

Trabalho Prático N^o:

Técnica Operatória da Soldagem SAW

1. Objetivos:

- Familiarizar-se com o arranjo e a operação do equipamento utilizado na soldagem mecanizada ao arco submerso.
- Familiarizar-se com os consumíveis utilizados e os parâmetros importantes do processo.

2. Revisão:

Na soldagem ao arco submerso (SAW), a união das peças é obtida pela sua fusão localizada com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico nu, geralmente um arame, e a peça de trabalho. A proteção da poça de fusão e do arco é feita por um material granulado (fluxo) que colocado sobre a junta, cobrindo a região do arco (figura 1). O uso do fluxo limita as posições de soldagem que podem ser usadas e impedem a observação direta da região do arco. Embora a soldagem com um único arame seja a mais comum, existem versões do processo que utilizam simultaneamente dois ou três arames ou que trabalham com um eletrodo na forma de fita o que é muito utilizado na deposição de camadas de revestimento. O processo é quase sempre usado na forma mecanizada com altas densidades de corrente, possibilitando em uma grande penetração e alta taxa de deposição (até cerca de 22kg/h).

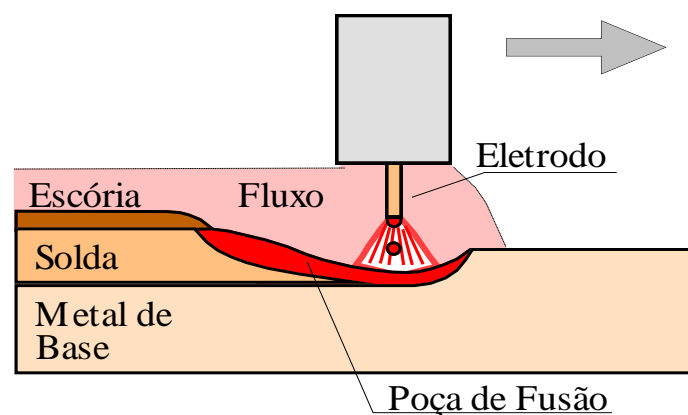


Figura 1 – Esquema da soldagem SAW.

O equipamento básico do processo (figura 2) consiste de uma fonte de energia, cabos, cabeçote de soldagem (composto, em geral, de tocha, alimentador de arame ou fita, sistema de controle e sistema de alimentação de fluxo) e sistemas para o deslocamento e posicionamento das peças e/ou do cabeçote.

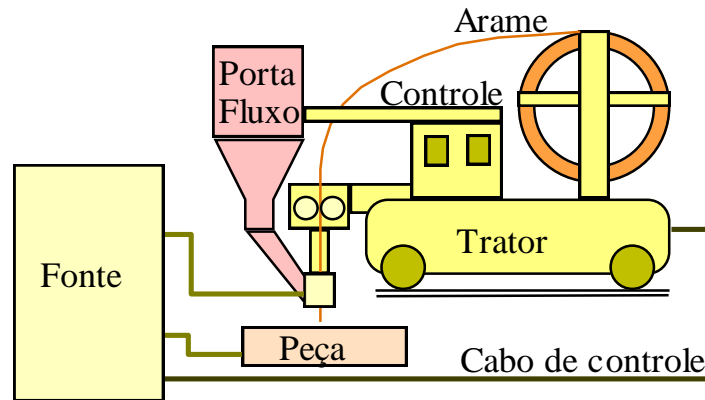


Figura 2 – Equipamento para a soldagem SAW

Nos equipamentos mais comuns, particularmente aqueles que trabalham com arames de menor diâmetro (inferior a 4mm), utiliza-se fontes de tensão constante com alimentação de arame a velocidade constante uma vez que este tipo de sistema permite um controle “intrínseco” do comprimento do arco. Fontes de corrente constante em conjunto com alimentadores de arame cuja velocidade é variável e controlada por sistemas eletrônicos de forma manter o comprimento do arco constante são encontradas principalmente em equipamentos que usam arames de maior diâmetro. Neste caso a fonte é, em geral, de corrente alternada e, no primeiro caso, de corrente contínua.

