

Influência do Número e disposição de Módulos de Roletes no Desentortamento de Arame Maciço AWS ER70S-6**(Influence of the Number and Arrangement of Roller Modules on the Straightening of Solid Wire AWS ER70S-6)**

Michel Scheffer Durieux¹, Alberto Bonamigo Viviani¹, Erik Mecca Roesler¹, Regis Henrique Gonçalves e Silva¹,

¹Universidade Federal de Santa Catarina, LABSOLDA – Departamento de Engenharia Mecânica,
Florianópolis, SC, Brasil, msufsc@gmail.com

Resumo

A constância na adição de metal em forma de arame maciço (também conhecido como arame sólido) bobinado é fundamental para garantir a estabilidade do processo de soldagem. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência do número e da disposição dos módulos desentortadores de arame utilizando o arame sólido AWS ER70S-6 de Ø 1,2 mm em rolo comercial de 15 kg. Para corrigir as deformações plásticas causadas pelo bobinamento, conhecidas como Helix e Cast, foram montados módulos desentortadores compostos por três roletes dispostos de forma não colinear, formando um triângulo se ligados os centros. Os testes foram conduzidos com os planos transversais do rolo e dos módulos paralelos entre si, avaliando-se inicialmente um módulo com variações no deslocamento vertical do rolete central e, em seguida, dois módulos montados em série. A análise do endireitamento foi baseada na norma ASTM F2754/F2754M – 21, considerando a curvatura residual, raio e comprimento do arame após alimentação constante. Os resultados indicaram que a configuração mais eficaz foi com um módulo e deslocamento de 2,5 mm do rolete central, proporcionando aumento do raio e maior linearidade. Configurações com deslocamentos superiores a 5,0 mm resultaram em maior curvatura e redução da velocidade de alimentação. O estudo sugere que o uso adequado de módulos desentortadores, com ajustes precisos, melhora significativamente a geometria e a alimentabilidade do arame, enquanto ajustes incorretos podem intensificar as deformações, comprometendo o processo de soldagem.

Palavras-chave: Alimentabilidade, Endireitador, Arame Sólido, Módulo Desentortador de Arame, GMAW/MIG.

Abstract: Consistency in the addition of filler metal in the form of solid wire (also known as solid electrode wire) is essential to ensure the stability of the welding process. This study aims to evaluate the influence of the number and arrangement of wire straightener modules using AWS ER70S-6 solid wire with a diameter of 1.2 mm, supplied in a commercial 15 kg spool. To correct plastic deformations caused by coiling—commonly referred to as helix and cast—straightening modules were assembled using three noncollinear arranged rollers, forming a triangle when connecting their centers. The tests were conducted with the transverse planes of both the spool and modules kept parallel. Initially, one module was tested with variations in the vertical displacement of the central roller; followed by trials using two modules mounted in series. The wire straightening analysis was based on ASTM F2754/F2754M – 21, taking into account residual curvature, radius, and wire length after constant feeding. The results indicated that the most effective configuration was one module with a 2.5 mm displacement of the central roller, which resulted in increased radius and greater straightness. Configurations with displacements greater than 5.0 mm led to increased curvature and a reduction in feed speed. The study suggests that the appropriate use of straightening modules with precise adjustments significantly improves the wire geometry and feedability, while improper settings may intensify deformations and compromise the welding process.

Key-words: Feedability, Wire Straightener, Solid Wire, Wire Straightening Module, GMAW/MIG.

1. Introdução

A alimentação de arame maciço, popularmente chamado de arame sólido, está presente em diversos processos de soldagem, como TIG, MIG/MAG, arco submerso, entre outros. Em sua maioria, os arames de soldagem comercialmente disponíveis são encontrados na forma de rolos. Dessa forma, o arame mesmo após desenrolado mantém uma curvatura espacial, ou seja, nas 3 dimensões, em função da deformação plástica e stress residual advindo do processo de bobinamento, deformação conhecida como *Helix* e *Cast*. O termo *Helix* se refere ao passo entre cada volta do arame, enquanto o *Cast* está relacionado com a abertura e diâmetro do arame (Scotti, 2008).

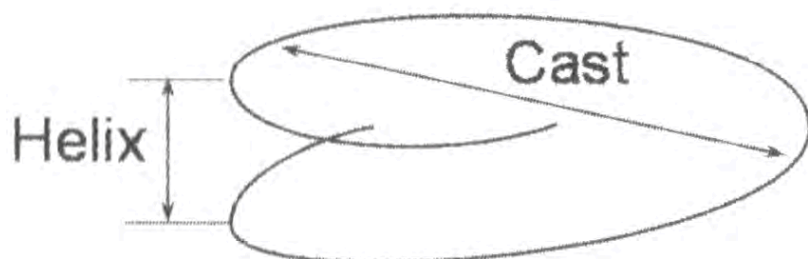


Figura 1. Definição padrão de *Helix* e *Cast*. (Adaptado de Mogrovejo, 2014)

