o passe seguinte pode induzir um tratamento térmico no passe anterior, resultando em melhorias na microestrutura devido a transformações no estado sólido. Portanto, na técnica de switchback, essa dinâmica térmica pode ocorrer, já que a região soldada é constantemente reaquecida promovendo o refinamento da estrutura de solidificação do metal de adição.

Neste estudo, o presente trabalho almeja realizar uma análise para avaliar a qualidade superficial e as características geométricas dos cordões de soldas, assim como observar efeito da reversão do arco elétrico sobre a microestrutura do metal de solda fabricados pelo processo GMAW, utilizando a técnica de switchback em comparação a soldagem GMAW convencional.

2. Materiais e Métodos

O estudo utilizou chapas de aço carbono AISI 1020, com dimensões de 150 mm x 12,5 mm x 6,35 mm, como material de base. Como material consumível, foi empregado arame eletrodo AWS ER70S-6 com diâmetro de 1,2 mm, além de gás de proteção CO₂ puro a uma vazão de 14 L/min. Antes da soldagem, as superfícies das chapas foram limpas com uma lixadeira de disco para remover impurezas (carepa, graxa, óleo e pontos de oxidação) e melhorar a aderência do cordão de solda. Em seguida, as chapas foram fixadas em posição plana, com a tocha posicionada a um ângulo de 15° em relação à chapa para a confecção dos cordões em bancada de soldagem, Figura 2. As composições químicas do material de base e do arame eletrodo estão apresentadas na Tabela 1.

Figura 2 - Bancada funcional de manufatura aditiva a arco: (A) Controle CNC; (B) Sistema de eixo de coordenadas X, Y, Z; (C) Braço para acoplamento de tocha de soldagem; (D) Área de soldagem; (E) Fonte de soldagem; (F) Área para computador



Fonte: Aatoria própria (2024)

Tabela 1 - Composição química do arame eletrodo e do metal de base

	C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Cr	Mo	V
Metal de adição										
AWS	0,06-	0,80-	1,40-	0,035	0,025	0,50	0,15	0,15	0,15	0,03
ER70S-6	0,15	1,15	1,85							
Metal de base										
AISI SAE	0,18-	-	0,30-	0,05	0,03	-	-	-	-	-
1020	0,23		0,60							

Fonte: Gerdau (2024)

Os cordões de solda foram depositados com o processo de soldagem GMAW. Para a soldagem utilizou-se uma fonte Minitec IMC ajustada em corrente contínua positiva (CC+). Os parâmetros de soldagem foram definidos a partir de experimentos preliminares, como mostra a Tabela 2. Esse processo empregou uma distância bico de contato-peça (DBCP) de 13 mm e velocidade de soldagem de 5,83 mm/s.

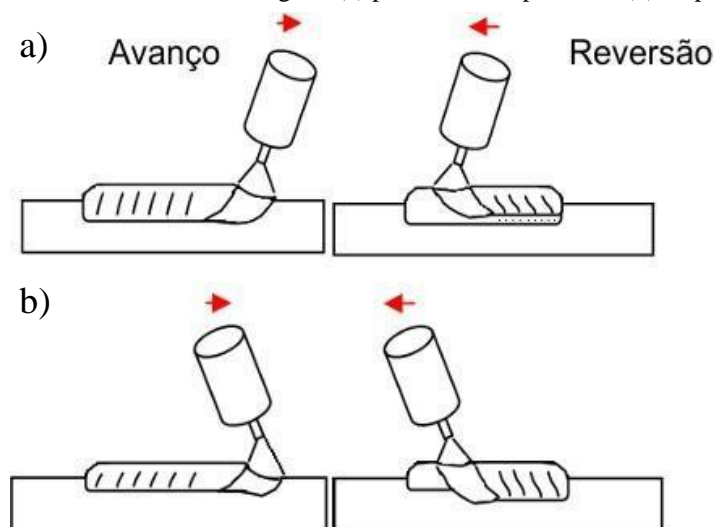
Tabela 2 – Parâmetros utilizados para confecção dos cordões de solda

Parâmetro	Valor
Gás de Proteção	CO ₂
Vazão de Gás	14 l/min
Distância Bico de Contato Peça (DBCP)	13 mm
Velocidade de Alimentação (Va)	4 m/min
Velocidade de Soldagem (Vs)	5,83 mm/s
Tensão	22 V
Indutância (Ks = Kd)	100

Fonte: Adaptado de Ferreira (2022)

