

ARCO SUBMERSO



ÍNDICE

DESCRIÇÃO GERAL DA SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO	2
SELEÇÃO DO ARAME E DO FLUXO	11
PROJETO E PREPARAÇÃO DA JUNTA.....	31
SOLDAGEM.....	68
PROCEDIMENTOS E DICAS OPERACIONAIS.....	104

*Elaborado, traduzido (parte) e adaptado por
Cleber Fortes – Engenheiro Metalúrgico, M.Sc.
Assistência Técnica Consumíveis – ESAB BR*

*Revisado por
Welerson Araújo – Engenheiro Metalurgista, M.Sc.
Desenvolvimento e Pesquisa – ESAB BR*

Última revisão em 20 de maio de 2004

Introdução

Essa apostila de soldagem por arco submerso foi preparada para profissionais atuantes na área de soldagem, tanto na área técnica quanto na comercial. Ele não fornece instruções específicas de operação de equipamentos, mas apenas uma explicação sucinta da teoria básica. Seu principal objetivo é apresentar procedimentos, tabelas e outras informações operacionais úteis no planejamento e na execução de aplicações básicas de soldagem de união ou de revestimento por arco submerso.

Para outras informações que não estejam contempladas nessa apostila, consulte a assistência técnica, seu representante ESAB ou a filial ESAB mais próxima.

Manuais de instruções operacionais para os equipamentos ESAB estão disponíveis mediante solicitação nas filiais ESAB. Todos eles contêm informações de segurança que devem ser lidas e observadas por todos os operadores de equipamentos.

Capítulo 1

Descrição geral da soldagem por arco submerso

Definição

Soldagem por arco submerso é um método no qual o calor requerido para fundir o metal é gerado por um arco formado pela corrente elétrica passando entre o arame de soldagem e a peça de trabalho. A ponta do arame de soldagem, o arco elétrico e a peça de trabalho são cobertos por uma camada de um material mineral granulado conhecido por fluxo para soldagem por arco submerso. Não há arco visível nem faíscas, respingos ou fumos.

Escopo geral

Corrente de soldagem — correntes até 2.000 A, CA ou CC, com um único arame.

Espessuras — soldagem monopasse até 16 mm de espessura e soldagem multipasse sem limite de espessura.

Velocidade de soldagem — até 400 cm/min com um único arame. Maiores velocidades podem ser alcançadas com vários arames na mesma poça de fusão.

Posição — a alta corrente de soldagem aliada ao alto aporte térmico cria uma grande poça de fusão. Sob tais condições, as soldas devem ser mantidas na horizontal para evitar escorrer. Soldas com pequenas poças de fusão podem ser inclinadas por até 15° da horizontal sem grande dificuldade. Se o tamanho dos passes for limitado, soldas horizontais podem ser executadas em superfícies verticais, desde que seja providenciado um suporte adequado para o fluxo.

Vantagens do processo

- ❑ elevada velocidade de soldagem;
- ❑ maiores taxas de deposição;
- ❑ boa integridade do metal de solda;
- ❑ processo de fácil uso;
- ❑ melhor ambiente de trabalho e maior segurança para o operador.

Limitações do processo

O processo de soldagem por arco submerso é limitado às posições de soldagem plana e horizontal em ângulo.

Elementos da soldagem por arco submerso

Cinco elementos estão presentes na execução de uma solda por arco submerso:

- ❑ calor gerado pela passagem de uma corrente elétrica através de um arco;
- ❑ arame para soldagem — consumível;
- ❑ as peças a serem soldadas;
- ❑ fluxo para arco submerso - um composto mineral granulado para soldagem;
- ❑ o movimento relativo entre o cabeçote de soldagem e as peças de trabalho.

Seqüência geral de atividades

Reduzindo a soldagem por arco submerso aos seus termos mais simples, considerando o equipamento já montado e em uso, a seqüência geral de atividades para fazer uma solda por arco submerso é a seguinte:

Ajuste do equipamento de soldagem

Para os detalhes descritos a seguir, veja a Figura 1.

- ❑ O cabeçote de soldagem deve ser montado em conformidade com as instruções fornecidas.

- ❑ O cabeçote, o painel de controle e o carretel são montados em um dispositivo móvel.
- ❑ O caminho a ser percorrido pelo equipamento deve estar livre e disponível.
- ❑ A fonte de soldagem é conectada à rede elétrica. São conectadas, através de cabos elétricos, a fonte de soldagem ao cabeçote e à peça de trabalho.



Figura 1 - Equipamento de soldagem

Preparação das peças de trabalho

Para os detalhes descritos a seguir, veja a Figura 2.

- ❑ Determina-se o tipo de junta mais adequado para a solda a ser executada. Preparam-se e limpam-se as regiões a serem soldadas.
- ❑ Se aplicável, coloca-se o cobre-juntas.
- ❑ As peças a serem soldadas são colocadas em posição para soldagem. Normalmente elas são ponteadas ou presas por dispositivos auxiliares para mantê-las na posição desejada.

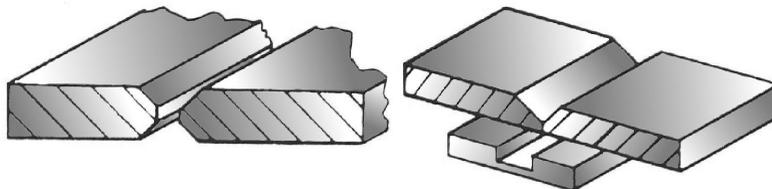


Figura 2 - Preparação das peças de trabalho

Preparação para a soldagem

Para os detalhes descritos a seguir, veja a Figura 3.

- ❑ Cada elemento da soldagem por arco submerso tem um efeito sobre a solda concluída. Os valores para a tensão e corrente de soldagem, a composição e o diâmetro do arame de soldagem para o tipo de junta escolhida e o material a ser soldado são determinados das tabelas aplicáveis. É responsabilidade do operador ajustar e verificar as condições adequadas de soldagem e ajustar o equipamento para manter as condições pré-ajustadas e produzir a solda.
- ❑ A bobina de arame de soldagem é instalada no carretel. A extremidade da bobina é inserida nas roldanas do dispositivo de alimentação de arame e alimentada até alcançar as peças de trabalho. O cabeçote de soldagem é então posicionado de forma que o arame fique pronto para iniciar a solda.
- ❑ O fluxo requerido é colocado no silo do cabeçote de soldagem. Uma quantidade do fluxo é depositada até cobrir a região de soldagem no ponto inicial da solda.
- ❑ Os controles são ajustados para estabelecer as condições adequadas de soldagem: corrente, tensão e velocidade de soldagem.

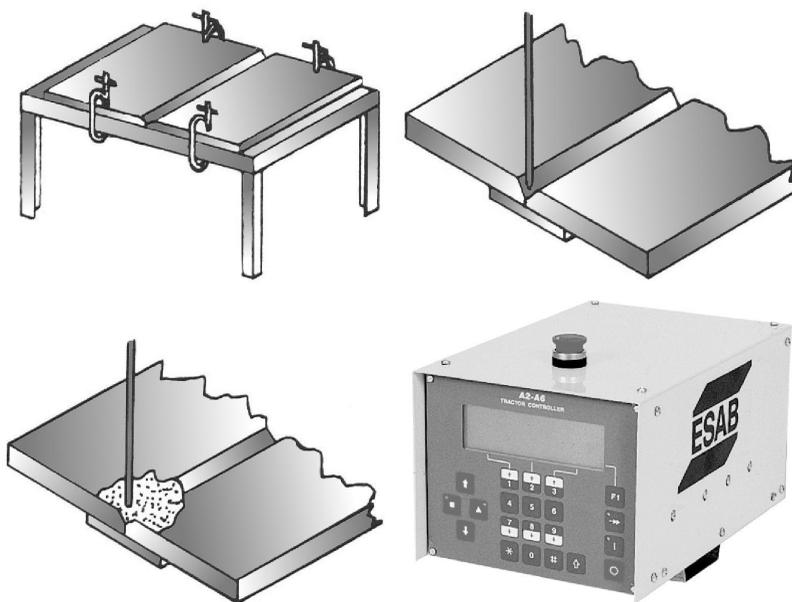


Figura 3 - Preparação para a soldagem

A atividade de soldagem

Quando o equipamento de soldagem é ajustado para operação, vários fatos ocorrem em uma rápida seqüência:

- ❑ um arco elétrico é estabelecido quando a corrente flui entre o a-rame e a peça;
- ❑ o dispositivo de alimentação do arame começa a empurrar o a-rame a uma velocidade de alimentação controlada;
- ❑ o carro inicia seu deslocamento ao longo do cordão de solda (manual ou automaticamente);
- ❑ o fluxo para soldagem por arco submerso é alimentado através do tubo do silo e distribui-se continuamente sobre o cordão de solda por uma pequena distância à frente da região de soldagem.

O enorme calor desenvolvido pela passagem da corrente de soldagem através da zona de soldagem funde a extremidade do arame e as bordas adjacentes das peças de trabalho, criando uma poça de metal fundido. Esta poça está em um estado líquido bem fluido e é turbulenta. Por essas razões, qualquer escória ou quaisquer bolhas de gás são prontamente varridas para a superfície. O fluxo para soldagem por arco submerso protege completamente a região de soldagem do contato com a atmosfera. Uma pequena quantidade de fluxo se funde. Essa porção fundida tem várias funções: ela cobre completamente a superfície da solda, evitando a contaminação do metal de solda por gases atmosféricos; dissolve e portanto elimina as impurezas que se separam do metal fundido e flutuam em sua superfície; e também pode ser o agente de adição de certos elementos de liga. A combinação de todos esses fatores resulta em uma solda íntegra, limpa e homogênea.

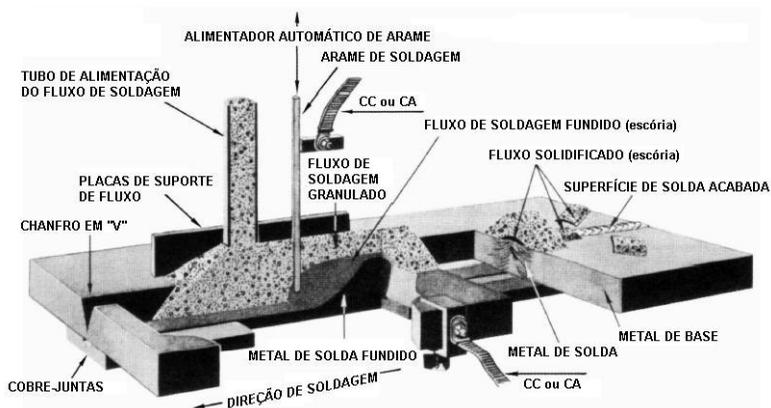


Figura 4 - O processo de soldagem por arco submerso

À medida que o cordão de solda é constituído, a parte fundida do fluxo se resfria e endurece, formando um material duro e vítreo, que protege a solda até seu resfriamento, sendo normal seu completo destacamento da solda.

Desde que adequadamente executadas, as soldas por arco submerso não apresentam fagulhas, tornando desnecessários equipamentos de proteção contra a radiação. Não há respingos a serem removidos.

Princípios básicos - teoria de controle de alimentação do arame de soldagem

As altas velocidades de soldagem e altas taxas de deposição que são características do processo de soldagem por arco submerso requerem um controle automático do motor que alimenta o arame de soldagem à solda. Nenhuma mão de soldador seria capaz de alimentar suavemente o arame de soldagem a velocidades comparáveis às de uma máquina de soldagem por arco submerso. Tampouco ele poderia manter o controle preciso das mesmas condições de soldagem.

O sistema de controle automático e a fonte de energia empregados na soldagem por arco submerso atuam para manter constantes a tensão e a corrente de soldagem.

Relação entre a tensão de soldagem e a distância entre o arame e a peça de trabalho

A tensão de soldagem é proporcional ao comprimento do arco:

- ❑ se a distância entre o arame e a peça aumentar, a tensão de soldagem aumentará;
- ❑ se a distância entre o arame e a peça diminuir, a tensão de soldagem diminuirá;

- se a distância entre o arame e a peça se mantiver constante, a tensão de soldagem permanecerá constante;

Taxa de fusão versus taxa de alimentação do arame

Fonte de corrente constante

- se, por um curto período de tempo, a corrente fluindo através da região de soldagem fundir o arame a uma taxa maior que a de sua alimentação, a distância entre o arame e a peça aumentará e a tensão de soldagem aumentará;
- inversamente, se, por um curto período de tempo, o arame for alimentado mais rapidamente que sua taxa de fusão, a distância entre o arame e a peça diminuirá e a tensão de soldagem diminuirá;
- uma tensão de soldagem constante pode ser mantida se for empregada uma unidade de controle que automaticamente varie a taxa de alimentação do arame à medida que a tensão de soldagem se altere.

Fonte de tensão constante

- com uma fonte de tensão constante, a tensão do arco é mantida pela fonte. A corrente do arco é controlada pela velocidade de alimentação do arame, de modo que um aumento nesse parâmetro produzirá um aumento da corrente;
- portanto, o sistema de alimentação do arame é simplificado para um dispositivo de velocidade constante e o controle do arco é realizado pela fonte de energia.

Capítulo 2

Seleção do arame e do fluxo

O processo de soldagem por arco submerso

Dois materiais devem ser escolhidos para a soldagem por arco submerso: o arame de soldagem e o fluxo, os quais devem satisfazer em termos de qualidade e de economia aos requisitos das soldas a serem executadas (veja a Figura 5).

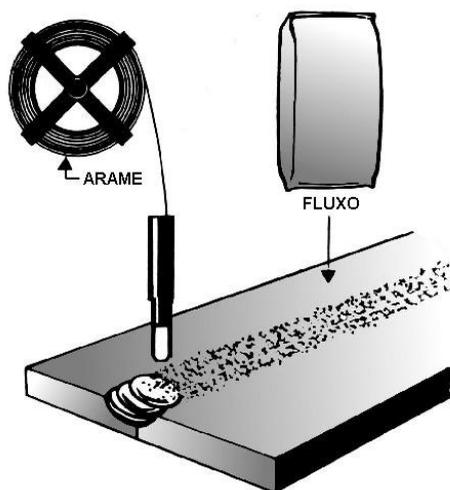


Figura 5 - Seleção do arame e do fluxo

Dois fatores influenciam a escolha do fluxo:

- ❑ características de desempenho;
- ❑ propriedades mecânicas.

Para muitas soldas, as características de desempenho ditam que fluxos podem ser empregados. As características de desempenho incluem facilidade de remoção da escória, capacidade de remoção de óxidos e carepa, capacidade de condução de corrente elétrica, possibilidade de uso de vários arames e possibilidade de aplicação de corrente alternada.

As propriedades mecânicas são de importância primária para muitas aplicações críticas tais como vasos de pressão e serviços a baixas temperaturas. Para essas soldas, deve haver um compromisso das características de desempenho para satisfazer às propriedades mecânicas requeridas.

O principal fator que governa a escolha do arame de soldagem é sua influência na composição química e propriedades mecânicas da solda.

As propriedades mecânicas e químicas de uma solda por arco submerso são determinadas principalmente por quatro fatores:

- ❑ a composição do metal de base;
- ❑ a composição do arame empregado;
- ❑ o fluxo empregado
- ❑ as condições de soldagem.

