

20. Seleção do Processo de Soldagem

20.1) Introdução

Existem alguns materiais que não podem ser soldados, porém os que podem, não podem ser soldados por todo tipo de processo. Logo, antes de iniciar um trabalho de fabricação, é necessário a seleção de um processo de solda para realizar uma junta de especificações e qualidade desejadas. Alguns processos de soldagem estão associados com trabalhos específicos e indústrias. Por exemplo, Soldagem por Resistência por Pontos (RESISTANCE SPOT WELDING) é muito usado em trabalho com chapas metálicas na indústria automotiva e na fabricação de carcaças de geladeiras. Soldagem a Arco com Eletrodo de Tungstênio com Proteção Gasosa (GAS TUNGSTÊNIO ARC WELDING - GTAW) é bem aceito na fabricação de aeronaves, foguetes, mísseis e indústrias nucleares; soldagem por Arco Submerso (SUBMERGED ARC WELDING - SAW) é o único processo usado para soldagem em construção naval e na fabricação vasos de pressão; Soldagem por Feixe de Elétrons (ELECTRON BEAM WEALD - EBW) é principalmente empregado para soldar metais reativos, e Soldagem a Arco com Proteção Gasosa – Eletrodo Revestido (SHIELDED METAL ARC WELDING – SMAW) é usado para a solda de juntas com difícil acesso ou para soldagem de campo.

Em todos os casos acima, a seleção de processo pode ser atribuída ao fato de que a junta de solda de qualidade desejada seja realizada ao menor custo, assim sendo, custo é o principal critério de seleção. Em tais casos específicos pode não haver qualquer outra escolha e o exercício para seleção de um processo é redundante. Contudo, há muitas ocasiões onde vários processos podem ser igualmente empregados na fabricação do produto final. A seleção de processo é almejada para tais situações e, freqüentemente os processos escolhidos são os processos de solda à arco por fusão da família da soldagem à arco. A metodologia para seleção de processo para materiais específicos e indústrias é descrita resumidamente neste capítulo.

20.2) Critério para Seleção de Processo

Quando há múltiplas escolhas para a seleção do processo de soldagem a ser realizada em uma junta é essencial fundamentar a decisão final nas seguintes considerações.

- i) Considerações Técnicas;
- ii) Considerações de Produção;
- iii) Considerações Econômicas.

20.2.1) Considerações Técnicas

A maioria dos fatores que afetam as considerações técnicas são: as propriedades dos materiais, sua espessura, projeto da junta e, também, acessibilidade bem como a posição de soldagem.

20.2.1.1) Propriedades dos Materiais

Materiais como o aço com baixo carbono ou mais especificamente aço doce podem ser soldados por quase todos os processos, mas este não é o caso para todos materiais, como é o caso dos aços de alta liga, alumínio, cobre, titânio, etc. As principais propriedades do material

que afetam a seleção de um processo de soldagem para a realização de solda de uma junta de qualidade desejável são: condutividade térmica, coeficiente de expansão térmica, reação com oxigênio atmosférico, resíduo de fluxo, e sensibilidade de trinca.

- *Condutividade Térmica:* Materiais com alta condutividade térmica apresentam problemas no processo de soldagem, pois este pode não conseguir prover calor adequado para fundir o material à taxa desejada. Isto indica porque materiais como o cobre e o alumínio são difíceis de soldar. Se a condutividade térmica do material é muito baixa, como é o caso do aço inoxidável, há um acúmulo excessivo de calor ao redor da poça de solda, resultando em um aquecimento diferencial com conseqüente desenvolvimento de tensões residuais.
- *Coefficiente de Expansão Térmica:* Materiais com altas taxas de expansão térmica conduzem a uma expansão e contração diferencial no aquecimento e resfriamento respectivamente durante a soldagem. Isto pode resultar em distorção e/ou tensões residuais. Alumínio, cobre, zinco, estanho e suas ligas têm alto coeficientes de expansão térmica e são, portanto, de difícil de serem soldados.
- *Oxidação:* Materiais que oxidam através da reação com o oxigênio atmosférico são bastante difíceis de soldar. O exemplo mais comum que podemos citar é o alumínio e suas ligas que oxidam em atmosfera normal causando dificuldades consideráveis na dispersão ou dissolução dos óxidos que dificulta a qualidade aceitável nas juntas soldadas.

Comparando com o alumínio, alguns outros materiais são ainda mais difíceis de trabalhar; por exemplo titânio e zircônio. Estes materiais reativos requerem eliminação completa de oxigênio das imediações da zona de solda, necessitando assim do uso de Soldagem à Arco com Eletrodo de Tungstênio com Proteção Gasosa (GTAW) para propósito geral de fabricação, e mais caro a Soldagem com Feixe de Elétrons (EBW) para a fabricação de componentes críticos.

- *Resíduo de Fluxo:* A soldagem de alumínio através do processo de Soldagem Oxiacetileno e Eletrodo revestido (SMAW) podem necessitar do uso de fluxos. O resíduo de tais fluxos é altamente reativo, afetando as propriedades e desempenho da solda. Isto requer um cuidado impecável na remoção de tal resíduo de fluxo, conduzindo assim ao aumento de custos.
- *Sensibilidade à Trinca:* Alguns materiais têm alta afinidade por hidrogênio a elevadas temperaturas resultando assim na absorção deste gás proveniente da umidade e produtos de hidrocarboneto na forma de óleo e graxa ao redor do equipamento de soldagem e consumíveis. O hidrogênio residual em metal de solda conduz freqüentemente a formação de trincas frias (aços de alta resistência) e ou porosidade (alumínio) afetando o sucesso na fabricação ou o desempenho da junta de solda. Assim o processo de soldagem selecionado para unir tais materiais deve ser o que assegura a ausência ou eliminação de hidrogênio da zona de poça de solda. Por isso o processo Oxiacetileno e Eletrodo Revestido(SMAW) são evitados, pois nestes processos há alta possibilidade que o hidrogênio seja absorvido.