Na soldagem com a técnica switchback, o posicionamento da tocha, puxando ou empurrando, é modificado de acordo com o movimento. O processo foi realizado em uma mesa funcional de manufatura aditiva a arco, que possibilitou o posicionamento e movimentação mecanizada da tocha e promoveu estabilidade ao movimento. Durante os testes, a condição operacional foi ajustada para "empurrando-puxando", Figura 2 b), devido à maior estabilidade promovida pela bancada de soldagem e aos resultados positivos já observados por Almeida (2018). Além disso, durante todos os testes foi mantida a velocidade equivalente igual a 5,83 mm/s. A velocidade equivalente representa a rapidez com que se obtém um determinado comprimento de solda através da técnica de switchback, em relação ao tempo gasto em um processo de soldagem convencional para o mesmo comprimento. A Tabela 3 apresenta os parâmetros de velocidade de avanço e reversão aplicados utilizando a técnica de switchback.

Figura 3 - Tipos de movimentos da tocha de soldagem: (a) puxando – empurrando (b) empurrando – puxando



Fonte: Almeida (2018)

Além disso, durante todos os testes foi mantida a velocidade equivalente igual a 5,83 mm/s. A velocidade equivalente representa a rapidez com que se obtém um determinado comprimento de solda através da técnica de switchback, em relação ao tempo gasto em um processo de soldagem convencional para o mesmo comprimento. As condições operacionais da técnica de switchback obtidas com velocidade equivalente de 5,83 mm/s, Tabela 3, foram obtidas utilizando a equação 1 através das seguintes variáveis: velocidade da tocha (V_t), velocidade equivalente (V_{eq}), número de reversões (m), comprimento. Nesse trabalho todos os corões foram fabricados com comprimento de

100 mm.

$$V_t = \frac{(mCA + (m-1)Cr)V_{eq}}{\text{Comprimento do cordão}} \tag{1}$$

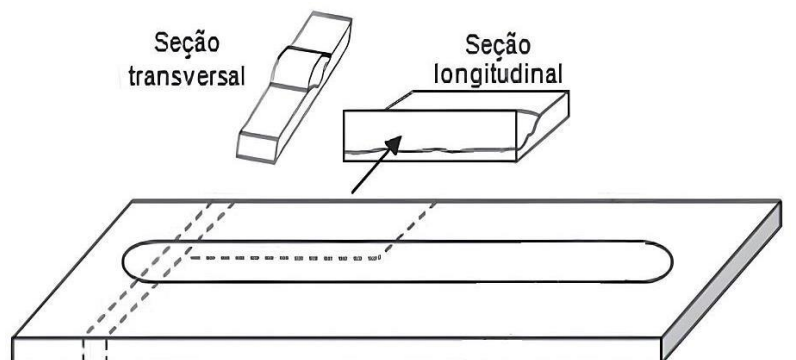
Tabela 3 - Condições operacionais da técnica de switchback avaliadas com velocidades equivalentes de 5,83 mm/s

Peça	Comprimento		Velocidade da tocha	
	Avanço (mm)	Reversão (mm)	Avanço (mm/s)	Reversão (mm/s)
1	4	2	17,03	17,03
2	6	3	17,15	17,15
3	8	4	16,57	16,57
4	10	5	16,33	16,33
5	20	10	13,42	13,42

Fonte: Autoria própria (2024)

Após a confecção dos cordões foi verificada medidas de largura e reforço. Com o auxílio de um paquímetro foi aferida 5 medidas de largura e 5 medidas de reforço em regiões aleatórias dos cordões. Após isso foram retirados as médias dessas medidas para uma maior precisão e calculado o desvio padrão. Para análise microestrutural, foram selecionados os cordões de solda 1 e 3, que apresentaram regularidade superficial e geométrica satisfatória. Estas amostras foram seccionadas nas direções transversal e longitudinal, a uma polegada do início do cordão de solda, Figura 4. As amostras foram preparadas por meio de lixamento com granulometria progressiva (180 a 2000 Mesh) e polimento com pasta de alumina de 1 micron. A revelação da microestrutura foi feita com ataque químico em Nital 2% por 10 segundos, e as imagens foram registradas em um microscópio óptico modelo TNM-08T-PL

Figura 4 – Ilustração das regiões onde foram retiradas as amostras para análise metalográfica



Fonte: Adaptado de Almeida et al (2012)