A composição do metal de base é o fator mais importante em quatro a cinco passes, já que a razão entre o metal de base fundido e o metal de adição pode ser tão alta como 2:1 (veja a Figura 6). Na maioria dos outros processos de soldagem por fusão, os procedimentos de soldagem multipasse devem ser empregados, minimizando a influência da composição química do metal de base.

Fluxos para soldagem por arco submerso são escolhidos para muitos trabalhos por suas características de desempenho, isto é, faci-

lidade de remoção da escória, capacidade de remoção de óxidos e carepa, capacidade de condução de corrente elétrica, possibilidade de uso de vários arames e bons resultados no emprego de corrente alternada. Para algumas aplicações críticas e para a maioria das soldas multipasse em peças com espessuras acima de 25 mm, as propriedades mecânicas são prioritárias, obrigando ao uso de uma classe determinada de fluxos.

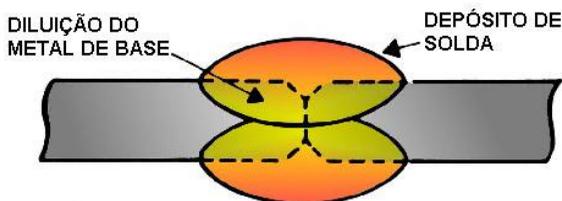


Figura 6 - Composição do metal de solda

Arames para soldagem por arco submerso são escolhidos por sua influência nas propriedades mecânicas e/ou na composição química requerida para o metal de solda.

Fluxos para soldagem por arco submerso

Os fluxos para soldagem por arco submerso são compostos minerais granulares e fusíveis que cobrem o arco e produzem proteção, limpeza e controle da geometria do cordão de solda. Eles influenciam fortemente a usabilidade e as propriedades mecânicas do metal de solda. Muitos fluxos diferentes estão disponíveis, cada um oferecendo suas características peculiares de desempenho, permitindo otimizações de processo para os diferentes requisitos de aplicação.

Fluxos aglomerados

Os fluxos aglomerados são fabricados através da mistura seca de seus ingredientes, que são aglomerados com uma solução aquosa de silicato de sódio e/ou de potássio (veja a Figura 7). A massa resultante é pelotizada, seca e reduzida mecanicamente a partículas que são peneiradas e classificadas para obter:

- ❑ melhor desempenho na remoção de óxidos e carepa;
- ❑ menor consumo de fluxo — 30 - 40% menor que fluxos fundidos;
- ❑ baixo custo de fabricação;
- ❑ bom desempenho sobre uma gama de aplicações com uma única distribuição granulométrica;
- ❑ podem ser ligados;
- ❑ soldas livres de porosidade mesmo com óxidos e carepa.

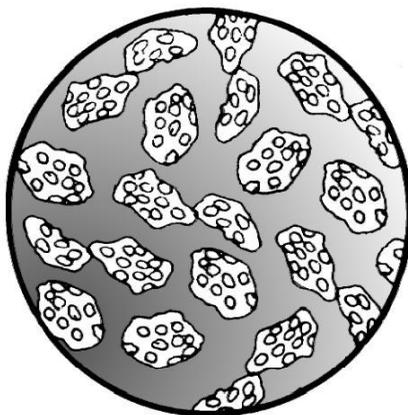


Figura 7 - Aspecto dos grãos de fluxos aglomerados



Figura 8 - Fábrica de fluxos aglomerados

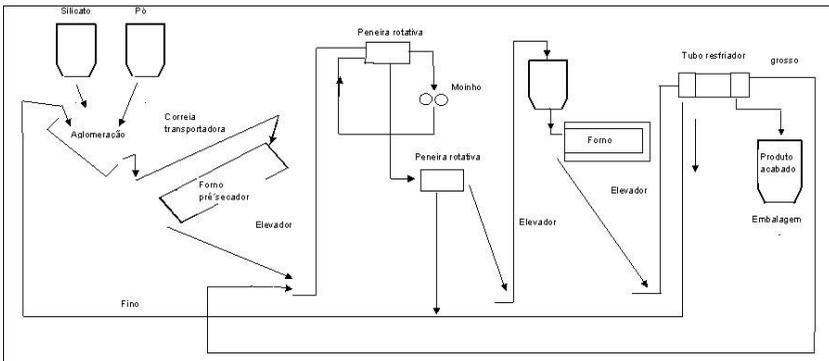


Figura 9 - Fluxograma de fabricação de fluxos aglomerados

Como as partículas dos fluxos aglomerados não são quimicamente homogêneas, a remoção de finos pode alterar a composição química do metal depositado e conseqüentemente suas propriedades mecânicas.

Fluxos fundidos

Os fluxos fundidos são fabricados através da mistura seca de seus ingredientes, que são então fundidos em um forno elétrico (veja a Figura 10). O banho é vazado e sofre um choque térmico, que reduz o fluxo a partículas de tamanhos variados (veja a Figura 11), que são peneiradas e classificadas para obter (veja a Figura 12):

- ❑ composição química apropriada (requerida);
- ❑ material (produto) homogêneo;
- ❑ custo de fabricação elevado;
- ❑ não higroscópico (não contém água quimicamente ligada);
- ❑ soldas mais consistentes com menor risco de trincas por hidrogênio;
- ❑ maior estabilidade do arco, mesmo em correntes elevadas;
- ❑ maiores velocidades de soldagem e possibilidade de reciclagem.



Figura 10 - Forno elétrico para a fabricação de fluxos fundidos



Figura 11 - Forno elétrico e mesa resfriadora empregados na fabricação de fluxos fundidos



Figura 12 - Aspecto dos grãos de fluxos fundidos

Fluxos neutros x fluxos ativos

As expressões **neutro** e **ativo** são freqüentemente utilizadas para descrever o comportamento do fluxo e geralmente referem-se ao teor de manganês e/ou de silício que será transferido do fluxo para o metal de solda (veja a Figura 13). Esses são termos relativos que dependem da composição do fluxo, da composição química do arame e da razão entre a escória e o arame fundido.

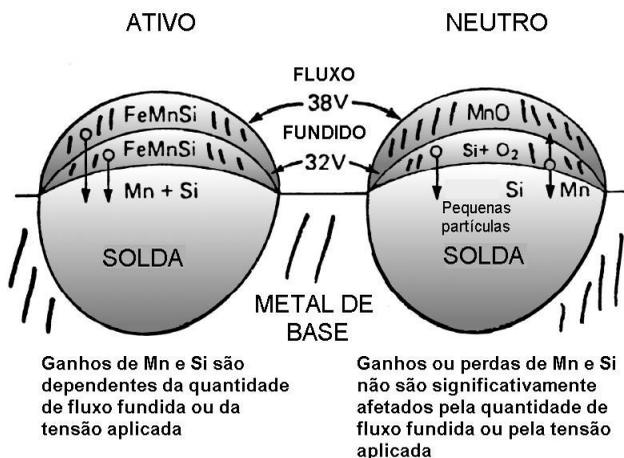


Figura 13 - Fluxo ativo x fluxo neutro

Fluxos neutros são definidos pelo ASME/AWS como "aqueles que não produzem alterações significativas na composição química do metal depositado como resultado de grandes mudanças na tensão do arco e, portanto, no comprimento do arco". Conseqüentemente, a resistência mecânica do depósito de solda não é significativamente alterada pela quantidade fundida de fluxo, que varia com a tensão de soldagem. O uso principal dos fluxos neutros é em soldas multipasse

de peças com espessuras acima de 25 mm. Esses fluxos apresentam maior sensibilidade à porosidade e às trincas.

Fluxos ativos são definidos pelo ASME/AWS como "aqueles que contêm pequenas quantidades de manganês, silício ou ambos, que são desoxidantes adicionados ao fluxo para melhorar a resistência à porosidade e a trincas causadas pelos contaminantes no metal de base ou dele provenientes". Normalmente, o uso desses fluxos fica restrito a peças com espessuras menores que 25 mm, sendo aplicável a soldas monopasse ou com poucos passes. Maiores tensões de soldagem causam aumento significativo do consumo de fluxo, aumentando os teores de manganês e/ou de silício no depósito de solda e, conseqüentemente, aumentando também sua resistência mecânica e dureza e diminuindo sua tenacidade.

Fluxos ligados

Fluxos ligados podem ser definidos como aqueles que contêm, além de manganês e silício, elementos de liga tais como:

- cromo
- níquel
- molibdênio
- cobre

As principais aplicações dos fluxos ligados são aços de baixa liga e revestimento duro.

Classificação quanto à neutralidade

Os fluxos aglomerados fabricados pela ESAB são classificados quanto à neutralidade conforme a Tabela I:

FLUXO	NEUTRALIDADE
OK 10.35H OK 10.35 OK 10.60 OK 10.81W OK 10.92B	LIGADO
OK 10.61B OK 10.62B OK 10.70B OK 10.71 OK 429	NEUTRO
OK 10.81 OK 10.81B OK 10.82B OK 350	ATIVO

Tabela I - Classificação de fluxos OK quanto à neutralidade

ATENÇÃO:

Todas as recomendações de seleção de consumíveis são baseadas em uma avaliação de propriedades mecânicas, parâmetros típicos de procedimento e na experiência. É responsabilidade do usuário determinar a adequação dos consumíveis à sua aplicação, considerando os procedimentos particulares a serem aplicados e os requisitos do trabalho específico.

Classificação quanto à basicidade

Índice de basicidade (IB)

Os fluxos também são classificados pelo IIW (*International Institute of Welding*) quanto à composição química pelo índice de basicidade, calculado pela Equação [1]

$$[1] \text{ IB} = \frac{\text{CaO} + \text{CaF}_2 + \text{MgO} + \text{BaO} + \text{SiO} + \text{Li}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \frac{1}{2}(\text{MnO} + \text{FeO})}{\text{SiO}_2 + \frac{1}{2}(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2)}$$

- ❑ fluxos ácidos: $\text{IB} < 1,0$
- ❑ fluxos semi-básicos: $1,0 \leq \text{IB} < 1,5$
- ❑ fluxos básicos: $\text{IB} \geq 1,5$

Arames de soldagem

Uma vez que o fluxo foi escolhido por suas características de desempenho, pode ser selecionado um arame de soldagem para obtenção das propriedades mecânicas requeridas para a solda.

Para algumas aplicações críticas as propriedades mecânicas governam a escolha do par arame-fluxo. A seleção da combinação cor-

reta pode determinar apenas um arame e um fluxo que atendam a todas as necessidades.

A Tabela II mostra a composição química típica e as especificações aplicáveis dos arames ESAB.

Arame	AWS	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Nb	N
OK Autrod											
12.10	EL12	0,10	0,04	0,44				0,16			
12.20	EM12K	0,11	0,26	0,95				0,34			
OK Tubrodur											
35	-	0,10	0,80	2,00	2,50	0,20	0,60				
40	-	0,12	0,40	2,90	3,00		0,80				
410 NiMo	-	0,06	0,40	1,00	13,00	4,50	1,00				
410 M	-	0,12	0,45	1,25	12,00	2,30	1,25		0,25	0,22	
412 N	-	0,05	0,50	1,30	12,00	4,50	1,00		0,08	0,08	0,065
420	-	0,23	0,50	1,25	12,50		0,20				
OK Tubrod											
B2	-	0,13	0,40	1,00	1,40		0,50				
B2 M	-	0,08	0,50	1,10	1,10	1,20	0,50		0,20		
WS	ECW	0,06	0,40	1,00	0,55	0,65		0,70			
M2	ECM2	0,075	0,45	1,40	0,35	1,90		0,55			
316 L	-	0,03	0,50	0,90	18,50	11,50	2,70				
430 S	-	0,05	0,50	1,20	16,50						

Nota: arames tubulares - composição química do metal depositado com a aplicação do fluxo OK 10.61B.

Tabela II - Composição química de arames OK

Escolha de combinações arame-fluxo

Arames para soldagem por arco submerso são escolhidos primeiramente por sua influência nas propriedades mecânicas e/ou na composição química requerida para o metal depositado. Carbono e manganês são os elementos de liga mais comuns, com adições de Si, Mo, Ni, Cr, Cu e outros elementos adicionados para aumentar a resistência mecânica e controlar as propriedades mecânicas a altas ou baixas temperaturas. Adições de manganês e silício também auxiliam na eliminação da porosidade gerada pelo gás CO.

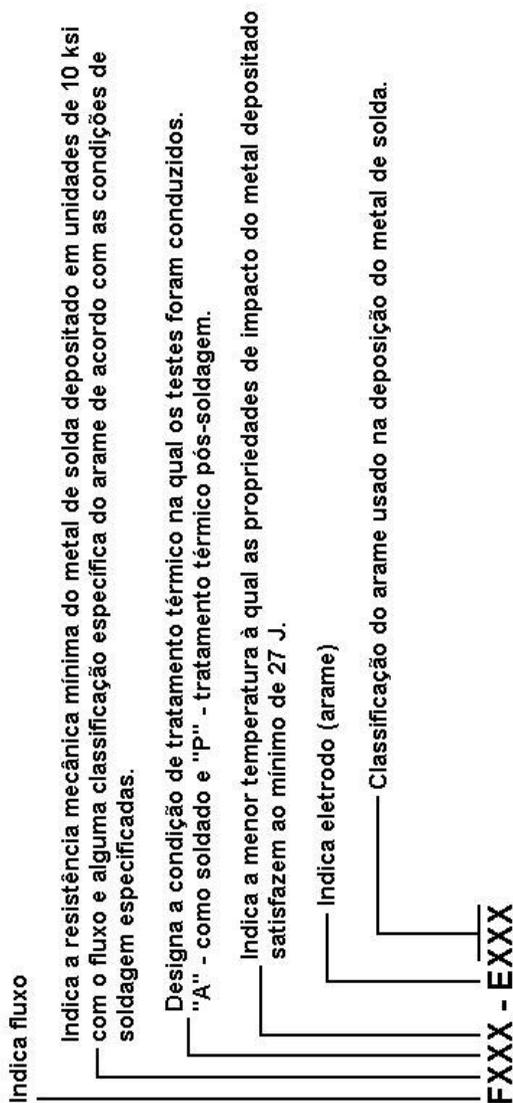
Os fluxos para soldagem por arco submerso são escolhidos para satisfazer aos requisitos de propriedades mecânicas em conjunto com um arame particular e também para atender às necessidades de desempenho de cada aplicação.

Classificações AWS / ASME

As classificações da AWS (*American Welding Society*) para combinações arame-fluxo auxiliam na escolha dos consumíveis adequados para cada aplicação.