20.2.1.2) Espessuras do Material

A espessura do material possui uma papel vital na seleção do processo de soldagem. Por exemplo, lâmina de metal ($\leq 3\text{mm}$ de espessura) pode ser melhor soldada por Soldagem por Resistência, Soldagem Oxacetileno, Soldagem a Arco com Metal-Gás Inerte (MIG) / com Metal-Gás Ativo (MAG) - (GMAW), Soldagem à Arco com Eletrodo de Tungstênio com Proteção Gasosa (GTAW), Soldagem Arame Tubular (Fluxo Cored Arc Welding - FCAW), Soldagem a Laser, Soldagem a Ultra-som e Soldagem por Feixe de Elétrons (EBW). Chapas de espessuras finas (3-6mm) e médias (6-20mm) podem ser soldadas por Soldagem a Arco MIG/MAG (GMAW), Soldagem por Arco Submerso (SAW), FCAW, Soldagem Eletro – Gás

(EGW), Soldagem por Feixe de Elétrons (EBW), de médio e alta potência. Chapas espessas (20-75mm) e muito espessas (>75mm) podem ser melhor soldadas através da Soldagem por Arco Submerso (SAW), Soldagem Elétroescória (ESW), Soldagem por Feixe de Elétrons (EBW) de alta potência e Soldagem Térmica.

A figura 20.1 mostra as faixas normais de espessura de alguns dos processos de soldagem estabelecidos na fabricação industrial:

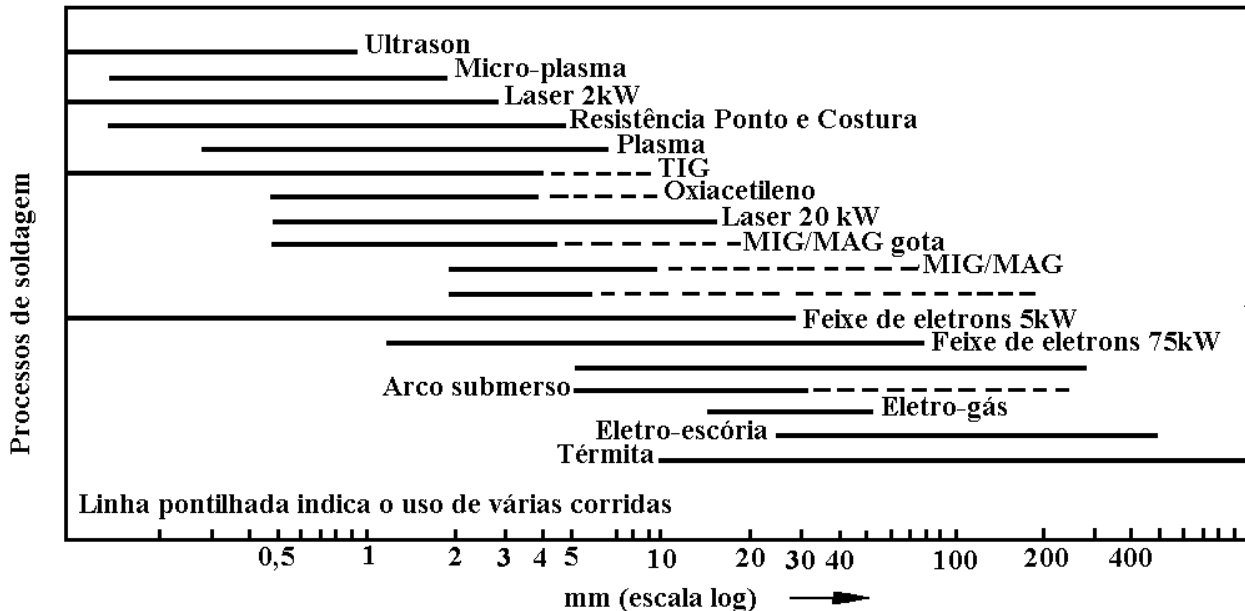


Figura 20.1 – Faixas normais de espessura para diferentes processos de soldagem para soldagem de lâminas e chapas.

A espessura do material controla a taxa de resfriamento e decide o fluxo de calor requerida por unidade de tempo para alcançar uma boa solda. Altas espessuras significam altas taxas de resfriamento e conseqüente aumento na dureza do material significará que a taxa de resfriamento também será alta, aumentando assim a dureza do material e a ZTA. Isto pode conduzir freqüentemente em absorção de hidrogênio e em conseqüência pode originar trincas. Para contornar estes problemas é comum a realização de um pré-aquecimento e um tratamento térmico pós-solda. Porém, o custo da solda por unidade de comprimento fica mais caro, podendo inviabilizar o processo. O pré-aquecimento também é empregado para soldar metais não ferrosos de alta condutividade térmica, para assegurar a devida fusão entre a solda e o metal de base.