Assim, ao ser tracionado, desbobinado e sair do tubo de condução (conduíte ou guia), o arame tende a voltar ao formato de uma espiral. Este efeito pode ser prejudicial para a deposição do arame à poça de fusão. O desalinhamento do arame, ou seja, sua curvatura, pode levar à assimetria da poça e falta de fusão. Em alguns casos em que se utiliza o arame quente, pode ocorrer sopro magnético do arco oblíquo ao plano de deslocamento do cordão (Mogrovejo, 2014). Além destes distúrbios, a curvatura do arame é alterada constantemente durante o desbobinar, pois, à medida que se aproxima do fim do rolo, seu diâmetro vai diminuindo. Ou seja, as condições geométricas do arame na poça de soldagem não são constantes, prejudicando a parametrização e estabilidade do processo. Ademais, a curvatura do arame pode influenciar no desgaste acelerado do bico de contato das tochas MIG/MAG, uma vez que este tende a tanger e desgastar em somente um sentido. Esse desgaste gera detritos metálicos que acabam sendo conduzidos até o bico de contato, comprometendo a estabilidade do arco elétrico e a qualidade da solda. A Figura 2 a) apresenta um bico de contato de liga de cobre sem revestimento com o orifício sem desgaste, enquanto b) mostra o bico desgastado preferencialmente para o lado do centro do raio da curvatura do arame em função da não linearidade do arame.

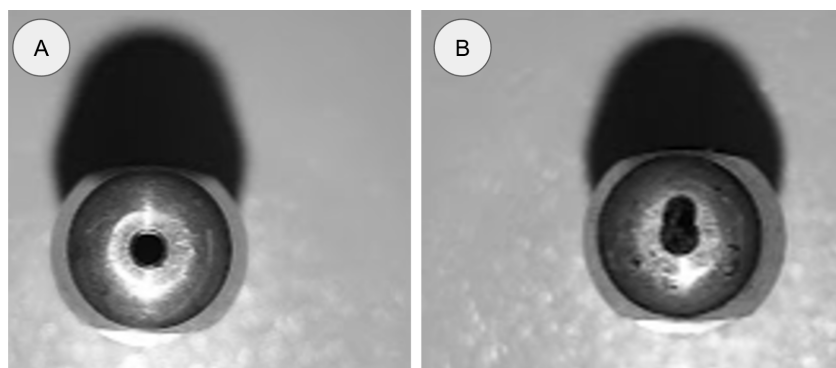


Figura 2. Bico de contato desgastado em função do tangenciamento do arame:
A) bico sem desgaste, B) bico com desgaste.

Em aplicações de manufatura aditiva com deposição a arco (WAAM) utilizando o processo GTAW, GMAW ou *tungsten-inert-gas-based wire arc additive manufacturing* (WAAM-TIG), as trajetórias de deposição e a alimentabilidade do arame têm papel crucial no sucesso do processo. Dessa forma, eliminar os erros aleatórios, parcela imprevisível do erro, originada por variações temporais ou espaciais do arame é essencial (Pamin *et. al.*, 2021). Nessa aplicação, a variação da posição do arame em relação à peça construída em função do desgaste do bico de contato e curvatura do arame pode acabar por gerar uma variação da trajetória efetiva do arco e, conseqüentemente, desvios na geometria da peça. A Figura 3 apresenta de forma esquemática o desvio da ponta do arame em função do raio do arame sem o desentortador. Com valores típicos de Distância do Bico de Contato à Peça (DBCP) e curvatura do arame, é possível ter um desvio de até 1,5 mm.

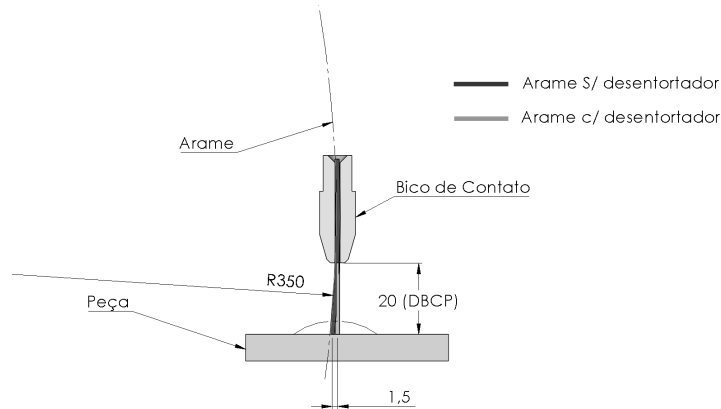


Figura 3. Esquema do desvio da ponta do arame em função do raio do arame.

Ainda no contexto da WAAM, o desgaste do bico aliado à curvatura do arame podem influenciar a posição da deposição do arame (Figura 4). Dessa forma, ao se programar a trajetória da tocha para se construir uma peça, seguindo um caminho tridimensional que obedece a um arquivo de projeto 3D, seria necessária uma compensação no desvio do ponto de deposição do arame.