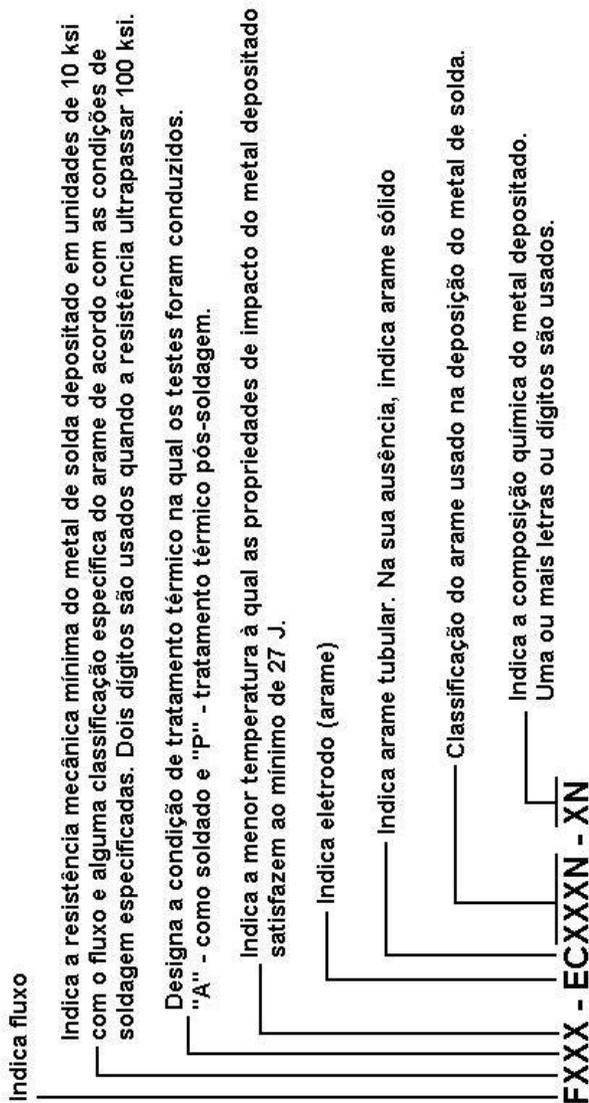
A AWS classifica arames de aço carbono e de baixa liga para soldagem por arco submerso pelas normas AWS A5.17 (ou ASME SFA5.17) e AWS A5.23 (ou ASME SFA5.23) pela faixa de composição química. Como as propriedades do metal de solda depositado pelo processo de arco submerso são afetadas pelo tipo de fluxo empregado, é necessário aplicar uma classificação separada para cada combinação arame-fluxo. Um arame pode ser classificado com vários fluxos.

A seguir são mostrados os dois sistemas de classificação de combinações arame-fluxo da norma AWS:



Exemplo:

F7A6-EM12K é uma designação completa. Refere-se a um fluxo que produzirá um metal de solda que, na condição como soldado, terá uma resistência à tração superior a 70 ksi (ou 485 MPa) e uma propriedade de impacto de pelo menos 20 lb.ft (ou 27 J) a -60°F (ou -51°C) quando depositado com um arame EM12K sob as condições estabelecidas na norma AWS / ASME.



Exemplo:
 F90-EB3-B3 é uma designação completa. Refere-se a um fluxo que produzirá um metal de solda que, na condição de tratado termicamente pós-soldagem, terá uma resistência à tração superior a 90 ksi (ou 620 MPa) e uma propriedade de impacto de pelo menos 20 lb.ft (ou 27 J) a 0°F (ou -18°C) quando depositado com um arame sólido EB3 sob as condições estabelecidas na norma AWS / ASME. A composição do metal de solda será EB3.

Efeito da diluição da solda e dos parâmetros de soldagem

Para atender aos requisitos de uma norma de fabricação, as propriedades mecânicas mínimas dos consumíveis são usualmente bem definidas. No entanto, quando é exigida uma conformidade com uma norma específica como, por exemplo a AWS D1.1 *Structural Code*, as listas de conformidade dos produtos ESAB devem ser estudadas.

Quando sua aplicação diferir das condições do corpo de prova em itens como aporte térmico, diluição (veja a Figura 14), espessura da peça ou tratamento térmico, seus efeitos nas propriedades mecânicas podem ser estimados. Como uma regra geral, quando o aporte térmico ultrapassa o valor de 2,3 kJ/mm empregado nos testes conforme a norma AWS, a tenacidade e a resistência da solda ficarão menores que os valores publicados nos catálogos. Quando são empregadas altas correntes, o aumento da diluição do metal de base em mais de 20% também diminuirá a tenacidade da solda relativamente aos dados de catálogo.

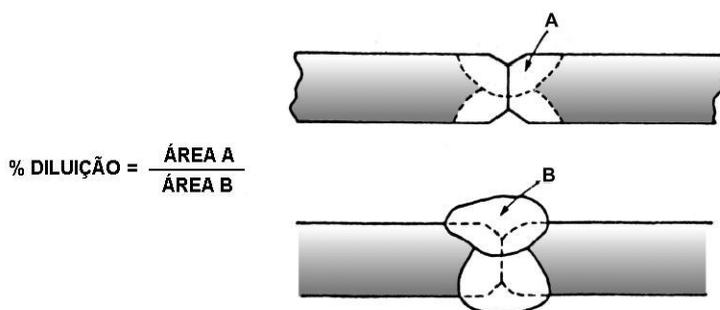


Figura 14 - Diluição

O comprimento do cordão e a taxa de resfriamento, medidos através do aporte térmico definido pela Equação [2],

$$[2] \quad \text{Aporte Térmico (kJ/mm)} = \frac{\text{Tensão do Arco} \times \text{Corrente} \times 60}{\text{Velocidade de Soldagem (mm/min)} \times 1000}$$

têm um efeito maior nas propriedades mecânicas. Em aplicações críticas, portanto, é normalmente necessário avaliar o desempenho do material, empregando a condição de soldagem em serviço ou através de um teste de um procedimento de soldagem previamente executado.

Escolhendo arames e fluxos para usos específicos

Quando se escolhe uma combinação arame-fluxo para uma determinada aplicação, as características de desempenho desejadas devem ser atendidas:

- facilidade de remoção da escória;
- capacidade de soldar sobre óxidos e carepa;
- possibilidade de soldar a altas velocidades;
- desempenho com vários arames;
- preço e consumo de fluxo com as propriedades mecânicas necessárias.

Em muitos casos, deve existir um compromisso — a combinação arame-fluxo que atenderá às propriedades mecânicas requeridas com o melhor desempenho possível na soldagem. Essa é a razão pela qual a combinação de catorze fluxos e catorze arames da ESAB pode tornar esse compromisso o mais aceitável!

A combinação do desempenho com a maioria das propriedades mecânicas abrangendo a maior parte das indústrias, tais como caldeiraria, naval, e automotiva, pode ser simplificada. O exemplo seguinte ilustra o que pode ser feito com a pré-seleção de combinações simplificadas de arame-fluxo.

Seleção simplificada de arame-fluxo

3 fluxos + 1 arame



Figura 15 - Consumíveis OK para a soldagem por arco submerso

Combinação de arame-fluxo pré-escolhida para a maioria das aplicações

Com catorze fluxos e catorze arames de diferentes tipos, a escolha de produtos para uma nova aplicação pode ficar confusa. No entanto, a seleção pode ainda ser simples para a maioria das aplicações de soldagem de alta qualidade de aços carbono.

OK Flux 429 + OK Autrod 12.20 ou

OK Flux 10.71 + OK Autrod 12.20 ou

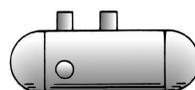
OK Flux 10.70B + OK Autrod 12.20 (com t^{90})



Soldagem de seções espessas de vasos de pressão e de equipamentos e de soldas estruturais.



Pontes
Soldas de Topo

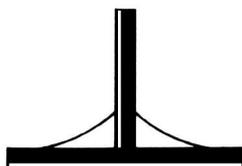


Vasos de pressão e caldeiras

Figura 16 - Combinações de arames OK com fluxos OK neutros

OK Flux 10.81B + OK Autrod 12.20 ou

OK Flux 10.81 + OK Autrod 12.20



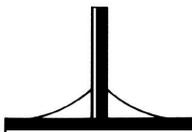
Juntas em ângulo na horizontal



Soldas monopasse,
baixa velocidade,
cordões largos

Figura 17 - Combinações de arames OK com fluxos OK ativos

**OK Flux 350 + OK Autrod 12.20 ou
OK Flux 10.82B + OK Autrod 12.20**



Juntas em ângulo na horizontal - melhor desempenho sobre superfícies com óxido e carepa



Tanques fabricados com chapas finas empregando altas velocidades de soldagem



Soldas de topo em chapas navais:
1, 2 ou 3 arames

Figura 18 - Combinações de arames OK com fluxos OK ativos de características de desempenho especiais

Capítulo 3

Projeto e preparação da junta

O projeto e a preparação da junta são dois dos fatores mais importantes na execução de uma solda por arco submerso. Para usufruir totalmente das vantagens da soldagem por arco submerso, a junta deve ser adequadamente projetada e preparada e deve estar razoavelmente uniforme ao longo dos cordões de solda. Caso contrário, o operador de solda terá que fazer tentativas para compensar as irregularidades. O tempo despendido na preparação adequada da junta é mais que compensado pelas maiores velocidades de soldagem e soldas de melhor qualidade.

Definição de termos

Penetração da junta é a profundidade de fusão medida da superfície original do metal de base (veja a Figura 19). É algumas vezes expressa como um percentual da espessura da junta.



Figura 19 - Penetração da junta

Reforço da solda é o metal de solda excedendo a quantidade necessária para o preenchimento da junta soldada (veja a Figura 20).

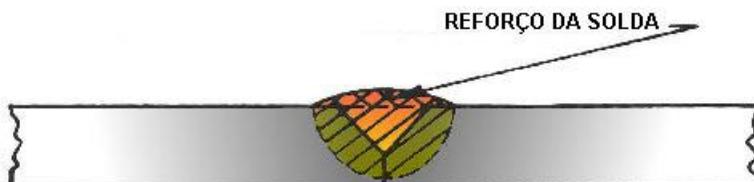


Figura 20 - Reforço da junta

Linha de fusão é a junção do metal de solda com o metal de base (veja a Figura 21).



Figura 21 - Linha de fusão

Zona termicamente afetada é uma parte do metal de base adjacente à solda que não foi fundido, porém teve sua microestrutura ou suas propriedades mecânicas alteradas devido ao calor (veja a Figura 22).



Figura 22 - Zona termicamente afetada

Suporte para o metal de solda fundido

Necessidade de suporte para o metal de solda fundido

A soldagem por arco submerso forma um grande volume de metal fundido que permanece fluido por um período de tempo considerável. É essencial que esse metal fundido seja suportado e contido até sua completa solidificação.

Uso de cobre-juntas para assegurar o suporte ao metal fundido

Existem cinco modos comumente empregados para suportar o metal de solda fundido:

- ❑ cobre-juntas não consumível;
- ❑ cama de fluxo;
- ❑ junta sem abertura de raiz;
- ❑ passe de selagem;
- ❑ cobre-juntas metálico consumível.

Os dois primeiros empregam cobre-juntas temporários que são removidos após o término da soldagem. Nos outros três, o cobre-juntas torna-se parte integrante da junta soldada.

Cobre-juntas não consumível

O cobre-juntas de cobre é freqüentemente utilizado como cobre-juntas não consumível na soldagem dos aços. É empregado quando o metal de base não tem massa suficiente para prover um suporte

adequado ao metal de solda ou quando deve ser obtida uma penetração completa em apenas um passe. O cobre-juntas de cobre é particularmente útil na soldagem de peças de pequena espessura. Vários tipos de cobre-juntas de cobre são mostrados na Figura 23.

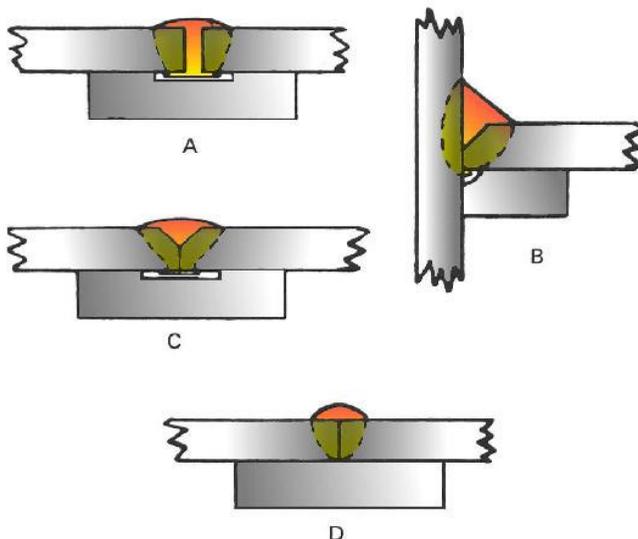


Figura 23 - Diversos tipos de cobre-juntas não consumíveis de cobre

Como o cobre é um excelente condutor de calor, ele resfria rapidamente o metal de solda fundido, fornecendo ao metal de solda o suporte necessário sem ser fundido por ele. Foram feitas algumas tentativas para substituir o cobre por ligas de cobre e por alumínio e suas ligas, porém os resultados não foram satisfatórios tanto no aspecto econômico quanto na qualidade do metal de solda produzido. Esse insucesso resulta da condutibilidade térmica apreciavelmente menor e também do menor calor latente de fusão das ligas alternativas em relação ao cobre. Por isso as ligas de cobre e o alumínio e suas ligas não conseguem suportar as altas temperaturas de solda-

gem e se deterioram rapidamente em serviço, mesmo que possuam inicialmente uma resistência à abrasão maior.

É essencial que o cobre-juntas de cobre seja pressionado contra a base da junta para evitar que o metal de solda escorra por entre a raiz da junta e o cobre-juntas.

O cobre-juntas de cobre deve ser entalhado ou rebaixado para facilitar a penetração do metal de solda na raiz da junta (veja a Figura 24). Na prática, o entalhe não é usado em chapas com espessura abaixo de 10 MSG para não reduzir a capacidade de resfriamento rápido do cobre. Para chapas com espessura acima de 10 MSG, as dimensões do entalhe variam de 0,5 mm a 2,0 mm de profundidade e de 6,5 mm a 20 mm de largura, sendo que as dimensões do entalhe aumentam com a espessura. Os cantos do entalhes podem ser arredondados. O entalhe é maior para as chapas mais espessas para evitar que a capacidade de resfriamento do cobre dificulte uma penetração completa e para permitir um reforço adicional na raiz da junta. Entalhes mais largos permitem maiores desalinhamentos nas peças, o que é conveniente para a soldagem de peças de grande comprimento.

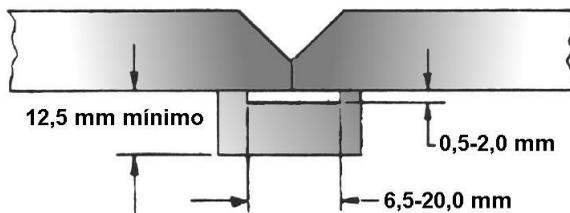
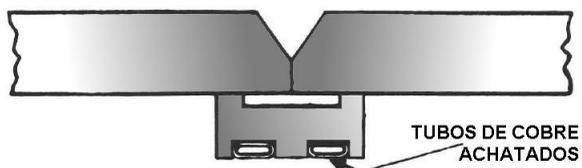


Figura 24 - Cobre-juntas de cobre entalhado

A vida da peça de cobre depende do cuidado no uso, particularmente contra danos mecânicos e superaquecimento devido a uma montagem deficiente da junta. Se as superfícies de contato do cobre-juntas ficarem com um aspecto corroído, podem ser usinadas nova-

mente, porém um cobre-juntas não deve ser usinado com muita frequência sob pena de perder a capacidade de resfriamento.