20.2.1.3) Projeto e Acessibilidade da Junta

A seleção de um processo de soldagem também é baseada no tipo de junta de solda. Por exemplo, a solda em lâminas de metal sobrepostas pode ser feita facilmente por Solda Resistência por Ponto e Costura, eixos podem ser unidas por Soldagem por Atrito ou Topo Sob Pressão (FLASH BUTT WELDING), chapas em ângulo e espessas podem ser soldadas convenientemente através da Soldagem por Arco Submerso (SAW), tubos de pequenos diâmetros podem ser melhor soldados por GTAW (TIG), na solda de topo reto em chapas muito espessas é satisfatório o processo de Soldagem Eletroescória (ESW) ou Soldagem Térmica. Nestes casos específicos não é possível mudar facilmente os processos citados para algum outro. Porém quando o objetivo a ser soldado for extremidades chanfradas em "V", em

chapas de espessura média, é possível usar os processos de Eletrodo Revestido (SMAW), MIG/MAG (GMAW), Soldagem por Arame Tubular (FCAW) e Soldagem por Arco Submerso (SAW) com igual sucesso. Em extremidades chanfradas em "U" são similarmemente convenientes aos processos de soldagem à arco, porém é obviamente não apropriada para a Soldagem por Feixe de Elétrons (EBW), para o qual a solda de topo com zero de abertura é o projeto de junta mais apropriado. A tabela 20.1 fornece um guia para determinar a possibilidade de utilização de diferentes tipos de processos conhecidos para juntas de solda.

A fácil acessibilidade é outra consideração importante para selecionar um processo de soldagem. Por exemplo, para o emprego do processo de Soldagem por Arco Submerso (SAW) é imperativo um espaço adequado para o soldador ter mobilidade para observação visual e controle; porém solda em fendas estreitas e fundas pode ser realizado por Soldagem por Feixe de Elétrons (EBW) e Soldagem a Laser. O processo de Soldagem por Arco Submerso (SAW) pode não ser capaz de soldar juntas entre chapas verticais pouco espaçadas, mas já a tocha de MIG/MAG e Soldagem por Arame Tubular (GMAW/FCAW) poderiam ser bem convenientes para a realização do trabalho. A solda de uma fenda estreita, porém, exigiria uma tocha de MIG/MAG (GMAW) especialmente projetada para alcançar a devida fusão das paredes laterais.

Tabela 20.1- Tabela de compatibilidade de alguns processos de soldagem com os tipos de juntas

Processo	Lâminas e Chapas	Grandes Canos e cilindros	Junta sobreposta	Junta a topo em tubos	Junta a topo em barras	Unições	Juntas em ângulo ou "T"
Oxiacetileno	√	√	√				
Eletrodo Revestido	√	√	√	√		√	√
Arco Submerso	√	√					√
TIG	√	√	√	√		√	√
Plasma	√	√	√	√			
MIG/MAG	√	√	√	√		√	√
Arame Tubular	√	√	√	√		√	√
Eletroescória	√						√
Eletro-gás	√						√
Resist. por pontos	√	√	√			√	
Resist. por costura	√	√	√			√	
Resist. de Topo						√	√
Topo Sob Pressão				√	√		
Fricção				√	√	√	
Projeção				√	√	√	
Feixe de elétrons	√	√	√	√	√	√	√
Térmita					√		√
Difusão				√	√	√	√
TIG (pontos)						√	
MIG/MAG(pontos)						√	

20.2.1.4) Posição de Soldagem

Alguns processos como Eletrodo Revestido, MIG/MAG, TIG, etc. podem ser realizadas em qualquer posição enquanto outras são limitadas a uma ou poucas posições. Por exemplo, Soldagem a Arco Submerso é mais apropriada para soldagem vertical descendente ou plana enquanto Soldagem por Eletroescória é freqüentemente aplicada para soldagem vertical ascendente.

Para pequenas soldagens, as capacidades de posição podem não ser de grande importância, pois os produtos e as peças podem ser giradas até a posição mais vantajosa para soldagem. Para soldagem de campo, particularmente para grandes estruturas, não é possível que as giremos até a melhor posição. Por exemplo, para a fabricação de tanques de armazenamento de óleo, precisa-se que se solde usando principalmente posições horizontais e verticais de soldagem. Isto geralmente significa condições difíceis de soldagem, baixos padrões de corte e, além disso, aumento de problemas em alcançar a qualidade de solda desejada. Para tais situações um simples processo de soldagem como Eletrodo Revestido trabalha melhor. Por outro lado, soldagem de canos de pequenos diâmetros pode ser feita em qualquer posição e para tal trabalho métodos de soldagem mecanizados empregando carro de solda “welding bugs” servem bem. Um guia para selecionar processos de alta deposição para diferentes posições de soldagem estão resumidos na tabela 20-2.

Tabela 20.2 Seleção de processos para diferentes posições de soldagem.

Posição de Soldagem	Processos de soldagem		
	Arco Submerso	MIG/MAG/Arame	Eletroescória
Plano ou de cima para baixo	R	R	NR
Horizontal de ângulo	R	R	NR
Horizontal	P	R	NR
Vertical	NR	R	R
Sobre cabeça	NR	R	NR
Cano sem rotação	NR	R	NR

R – Recomendada, P – Possível mas não popular, NR – Não recomendada

20.2.2) Considerações de produção

As considerações de produção que afetam a seleção de processos para juntas de solda incluem a forma e o tamanho da peça a ser trabalhada, as taxas de deposição, a disponibilidade de materiais a serem consumidos durante o processo, a manutenção do equipamento, fumos e respingos causados durante a operação, o pré-aquecimento e o tratamento necessário pós-solda, a habilidade requerida do operador, a possibilidade de mecanização e automação e a compatibilidade com outros processos.