No processo de soldagem SAW é influenciado por um grande número de variáveis que incluem⁽¹⁾:

- Técnica básica de soldagem (um ou vários arames, etc.),
- Projeto da junta,
- Combinação arame/fluxo;
- Diâmetro do eletrodo,
- Equipamentos de suporte (dispositivos de deslocamento de peças, posicionadores, etc.),
- Distância do bico de contato à peça,
- Ângulo do eletrodo em relação à solda,
- Corrente de soldagem,
- Tensão do arco, e
- Velocidade de soldagem.

O detalhamento do projeto de uma junta depende da espessura e tipo do material, tipo da junta, características do processo de soldagem e, em parte, das normas e códigos que estão sendo consideradas. Para a soldagem SAW, juntas de topo em chapas de até 8mm de espessura podem ser soldadas sem chanfro e com abertura nula. Com aberturas de cerca de 10% da espessura, podem ser soldadas juntas sem chanfro de até cerca de 15mm desde que o sistema possa fornecer corrente suficiente. Neste caso, necessita-se frequentemente de um meio para reter o metal fundido na raiz da solda (uma camada de fluxo ou uma barra de aço ou cobre). Além de facilitar a penetração, a abertura da junta também influencia o formato do cordão, em particular, a altura do reforço. Assim, mantidas todas as demais variáveis constantes, o reforço diminui com uma maior abertura. A soldagem de juntas de maior espessura tende a exigir tanto a execução de vários passes de solda com a abertura de um chanfro adequado para se conseguir uma solda de penetração total. Para a soldagem mecanizada, a preparação correta e adequada da junta é fundamental. Em particular, a

variação das dimensões do chanfro ao longo da junta leva à formação de soldas de dimensões irregulares.

A escolha dos consumíveis para uma dada aplicação depende do tipo de material sendo soldado, procedimento de soldagem e propriedades desejadas para a solda. Na soldagem SAW, o arame e o fluxo desempenham um papel conjunto na determinação das propriedades da solda e, portanto, não tem sentido especificá-los separadamente. No Brasil, para a soldagem SAW de aço carbono, a combinação de arame e fluxo é usualmente designada de acordo com a norma AWS A5.17.

O diâmetro do eletrodo influencia a largura e a penetração do cordão e a taxa de deposição para um dado nível de corrente. Assim, a penetração do cordão tende a diminuir, a sua largura a aumentar e a taxa de deposição a diminuir se um eletrodo de maior diâmetro for usado com a mesma corrente. Adicionalmente, a abertura do arco tende a ser mais difícil e a estabilidade do processo menor. Como no caso de outros processos de soldagem a arco, para cada diâmetro de arame, existe uma faixa de corrente mais adequada para a sua utilização (tabela 1).

Tabela 1 – Faixa de corrente mais adequada para arames de aço baixo carbono em função de sua bitola.⁽²⁾

Bitola do arame (mm)	Faixa de Corrente (A)
2,4	120-700
3,2	220-1100
4,0	340-1200
4,8	400-1300
6,4	600-1600
8,0	1000-2400

O comprimento do eletrodo, isto é, a sua extensão que conduz a corrente de soldagem do bico de contato até o arco, é uma importante variável do processo pois ela controla a quantidade de calor gerado por aquecimento resistivo (efeito Joule) no eletrodo. Assim, o uso de um maior comprimento do eletrodo para um dado nível de corrente provoca um maior aquecimento do eletrodo (devido ao aumento de sua resistência elétrica) e aumenta a sua velocidade de fusão, particularmente quando se trabalha com altas densidades de corrente (superiores a $125\text{A}/\text{mm}^2$)⁽²⁾. Na prática, como a medida durante a soldagem do comprimento do eletrodo não é fácil, trabalha-se usualmente com o valor da distância do bico de contato à peça (“stickout”). Valores recomendados deste parâmetro variam de 8 a 15 vezes o diâmetro do eletrodo.