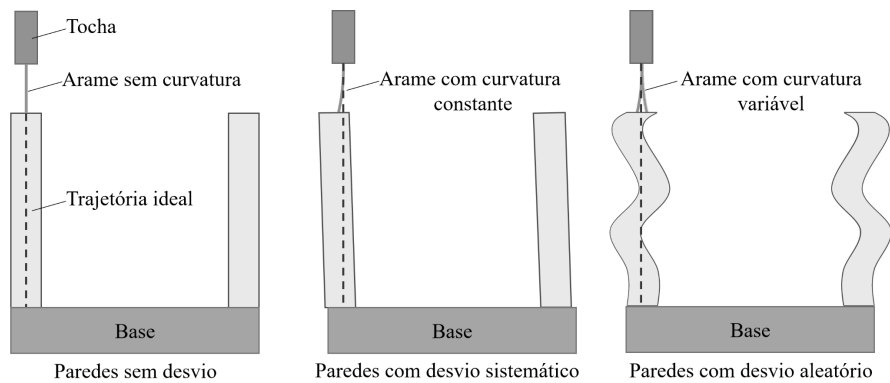


Figura 4. Desvio na construção de uma peça feita por WAAM.

A fim de contornar os problemas expostos, alguns processos de soldagem utilizam um dispositivo para desentortar arame com o intuito padronizar e tornar constante as condições geométricas do arame na poça de soldagem. Geralmente o desentortador de arame pode ser rotativo ou com roletes, em inglês, *roller straightening* e *rotary straightening*, respectivamente. Tanto um quanto o outro modelo tem como objetivo compensar a deformação plástica, stress mecânico, advindos do bobinamento do arame.

O modelo de desentortador mais comum é o que utiliza roletes. Conforme o arame passa pelos roletes que não possuem tração, ou seja, são passivos, este é conformado além da tensão elástica a fim de deformá-lo. Nestes desentortadores de arames, há duas linhas de roletes em uma formação deslocada (*offset*), formando uma linha de rolos superiores e outra de inferiores. A distância entre os eixos em uma mesma linha, referida como *roller pitch* ou passo dos roletes, em português, o raio e a quantidade de roletes variam conforme o projeto e especificações. No entanto, no processo de endireitar e alinhar o arame, cinco roletes, ou seja, uma linha com três e outra com dois, seriam suficientes para cumprir a tarefa em situações que não demandam elevadas tolerâncias geométricas. De modo geral, o ajuste do passo dos roletes do desentortador deve considerar as características do material a ser processado como espessura, limite de escoamento e módulo de elasticidade (Schuler, 1998).

Os roletes devem induzir uma deformação plástica no material, porém dentro de um limite que depende do diâmetro dos roletes e das propriedades do material. Os roletes subsequentes, por sua vez, atuam progressivamente, aumentando o raio de curvatura do arame até atingir a retificação desejada. Contudo, há um limite na velocidade de avanço do material a ser desentortado, restringido pelo diâmetro do arame, raio do rolete, e passo dos roletes. A Figura 5 mostra o esquemático de um desentortador com 5 roletes. Este conceito de desentortador é encontrado comercialmente, bem como o conceito com somente 3 roletes.

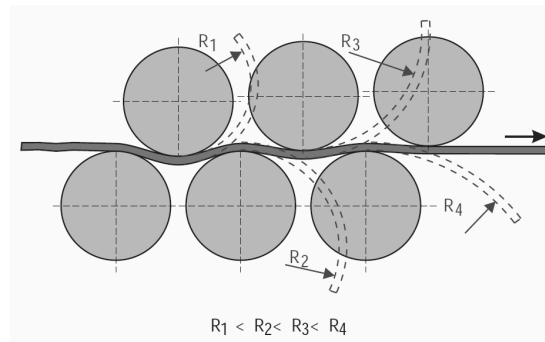


Figura 5. Aumento do raio do arame ao longo do processo de desentortamento. (Adaptado de Schuler, 1998.)

Desde que os roletes não possuem tração própria, é necessária uma força de tração para deslocar o arame. Nesta condição, este é utilizado em série com um tracionador de arame que utiliza um sistema de roldanas de tração, componentes essenciais em um sistemas de alimentação de arame, garantindo o transporte constante do arame durante a soldagem. Nos tracionadores de arames, geralmente, a regulação do alimentador se dá por um manípulo que pressiona um rolo pressionador que, por sua vez, pressiona o arame na parte diametralmente oposta à roldana de tração. Quanto maior a resistência do arame, maior é a pressão necessária para deslocar o mesmo, garantindo o atrito adequado. O ideal é que a pressão seja a mínima possível, desde que seja capaz de movimentar o arame sem escorregar, uma vez que a pressão nos roletes tende a marcar o arame, deformá-lo, arrancar material e danificar o equipamento (*The welders warehouse*, 2025).