20.2.2.1) Forma e Tamanho da Peça a ser Trabalhada

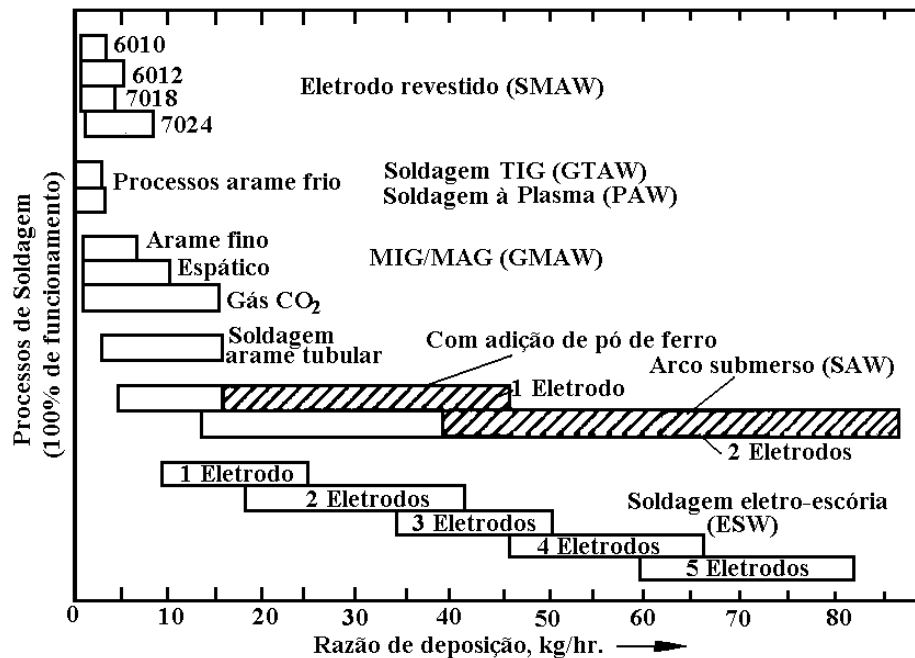
A forma e o tamanho da peça a ser trabalhada podem afetar a seleção de um processo de soldagem. Por exemplo, peças de grande tamanho ou com formas complexas são difíceis de serem soldadas por Soldagem por Feixe de Elétrons (EBW) devido a natureza de sua operação e o tamanho da câmara de vácuo requerida. Similarmente, nem todas as formas de peça podem ser soldadas através de soldagem a fricção. Assim, em tais caso a seleção pode ser limitada unicamente aos processos de soldagem a arco.

20.2.2.2)Taxa de deposição

Quando material é depositado, como é na maioria dos processos de soldagem a arco, pode ser exigido alcançar uma taxa mínima de deposição de metal para cumprir os planos de entrega exigidos. Por exemplo, na soldagem de juntas longas e retas de chapas espessas para construção naval é mais conveniente usar soldagem a arco submerso com altas taxas de deposição do que qualquer outro processo; enquanto que para formas mais complicadas, a taxa de deposição desejada pode ser conseguida através do processo de soldagem a arco com eletrodo revestido.

Em geral a produtividade de um processo de soldagem a arco, incluindo Soldagem Elétroescória (ESW), é baseado na sua taxa de deposição e é melhor sempre se referenciar nos dados disponíveis do assunto antes de se fazer uma seleção. A figura 20.2 mostra um resumo da taxa de deposição baseada em um ciclo de trabalho de 100% para os processos mais comumente usados desta categoria.

Figura 20.2
Tipo de Processo
de soldagem versus
razão de deposição.



20.2.2.3)Disponibilidade de Materiais a Serem Consumidos Durante o Processo

A seleção de um processo de soldagem também pode ser afetada pela disponibilidade de materiais a serem consumidos durante o processo. Por exemplo, para soldagem de uma determinada liga de alumínio pode não ser possível adquirir o arame tubular cobreado com o fluxo apropriado, limitando o uso do processo FCAW. Fácil disponibilidade e suprimento regular são essenciais para o uso de um processo sem interrupção e portanto somente devem ser selecionados aqueles processos onde não haja escassez de materiais consumíveis.

20.2.2.4)Manutenção do Equipamento

Um serviço técnico de manutenção apropriado deve estar sempre disponível para manter o equipamento trabalhando em ordem. Assim, se um equipamento moderno e sofisticado for instalado, deve-se assegurar que em caso de defeitos pode-se obter uma ajuda técnica a curto prazo e custos razoáveis. Caso contrário a operação de soldagem pode ser interrompida causando atraso nos prazos de entrega, aumentando os custos da soldagem. Tais

eventualidades podem surgir com o uso dos equipamentos EBW, soldagem a laser, soldagem a ultra-som, os avançados sistemas de soldagem sinérgicos, ou até mesmo unidades de solda por resistência com circuitos elétricos complicados.

20.2.2.5) Ventilação

No caso de um processo com geração excessiva de fumos pode ser necessário o uso de um sistema de ventilação mais efetivo ou até a instalação de um sistema de exaustão para uma estação individual de soldagem, para evitar a interferência na operação de outras unidades.

20.2.2.6) Respingos

Os processos nos quais são gerados respingos em excesso são de difíceis de serem empregados nas proximidades de outras máquinas e unidades. Por exemplo o processo de soldagem com CO₂ está sempre associado a uma considerável ou até mesmo excessiva quantidade de respingos, e assim a necessidade de manter sua operação longe das outras máquinas e produtos acabados. A subsequente remoção dos respingos também envolve trabalho extra e limita seu uso a um trabalho comparavelmente mais grosseiro.

20.2.2.7) Habilidade Requerida pelo Operador

A habilidade do operador é outro fator muito importante na seleção de um processo de soldagem. Se os operários não são capazes de operar habilmente um sistema este não será utilizado de forma ótima. Este fator pode restringir seriamente a introdução de equipamento mais moderno e sofisticado. Esse é o motivo pelo qual é muito mais fácil introduzir o processo de Soldagem com Eletrodo Revestido e o processo de Soldagem Oxiacetileno em um novo local do que introduzir os processos MIG/MAG e TIG. Alternativamente, gastos extras podem ter que ser incorridos no treinamento da força de trabalho para manejar mais produtivamente novos processos.