O ângulo de inclinação do eletrodo em relação à solda determina a direção de aplicação da força do arco, influenciando o formato do cordão e a tendência à formação de mordeduras. O cordão de solda tende a ser mais estreito e profundo, e a tendência à formação de mordeduras é maior, quando o cabeçote de soldagem é inclinado de forma que o arco fique direcionado no sentido oposto ao de soldagem (figura 2).

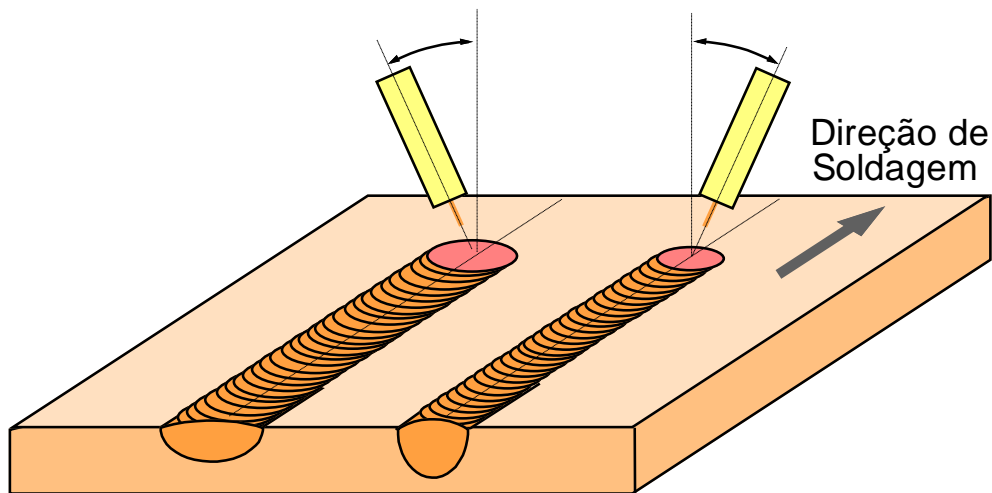


Figura 2 – Efeito da inclinação do eletrodo no formato do cordão.

A corrente de soldagem é a variável que controla de forma mais direta a taxa de fusão do arame, a penetração e a altura do reforço da solda, todas estas aumentando com a corrente. O uso de uma corrente muito elevada pode, dependendo da espessura da junta, causar uma penetração excessiva e a formação de furos ou levar a formação de um cordão com uma razão penetração/largura muito alta (o que favorece o aparecimento de trincas no centro do cordão) e de mordeduras. Na soldagem SAW, o uso de corrente contínua e polaridade inversa (eletrodo positivo) resulta em uma maior penetração e uma menor taxa de fusão do que a polaridade direta. O uso de corrente alternada fornece resultados intermediários e minimiza a ocorrência de sopro magnético.

A tensão de soldagem influencia mais fortemente o comprimento do arco e a largura e a altura do reforço do cordão, tendo um efeito mais fraco na penetração e na taxa de fusão do eletrodo. Na deposição direta de cordões de solda sobre uma chapa, o uso de uma maior tensão causa um aumento do comprimento do arco e da largura do cordão e uma redução do seu reforço (figura 3). Na soldagem em chanfro, um valor elevado de tensão pode fazer com que o arco não atinja a raiz da solda e resulte de falta de penetração (figura 4). A tensão de soldagem é particularmente importante na soldagem com fluxos ligados (capazes de fornecer elementos de liga para a solda). Como o consumo de fluxo aumenta com a tensão de soldagem, maiores valores desta tendem a aumentar a quantidade de elementos de liga incorporados à solda. Uma estimativa inicial do valor de tensão a ser utilizado para um dado valor de corrente na soldagem SAW pode ser obtida através da equação:

$$V = 3,54 I^{0,344} \quad (200 < I < 1500A)$$

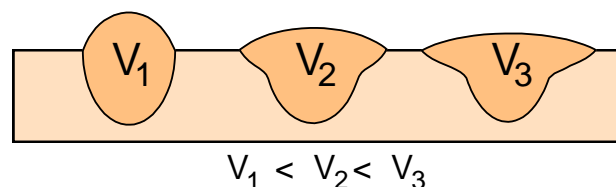


Figura 3 – Influência da tensão do arco no formato de cordões depositados sobre chapa⁽³⁾.