Arames com maior curvatura podem levar a um aumento da resistência à sua movimentação nos conduítes, exigindo maior pressão do sistema tracionador. Isso resulta em aumento do carregamento nos roletes tracionadores, podendo causar escorregamento ou desgaste prematuro. Consequentemente, a alimentação do arame torna-se menos estável. No contexto deste trabalho, o termo “resistência do arame” refere-se à força que o arame impõe contra o seu avanço dentro do sistema de alimentação, resultante principalmente de sua curvatura residual e da interação com os componentes do trajeto, como conduítes, capilares e bico de contato. Essa resistência aumenta à medida que o arame apresenta maiores deformações, dificultando seu deslocamento, elevando o esforço do tracionador e comprometendo a estabilidade do processo de soldagem.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência de diferentes deslocamentos no rolete móvel de módulos de desentortamento na correção das deformações plásticas presentes no arame sólido Ø 1,2 mm AWS ER70S-6 proveniente de rolos comerciais de 15 kg. Identificando as condições que proporcionem melhor retificação do arame, contribuindo para maior estabilidade e eficiência no processo de soldagem.

2. Materiais e Métodos

Para a realização dos ensaios de endireitamento do arame foi utilizado um rolo de 15 kg de arame de aço carbono ER70S-6 de Ø 1,2 mm, arame de aço de maior utilização na indústria (Zanella, 2024). Para tracionar o arame e fazer a movimentação foi utilizado um alimentador de arame da IMC modelo STA-20D com roletes compatíveis com o material e diâmetro do arame. Entre o tracionador e o rolo de arame foram dispostos os dois módulos de desentortador com três roletes cada, dispostos de forma não colinear. Estes têm concepção e funcionamento similar ao da Figura 5, porém com um par de roletes a menos, o que propicia maior compacidade do conjunto desentortador.

No desentortador, as dimensões dos roletes utilizados foram todas iguais, de 19,7 mm e geometria do canal (ou rasgo) em V. O passo, afastamento horizontal entre os centros, em inglês *roller pitch* (tw), foi mantido constante em 21 mm. O deslocamento vertical do rolete móvel (Rg) foi variado em intervalos de 2,5mm, Fig. 6. Iniciando-se em 0 mm, onde o rolete estava tangente ao arame e sem deformá-lo, até 10 mm, atingindo a máxima deformação permitida pelo equipamento. Ou seja, foram cinco diferentes posições, 0; 2,5; 5,0 ; 7,5 e 10mm, combinadas em dois módulos.

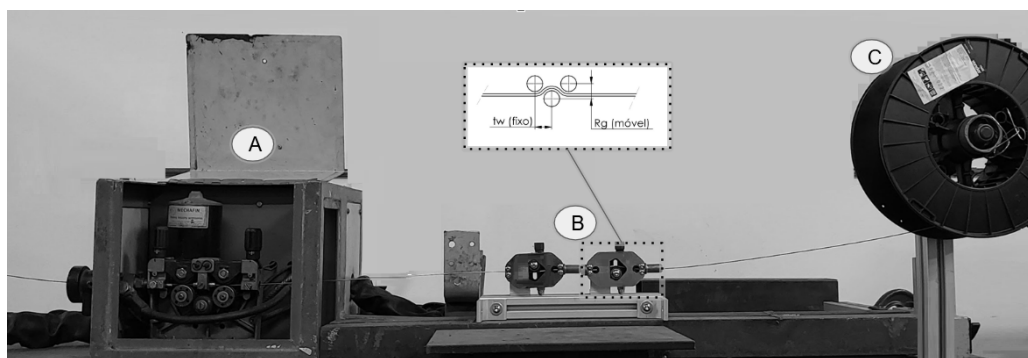


Figura 6. Setup utilizado nos ensaios com o desentortador do arame: A) alimentador de arame IMC modelo STA-20D; B) módulo desentortador com 3 roletes; C) rolo de arame de aço carbono ER70S-6 de 1,2mm.

Para reduzir o número de variáveis no experimento, fixou-se a velocidade de alimentação do arame e a pressão nos roletes do alimentador. Na condição sem o desentortador, a velocidade do arame foi de 2,8 m/min. A fim de avaliar a alimentabilidade do arame e a influência dos desentortadores, cronometrou-se o tempo de alimentação do tracionador com um cronômetro digital. Definiu-se arbitrariamente um intervalo de 15 segundos com o tracionador em operação. Ou seja, as mostras de arame foram cortadas após esse tempo de alimentação e posteriormente avaliadas.