O cobre-juntas de cobre tenderá a empenar e a tornar-se menos resistente à abrasão se for excessivamente aquecido. Uma das causas mais comuns de aquecimento excessivo são montagens deficientes, que permitem o contato de um volume muito grande de metal fundido com a peça de cobre. Quando forem utilizadas sapatas de cobre como cobre-juntas, o calor produzido durante a soldagem é aplicado continuamente na mesma seção de cobre, enquanto que com uma barra comprida o calor é aplicado progressivamente ao longo de seu comprimento total. Desse modo, quando se emprega a mesma peça de cobre diversas vezes sem permitir seu resfriamento completo, há uma redução de sua capacidade de resfriamento. Nesse caso, pode ser necessário um resfriamento suplementar com água através de tubos de cobre achatados e inseridos em rebaixos previamente usinados na parte inferior do cobre-juntas, veja a Figura 25a. Pode ser minimizado o empeno do cobre-juntas por meio de uma restrição mecânica, veja a Figura 25b. Quando o cobre-juntas de cobre for empregado para soldas monopasse em juntas em ângulo com penetração total, Figura 25c, os cantos devem ser chanfrados pelos menos 3 mm para permitir que algum metal de solda penetre na junta e produza um pequeno filete na raiz. Isso dá uma resistência adicional à solda e evita falhas — causadas pela concentração de tensões devido ao efeito de entalhe — que ocorrem algumas vezes em juntas desse tipo que são soldadas sem penetração adequada.



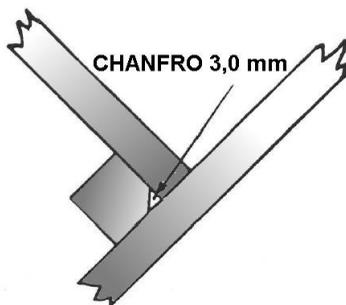
(a) Método de resfriamento com água em cobre-juntas de cobre

Figura 25a - Resfriamento de cobre-juntas de cobre



(b) Método de evitar empeno por restrição mecânica em cobre-juntas de cobre

Figura 25b - Evitando o empeno do cobre-juntas de cobre



(c) Cobre-juntas de cobre para junta em ângulo. Observe a posição do chanfro no cobre-juntas.

Figura 25c - Cobre-juntas de cobre para juntas em ângulo

Cama de fluxo

Embora todos os tipos de fluxo da ESAB possam ser usados como cobre-juntas, o fluxo OK Flux 350, é o mais adequado para uso como cama de fluxo. A cama de fluxo deve ser pressionada uniformemente contra a base da junta por uma mangueira inflada com água ou ar comprimido. O fluxo é depositado sobre a mangueira (veja a Figura 26).

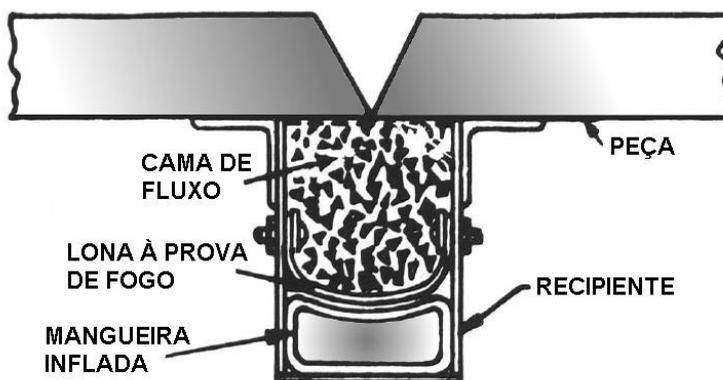


Figura 26 - Cama de fluxo

Com o uso da cama de fluxo podem ser toleradas maiores irregularidades de montagem que com outros tipos de cobre-juntas porque o material granulado conformar-se-á melhor à base da peça.

Pressão excessiva para manter o fluxo granulado contra a base da junta tende a produzir concavidade na raiz.

Junta sem abertura de raiz e passe de selagem

Juntas sem abertura de raiz e passes de selagem são os métodos mais empregados para obter suporte para o metal de solda.

Em uma junta sem abertura de raiz, o nariz deve ser espesso o suficiente para suportar o primeiro passe de solda sem perfurar o chanfro e alcançando a penetração requerida. Essa técnica é empregada em juntas de topo (com ou sem chanfro) e juntas em ângulo (inclusive juntas sobrepostas e em “T”). Algumas vezes, são usados cobre-juntas suplementares. É da maior importância que as faces da junta estejam fortemente pressionadas no ponto de máxima penetração da solda.

O passe de selagem pode ser realizado por outros processos de soldagem, empregando arames tubulares OK Tubrod® ou eletrodos revestidos OK (veja a Figura 27). Os passes subseqüentes ao passe de selagem podem ser executados do mesmo lado (para espessuras abaixo de 12,5 mm) ou do lado oposto nos demais casos.

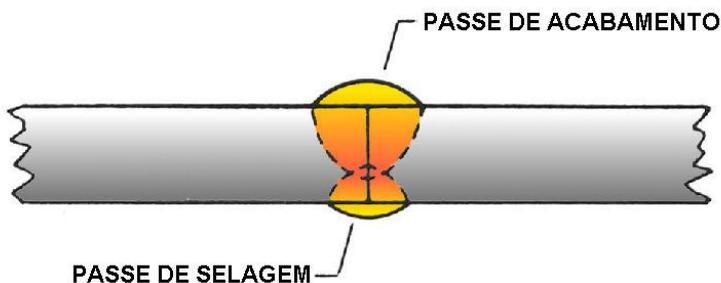


Figura 27 - Passe de selagem

Eletrodos revestidos OK são freqüentemente empregados em passes de selagem, quando não for conveniente aplicar outras técnicas de cobre-juntas devido à inacessibilidade, preparação ou montagem deficiente da junta ou mesmo dificuldade de girar o conjunto (veja a Figura 28). O cordão soldado com eletrodo revestido OK pode permanecer como parte integrante da junta se atender aos requisitos de qualidade ou pode ser removido por goivagem, lixamento ou usinagem após execução da solda por arco submerso. Quando a solda

realizada com eletrodo revestido OK tem que ser removida, deposita-se posteriormente um cordão permanente com arco submerso. Para passes de selagem, é recomendado um eletrodo revestido OK de baixo hidrogênio como o OK 48.04. Não devem ser empregados para passes de selagem eletrodos revestidos do tipo E6012 e E6013 porque eles tendem a causar porosidade na solda permanente realizada por arco submerso.

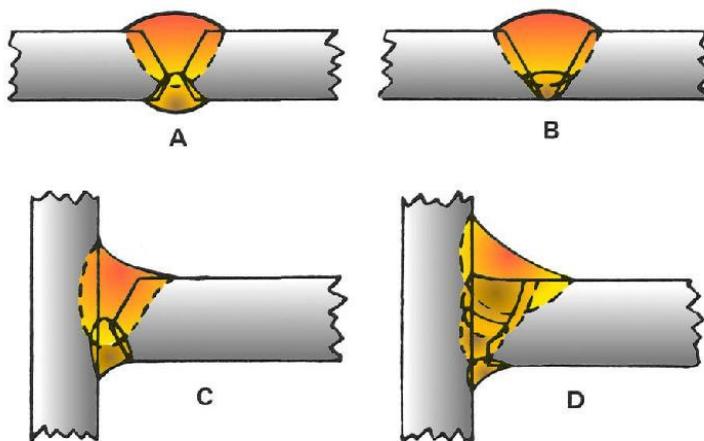


Figura 28 - Diversos tipos de passe de selagem

É importante que o passe de selagem por solda manual seja de boa qualidade, livre de poros e de inclusões de escória. Caso contrário, a solda final por arco submerso poderá conter também esses defeitos, se estes forem absorvidos da refusão de parte do passe de selagem. Deve ser mantida a abertura da raiz.

Cobre-juntas metálico consumível

Nesta técnica, a solda penetra e funde o material do cobre-juntas, que se torna temporária ou permanentemente parte integrante do conjunto.

Podem ser empregadas tiras de material compatível com o metal a ser soldado — veja a Figura 29a — ou a junta pode ser localizada de tal modo que uma parte da estrutura forme o cobre-juntas — veja a Figura 29b. É importante que as superfícies de contato estejam limpas e coladas uma à outra, de modo a evitar porosidade e vazamento de metal líquido.

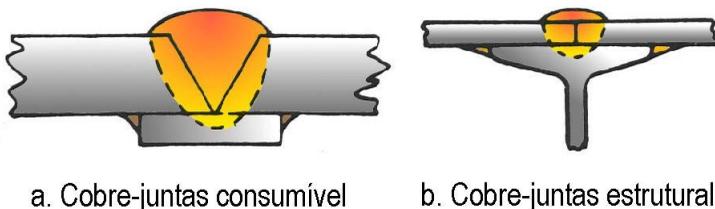


Figura 29 - Cobre-juntas metálicos consumíveis

Preparação da junta por biselamento

Efeito do ângulo do bisel

O efeito do ângulo do bisel é controlar a altura do reforço de solda. A penetração da solda também é afetada por alterações na profundidade do bisel e no volume da solda resultante. Para soldas mul-

tipasses de topo e em ângulo, a largura máxima da solda deve ser um pouco maior que sua profundidade. A razão largura / profundidade da solda mais adequada deve ficar entre 1,25 e 1,50 para reduzir a possibilidade de fissuração no centro da solda. Uma preparação adequada dos biséis da junta e uma escolha adequada dos parâmetros de soldagem ajudam a obter essa relação. Como exemplo, veja a Figura 30a, a Figura 30b e a Figura 30c.

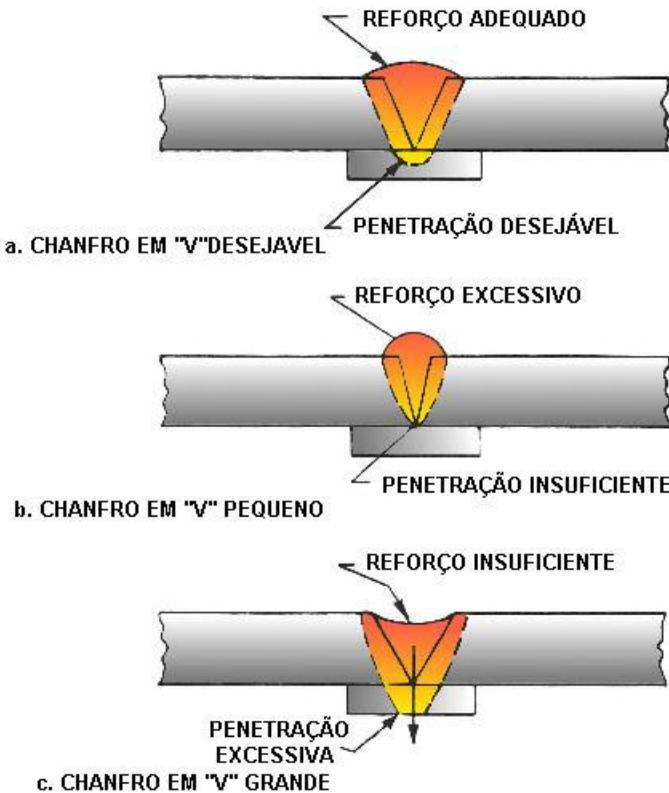


Figura 30 - Efeito do ângulo do bisel

Quando biselar

O biselamento é particularmente desejável para juntas de topo mais espessas que 16 mm. O biselamento é algumas vezes empregado em peças de espessura 6,5 mm, onde o bisel pode auxiliar como guia para o cordão de solda. Em juntas em “T” onde é desejada uma penetração total na raiz, a peça superior é geralmente biselada se a profundidade de penetração requerida para cada solda exceder 10 mm.

Efeito da dimensão do nariz

O nariz não biselado deve ser espesso o suficiente para a solda fundi-lo, mas não atravessá-lo. Se a espessura do nariz for inadequada, não haverá massa de metal suficiente para absorver o calor do metal fundido, podendo escorrer para a parte inferior da junta. Como exemplo, veja a Figura 31a e a Figura 31b.

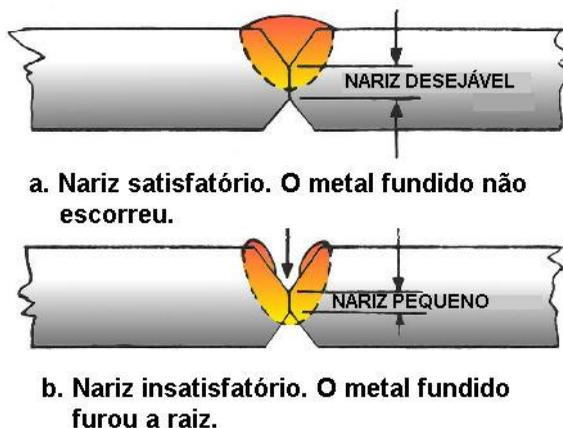


Figura 31 - Efeito da dimensão do nariz

Técnicas de preparação do bisel

Corte a plasma ou por maçarico

Pode ser executado manualmente ou com equipamentos de corte. Procure a Filial ESAB mais próxima para uma descrição das técnicas de preparação de biséis e dos equipamentos fornecidos pela ESAB. Toda borra e carepa resultantes do corte devem ser removidas antes da montagem e da soldagem. Não é necessário remover o filme de óxido formado no bisel durante o resfriamento se a peça vai ficar estocada algum tempo antes da soldagem. Essa prática evita a oxidação grosseira da peça após o corte.

Usinagem

A técnica de usinagem do bisel depende da disponibilidade dos equipamentos, tipo de corte requerido, etc.. No caso do uso de guilhotinas ou tesouras de corte, deve ser removida toda a oxidação grosseira antes do corte para evitar que alguma partícula de óxido fique entranhada no bisel após o corte. Todo o óleo residual deve ser removido com um desengraxante que evapore facilmente.

Lixamento manual

Essa técnica é algumas vezes empregada em vez de corte a chama ou usinagem. A precisão da preparação do bisel depende da habilidade do operador.

Forjamento, laminação e fundição

Essa técnica é algumas vezes empregada para conformar o bisel desejado para peças forjadas, laminadas ou fundidas.

Limpeza da junta

Introdução

É de fundamental importância que a junta esteja limpa. Qualquer material que produza gases quando aquecido pelo calor da soldagem como óleo, graxa, água, tinta, óxidos ou carepa deve ser removido. A carepa de usina ou mesmo marcas de lápis térmico ou marcadores podem causar problemas. A limpeza é particularmente importante na soldagem de peças de pequena espessura a altas velocidades de soldagem.

Métodos de limpeza

Limpeza a chama

Empregado para remover óxidos, carepa e umidade, é um dos mais eficientes meios de eliminar porosidade na soldagem por arco submerso. Já que não há aquecimento pela radiação do arco precedendo a solda e as velocidades de soldagem são muito altas, a limpeza a chama é mesmo mais importante que em processos por arco aberto. Em algumas aplicações, uma tocha de aquecimento é montada diretamente no equipamento de solda. A seção mais aquecida do núcleo da chama deve atuar no cordão de solda. A região de solda iminente deve ser aquecida a uma temperatura acima de 200°C para evitar a condensação de umidade proveniente dos gases evoluídos na junta.

Lixamento

Pode ser empregado para remover a carepa de usina ou óxidos grosseiros. As lixadeiras podem ser operadas manualmente ou por equipamentos semi-automáticos. Devem sempre ser usados óculos

de proteção e também é essencial que seja escolhido o disco abrasivo adequado para a velocidade à qual a lixadeira vai operar.

Escova rotativa

É útil na remoção de finas camadas de óxido e alguma sujeira. Alguns tipos de tinta podem ser removidos com a escova rotativa, mas geralmente são necessários um removedor, limpeza a chama ou lixamento.