3. Resultados e Discussões

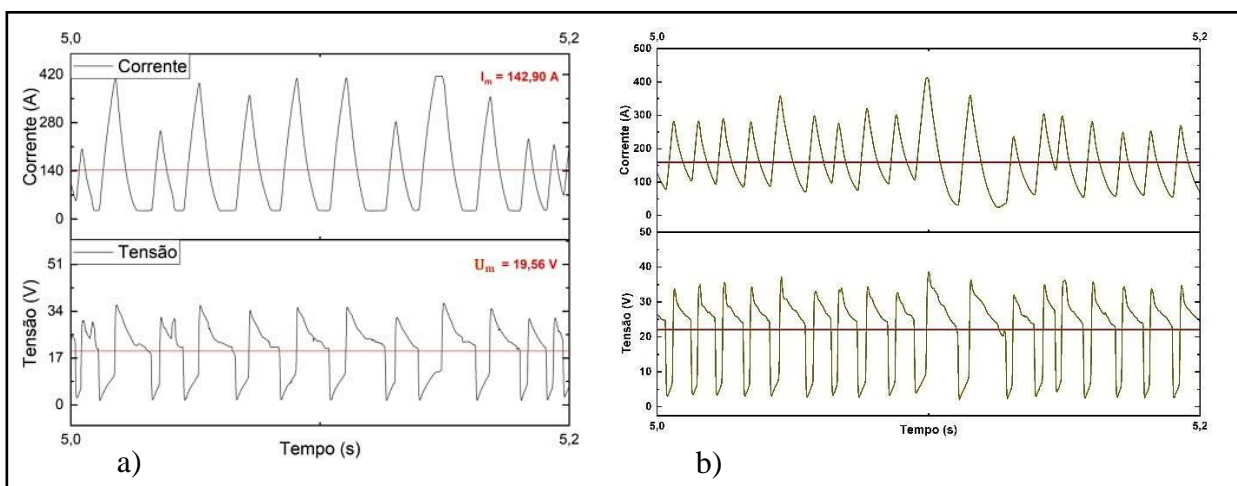
3.1 Análise dos Oscilogramas

Nas figuras 5 a 7 são apresentados oscilogramas para diferentes comprimentos de avanço e reversão com gráficos Tempo x Tensão e Tempo x Corrente e seus valores médios. Todos os oscilogramas apresentam oscilações cíclicas de tensão e corrente durante a operação de soldagem. Esse comportamento ocorre devido ao auto ajuste do comprimento do arco realizado pela fonte no processo de soldagem como observado por Teixeira (2018).

O comportamento dos oscilogramas de tensão e corrente durante o uso da técnica de switchback no processo GMAW revela uma variação periódica de picos de corrente e quedas de tensão, resultante do movimento alternado da tocha. Esse padrão de oscilação permite um controle mais preciso sobre a estabilidade do arco e a penetração do material (Almeida et al., 2019)

Na figura 5 b) observa-se menor tempo de arco aberto em comparação ao oscilograma representado na figura 5 a) sem a utilização da técnica de switchback, o que resulta em maiores frequências de curto circuito.

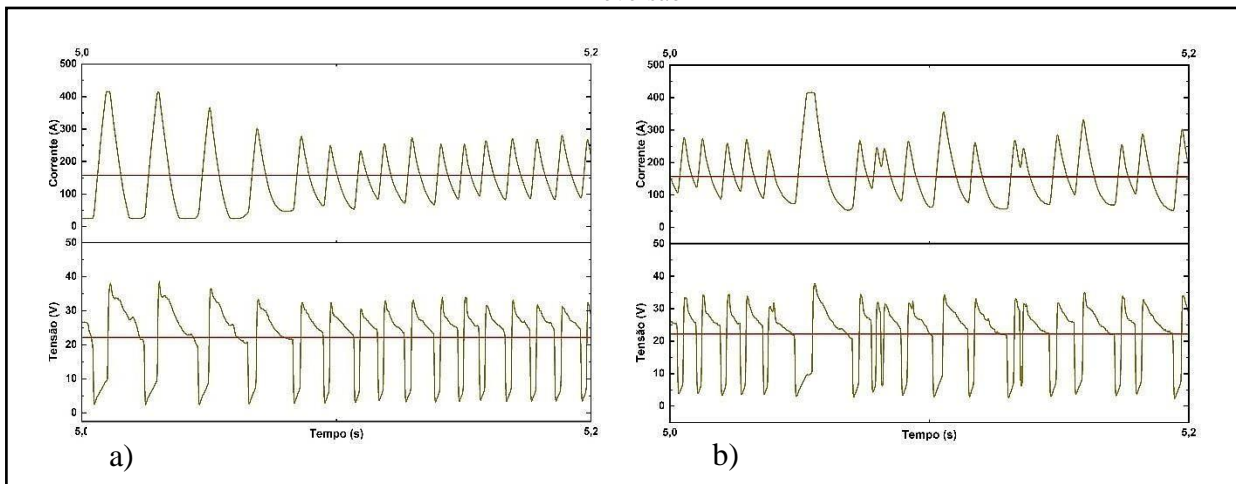
Figura 5 - Oscilograma de tensão e corrente para soldagem: a) Sem a utilização da técnica de switchback; b) Com a utilização da técnica de switchback com avanço 4 e reversão 2