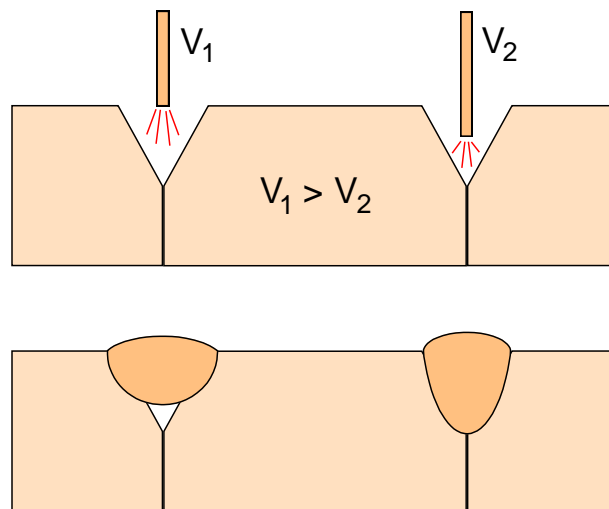


Figura 4 – Influência da tensão de soldagem no formato de cordões depositados em chanfro⁽³⁾.

A altura da camada de fluxo sobre o cordão é uma variável importante do processo SAW. Uma camada muito fina permite que parte de radiação do arco escape e não possibilita uma eficiente proteção contra a atmosfera. Uma camada muito espessa dificulta o escape dos gases gerados favorecendo a formação de cordões irregulares e com marcas superficiais.

A formação de trincas de solidificação é comum na soldagem SAW devido ao volume relativamente grande da poça de fusão neste processo. O formato da seção transversal do cordão é um fator importante para a sensibilidade à formação deste tipo de descontinuidade. Cordões estreitos e profundos (alta razão penetração/largura) tendem a apresentar trincas no seu centro e cordões com seção na forma de sino (resultantes do uso de uma tensão elevada e uma baixa velocidade de soldagem) podem apresentar trincas laterais (figura 5).

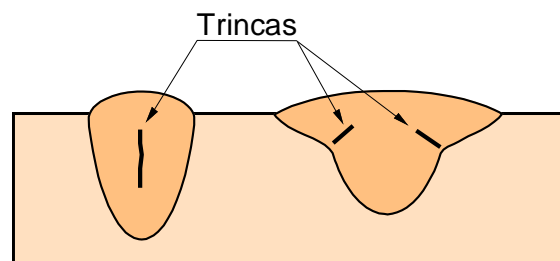


Figura 5 – Formação de trincas de solidificação.

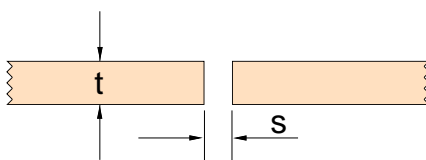
A soldagem SAW é realizada predominantemente de forma mecanizada. Nesta, as operações de acendimento do arco, a manutenção deste, alimentação de metal de adição e translação ao longo da junta são realizadas pelo próprio equipamento sob a supervisão do

operador. Neste caso, para a deposição de um cordão, o operador realiza basicamente as seguintes tarefas:

- Alinhamento da direção do movimento de translação a ser executado pelo cabeçote durante a soldagem com a direção da junta.
- Posicionamento do cabeçote na posição de início de soldagem e preparação para a abertura do arco.
- Abertura do arco: Uma técnica usual de abertura consiste na colocação de uma pequena quantidade de lã de aço entre o eletrodo e a peça. Com o início do processo, a corrente inicialmente passa pela lã de aço, vaporizando-a e causando a abertura do arco. Alternativamente, pode-se cortar a ponta do arame de forma bem pontiaguda. Estes procedimentos evitam que, no contato inicial do arame com a peça, passe uma corrente muito elevada, o que poderia ser prejudicial para o equipamento. Existem sistemas que possuem técnicas especiais para facilitar a abertura do arco e que dispensam os métodos citados acima.
- Supervisão do processo de soldagem, incluindo a verificação da correção dos parâmetros de soldagem e o alinhamento do cabeçote com a junta.
- Interrupção do arco.
- Limpeza, se necessária, do cordão depositado e preparação para a deposição do próximo cordão.

A tabela 2 ilustra parâmetros para a soldagem mecanizada ao arco submerso de juntas de topo de aço carbono sem preparação de chanfros.

Tabela 2 – Parâmetros para a soldagem SAW de juntas de topo sem chanfro⁽⁶⁾.



t (mm)	s (mm)	Diâmetro do arame (mm)	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade de soldagem (cm/min)
1,5	0	2,4	250-350	22-24	250-400
2,0	0	2,4	325-400	24-26	250-400
2,8	0	2,4	350-425	24-26	190-250
3,6	0-1,6	2,4	400-475	24-27	125-200
4,4	0-1,6	3,2	500-600	25-27	100-180
4,8	0-1,6	3,2	575-650	26-28	90-115
6,4	0-2,4	4,0	750-850	27-29	75-90
8,0	0-2,4	4,8	800-950	27-30	65-75

3. Procedimento:

- Inicialmente, os alunos e o instrutor discutem os objetivos, a parte teórica e a metodologia do trabalho. O instrutor mostra o equipamento a ser usado e demonstra o seu funcionamento. As regras de segurança são lembradas.
- Os alunos ajustam o equipamento e depositam cordões de cerca de 25cm de comprimento sobre chapas de aço doce com espessura entre cerca de 10 e 12mm. Os parâmetros de soldagem são alterados de forma sistemática entre um cordão e outro.

- O aspecto superficial dos cordões é observado e suas dimensões (largura e reforço) são medidas. Cada existam facilidades para tal, os cordões devem ser cortados transversalmente para análise macrográfica e avaliação do formato do cordão..
- Os alunos treinam a realização de cordões em outras posições de soldagem.
- Ao final do trabalho, os alunos e o instrutor discutem os resultados.

4. Resultados e Discussão:

Cordão Nº:	Parâmetros de Soldagem			Dimensões dos cordões (mm)		
	Corrente (A)	Tensão (V)	Vel. (cm/min)	Largura	Reforço	Penetração

- Diâmetro do eletrodo: mm
- Stickout: mm

5. Questões:

1. Como os fluxos utilizados na soldagem SAW podem ser classificados: (a) quanto ao seu método de fabricação e (b) quanto ao seu comportamento químico?
2. Quais são as principais funções desempenhadas pelo fluxo neste processo de soldagem?
3. Tente traçar gráficos mostrando as relações entre as dimensões dos cordões e os parâmetros de soldagem.

Bibliografia:

1. JONES, S.B. "Procedure selection in submerged arc welding" **Submerged Arc Welding**, Cambridge, The Welding Institute, 1978, pp. 37-42.

2. AMERICAN WELDING SOCIETY, **Welding Handbook**, Vol. 2, 8ª Edição, Miami, AWS,1991, pp. 191-231.
3. HORSFIELD, A. “The fundamental principles of submerged arc welding”, **Submerged Arc Welding**, Cambridge, The Welding Institute, 1978, pp. 2-8.
4. OKUMURA, T., TANIGUCHI, C. **Engenharia de Soldagem e Aplicações**, L.T.C., Rio de Janeiro, 1978, pp. 33-38 e 271-279.
5. PAVALEY, D.A. “Submerged arc welding variables” **Wire Industry**, novembro 1982, pp. 835-838.
6. SMITH, D., **Welding – Skills and Technology**, Nova Iorque, Mc Graw-Hill, 1984, pp. 462-493.