Para testar a influência da disposição dos desentortadores de arames foram testadas diferentes combinações, conforme a Figura 7. Foram testadas diferentes combinações variando o sentido do deslocamento no rolete móvel no mesmo plano, ou seja, com os roletes paralelos ao rolo de arame. Ao todo, foram testadas cinco combinações diferentes de cada módulo. Primeiramente, somente um módulo foi utilizado e testado nos dois sentidos de deslocamento dos roletes móveis, conforme as Figuras 7-a) e b). Posteriormente foi feita a combinação dos sentidos dos roletes aos pares, desconsiderando a ordem dos módulos com diferentes sentidos, conforme as Figuras 7-c), d) e e).

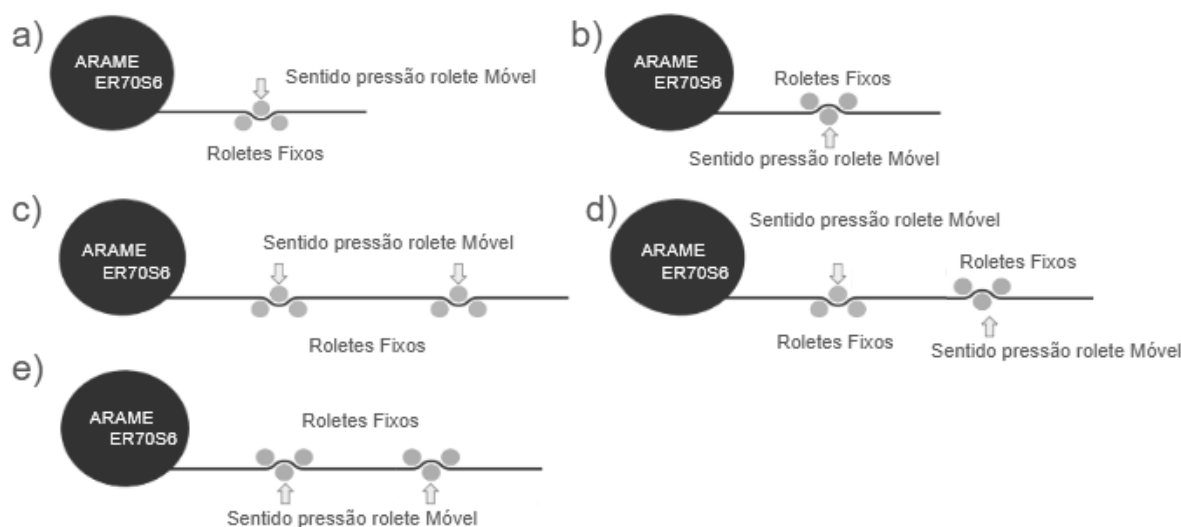


Figura 7: Disposição dos módulos desentortadores de arame em relação ao rolo.

Ademais, foi utilizado um painel com régua e esquadro para a medição das curvaturas dos arames, conforme a norma ASTM F2754/F2754M – 21 (*Standard Test Method for Measurement of Camber, Cast, Helix, and Direction of Helix of Coiled Wire*). Os arames medidos foram posicionados com uma das extremidades no canto inferior esquerdo, a fim de padronizar a medição dos espécimes, conforme a Figura 8-a). Para calcular o raio do arame e o grau de desentortamento, usaram-se relações trigonométricas em um círculo em um sistema de coordenadas cartesianas, conforme a Figura 8-b), medindo-se a amplitude nos eixos Y e X. Além do cálculo do raio (r), foi medido também o comprimento do arame (C).

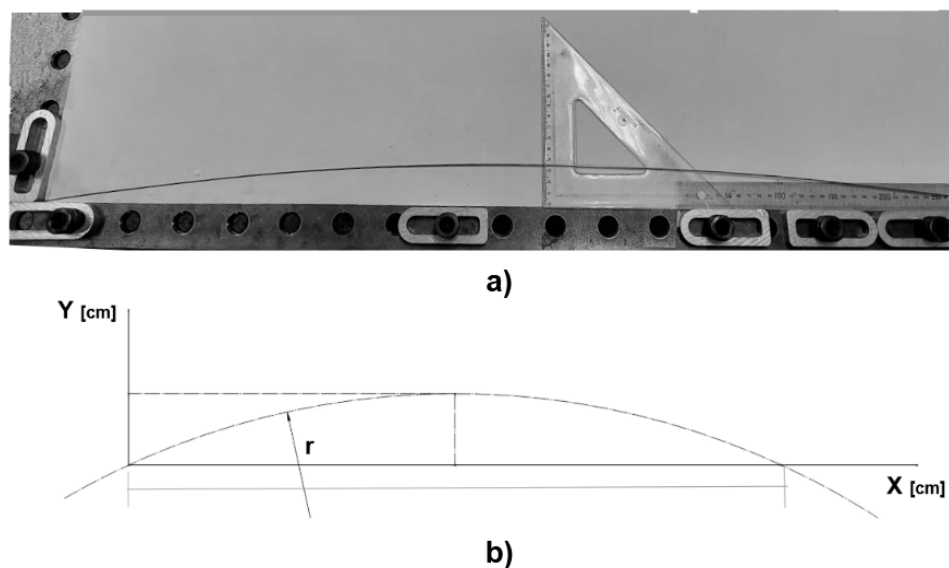


Figura 8. Painel de medição.