Removedores

Devem ser aplicados em superfícies pintadas, seguidos de escovamento e lavagem com um solvente volátil. Deve ser observado o perigo do manuseio de solventes. Tintas podem ser algumas vezes removidas com escova, mas as superfícies devem ser cuidadosamente examinadas para garantir que a tinta tenha sido totalmente removida.

Jateamento

Remove prontamente óxidos grosseiros, carepa de usina e tintas. Bordas cortadas não são limpas satisfatoriamente com esse método. Devem ser asseguradas aos operadores ventilação adequada e proteção para os olhos.

Decapagem

Pode ser empregada para remover carepa de usina e oxidação grosseira. O banho decapante deve conter inibidores e deve ser aplicado um agente apassivador para evitar a absorção de hidrogênio.

Desengraxe

Aplicado especialmente na limpeza de peças conformadas a frio.

Tipos básicos de juntas

Introdução

O tipo de junta escolhido para qualquer atividade de soldagem pode afetar:

- ❑ a qualidade e a resistência da solda;
- ❑ o custo da mão-de-obra e de materiais;
- ❑ o tempo e as despesas envolvidas na preparação, nos dispositivos e no posicionamento das peças.

A escolha do tipo de junta adequado depende de vários fatores, tais como:

- ❑ espessura e material da junta;
- ❑ propriedades físicas almejadas na junta;
- ❑ tamanho das peças sendo soldadas;
- ❑ acessibilidade da junta;
- ❑ ajuste a ser obtido;
- ❑ equipamento disponível para a preparação do bisel;
- ❑ número de peças a serem soldadas;
- ❑ especificações ou códigos aplicáveis.

Serão descritos a seguir alguns tipos de juntas empregadas na soldagem por arco submerso.

Juntas de topo

a) Junta topo-a-topo

Soldas monopasse de boa qualidade podem ser executadas em peças com espessura até 16 mm empregando-se juntas topo-a-topo sem abertura de raiz e com um cobre-juntas adequado. O reforço de solda, que tende a se tornar excessivo em soldas mais espessas, pode ser controlado ajustando-se a abertura da raiz (veja a Figura 32). Irregularidades na abertura da raiz, no alinhamento do arame de solda com a junta e na quantidade requerida de metal de solda geralmente limitam a espessura desse tipo de junta a 20 mm.

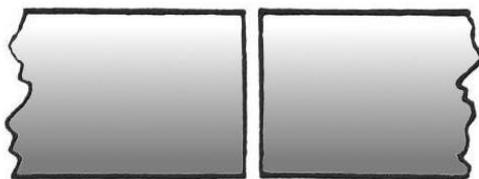


Figura 32 - Junta topo-a-topo

Dois passes de solda são executados sem abertura de raiz até uma espessura de 16 mm. É essencial em soldas de dois passes que as faces estejam bem encostadas, já que não é usado cobre-juntas. A abertura máxima permitida para a raiz é de 0,8 mm, a menos que a junta seja suficientemente suportada para evitar que o metal fundido escorra através da abertura da raiz. Com tais suportes, podem ser usadas maiores aberturas de raiz. Quando a abertura de raiz exceder 1,6 mm, contudo, ela deve ser rigorosamente preenchida com fluxo à frente da solda. A abertura máxima de raiz é de 3,2 mm, por causa da dificuldade de refusão do fluxo de soldagem na base do primeiro passe de solda. Se a abertura de raiz for mantida constante por todo o cordão de solda, peças com espessura até 20 mm podem ser soldadas com juntas topo-a-topo. O primeiro passe constitui o passe de se-

lagem, executado no lado oposto da junta. Vira-se a peça e executa-se o passe de acabamento, que penetra e refunde parte do passe de selagem para garantir uma boa continuidade do metal de solda através de toda a espessura da peça.

Uma técnica satisfatória de se conseguir a penetração requerida para a solda sem reforço excessivo no acabamento é goivar um entalhe de profundidade 3,2 mm a 8 mm no topo da junta depois de o passe de selagem ter sido executado. Quando a goivagem for empregada, não é necessária qualquer preparação ou limpeza, exceto a remoção de toda e qualquer escória.

A vantagem da junta topo-a-topo é que um mínimo de preparação ainda chega a produzir soldas de boa qualidade com penetração adequada.

b) Juntas de topo em "V"

b1) Junta de topo em "V" com nariz

Esse tipo de junta é empregado com cobre-juntas não consumíveis para soldas de topo monopasse de espessura 8 mm ou acima veja a Figura 33). Para a maioria das aplicações industriais, a espessura máxima é de cerca de 32 mm a 38 mm. A existência do nariz traz diversas vantagens. As faces quadradas simplificam a montagem. Penetração e reforço excelentes podem ser obtidos e as alterações normais na tensão, na corrente e na velocidade de soldagem causam danos mínimos ao nariz de suporte. Quantidades relativamente pequenas de arame são consumidas porque o chanfro em "V" dá a penetração desejada sem correntes excessivas e o volume do "V" é consideravelmente menor que o volume requerido por outras técnicas de soldagem.

Com cobre-juntas não consumíveis, a dimensão do nariz é de 3,2 mm a 1,6 mm. A abertura da raiz não deve exceder 1,6 mm. Cobre-juntas metálicos consumíveis também são empregados com esta preparação com uma abertura de raiz de pelo menos 3,2 mm.

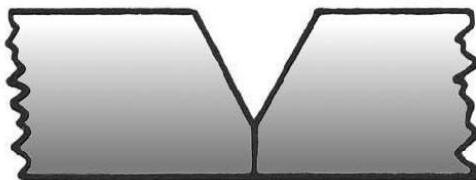


Figura 33 - Junta de topo em "V" com nariz

Juntas de topo em "V" com nariz e sem cobre-juntas externo são também empregadas para soldas de dois passes onde a espessura das peças excede 16 mm. O primeiro passe, normalmente o mais largo, é o passe de selagem depositado no lado do "V"; a peça é então virada e o passe de acabamento depositado no lado plano. O passe de acabamento penetra e refunde uma parte do passe de selagem para garantir a penetração completa (veja a Figura 34).

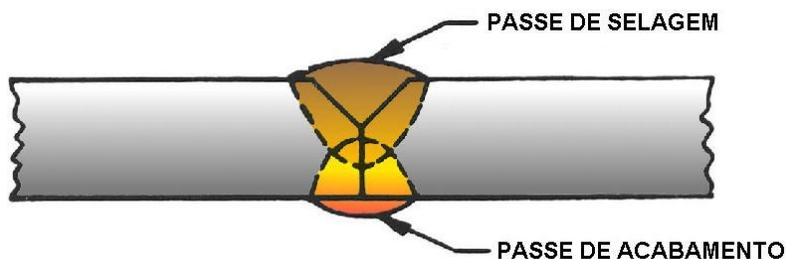


Figura 34 - Junta de topo em "V" com nariz - passes de selagem e de acabamento

O nariz mede aproximadamente 10 mm para todas as espessuras de peças comercialmente soldadas. O nariz das peças deve ser fortemente pressionado (abertura máxima de 0,8 mm) como na junta topo-a-topo. Quando existe algum suporte abaixo da junta, a abertura pode ser ligeiramente aumentada; se a abertura exceder 1,6 mm, o fluxo deve ser suportado à frente da solda.

b2) Junta de topo em "V" sem nariz

Juntas de topo em "V" sem nariz são comumente empregadas em todas as espessuras quando se usa uma cama de fluxo. Não é comumente usada em espessuras abaixo de 10 mm já que penetrações adequadas podem ser obtidas para essas espessuras sem necessidade de biselamento (veja a Figura 35).

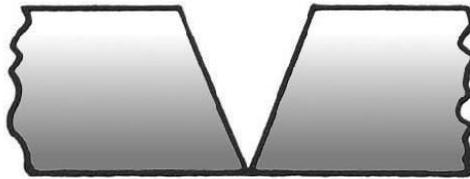


Figura 35 - Junta de topo em "V" sem nariz

Juntas de topo em "V" sem nariz sempre devem ter passes de selagem, visto que a massa de metal no nariz da junta não é suficiente para suportar o metal de solda fundido. Desalinhamentos razoáveis na montagem e variações na abertura da raiz podem ser tolerados quando se usa a cama de fluxo porque o material granular subirá para acomodá-los. Cobre-juntas de cobre não são recomendados por causa de sua tendência de o metal de solda fundir no cobre-juntas. Por sua vez, cobre-juntas metálicos consumíveis são aceitáveis se não houver objeção a sua permanência como parte integrante da junta soldada.

c) Junta de topo em duplo "V"

Esse é o projeto básico de junta para soldas de dois passes por arco submerso (veja a Figura 36). É comumente empregada para espessuras até 50 mm e até mesmo espessuras maiores têm sido soldadas com sucesso. Para espessuras acima de 50 mm, contudo, a junta multipasses mostrada na Figura 38 na página 54 é a recomendada.

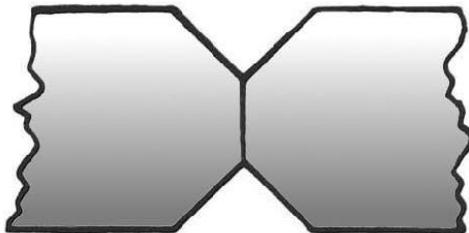


Figura 36 - Junta de topo em duplo "V"

Juntas de topo em duplo "V" são normalmente projetadas com um nariz espesso para fornecer um suporte adequado para o passe de selagem. O máximo desalinhamento permissível na montagem é de 25% do nariz.

O nariz deve ser fortemente pressionado ao longo de todo o comprimento da junta. A abertura máxima de raiz é de 0,8 mm. Se a abertura de raiz for maior, deve ser evitado, ao se executar o primeiro passe que o metal fundido escorra através da abertura de raiz. Várias técnicas são empregadas. Um pequeno passe filetado pode ser depositado manualmente na base do "V" sobre o qual a solda deve ser executada. Um certo comprimento de arame pode ser ponteadado no chanfro em "V". O fluxo pode ser colocado na abertura de raiz à frente da solda. O cordão filetado, o arame ou o fluxo devem ser removidos antes de executar o passe definitivo, se for requerida uma junta de qualidade radiográfica.

Para garantir uma penetração 100% e a remoção de qualquer escória ou porosidade da base do passe de selagem, o passe de acabamento deve penetrar e refundi-lo até uma profundidade de 5 mm até 8 mm.

Já que essa junta é muito usada na fabricação de vasos de pressão, deve ser observada uma limitação. Quando se executam soldas circunferenciais, a razão da espessura para o diâmetro do vaso deve ser de pelo menos 1/25. Caso contrário, a grande poça de fusão ten-

derá a escorrer, causando instabilidade na soldagem e uma geometria indesejável do cordão de solda.

Passes de selagem manuais são algumas vezes utilizados com juntas de topo em duplo "V", quando a junta tem um nariz pequeno (máximo 3,2 mm) e uma abertura de raiz de cerca de 3,2 mm. Se as condições requererem que o passe de selagem por soldagem manual seja mais espesso que 10 mm, contudo, a junta mostrada na Figura 37 é preferencial.

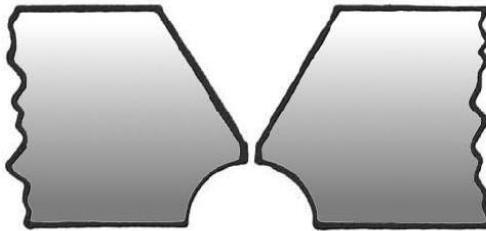


Figura 37 - Junta de topo em "V" e em "U"

d) Junta de topo em "U"

A junta de topo em "U" é freqüentemente empregada em soldas multipasses por arco submerso. Peças de qualquer espessura podem ser soldadas com esse projeto de junta (veja a Figura 38).

Um pequeno passe de selagem é realizado freqüentemente do lado oposto da junta. Se não for executado o passe de selagem, os narizes devem ser fortemente pressionados (abertura máxima de raiz de 0,8 mm).

Para peças extremamente espessas, juntas de topo em duplo "U" podem ser empregadas. Elas são essencialmente duas juntas de topo em "U" com uma raiz em comum. Se for realizado um passe de selagem manual, pode ser necessário removê-lo posteriormente se for uma junta de qualidade radiográfica.

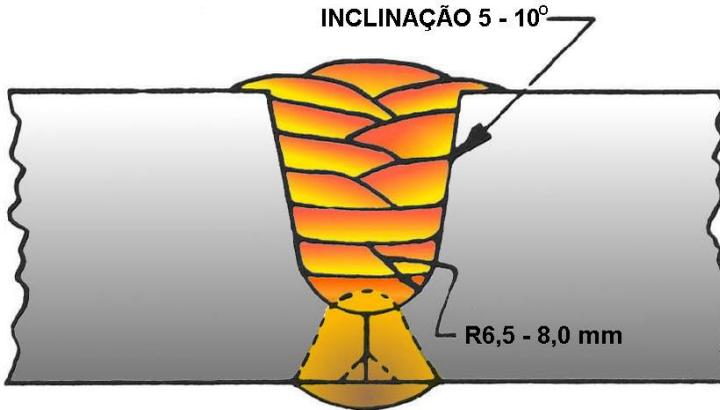


Figura 38 - Junta de topo em "U"

O uso de soldas semi-automáticas com gás de proteção elimina a necessidade de remoção do passe de selagem previamente à soldagem por arco submerso. Graças à natureza livre de escória dos depósitos com gás de proteção (com arames tubulares OK Tubrod[®] ou com arames sólidos cobreados OK Autrod[®]), depósitos de solda subsequentes por arco submerso de excelente qualidade podem ser produzidos sobre esses passes de selagem.

Juntas sobrepostas

a) Junta sobreposta simples ou dupla

A principal vantagem da junta sobreposta é a simplicidade do ajuste e a mínima preparação requerida para a borda (veja a Figura 39). A junta e as superfícies sobrepostas devem estar limpas e secas. A junta em ângulo assim obtida após a soldagem é utilizada principalmente onde o lado interno não é acessível ou para serviços onde apenas uma pequena resistência é requerida para a junta, sendo a função primária da solda somente manter as peças juntas.

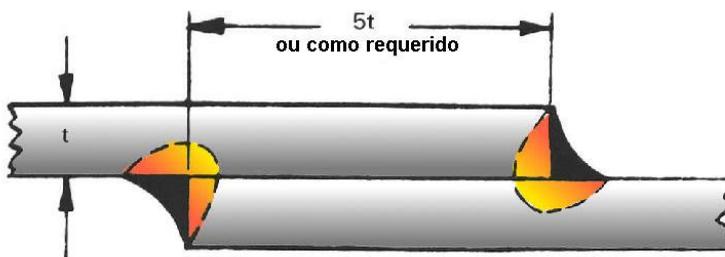


Figura 39 - Junta sobreposta dupla

b) Junta sobreposta dupla de encaixe

Essa junta também é de fácil ajuste e requer mínima preparação das bordas. Adicionalmente, possui uma superfície alinhada que a junta simples não tem (veja a Figura 40). A junta deve estar limpa e as superfícies sobrepostas secas e firmemente ajustadas. Juntas sobrepostas simples de encaixe são empregadas na fabricação de pequenos botijões de gás. Por sua vez, juntas sobrepostas duplas de encaixe são extensivamente empregadas na indústria naval para facilitar o ajuste e a soldagem da última de uma série de chapas unidas topo-a-topo.