Fonte: Autoria própria (2024)

Para o cordão com avanço de 6 mm e reversão de 3 mm, Figura 6 a), é possível observar um arco mais instável que o anterior utilizando a técnica de switchback. São observados tempos de arco aberto em maiores tempos, e variação dos picos de corrente, o que pode resultar em menor frequência de curtos-circuitos e menor regularidade. Enquanto que o oscilograma para o cordão com avanço de 8 mm e reversão de 4 mm, Figura 6 b), apresenta características de arcos abertos e curtos-circuitos em intervalos de tempo menores e variados. Essa característica resulta em uma transferência de metal fundido com relativa regularidade.

Figura 6 - Oscilograma de tensão e corrente para soldagem: a) Com avanço 6 e reversão 3; b) Com avanço 8 e reversão 4

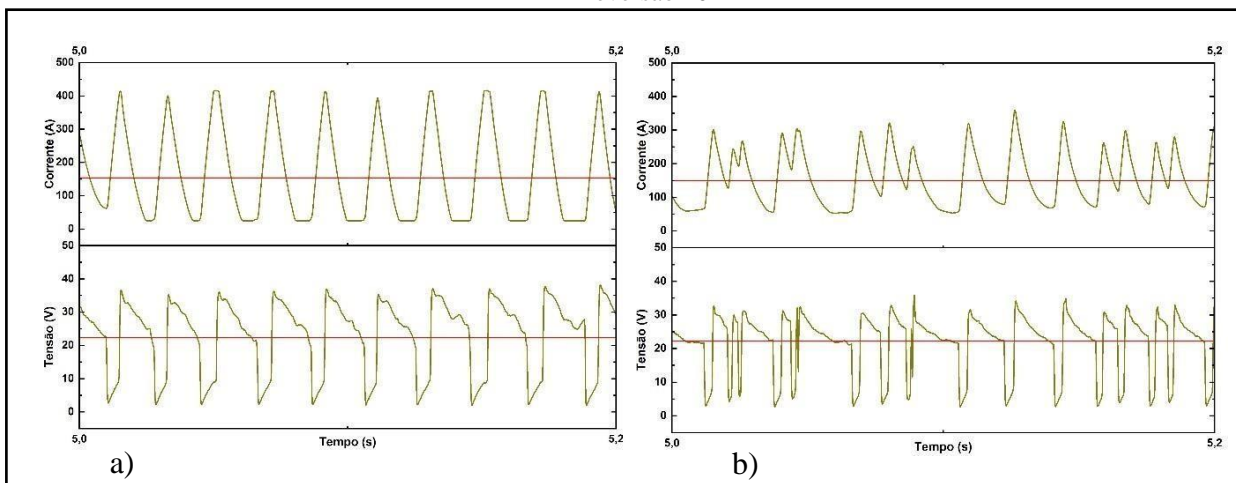


Fonte: Autoria própria (2024)

Estudos como o de Yamane et al. (2021) destacam que os parâmetros de velocidade e comprimento da oscilação no switchback afetam diretamente o comportamento dos oscilogramas de tensão e corrente, indicando que oscilações mais suaves favorecem a estabilidade do arco, o que é essencial para soldagens de alta precisão em aberturas variáveis. Nesse sentido, é necessário um controle rigoroso nos parâmetros de soldagem utilizando a técnica de switchback para favorecer melhores resultados.

Nos cordões de solda fabricados com avanço 10 e reversão 5 e o cordão de avanço 20 e reversão 10 verificou-se constância na manifestação de arcos abertos com grandes intervalos de ocorrência, essa característica permite a formação de maiores gotas de metal fundido, pois é no período do arco que ocorre a formação e o crescimento da gota na ponta do eletrodo gerado pela acumulação do metal sob a existência do arco elétrico, Figura 7.