20.2.2.8) Compatibilidade do Processo

Alguns dos processos de soldagem como Soldagem por Fricção, Soldagem Ultra-sônica, podem ser convenientemente instalados ao lado de outros processos tais como usinagem, enquanto que em processos de Soldagem a Arco ou Soldagem de Topo sob Pressão, tem que se manter uma razoável distância de outras máquinas para evitar os respingos e faíscas provenientes de seu funcionamento. A necessidade de compatibilidade entre diferentes processos deve, entretanto, ser checada no estágio de seleção para evitar problemas posteriores.

20.2.2.9) Mecanização e Automação

Nem todos os processos de soldagem podem ser mecanizados, logo é essencial avaliar a necessidade para a mecanização ou automação no estágio apropriado. Por exemplo o processo de Soldagem com Eletrodo Revestido não pode ser mecanizado no sentido real do termo, enquanto que o processo MIG/MAG e Soldagem por Resistência por Pontos podem ser facilmente utilizados nos seus modos mecanizados.

Com o crescente uso de robôs é imperativo manter em mente os futuros potenciais dos processos enquanto se seleciona um processo de soldagem, particularmente para o uso em indústrias com alto volume de. Enquanto MIG/MAG e Soldagem por Resistência por Pontos podem encontrar uso extensivo no modo automatizado há mínimas chances dos processos de Eletrodo Revestido, Arco Submerso e Oxi-gás serem utilizados desta maneira.

20.2.3) Considerações Econômicas

A totalidade dos planejamentos de preparação de um negócio em engenharia visam o ganho de lucros, portanto o custo de um produto tem que ser mantido a um mínimo consistente com a qualidade desejada. Logo, no caso de dois ou mais processos coincidirem nos requerimentos técnicos e de produção, o custo do trabalho de soldagem para cada um deve ser determinado antes que se faça a seleção final.

O custo de soldagem é composto de diferentes componentes que são expressos abaixo na forma da equação 20.1.

$$C_t = C_{wl} + C_{al} + C_{oh} + C_c + C_{pm} \quad \dots\dots\dots(20.1)$$

Onde,

- C_t = custo total de soldagem
- C_{wl} = custo de trabalho direto na soldagem
- C_{al} = custo de trabalho auxiliar
- C_{oh} = custo administrativo
- C_c = custo de consumíveis
- C_{pm} = custo de manutenção

Esses custos irão variar de acordo com o processo de soldagem, mas como o processo de soldagem a arco cobre a maioria dos trabalhos de soldagem realizados no mundo, então a presente discussão será direcionada somente a esse tipo de processo de soldagem.

20.2.3.1) Custo de Trabalho Direto na Soldagem

Um técnico de soldagem gasta tempo não somente na soldagem propriamente dita mas também na preparação ou montagem de componentes pregando ou apertando. Ele também pode ser requisitado para pegar instruções conexas com o processo de soldagem. Algum tempo pode ser gasto na espera pelo trabalho a ser entregue para conduzir de um local para o outro. Como o ser humano não pode trabalhar continuamente ao longo de seu turno um artigo atenuante tem que ser feito para o operador de soldagem descansar. Logo, no processo de soldagem a arco o tempo do soldador consiste de quatro elementos como se segue:

$$\begin{aligned} \text{Tempo total de trabalho} &= \text{tempo real de soldagem} + \\ &+ \text{tempo gasto na montagem, preparação e instrução} + \\ &+ \text{tempo de espera} + \\ &+ \text{tempo o de descanso.} \quad \dots\dots\dots (20.2) \end{aligned}$$

Então se o ciclo de trabalho do soldador puder ser expresso em função do ciclo real de soldagem como uma porcentagem do tempo total de trabalho então fica fácil de selecionar um processo para um determinado trabalho:

Ciclo de trabalho do soldador = (tempo real de soldagem/tempo total de soldagem)*100%(20.3)

Altos ciclos de trabalho podem ser alcançados na soldagem de longos cordões comparando com curtas corridas de solda em uma peça de trabalho de forma complicada.

Na seleção de um processo de soldagem visa-se procurar por um processo que possa proporcionar um elevado ciclo de trabalho. Altos ciclos de trabalho tendem a favorecer Sistemas de alimentação contínua como MIG/MAG e Arco Submerso; estes processos são os mais apropriados para longas juntas ininterruptas. Mas quando curtas corridas de solda são necessárias é melhor que se use Eletrodo Revestido, onde o fácil manuseio ajuda em aumentar o inerente baixo ciclo de trabalho.

20.2.3.2)Custo de Trabalho Auxiliar

Ocasionalmente um soldador precisa de um ajudante para cumprir o serviço rápido e satisfatoriamente. Quando empregado o custo de tal trabalho auxiliar, este deve ser levado em conta ao se fazer a seleção do processo de soldagem.

Se pudermos reduzir ou até mesmo extinguir esse serviço auxiliar estaremos diminuindo o custo de soldagem. Por exemplo, a soldagem de peças de aço de alta resistência requer um pré-aquecimento juntamente com o processo com Eletrodo Revestido. Uma mudança para MIG/MAG ou Arco Submerso habilita o pré-aquecimento a ser reduzido ou eliminado pois estes processos resultam em muito menos hidrogênio no metal de solda.