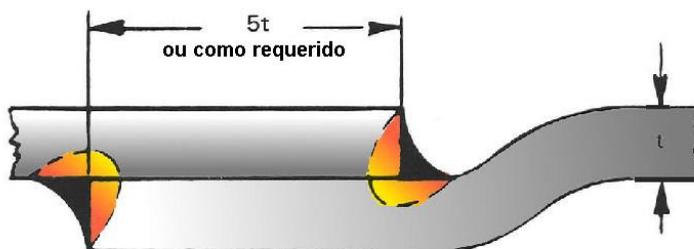


Figura 40 - Junta sobreposta dupla de encaixe

c) Junta sobreposta com solda passante

Esse tipo de junta é muito usado na soldagem de chapas finas até 11 MSG. É útil na união ou na fixação de uma ou duas chapas finas a uma peça que serve de cobre-juntas (veja a Figura 41). As superfícies sobrepostas devem estar limpas, secas e em contato entre si.

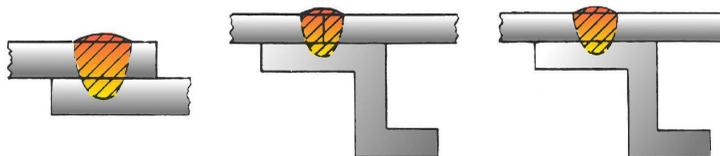


Figura 41 - Juntas sobrepostas com solda passante

Juntas em ângulo

a) Introdução

A profunda penetração do processo de soldagem por arco submerso resulta em uma economia substancial no consumo de arame de soldagem quando comparado com outros processos de soldagem, mesmo em juntas em ângulo. Cálculos de projeto da resistência de juntas em ângulo são baseados na dimensão da garganta do depósito de solda (veja a Figura 42).

Para soldas convencionais por arco elétrico, a dimensão da garganta é obtida através da Equação [3]

$$[3] \quad \text{Garganta} = \frac{\text{Perna} \times \sqrt{2}}{2} = \text{Perna} \times 0,707$$

já que a raiz da junta é raramente penetrada. Nesse cálculo, considere-se a menor dimensão da perna. A maior penetração das soldas em ângulo feitas por arco submerso produz uma profundidade efetiva da garganta de 20 a 30% maior que os processos por SMAW e GMAW.

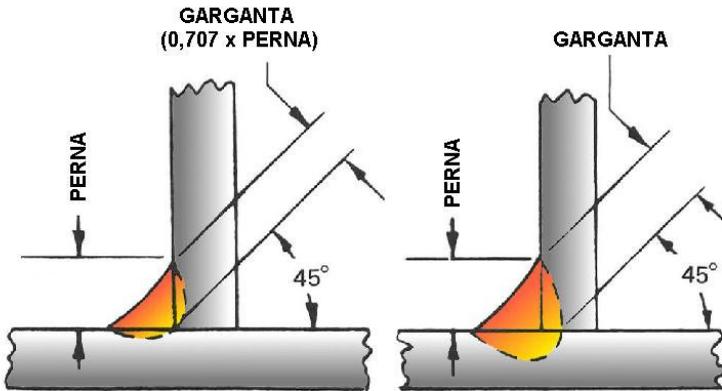


Figura 42 - Comparação entre as dimensões da garganta e da perna

O tamanho do filete feito por arco submerso pode ser consideravelmente reduzido e, ainda assim, atingir a mesma resistência da junta obtida com os processos SMAW e GMAW com pernas maiores. Tem sido permitida uma redução geral de 1,6 mm no tamanho da perna em soldas executadas por arco submerso em relação ao limite mínimo exigido para soldas manuais pelos códigos aplicáveis. Mesmo uma pequena redução no tamanho da perna acarretará numa diminuição apreciável do volume de depósito de solda requerido, visto que este varia diretamente com o quadrado da dimensão da perna.

A resistência de uma solda em ângulo é fortemente influenciada pela penetração da solda. Os resultados de uma série de testes realizados para determinar o efeito da penetração da solda nas tensões atuantes são mostrados graficamente na Figura 43.

Os dados representados por essa curva foram obtidos de estudos foto-elásticos de modelos de tensão em um modelo típico de junta em ângulo cuja perna tinha a dimensão de 38,1 mm. O fator de concentração de tensões é a razão entre a tensão na raiz do filete e a tensão média da junta (carga/área). A penetração da solda é a distância da raiz do filete ao ponto em que cessa a fusão. A penetração da

solda pode ser positiva ou negativa em juntas em ângulo, dependendo se a fusão se estende até o ponto A ou se apenas chega ao ponto B (veja a Figura 44).

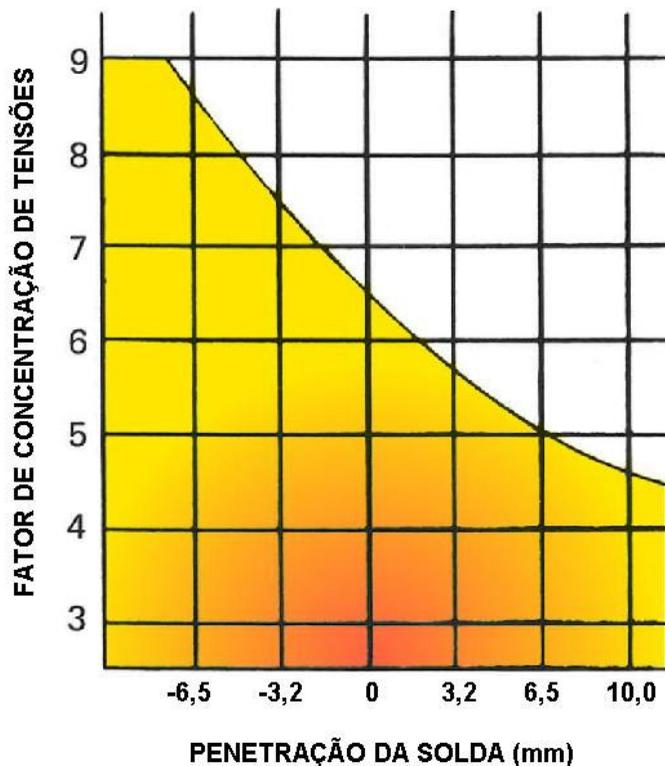


Figura 43 - Variação do fator de concentração de tensões com a penetração da solda

Conforme é mostrado pela curva, a concentração de tensões no filete diminui rapidamente à medida que a penetração aumenta. A concentração de tensões a uma penetração de -6,5 mm é 75% mais alta que a uma penetração de +6,5 mm. A concentração de tensões a uma penetração zero (a penetração normal em soldas manuais) é aproximadamente 42% maior que a uma penetração de 10 mm (pene-

tração normal em uma solda feita por arco submerso do tamanho usado nos testes).

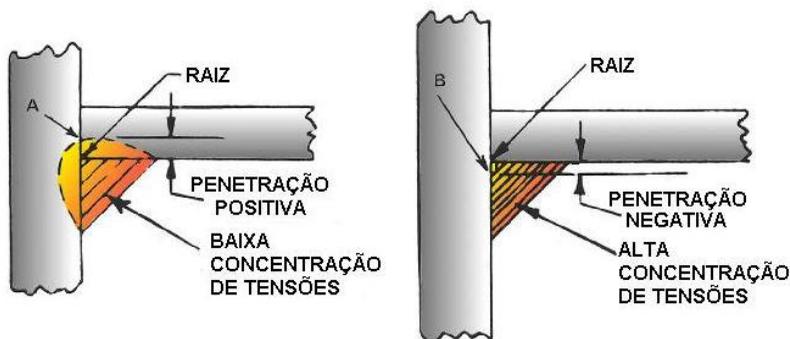


Figura 44 - Penetração positiva e negativa

b) Juntas em "T" na posição horizontal

Soldas em filete monopasse com perna até 8 mm (equivalente a soldas com perna até 10 mm feitas por outros processos de soldagem) são utilizadas para fazer juntas em "T" na posição horizontal. Se a espessura da alma não for maior que 10 mm, dois filetes de perna 8 mm interpenetrar-se-ão na raiz, veja a Figura 45a. Juntas em "T" necessitando de maior penetração ou soldas de filete mais largas podem ser executadas utilizando um procedimento multipasse, veja a Figura 45b.

As limitações de tamanho de soldas de filete monopasse horizontais são determinadas, não pela capacidade do equipamento de arco submerso, mas pelo volume de metal fundido que assegurará uma geometria favorável, sem escorrer excessivamente.

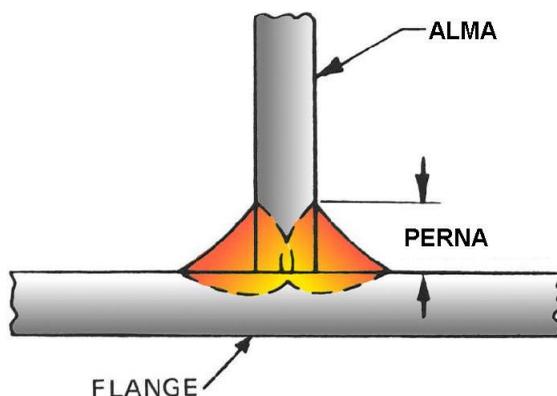


Figura 45a - Solda em ângulo horizontal

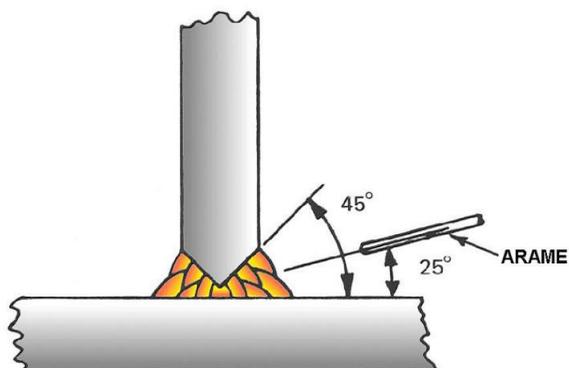


Figura 45b - Solda com penetração total, chanfro em "K"

c) Juntas em "T" na posição plana

Filetes de pernas iguais podem ser obtidos pelo posicionamento da junta a um ângulo de 45° (superfície da solda plana). A profundidade de penetração pode ser aumentada ainda mais aumentando o ângulo da alma até 60° da vertical e direcionando o arame para o lado da alma, veja a Figura 46a. Se a espessura da alma exceder 19 mm e

se for almejada uma penetração total, as bordas devem ser biseladas, veja a Figura 46b.

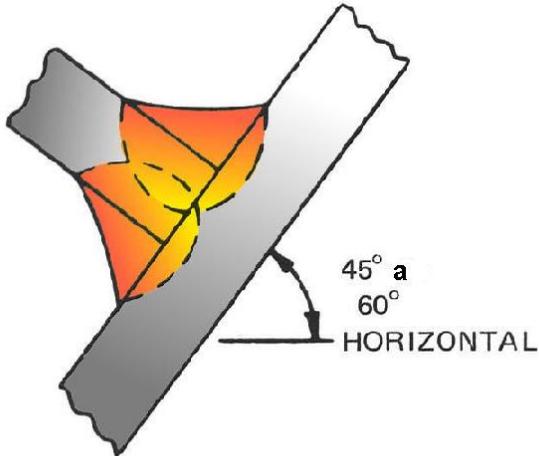


Figura 46a - Solda de uma junta em ângulo na posição plana

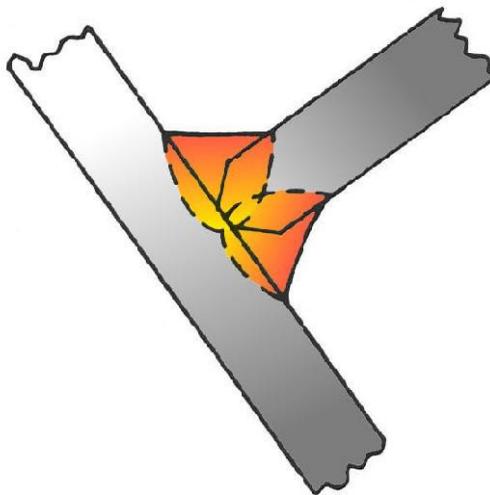


Figura 46b - Preparação de junta em "T" com penetração total na posição plana para espessura superior a 19 mm

Soldagem de juntas de canto

a) Junta de canto sem chanfro

Junta de canto sem chanfro são recomendadas para espessuras até 12,5 mm. Primeiramente, executa-se um filete de solda no canto interno da junta e depois se deposita o passe final do outro lado. A solda de topo deve penetrar o suficiente para refundir parcialmente o primeiro passe, que serve como passe de selagem para o passe final. Caso se deseje aumentar a largura do cordão de solda, a junta pode ser colocada na posição plana para a execução do primeiro passe. Se as faces estiverem bem acopladas, pode ser dispensado o primeiro passe, visto que não haveria necessidade de um passe de selagem. Às vezes, torna-se necessário o uso de um cobre-juntas de cobre para resfriar o canto exterior da peça vertical, de modo a evitar fusão excessiva enquanto o passe final estiver sendo executado (veja a Figura 47).

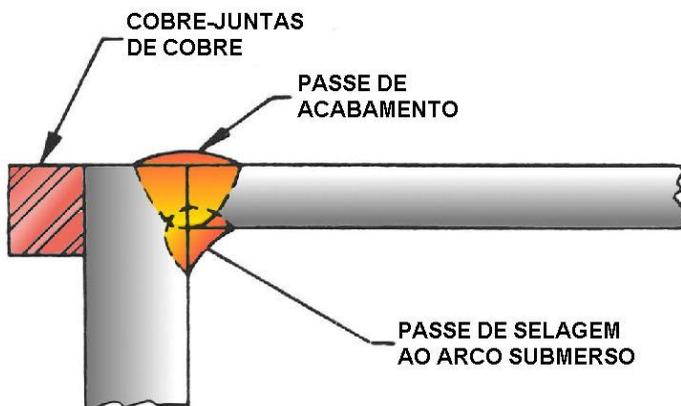


Figura 47 - Junta de canto sem chanfro

b) Junta de canto com chanfro em "V"

Para juntas mais espessas, é recomendada uma preparação com chanfro em "V" para obter uma penetração adequada sem reforço excessivo. O chanfro em "V" é preferido relativamente ao meio "V" porque facilita a penetração total com um ótimo perfil de cordão. Primeiramente, executa-se o passe de selagem e posteriormente a solda de topo do lado oposto. Se o passe de selagem for depositado por arco submerso, deve ser empregado um nariz profundo (veja a Figura 48). Para outros processos de soldagem, a preparação deve resultar em um nariz fino e uma abertura de raiz. Essas soldas em filete podem ser feitas também sem nariz, porém nesse caso o uso de um cobre-juntas de cobre pode ser útil.