Figura 7 - Oscilograma de tensão e corrente para soldagem: a) Com avanço 10 e reversão 5; b) Com avanço 20 e reversão 10



Fonte: Autoria própria (2024)

A análise dos oscilogramas de corrente e tensão demonstra que o aumento do comprimento de reversão afeta diretamente a estabilidade do arco elétrico. Quando o movimento de reversão ocorre sobre uma área previamente solidificada, a oscilação de corrente e tensão aumenta, promovendo uma maior frequência de curtos-circuitos. Além disso, pode-se concluir pelos oscilogramas de tensão e

corrente em função do tempo que as características apresentadas são similares a esperada em uma soldagem GMAW convencional com exceção da oscilação cíclica de tensão e corrente ao longo do tempo durante a operação de soldagem.

3.2 Análise superficial dos cordões

Avaliando os cordões de solda obtidos observa-se que o aumento no comprimento de reversão da tocha provoca a formação de elevações no cordão de solda caracterizado pela abertura de arco elétrico sobre o metal de adição já solidificado. No entanto, autores como Teixeira e Sodré (2018) analisaram a aplicação mecanizada da técnica de switchback para soldagem, mostrando que a oscilação controlada da tocha ao longo do eixo longitudinal aumenta a estabilidade do arco e contribui para um acabamento superficial mais homogêneo. A variação da frequência e amplitude dos movimentos foi associada a uma distribuição uniforme da energia térmica, o que melhora o controle sobre o perfil geométrico do cordão de solda e minimiza a ocorrência de imperfeições superficiais.

A figura 8 representa a comparação entre um cordão de solda sem a utilização da técnica de switchback e um cordão com o emprego da técnica, ambos fabricados com os mesmos parâmetros de soldagem com mesma tensão e corrente. Na figura 8 a) percebe-se um cordão de menor largura, com boa abertura de arco e poucos respingos. Enquanto isso, na figura 8 b) nota-se um cordão de solda de maior largura provocada pela maior distribuição de calor fazendo com que o metal fundido se espalhe mais.

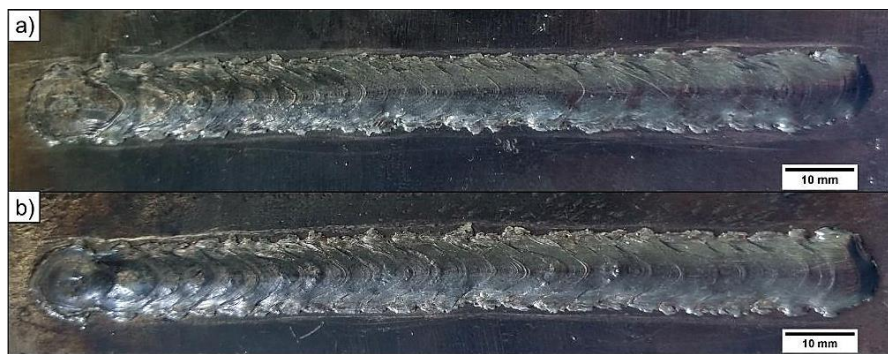
Figura 8 - Cordões de solda: a) Sem a técnica de switchback; b) com a técnica de switchback com avanço 4 e reversão 2



Fonte: Autoria própria (2024)

Para os cordões representados na Figura 9 percebe-se boa abertura de arco elétrico e poucos respingos. Além disso apresenta a formação de algumas elevações promovidas pelo aumento do comprimento de avanço e reversão, fazendo com que a tocha de soldagem passe por pontos já em processo de solidificação.

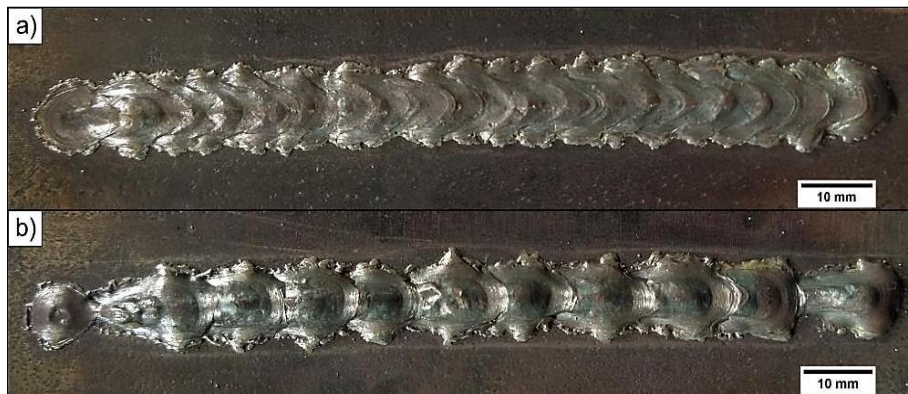
Figura 9 - Cordões de solda: a) Avanço 6 e reversão 3; b) avanço 8 e reversão 4