3. Resultados

Os resultados obtidos nas medições do arame sem a utilização do módulo desentortador foram estabelecidos como condição neutra e referência. Considerando que um maior raio de curvatura aproxima o perfil do arame de uma condição linear, situação ideal para a estabilidade do processo de adição de arame nos processos de soldagem, os ensaios realizados demonstraram que a implementação do módulo desentortador influencia significativamente a geometria do arame.

Verificou-se que o referido módulo pode alterar a curvatura do material em ambos os sentidos, promovendo tanto o aumento (melhora) quanto a redução do raio de curvatura. Contudo, os dados experimentais revelaram que, em determinadas configurações operacionais, a ausência do módulo desentortador apresenta vantagens comparativas em relação a um sistema mal regulado. Este fenômeno ocorre porque um desentortador com ajuste inadequado tende a induzir uma redução no raio de curvatura, como representado na Figura 9, resultando em um efeito contrário ao desejado para o equipamento.

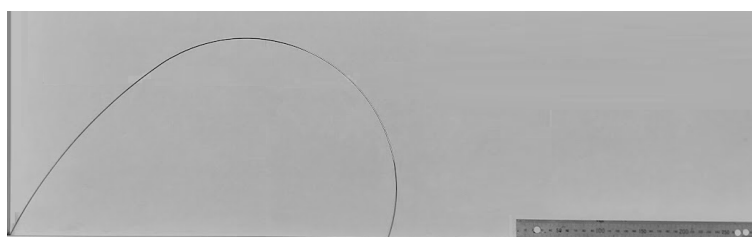


Figura 9. Arame com raio menor do que o inicial em função da regulagem do desentortador.

Em todos os cenários com um ou dois módulos, independente do sentido do deslocamento do rolete móvel, notou-se que nos deslocamentos a partir de 5,0 mm houve uma ampliação dos efeitos de *Helix* e *Cast* e a impossibilidade da medição da curvatura com a metodologia proposta. Ou seja, o raio do arame diminuiu, e o passo do efeito *Helix* aumentou, não sendo possível as medições conforme o método padronizado utilizado para avaliar características geométricas do arame (ASTM F2754/F2754M – 21).

Ainda neste último cenário, a velocidade de arame foi reduzida, consequência identificada através da diminuição do comprimento da amostra do arame alimentado por 15 segundos. Ou seja, há uma queda na taxa de alimentação do arame imposta pelo aumento da resistência dos roletes do desentortador.

Em outras palavras, nestas condições o desentortador de arame afasta o arame da condição ideal ao invés de promover o alinhamento e ainda prejudica a taxa de deposição do material de adição em função da diminuição da velocidade do arame.

A Tabela 1 apresenta os resultados das medições de acordo com cada disposição do desentortador de arame em relação ao rolo de arame e deslocamento vertical do rolete.

	Neutro	Deslocamento vertical	X [cm]	Y [cm]	C [cm]	r [cm]
		0.0	72.6	8.6	88.0	80.7

Disposição a)						Disposição c)					
	Deslocamento vertical	X [cm]	Y [cm]	C [cm]	r [cm]		Deslocamento vertical	X [cm]	Y [cm]	C [cm]	r [cm]
	2.5	72.0	18.9	85.0	43.9		2.5 - 2.5	70.8	19.3	84.5	44.3
	5.0	80.9	4.0	81.4	204.5		2.5 - 5.0	-	-	-	-
	7.5	-	-	-	-		5.0 - 2.5	68.6	11.6	74.3	55.8
	10.0	-	-	-	-		5.0 - 5.0	-	-	-	-

Disposição b)						Disposição d)					
	Deslocamento vertical	X [cm]	Y [cm]	C [cm]	r [cm]		Deslocamento vertical	X [cm]	Y [cm]	C [cm]	r [cm]
	2.5	86.0	2.5	86.5	366.8		2.5 - 2.5	75.3	20.8	89.5	44.7
	5.0	71.0	17.5	81.6	45.0		2.5 - 5.0	81.1	10.5	84.8	81.7
	7.5	-	-	-	-		5.0 - 2.5	72.2	18.0	85.0	45.1
	10.0	-	-	-	-		5.0 - 5.0	80.3	7.1	82.1	115.5

Disposição e)					
	Deslocamento vertical	X [cm]	Y [cm]	C [cm]	r [cm]
	2.5 - 2.5	86.6	6.0	88.0	158.2
	2.5 - 5.0	83.3	9.0	86.0	101.1
	5.0 - 2.5	79.6	12.0	85.1	71.7
	5.0 - 5.0	72.6	8.6	76.0	80.7

Tabela 1. Resultados das combinações de desentortadores.