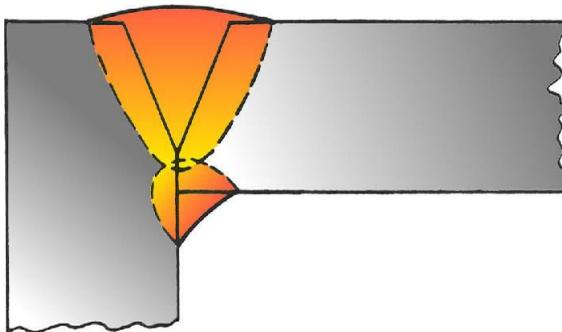


Figura 48 - Junta de canto com chanfro em "V"

c) Junta de canto com bisel em "J"

Essas juntas — com simples ou com duplo "J" — são empregadas para soldas multipasse de peças com espessuras maiores que aquelas para as quais podem ser utilizadas juntas com chanfro em "V". A técnica de soldagem é similar à empregada em juntas de topo com chanfro em "U". Frequentemente executa-se um pequeno passe de selagem antes da soldagem multipasse feita por arco submerso. Se não for aplicado o passe de selagem, a máxima abertura de raiz

permissível é de 0,8 mm. Como apenas um lado da junta é preparado, o ângulo e o raio de curvatura devem ser mantidos conforme é especificado na Figura 49 para assegurar o acesso suficiente para depositar os passes na região da raiz da junta.

d) Junta de canto simples

Juntas de canto com o cordão de solda em filete do lado externo são úteis em muitas aplicações. A resistência da junta pode ser aumentada adicionando-se um segundo cordão de solda ao lado interno da junta para formar uma junta de canto soldada de ambos os lados. A junta de canto simples pode ter a vantagem de não requerer qualquer cobre-juntas além daquele já formado pela própria geometria da junta (veja a Figura 50). Observe que as superfícies em contato devem estar limpas, secas e firmemente ajustadas.

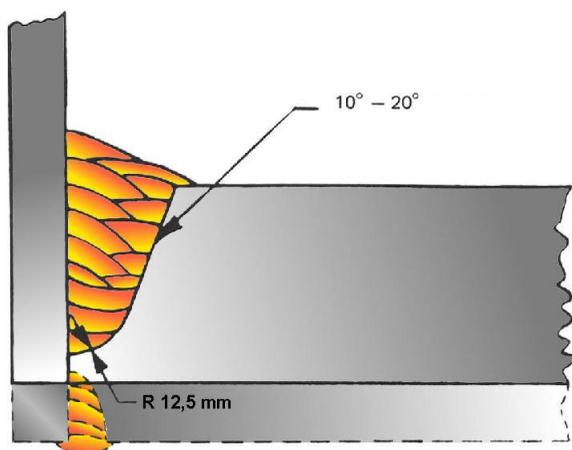


Figura 49 - Junta de canto com bisel em "J"

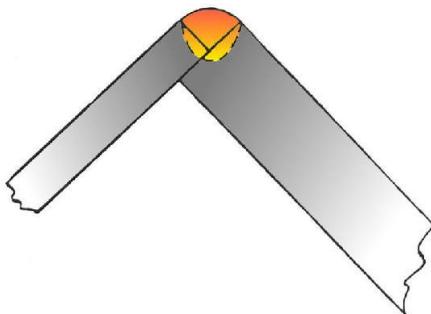


Figura 50 - Junta de canto simples

e) Junta de canto com cobre-juntas

Podem ser empregadas preparações com ou sem chanfro com cobre-juntas para assegurar penetração total de um só lado da junta. Os requisitos dessa técnica são essencialmente os mesmos das juntas de topo com cobre-juntas (veja a Figura 51).



Figura 51 - Junta de canto com cobre-juntas

f) Juntas tampão

Juntas tampão são empregadas para unir duas peças em que uma delas possui um furo, onde o metal de solda deve assegurar uma boa ligação e encher o furo (veja a Figura 52a até Figura 52d). É importante que o furo seja largo o suficiente para evitar contato do a-rame com a peça superior. A menos que o furo seja biselado ou ado-

çado, seu diâmetro não deve ser menor que a espessura da peça superior. Se puder ser aplicada uma corrente de soldagem suficiente para penetrar até a peça inferior e se for aceitável um excesso de metal de solda acima da superfície, a soldagem pode ser realizada sem o furo. Porém, isso só se torna prático para soldar peças relativamente finas.

O tamanho do furo que pode ser empregado para realizar uma solda tampão com fusão completa sem alterar a posição do arame durante a soldagem será determinado pela corrente que puder ser aplicada. Um furo largo pode requerer movimentação do arame durante a soldagem para assegurar fusão completa na região da raiz da junta.



Figura 52a - Solda tampão unindo duas chapas

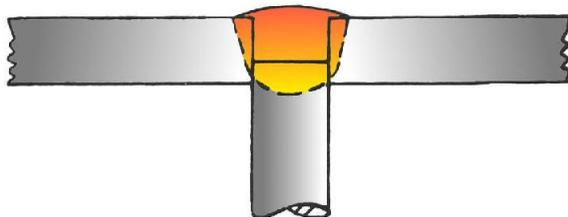


Figura 52b - Solda tampão empregada para prender parafusos estojo na fabricação de vasos de pressão

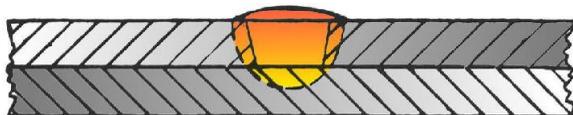


Figura 52c - Furo biselado quando a espessura da chapa for superior a 25 mm e o diâmetro do furo for inferior a 25 mm

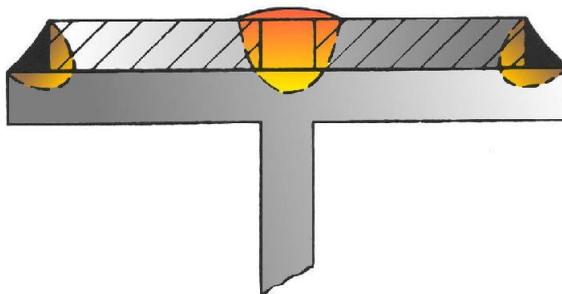


Figura 52d - Reforço, com solda tampão, da junta previamente soldada por soldas em ângulo

Capítulo 4

Soldagem

Preparação para a soldagem

Tratamentos térmicos

Pré-aquecimento e pós-aquecimento de aços de alto carbono ou de alta liga

Tratamentos térmicos raramente são requeridos para aços de baixo carbono ou estruturais, embora sejam ocasionalmente empregados para evitar empenamento ou para garantir baixa dureza para usinagem.

Durante a soldagem de aços de alto carbono ou de alta liga, no entanto, existe o perigo de que o depósito de solda e a zona termicamente afetada contenham altos percentuais de martensita, um constituinte duro do aço. Tais soldas possuem alta dureza e baixa ductilidade e podem mesmo vir a trincar durante o resfriamento. O objetivo do pré-aquecimento e do pós-aquecimento é manter o teor de martensita da solda a um nível mínimo. De ambos os tratamentos resultam melhor ductilidade, baixa dureza e menor probabilidade de fissuração durante o resfriamento.

A martensita forma-se realmente durante o resfriamento da solda e da zona termicamente afetada. A quantidade de martensita formada pode ser limitada reduzindo-se a taxa de resfriamento da solda. Os tratamentos térmicos aumentam a temperatura do metal vizinho à

solda, de tal modo que o gradiente de temperatura entre a solda e sua vizinhança fica reduzido. O resultado é que a zona de soldagem aquecida resfria-se mais lentamente, visto que a taxa de resfriamento é diretamente proporcional à diferença de temperatura (ou gradiente de temperatura) entre as massas quente e fria.

Se esses tratamentos térmicos devem ou não ser aplicados depende do teor de carbono e de outros elementos de liga no metal sendo soldado. Se corpos de prova soldados sem tratamento térmico apresentarem baixa ductilidade ou dureza muito alta, é indicativo da necessidade de pré-aquecimento ou pós-aquecimento.

Pré-aquecimento

Um método simples para determinar a necessidade de pré-aquecimento de uma solda é o do carbono equivalente (C_{eq}). A temperabilidade de um aço está relacionada ao seu teor de carbono acrescido dos teores de certos elementos de liga. Determina-se o teor aproximado de outros elementos de liga que produzem a mesma dureza que 1% de carbono. Então, uma indicação da temperabilidade, designada por **carbono equivalente** (C_{eq}), pode ser calculada pela Equação [4]:

$$[4] \quad C_{eq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Ni}{15} + \frac{\%Mo}{4} + \frac{\%Cr}{5} + \frac{\%Cu}{13}$$

A Equação [4] é válida quando os teores estão dentro das faixas:

- %C < 0,50
- %Mn < 1,60
- %Ni < 3,50
- %Mo < 0,60
- %Cr < 1,00
- %Cu < 1,00

Outra equação para o carbono equivalente, a Equação [5], largamente utilizada, é dada pelo IIW (*International Institute of Welding*):

$$[5] \quad C_{eq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15}$$

A Tabela III fornece valores sugeridos de temperaturas de pré-aquecimento para diferentes valores de carbono equivalente:

Carbono equivalente (%)	Pré-aquecimento recomendado
até 0,30	opcional
0,30 - 0,45	100 - 200°C
acima de 0,45	200 - 375°C

Tabela III - Temperatura de pré-aquecimento x Carbono equivalente

Alguns aços, particularmente aqueles possuindo carbono equivalente maior que 0,45%, podem requerer, além de pré-aquecimento, pós-aquecimento. Esses tratamentos são especialmente recomendados para a soldagem de seções espessas. Entretanto, para a maioria dos aços carbono e de baixa liga, apenas o pré-aquecimento pode ser necessário de um modo geral.

O pré-aquecimento a 120 - 150°C é geralmente empregado na soldagem multipasse em seções de espessura maior que 25 mm para reduzir a susceptibilidade da solda à fissuração.

Pós-aquecimento

Pós-aquecimento, dentro deste contexto, significa o aquecimento da junta soldada **imediatamente** após a solda ter sido realizada. É distintamente diferente de outros tratamentos executados após o resfriamento da solda, tais como alívio de tensões, revenimento e recozimento.

O pós-aquecimento tem a mesma função do pré-aquecimento. Mantém a temperatura da peça em um nível suficientemente elevado de tal maneira que a junta soldada resfrie lentamente. Assim como no pré-aquecimento, o resultado é uma ductilidade maior na região da

solda. O pós-aquecimento raramente é aplicado de forma isolada; é quase sempre conjugado com o pré-aquecimento.

O pós-aquecimento é mais freqüentemente empregado em aços altamente temperáveis, mas algumas vezes é utilizado em aços menos temperáveis se for difícil a aplicação de um pré-aquecimento adequado devido à dimensão das peças sendo soldadas. Por essa razão, a Tabela IV pode ser considerada confiável somente se o aquecimento for aplicado **imediatamente** após a solda ter sido executada.

Essa tabela fornece tempos e temperaturas de pós-aquecimento sugeridos aos aços para os quais o tratamento é conveniente. Já que nem todos os aços dessa categoria estão listados, podem ser feitas inferências. Por exemplo, na soldagem do aço SAE 1060 são aplicados o tempo e a temperatura do aço SAE 1050; para o aço SAE 4145 são usadas as informações para o aço SAE 4130 e assim por diante.

TEMPOS E TEMPERATURAS DE PÓS-AQUECIMENTO SUGERIDOS PARA AÇOS TEMPERÁVEIS TÍPICOS				
Aplicar o pós-aquecimento imediatamente após o término da soldagem e antes que a junta resfrie a menos de 300°C				
Aço SAE	Temperatura de pós-aquecimento (°C)	Tempo de pós-aquecimento (minutos)	Dureza (HRc)	Dureza máxima de têmpera (HRc)
1019	-	-	19	42
1050	315	10	48	62
	535	1	28	
1335	370	10	39	59
	535	20	18	
2160	315	10	48	65
	535	1	24	
2260	315	25	50	64
	535	1	25	
2340	315	35	46	60
	535	5	21	
2512	370	5	36	42
	480	75	20	

TEMPOS E TEMPERATURAS DE PÓS-AQUECIMENTO SUGERIDOS PARA AÇOS TEMPERÁVEIS TÍPICOS				
Aplicar o pós-aquecimento imediatamente após o término da soldagem e antes que a junta resfrie a menos de 300°C				
Aço SAE	Temperatura de pós-aquecimento (°C)	Tempo de pós-aquecimento (minutos)	Dureza (HRc)	Dureza máxima de têmpera (HRc)
3140	370	25	48	60
	535	15	21	
3330	315	25	43	57
	425	20	38	
	595	10 h	23	
4037	370	10	41	56
	480	5	25	
4130	370	10	44	56
	425	5	37	
4340	315	50	48	62
	370	5 h	40	
4360	260	10 h	54	64
	345	50 h	48	
	650	75	26	
4615	370	10	38	45
	480	10	26	
4640	315	25	48	60
	480	25	23	
5140	315	15	50	62
	535	25	26	
6145	315	25	51	61
	535	25	33	
8630	315	15	46	53
	480	25	27	
8660	260	5 h	52	64
	425	50 h	34	
8745	315	25	49	61
	425	100	30	
9260	315	100 h	50	65
	650	1	35	
9440	315	50	50	60
	425	10 h	33	

TEMPOS E TEMPERATURAS DE PÓS-AQUECIMENTO SUGERIDOS PARA AÇOS TEMPERÁVEIS TÍPICOS				
Aplicar o pós-aquecimento imediatamente após o término da soldagem e antes que a junta esfrie a menos de 300°C				
Aço SAE	Temperatura de pós-aquecimento (°C)	Tempo de pós-aquecimento (minutos)	Dureza (HRc)	Dureza máxima de têmpera (HRc)
1060	315	25	50	65
	535	1	36	
8620	370	5	40	45
	480	15	26	

Tabela IV - Tempos de temperaturas de pós-aquecimento para aços temperáveis

Outros tratamentos térmicos

Além do pré-aquecimento e do pós-aquecimento, vários outros tratamentos térmicos são empregados em juntas soldadas para influenciar nas propriedades do metal de solda:

- ❑ alívio de tensões;
- ❑ recozimento pleno;
- ❑ normalização.

Esses tratamentos são similares de dois pontos de vista. Primeiro, usualmente requerem temperaturas mais altas que o pré-aquecimento e o pós-aquecimento. Segundo, embora sejam atividades de "pós-aquecimento" no sentido de que são aplicados após a solda ter sido executada, diferem do pós-aquecimento no fato de que a solda é deixada esfriar antes que o tratamento seja iniciado. São largamente utilizados em soldas de aços carbono e de aços de baixa liga.

Alívio de tensões no forno

Seguindo a atividade de soldagem, o resfriamento e a contração do metal de solda originam tensões na solda e nas regiões adjacentes. O objetivo do alívio de tensões é reduzir essas tensões. Esse tra-

tamento leva a junta soldada a uma condição mais durável; a ductilidade é aumentada sobremaneira, embora a resistência mecânica diminua ligeiramente. Certos códigos permitem maiores tensões de projeto, desde que seja aplicado o alívio de tensões. Tipicamente, o alívio de tensões consiste no aquecimento da peça a uma temperatura em torno de 600°C e mantê-la por uma hora para cada 25 mm de espessura (veja a Tabela V). O conjunto é então resfriado lentamente em ar calmo até 300°C. Se temperaturas altas como 600°C forem impraticáveis, podem ser empregadas temperaturas mais baixas com um tempo de encharcamento mais longo.

TEMPO E TEMPERATURA DE ALÍVIO DE TENSÕES	
Temperatura (°C)	Tempo (h/25 mm)
595	1
565	2
535	3
510	5
480	10

Tabela V - Tempo e temperatura de alívio de tensões

Recozimento pleno

O recozimento pleno possui outra função adicional em relação ao alívio de tensões simples. Além de levar a peça soldada a uma condição sem tensões, o recozimento pleno assegura ductilidade e baixa dureza da solda e da zona termicamente afetada. Esse tratamento térmico consiste no aquecimento do conjunto até sua faixa crítica (840°C até 1.000°C) e resfriá-lo no forno.