Fonte: Autoria própria (2024)

Os cordões de solda da figura 10 apresentam geometria irregular com a presença de um defeito conhecido como efeito “humping” ou “costa de dragão”. Estudos como o de Ueyama et al. (2005) sugerem que esse defeito ocorre quando há um acúmulo de metal fundido na zona de solda, resultando em irregularidades no cordão de solda, especialmente em processos de alta velocidade. Nguyen (2005) definiu este defeito como sendo uma ondulação periódica que surge no metal de solda e está relacionado com a alta velocidade de deslocamento da tocha durante a soldagem.

Figura 10 - Cordões de solda: a) Avanço 10 e reversão 5; b) avanço 20 e reversão 10



Fonte: Autoria própria (2024)

3.3 Análise geométrica dos cordões

Os resultados geométricos de largura e reforço não apresentaram grandes variações entre si, sugerindo que essa característica está relacionada com o comprimento de reversão da tocha de soldagem que durante a fabricação das 5 peças recuaram metade do comprimento de avanço. Scotti e Ponomarev (2008) explicam que a oscilação da tocha influencia diretamente a geometria do cordão, promovendo maior aquecimento nas laterais da junta, o que resulta em cordões mais largos e com menor reforço. Os resultados obtidos estão representados na Figura 11.

Figura 11 – Medidas de largura e reforço

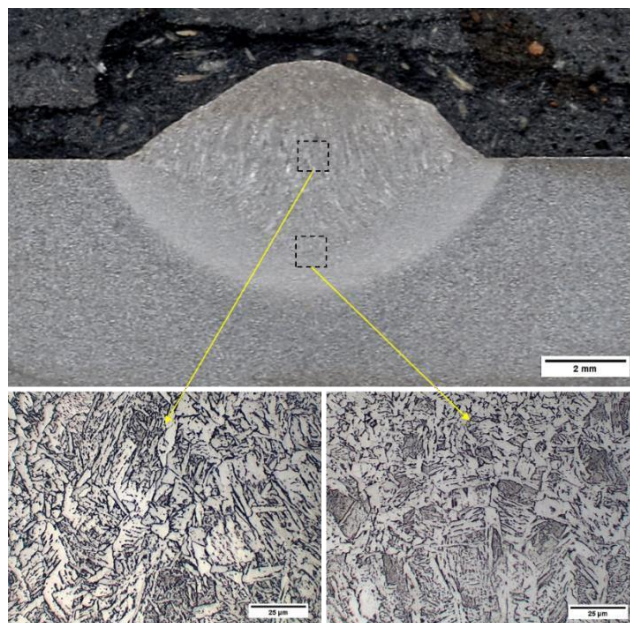
	Cordão 1		Cordão 2		Cordão 3		Cordão 4		Cordão 5	
	Largura	Reforço	Largura	Reforço	Largura	Reforço	Largura	Reforço	Largura	Reforço
	9,40	2,45	10,15	2,10	10,05	2,10	9,20	2,30	8,80	3,15
	9,10	2,15	10,05	2,15	10,50	2,20	8,70	2,15	9,10	2,45
	8,80	2,05	9,15	1,85	10,55	2,00	9,35	2,35	8,90	2,70
	9,45	2,25	9,50	2,15	10,30	2,15	9,85	2,40	10,00	3,00
	9,95	1,70	10,10	2,00	10,30	2,20	8,75	2,25	9,70	2,65
Média	9,34	2,12	9,79	2,05	10,34	2,13	9,17	2,29	9,30	2,79
Dev. Pad.	0,43	0,28	0,44	0,13	0,20	0,08	0,47	0,10	0,52	0,28

Fonte: Autoria própria (2024)