20.2.3.3)Custos Administrativos

Os custos administrativos causados pelo estabelecimento de um quadro administrativo, projetistas, lojas e compras, controle de qualidade, vendas e administração em geral precisam ser analisados para estabelecer o que é geralmente feito por adicionar estes custos aos custos de soldagem para chegar ao custo final do produto ou fabricação. Frequentemente isso é feito somando-se uma porcentagem fixa de 150% a 350% aos custos de trabalho.

20.2.3.4)Custo de Consumíveis

O custo dos consumíveis inclui o custo de eletrodos, gás, água, etc., utilizados na deposição de metal de solda propriamente dita. A esse custo pode ser somado o custo da eletricidade, gás combustível, etc. Às vezes partes substituíveis do equipamentos são também consideradas como um componente dos consumíveis. Por exemplo, contatos, bicos, bocais, cabos e até mesmo tochas de MIG/MAG podem ser considerados como consumíveis.

20.2.3.5)Custos de Manutenção

Manutenção de máquinas na forma de consertos pode algumas vezes ser um custo considerável. Ao selecionar um processo é essencial levar em conta o seu custo de manutenção da fonte de força e o equipamento relacionado. Enquanto que o custo de manutenção de um transformador de soldagem pode ser quase desprezível, um aparelho motor gerador necessita de custo regular de manutenção e reparos.

20.2.3.6) Depreciação e Juros

O custo de um equipamento de soldagem precisa ser recuperado para substituição do mesmo depois que sua vida útil terminar. Isso é normalmente feito cobrando uma porcentagem fixa do custo inicial em relação aos custos de soldagem. Assim um equipamento mais caro conduzirá a maior juro e custo de depreciação do equipamento. Altas quantias podem ser investidas na compra de equipamento moderno de alta produção e custoso somente se há pedidos que assegurem manter o equipamento ocupado o suficiente para cobrir os gastos junto com a obtenção dos lucros. A tabela 20.3 dá uma diretriz sobre os custos comparativos, consumíveis necessários e o modo no qual são normalmente usado, não somente para soldagem a arco mas também o equipamento para alguns outros importantes processos de soldagem industrial.

Tabela 20.3 – Custo relativos de equipamentos para diferentes processos de soldagem

Nu- mero	Processo	Unidad e de Custo	Consumíveis usados	Modo de Operação
1	Eletrodo revestido–Indust. (SMAW)	1	Eletrodos	Manual
2	SMAW portátil, montagem em geral	3	eletrodos	manual
3	Eletrodo revestido longo	4	eletrodos	Automático
4	Soldagem à arco submerso(SAW)	10	Fluxo, arame	Automático
5	Eletroescória (com eletrodo)	20.5	Fluxo, arame	Automático
6	Eletroescória guia consumível	4	Fluxo, arame	Automático
7	TIG (d.c.)	1,5	Gás, Arame(+/-)	Manual, automático
	TIG (a.c.)	2.5	Gás, Arame(+/-)	Manual, automático
	TIG (pulsado)	6-10	Gás	automático
8	Micro plasma	2.5	Gás	Manual,automático
9	MIG/MAG	1.5-5	Gás, arame	Semi-automático, automático
10	Stud – Soldagem autógena	4	Colares, ferrolhos	Automático, semi- automático,
11	Descarregamento de capacitor	1-4	Autógena especial	Automático, semi- automático
12	Descarregamento por faísca	0,2-5	-	Manual,automático
13	Resistência por ponto e costura	1.5-15	-	Automático
14	Projeção	1.5-15	-	Automático
15	Caldeação autógena	4-50	-	Automático
16	Resistência de topo	0,5-10	-	Automático
17	Soldagem oxi gás combustível	0.2	Gás,arame(+/-) Fluxo (+/-)	Manual, automático
18	Soldagem térmita	0.25	Moldes, pó	Automático
19	Soldagem por Feixe de Elétrons	10-150	-	Automático
20	Soldagem de estado sólido por atrito	4-100	-	Automático
17	Sold. de estado sólido por difusão	10.5	-	Automático
18	Soldagem à laser	10-50	Gás(+/-)	Automático

Como o custo do equipamento será distribuído em função do número de componentes ou unidades produzidas é essencial avaliar a ordem de serviço ou o volume necessário a ser trabalhado.

Além das considerações técnicas, de produção e econômicas, a seleção de processos também pode ser baseado no tipo de produto a ser fabricado.

20.3)Tipos de Produto

Para a fabricação por soldagem todos os produtos podem ser divididos em três principais tipos: fabricação estrutural de grande porte, componentes de engenharia e produtos semi-acabados.

20.3.1)Fabricações Estruturais

As fabricações estruturais são realizadas unindo-se várias pequenas seções e até mesmo grandes seções e placas estruturas para construir grandes. Devido ao tamanho e forma da estrutura final, os sistemas de soldagem são normalmente deslocados para o local de trabalho. Essas estruturas podem necessitar tanto cordões de solda curtos como também longos. Tais estruturas podem ser navios, pontes, estruturas metálicas de construções, vasos de pressão, tanques de armazenamento, usinas químicas e de fertilizantes, guindastes, grandes estruturas de tornos, equipamento de remoção de terra, chassis de automóveis e vagões de trem.

As fabricações estruturais normalmente requerem processos manuais ou semi-automáticos de soldagem a arco como Eletrodo Revestido, Arame Tubular, MIG/MAG, Soldagem a Arco Submerso e Eletroescória.

20.3.2) Elementos de Engenharia

Os elementos de engenharia são construções compactas, normalmente com alto grau de simetria e que podem ser levados à máquina de soldagem ou instalações para fabricação. A maioria dos componentes de produção em massa pertencem à essa categoria. Por exemplo componentes como pequenos vasos de pressão, eletrodomésticos, grandes máquinas de rotação, corpos de válvula, cilindros hidráulicos, eixos traseiros de automóveis, suspensão, engrenagens e peças de transmissão.