A partir dos resultados foi possível observar que a configuração que mais a aproxima o arame de uma reta é aquela com a disposição b) (Tabela 1 e Figura 7), empregando uma unidade do módulo desentortador e deslocamento vertical do rolete de 2,5 mm, cujo sentido é para cima. Sob o olhar da conformação mecânica, tal disposição do desentortador imprime ao arame uma deformação contrária ao sentido do desbobinamento do rolo de arame, levando ao aumento do raio em relação ao neutro, conforme ilustrado na Figura 10. No entanto, na mesma disposição, ao se aumentar o deslocamento vertical do rolete desentortador, o raio da curvatura diminuiu.

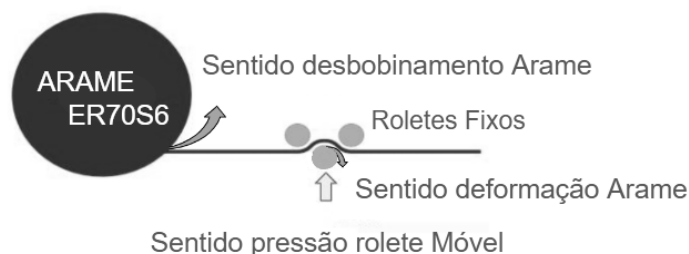


Figura 10. Sentido do desbobinamento do arame e deformação causado pelo desentortador.

Na Tabela 1, as células preenchidas com um traço (-) indicam as situações em que se não foi possível fazer as medições da amostra segundo a metodologia proposta, seja porque o raio de curvatura e o comprimento diminuíram, ou porque o arame tomou forma de espiral acentuada, similar à retrata na Figura 11.

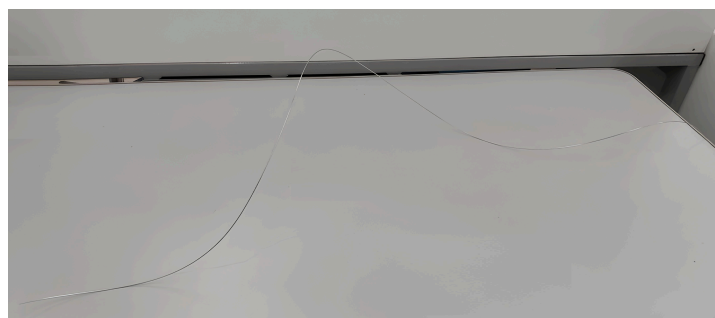


Figura 11. Arame com forma de espiral acentuada.

Na Disposição a) (Tabela 1 e Figura 7), para o deslocamento vertical de 2,5 mm o raio foi de 43,9 cm, resultando num raio menor em relação à curvatura neutra. Ao aumentar o deslocamento para 5,0 mm, o raio cresceu significativamente para 204,5 cm, indicando uma considerável redução da curvatura.

A Disposição c) (Tabela 1 e Figura 7) apresentou raios nas duas condições menores que o da curvatura neutra. Ou seja, não houve desentortamento nessa configuração. Mesmo com variações no deslocamento vertical, os resultados indicam manutenção da curvatura acentuada do arame, condição prejudicial à alimentabilidade. Ainda nesta configuração, nas condições de deslocamento 5,0-2,5, a velocidade de alimentação foi comprometida. Já a Disposição d), das quatro combinações avaliadas, duas resultaram em raios de curvatura inferiores à neutra, enquanto as outras duas foram maiores, de deslocamentos 2,5-5,0 e 5,0-5,0, indicando a importância da regulagem correta do rolete do último desentortador. Por fim, a Disposição e) apresentou resultados positivos de desentortamento do arame nas condições 2,5-2,5 e 2,5-5,0, corroborando os efeitos encontrados na Disposição b).

Os resultados obtidos demonstraram que o desempenho do sistema desentortador de arame apresenta total dependência com sua disposição e regulagem. A análise comparativa das diferentes disposições revelou que a Disposição b) (Tabela 1 e Figura 7), de módulo único com deslocamento vertical de 2,5 mm no sentido ascendente, mostrou-se mais eficiente, proporcionando aumento significativo no raio de curvatura do arame. Entretanto, observou-se que deslocamentos maiores que 5,0 mm provocaram efeitos contrários ao desejado, incluindo redução do raio e formação de espirais acentuadas e redução da velocidade de arame. Além dos aspectos geométricos, verificou-se que configurações inadequadas afetaram negativamente a velocidade de alimentação, evidenciando a importância do equilíbrio entre deformação plástica e resistência ao avanço. Estes resultados destacam a necessidade de criteriosa seleção e regulagem do sistema desentortador para aplicações em processos de soldagem e manufatura aditiva, onde a estabilidade geométrica do arame é crítica. Os dados obtidos fornecem subsídios valiosos para a otimização de parâmetros em sistemas industriais, sugerindo que a Disposição b) representa a alternativa mais promissora entre as testadas.