3.4 Análise metalográfica

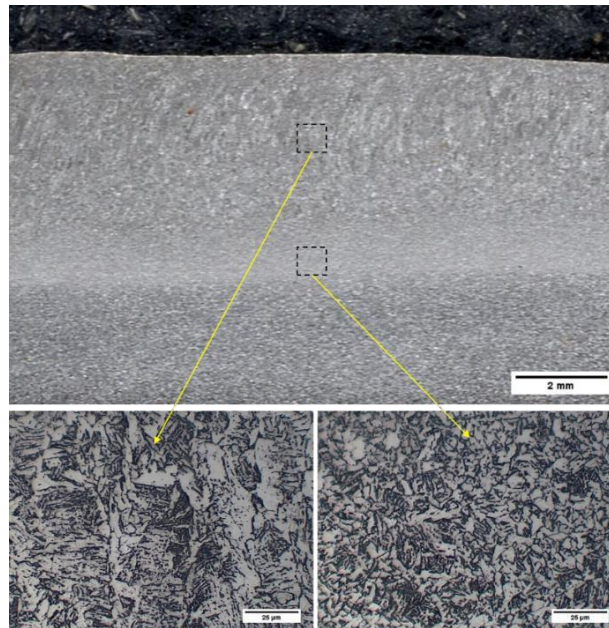
A figura 11 representa a seção transversal do cordão de avanço 4 e reversão 2 e a figura 12 representa a seção longitudinal do mesmo cordão. Observa-se nas figuras a recristalização dos grãos colunares na região do fundo do cordão, como é esperado em soldagens multipasses. Além disso, verifica-se uma grande zona termicamente afetada (ZTA), promovida pela elevada distribuição de calor.

Figura 11 - Seção transversal do cordão com avanço 4 e reversão 2



Fonte: Autoria própria (2024)

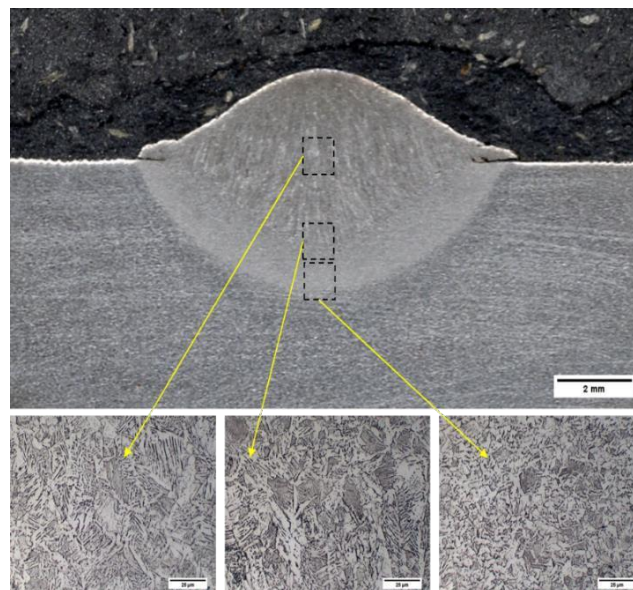
Figura 12 - Seção longitudinal do cordão com avanço 4 e reversão 2



Fonte: Autoria própria (2024)

Na figura 13 (cordão com avanço 8 e reversão 4) nota-se predominantemente a presença de grãos colunares e ausência de uma região de recristalização bem definida presente na macrografia. Além disso, o metal de adição não se fundiu integralmente ao metal de base provocado pelo aumento da velocidade de soldagem. Esse defeito é chamado de sobreposição. Park et al. (2020) discutem que, ao realizar soldagens com a técnica de switchback em ligas de alumínio, a sobreposição do cordão de solda pode ocorrer devido ao controle insuficiente da temperatura e da velocidade de soldagem, resultando em falhas macroscópicas visíveis, como áreas de sobreposição com risco de porosidade e microfissuras.

Figura 13 - Seção transversal do cordão com avanço 8 e reversão 4



Fonte: Autoria própria (2024)

Park et al. (2020) discutem que, ao realizar soldagens com a técnica de switchback em ligas de alumínio, a sobreposição do cordão de solda pode ocorrer devido ao controle insuficiente da temperatura e da velocidade de soldagem, resultando em falhas macroscópicas visíveis, como áreas de sobreposição com risco de porosidade e microfissuras. Dessa forma, é necessário ajustes nos parâmetros de soldagem que eliminem a incidência de defeitos nos cordões de solda como o observado na Figura 13.