Os elementos de engenharia podem ser soldados por uma larga variedade de processos freqüentemente nos seus modos mecanizados ou automáticos. Além do processo de Soldagem a Arco, União por Difusão, Soldagem por Fricção e por Feixe de Elétrons podem ser empregados dependendo do material, precisão e condições de serviço as quais a peça será submetida. Processos de soldagem por resistência como por ponto, por costura e soldagem por projeção assim como soldagem de topo e por caldeação autógena são extensivamente empregadas na fabricação de pequenos componentes de engenharia feitos de chapas de metal ou pequenas peças usinadas.

20.3.3)Produtos Semi-acabados

Produtos produzidos continuamente em uma instalação fixa normalmente com solda contínua são chamados de produtos semi-acabados e incluem seções soldadas como I, T,

seções em canal, tubos soldados longitudinalmente e em espiral, tubos finos, lâminas de serra circular, malha de arame soldada e outros produtos semelhantes.

Produtos semi-acabados são normalmente produzidos por um processo de soldagem contínua com máquinas automáticas com alimentação altamente desenvolvida e equipamento de manuseio de produto. Os processos de soldagem mais adequados para tais fabricações incluem alguns tipos de processos de soldagem a arco, soldagem de resistência de alta frequência e indutância e soldagem por resistência de topo, soldagem por resistência por costura e soldagem por feixe de elétrons.

20.4)Quadro de Fluxo para Seleção de Processos

Após as considerações sobre a discussão realizada nas seções anteriores, é possível construir um quadro de fluxo para a seleção de um processo de soldagem apropriado para alcançar um trabalho específico através da soldagem. Uma diretriz para construir tal quadro de fluxo é obtida pela dada na figura 20-3. Neste quadro de fluxo, a ênfase tem sido dada na soldagem de diferentes tipos de aços. Contudo, em algum caso específico o quadro de fluxo final dependerá das variáveis induzidas com dado de entrada.

20.5)Conclusões

É evidente baseado na discussão do assunto de seleção de um processo de soldagem para fabricar uma dada estrutura ou um componente em que a seleção precisasse ser baseada em uma cuidados análise das considerações técnicas, de produção e econômicas assim como o tipo de produto. Na maioria das vezes a seleção é feita entre os processos de soldagem a arco e por isso a ênfase nestes processos tem sido dada no quadro de fluxo dado na figura 20.3. Pode, contudo, ser mantido em mente que a escolha final pode não ser limitada a um simples processo, ao contrário mais de um processo pode ser empregado para realizar o trabalho como é evidente no seguinte exemplo.

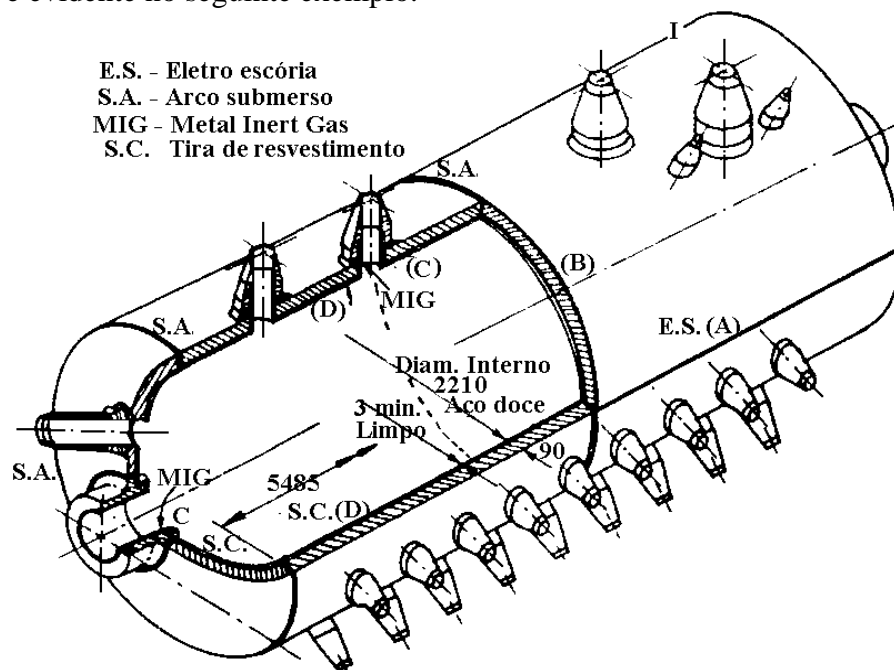


Fig. 20.4 – Características gerais de construção de um tambor de vapor d'água revestido para usinas nucleares.