5. Conclusões

O presente trabalho, limitado a um diâmetro e material de arame, além de um tamanho e passo de roletes do desentortador de arame, permitiu investigar as consequências e influências dos módulos desentortadores de arame.

Com base nos experimentos realizados, ficou evidente que a presença e a correta configuração de módulos desentortadores são determinantes para a melhora da curvatura do arame sólido AWS ER70S-6, favorecendo sua alimentabilidade e estabilidade no processo de soldagem. Os resultados demonstraram que, embora o desentortador tenha potencial para alinhar o arame, sua regulagem inadequada pode intensificar deformações como *Helix* e *Cast*, podendo reduzir o raio de curvatura e até comprometer a alimentação do arame.

Uma situação de arame “reto” (grande raio após desbobinado) pode levar à diminuição do desgaste dos componentes de alimentação, como o bico de contato e guias, favorece à manutenção da velocidade de arame constante e ao seu correto e uniforme posicionamento na poça. Estes são fatores que colaboram positivamente com o processo e, assim, configuram melhora na condição de alimentabilidade do arame.

A melhor configuração encontrada foi a utilização de um único módulo com deslocamento vertical de 2,5 mm no sentido contrário ao desbobinamento do arame, promovendo aumento significativo do raio e, portanto, aproximando o arame de uma condição linear ideal. Por outro lado, deslocamentos maiores que 5 mm, independentemente da configuração dos módulos, provocaram deformações acentuadas e queda na velocidade de alimentação. Esta constatação é importante, pois os desentortadores geralmente conferem liberdade ao operador para serem instalados em qualquer orientação, o que muitas vezes induz ao erro e à piora na alimentabilidade.

Dessa forma, conclui-se que o uso de desentortadores é vantajoso apenas quando corretamente dimensionados, instalados ajustados. A adoção de parâmetros inadequados pode significar a piora da condição geométrica do arame e prejudicar diretamente a eficácia e a qualidade dos processos de soldagem e manufatura aditiva.

Referências Bibliográficas

- [1] Sadhya, Shubham, *et al.*. “Development of Concurrent Multi Wire Feed Mechanism for WAAM-TIG to Enhance Process Efficiency”. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 51, Julho de 2024, pp. 313–23. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2024.04.010>, acessado em 29/05/25.
- [2] Nastran, M., e K. Kuzman. “Stabilisation of Mechanical Properties of the Wire by Roller Straightening.” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 125–126, Setembro de 2002, pp. 711–19. Disponível em [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00316-3](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00316-3), acessado em 27/05/25.
- [3] Burashenko, I. A. “Design Variants of Welding Equipment in Narrow-Gap Welding.” *Welding International*, vol. 17, no. 4, Janeiro de 2003, pp. 314–17. Disponível em <https://doi.org/10.1533/wint.2003.3123>, acessado em 15/05/2025.
- [4] PAMIN, S. *et al.*. “Rotary straightening of fine wire for LMD-W applications”. *LASERS IN MANUFACTURING CONFERENCE*, Junho de 2021, Alemanha. Anais do congresso virtual disponíveis em <https://www.lzh.de/node/68549>, acessado em 01/06/25.
- [5] Preitschaft, Anja, *et al.*. “Design and Validation of an Inline Curvature Measurement for Flat Wire Straightening in Hairpin Stator Production.” *14th International Electric Drives Production Conference (EDPC)*, Novembro de 2024, pp. 1–8, Germany. Disponível em <https://doi.org/10.1109/EDPC63771.2024.10932837>, acessado em 25/05/2025.
- [6] Burashenko, I. A. “Design Variants of Welding Equipment in Narrow-Gap Welding.” *Welding International*, vol. 17, no. 4, Janeiro de 2003, pp. 314–17. Disponível em <https://doi.org/10.1533/wint.2003.3123>, acessado em 22/05/2025.
- [7] MOGROVEJO, Miguel Guayasamin. *Investigação e Desenvolvimento do Processo MIG/MAG com Arame Adicional*. 2014. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- [8] SCHULER GmbH. “Metal Forming Handbook”. Springer Berlin Heidelberg, Junho de 1998, 568p. Livro.
- [9] GALEAZZI, Daniel. “Desenvolvimento de um Sistema Integrado de Manufatura Aditiva por Deposição a Arco Usando a Variante GMAW com Alimentação Dinâmica CMT”. Novembro de 2024. 278 p. Tese (Doutorado em Eng. Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. Disponível em https://labsolda.ufsc.br/publicacoes/teses_dissertacoes/tese_2024_daniel.galeazzi.pdf, acessado em 20/05/2025.
- [10] ASTM INTERNATIONAL. “F2754/F2754M – 21: Standard Test Method for Measurement of Camber, Cast, Helix, and Direction of Helix of Coiled Wire”. Outubro de 2021, 4p, Estados Unidos. Norma técnica.