4. Conclusão

O presente estudo investigou o efeito da técnica de switchback sobre a geometria dos cordões de solda fabricados pelo processo GMAW utilizando o arame AWS ER70S-6. A análise dos dados obtidos demonstrou que a técnica pode influenciar diretamente as características geométricas e superficiais do cordão de solda, com variações notáveis em função do comprimento de avanço e reversão da tocha. O aumento no comprimento de reversão provocou o aparecimento de elevações no cordão, caracterizadas pela refusão do metal solidificado. Além disso, os resultados dos oscilogramas de tensão e corrente indicaram que a técnica de switchback pode causar instabilidades no arco elétrico, levando a defeitos como o "humping" em velocidades de soldagem mais elevadas.

A análise microestrutural evidenciou que o uso da técnica de switchback promoveu recristalização dos grãos na zona de fusão em alguns cordões, o que pode ser vantajoso para o refinamento da estrutura de solidificação do metal. No entanto, os cordões fabricados com velocidades maiores apresentaram dificuldades na fusão completa do metal de adição com o metal de base, o que pode comprometer a integridade da solda em condições mais severas.

Portanto, a técnica de switchback mostrou-se eficaz na modificação da geometria do cordão e na distribuição de calor, mas exige controle rigoroso dos parâmetros de soldagem para evitar defeitos indesejados. Futuros estudos podem focar na otimização desses parâmetros para maximizar os benefícios da técnica sem comprometer a qualidade da solda.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus Universitário de Tucuruí (CAMTUC), ao Laboratório de Soldagem e ao Grupo de Estudo e Pesquisa em Soldagem (GEPS) pelo apoio ao trabalho desenvolvido.

Referências

- ALMEIDA, H. A. L. *Avaliação de potencialidades da soldagem MIG/MAG automatizada utilizando a técnica switchback*. 2018. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil, 2018.
- ALMEIDA, Hélio Antônio Lameira de; MOTA, Carlos Alberto M. da; SCOTTI, Américo. *Efeitos do comprimento de reversão e do ângulo de ataque sobre a estrutura de solidificação do cordão em soldagem MIG/MAG com "switch back"*. Soldag. Insp., São Paulo, v. 17, n. 2, p. 123-137, abr./jun. 2012.
- ALMEIDA, M.; SILVA, R.; MARTINS, P. *Influence of Switchback Technique on Arc Stability and Weld Quality in GMAW Process*. Journal of Manufacturing and Materials Processing, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jmmp3030054>.
- BRUECKER, D. *Increasing travel speed with pulsed MIG/MAG switch-back welding on lap joint*. Relatório Interno LAPROSOLDA, n. 16, 2007.
- KOU, S. *Welding metallurgy*. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003. <https://doi.org/10.1002/0471434027>.
- MOTA, C. A. M.; SCOTTI, A. *The Effect of Switchback Parameters on Root Pass Formation of Butt Welds with Variable Gap*. Journal of Manufacturing and Materials Processing. v. 3, n. 3, p. 54, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jmmp3030054>.
- NGUYEN, T. C. *Weld defects in high-speed gas metal arc welding*. 2005. Tese (PhD) – University of Waterloo, Canadá,

2005.

PARK, H.; KIM, Y.; LEE, S. *Investigation of overlap defects in switchback welding of aluminum alloys.* Welding Journal, v. 99, p. 25-32, 2020.

SCOTTI, L. M.; PONOMAREV, M. *Soldagem MIG/MAG.* 2ª edição. São Paulo: Editora Artliber, 2008.

TEIXEIRA, F. R. *Explorando a potencialidade do processo GMAW switch back para revestimento de um aço BLAR com liga níquel.* 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2018.

UEYAMA, T.; et al. *Formation Mechanism of Humping Bead and Undercut in High-Speed GMA Welding.* Transactions of the Japan Welding Society, v. 36, n. 2, p. 121-126, 2005.

YAMANE, K.; ISHIKAWA, T.; NAKAMURA, J. *Oscillation Effects on Arc Behavior and Weld Penetration in Gas Metal Arc Welding Using Switchback Technique.* Welding Journal, 2021. Disponível em: <https://weld-journal.org/oscillation-gmaw-switchback>.

YEHOROV, Yurii; SILVA, Leandro João da; SCOTTI, Américo. *Exploring the use of switchback for mitigating homoepitaxial unidirectional grain growth and porosity in WAAM of aluminium alloys.* The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, [S.l.], v. 104, n. 1, p. 1581–1592, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03959-w>.