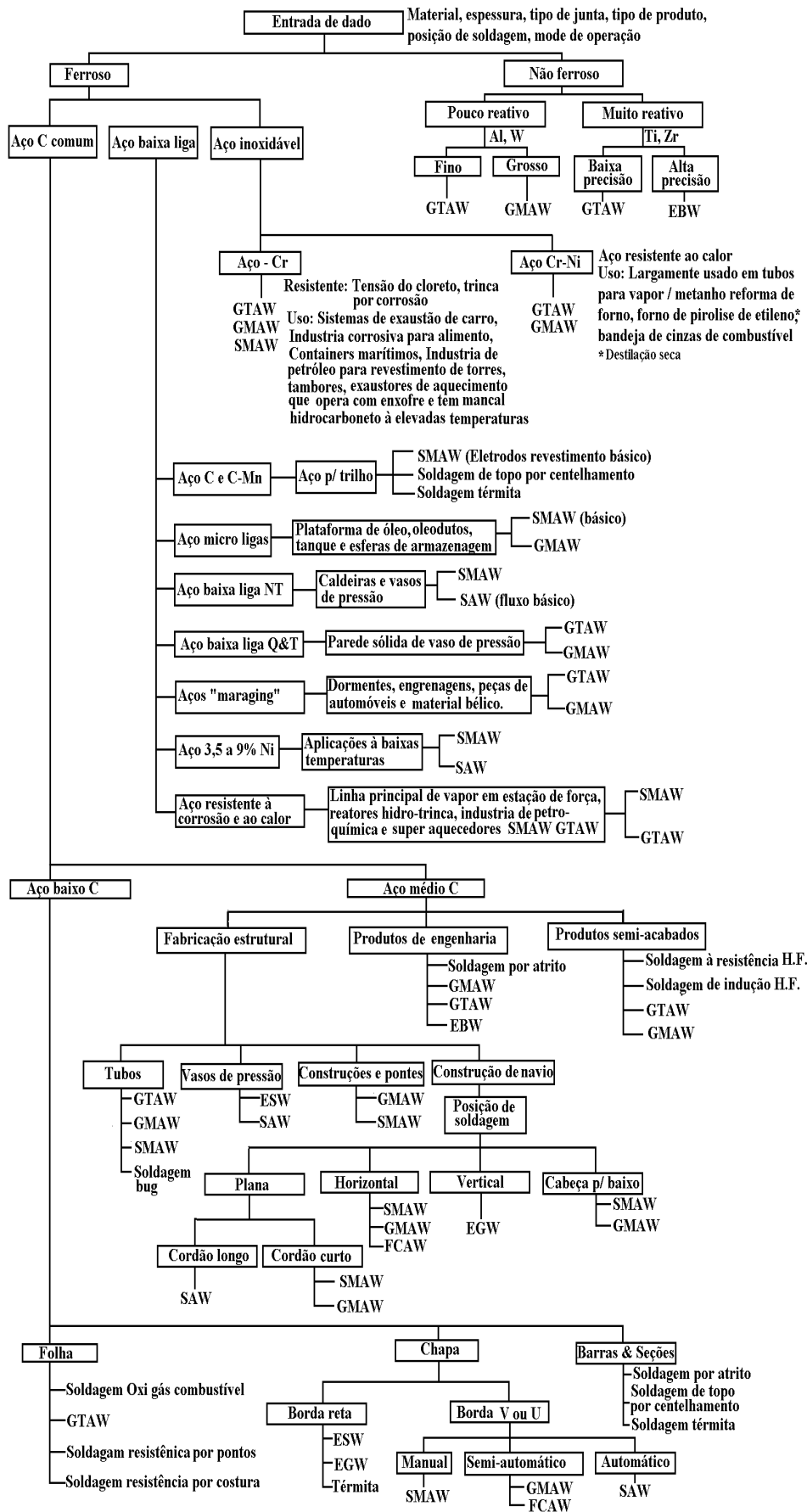


Fig. 20.3 – Fluxograma para seleção de processo

Problema 20.1

É necessário a fabricação de um tambor de vapor de água de 90 mm de espessura de parede revestida internamente por aço inoxidável austenítico com uma espessura 3 mm como mostrado na figura 20.4 para usar em usina nuclear. Selecione o processo apropriado para realizar o trabalho.

Recomendações: Uma possível resposta para o problema pode ser dada como se segue.

Juntas A: Soldagem por Eletroescória com um simples eletrodo oscilante parece ser uma escolha adequada para fazer estas soldas longitudinais.

Juntas B: Para fazer os cordões de solda circunferencialmente no tambor, Arco Submerso poderia possivelmente alcançar o alvo desejado colocando-se a unidade de soldagem no topo e rotacionando o tambor à velocidade de soldagem requerida. O recolhimento de fluxo pode ser feito providenciando-se um suporte e uma bandeja de recolhimento abaixo do tambor. O fluxo não utilizado e recolhido pode ser reciclado.

Juntas C: As passagens de entrada e saída podem ser soldadas às bordas da carcaça do tambor por Arco Submerso com fluxo removível colocando o tambor na posição vertical e rotacionando-o à velocidade de soldagem desejada.

Juntas D: Vários bicos precisam ser soldados ao tambor. Estas juntas sendo pequenas podem ser convenientemente realizadas pelo processo MIG/MAG usando proteção de gás inerte.

Revestimento: O revestimento interno do tambor com aço inoxidável austenítico pode ser efetivamente feito por revestimento por camadas onde as partes principais partes do tambor são envolvidas. Contudo, áreas curvas podem ser cobertas somente usando MIG/MAG ou TIG com arame de preenchimento.

Bicos tendo pequeno tamanho não podem ser coberto por camadas. A escolha pode então ser baseada em Eletrodo Revestido, MIG/MAG ou TIG para cobrir pequenas zonas. Bicos que são de 150 mm ou menos em furo pode ser revestido com Eletrodo Revestido somente até duas vezes o diâmetro do furo devido ao problema da acessibilidade. Logo, um adequado processo MIG/MAG automaticamente desenvolvido pode ter mais sucesso. Alternativamente TIG com arame de preenchimento pode também ser empregado.

No momento em que o processo de revestimento automático não puder ser realizado com sucesso, Eletrodo Revestido pode ser a única alternativa.

As sugestões acima tem sido baseadas nas considerações de produção para a fabricação. Contudo, se a construção similar for feita, a maioria do trabalho poderia ter que ser realizada a um custo consideravelmente alto por Eletrodo Revestido; isto também envolveria um maior tempo de produção e o produto final poderia possivelmente ser de baixa qualidade.