Normalização

Esse tratamento é na realidade uma outra forma de recozimento. As temperaturas utilizadas são as mesmas que no caso do recozi-

mento, mas a normalização pressupõe resfriamento em ar calmo até a temperatura ambiente em vez de resfriamento no forno. As tensões internas são aliviadas, porém a solda não fica com as mesmas ductilidade e baixa dureza obtidas com o recozimento pleno.

Posicionamento das peças

Montagem e fixação da junta

Para todas as aplicações de soldagem, a junta deve ser montada em uma ligação adequada e deve ser mantida rígida para limitar os deslocamentos causados pelo calor. Pontos, acopladores, dispositivos auxiliares de fixação (conhecidos como cachorros) ou combinações desses dispositivos de fixação são normalmente necessários. Quando são fabricados conjuntos grandes e pesados, os pontos de solda são suficientes para manter a junta adequadamente alinhada. O peso do conjunto evita deslocamentos causados pelos efeitos do calor. Conjuntos leves como chapas 10 MSG ou mais finas devem ser rigidamente fixados. Os cachorros mantêm o alinhamento, ajudam a dissipar o calor e evitam o empenamento. O ponteamento é desnecessário se a fixação com cachorros for adequada. Para espessuras intermediárias, uma combinação entre cachorros e ponteamento pode ser a opção mais econômica.

Inclinação do conjunto

A maior parte das soldas por arco submerso é executada na posição plana (veja a Figura 53a). No entanto, algumas vezes torna-se necessário ou desejável soldar com o conjunto ligeiramente inclinado. Por exemplo, na soldagem a altas velocidades de chapas de aço 18 MSG, conseguem-se melhores resultados na soldagem se o conjunto for inclinado de 15° a 18° e se a soldagem for feita na progressão descendente. A soldagem com o conjunto inclinado é realizada também em seções conformadas, tais como chapas de proa e de popa de navios. O ângulo de máxima inclinação diminui à medida que a

espessura da chapa aumenta. (Toda a soldagem circunferencial na superfície convexa de um conjunto girando em torno de um eixo horizontal, sob o ponto de vista do cabeçote de soldagem, é considerada como progressão descendente, embora o controle do metal fundido determine a posição da poça de fusão).

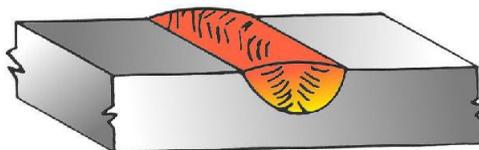


Figura 53a - Solda nivelada em chapa de 12,5 mm

A soldagem na progressão ascendente afeta o perfil do cordão de solda conforme mostrado na Figura 53b. A força da gravidade faz com que a poça de fusão flua para trás do arame de solda. As bordas da poça de fusão perdem metal fundido, que flui para o meio. À medida que o ângulo de inclinação aumenta, a crista e a penetração também aumentam e a largura do cordão diminui (quanto maior a poça de fusão, também serão maiores a crista e a penetração). O ângulo limite de inclinação quando a soldagem ocorre a correntes até 800 A é de cerca de 6°. Quando se empregam correntes maiores, o ângulo de inclinação máximo diminui. Inclinações maiores que as recomendadas acima levam ao descontrole da soldagem.

A soldagem na progressão descendente afeta o perfil do cordão de solda conforme mostrado na Figura 53c. A poça de fusão tende a fluir à frente do arame de solda e pré-aquece o metal de base, particularmente em sua superfície, produzindo uma zona fusão de formato irregular, chamada de *poça secundária*. À medida que o ângulo de inclinação aumenta, a superfície do meio do cordão sofre uma depressão, a penetração diminui e a largura do cordão aumenta. Observe que esses efeitos são exatamente opostos aos produzidos pela soldagem na progressão ascendente.

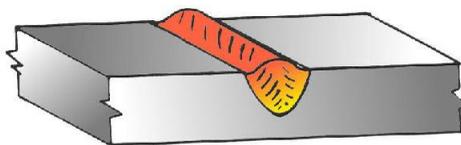


Figura 53b - Solda ascendente (6°) em chapa de 12,5 mm

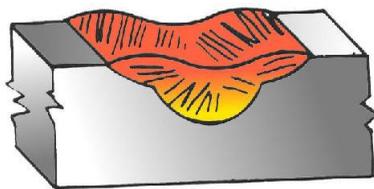


Figura 53c - Solda descendente (6°) em chapa 12,5 mm

A inclinação lateral da peça produz os efeitos mostrados na Figura 53d. O limite de inclinação lateral é de aproximadamente 3° . A inclinação lateral permissível varia sobremaneira, dependendo do tamanho da poça de fusão.



Figura 53d - Solda com inclinação lateral em chapa de 12,5 mm

Posicionamento do arame

Na determinação da posição adequada do arame de solda, três fatores devem ser considerados:

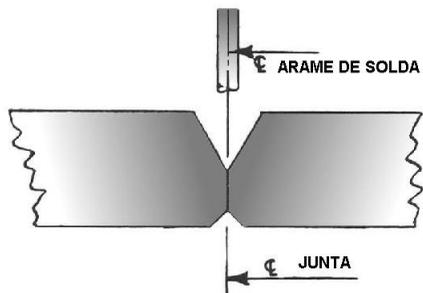
- ❑ o alinhamento do arame de solda em relação à junta;
- ❑ o ângulo de inclinação nas direções laterais, isto é, a inclinação transversal da junta;
- ❑ o ângulo de ataque do arame de solda. No ângulo de ataque puxando, o arame de solda faz um ângulo obtuso com a solda executada. No ângulo de ataque empurrando, o arame de solda faz um ângulo agudo com a solda executada. Em geral, um ângulo de ataque puxando produz uma penetração maior e mais uniforme e também maior altura e menor largura do reforço de solda. Por outro lado, um ângulo de ataque empurrando resultará em menor penetração com reforço de solda mais largo e mais plano.

Para cada um dos vários tipos de soldagem, o posicionamento do arame é feito dos seguintes modos:

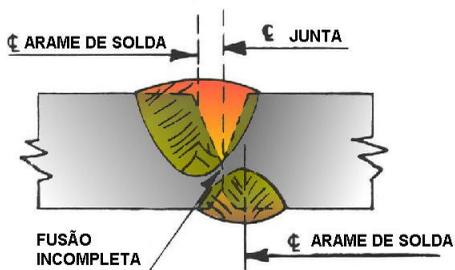
Soldagem de juntas de topo

- ❑ alinhamento - veja a Figura 54;
- ❑ inclinação lateral - nenhuma;
- ❑ ângulo de ataque puxando ou empurrando.

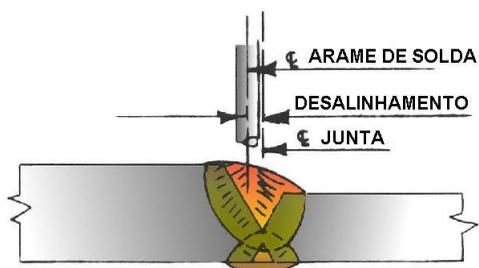
Pode ser obtida uma boa estabilidade com o arame na vertical durante a soldagem de peças espessas (espessuras iguais ou maiores que 12,5 mm). No entanto, durante a soldagem de peças finas (14 MSG a 16 MSG), torna-se necessário aplicar um ângulo de ataque puxando de 25° a 45° para estabilizar a tensão do arco.



- a. Arame de solda diretamente sobre a linha de centro da junta. Esse alinhamento resulta em uma zona de fusão centrada.



- b. Arame descentrado resulta em fusão incompleta



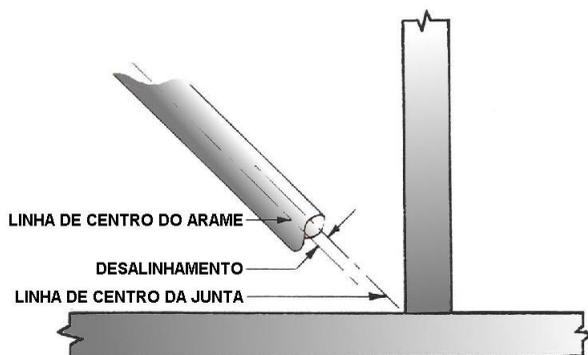
- c. Desalinhamento necessário quando se soldam materiais dissimilares ou chapas com espessuras diferentes

Figura 54 - Posicionamento do arame

Soldagem de juntas em ângulo

Alinhamento

A linha de centro do arame não deve estar na linha de centro da junta, mas abaixo, direcionada à peça horizontal de uma distância igual a $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ do diâmetro do arame (veja a Figura 55a). Utiliza-se uma distância maior quando se executam soldas em ângulo de perna mais larga (aproximadamente 10 mm). Alinhamento descuidado ou impreciso causará soldagem insatisfatória (veja a Figura 55b e a Figura 55c).



a. Alinhamento normal do arame de solda para uma junta em ângulo horizontal

Figura 55a - Alinhamento do arame em juntas em ângulo

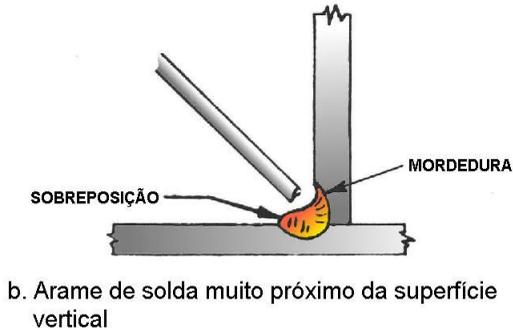


Figura 55b - Mordedura causada por alinhamento de arame inadequado

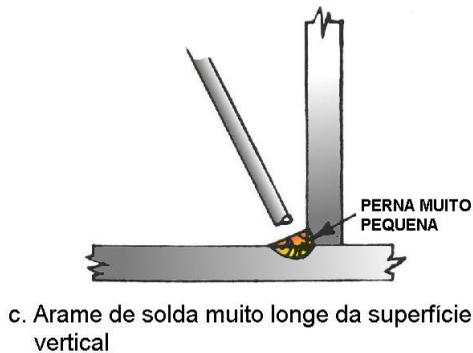


Figura 55c - Perfil de cordão desfavorável causado por alinhamento de arame inadequado

Inclinação lateral

Ao se executar soldas horizontais em ângulo, o arame é inclinado entre 20° e 45° da vertical. O ângulo exato é determinado por um dos seguintes fatores ou por ambos:

- ❑ acesso para o bocal, especialmente durante a soldagem de peças estruturais como mostrado na Figura 56;

- a espessura relativa das peças que formam a junta. Se existir a possibilidade de furar alguma das peças, será necessário direcionar o arame para a peça mais espessa.

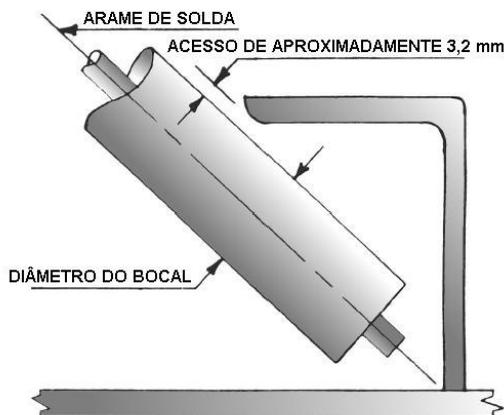


Figura 56 - Inclinação lateral determinada pelo acesso do bocal

Ângulo de ataque

A soldagem em ângulo horizontal pode ser realizada igualmente bem com ângulo de ataque puxando, empurrando ou com o arame na posição normal. Na soldagem com cordões largos, os efeitos do ângulo de ataque são relativamente pequenos. O ângulo de ataque torna-se importante quando se executam cordões pequenos em soldagem a altas velocidades. Para depositar cordões a altas velocidades de soldagem em chapas finas (14 MSG a 16 MSG), um ângulo de ataque puxando, com um ângulo de 25° a 45° da vertical tem se mostrado uma boa opção para manter estável a tensão do arco.

Soldagem em ângulo na posição plana

Alinhamento

Veja a Figura 57a.

Inclinação lateral

O arame é normalmente mantido na posição vertical (ângulo zero de inclinação lateral). Ocasionalmente, ao depositar cordões em filete na posição plana onde é almejada penetração total, o arame é ligeiramente inclinado em relação à vertical. Veja a Figura 57b.

Ângulo de ataque

Aplica-se o mesmo que na soldagem horizontal em ângulo.

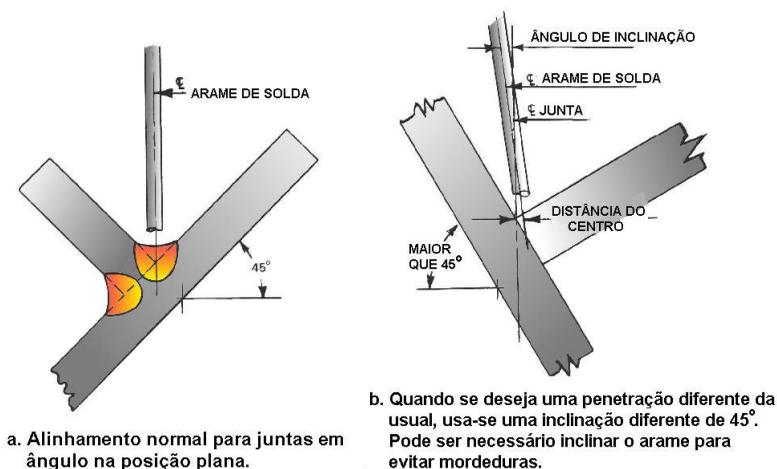
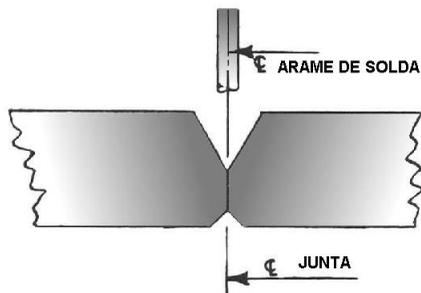


Figura 57 - Alinhamento do arame numa soldagem em ângulo na posição plana

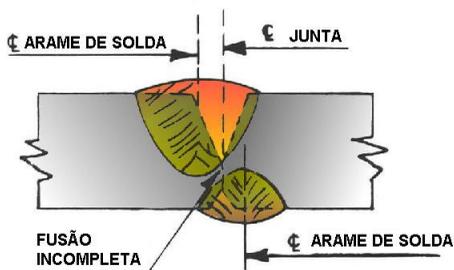
Juntas circunferenciais em conjuntos girantes

Alinhamento

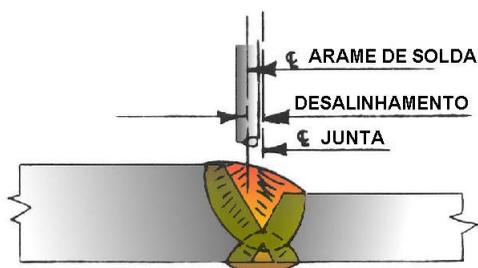
Quando se soldam conjuntos girantes, o arame de solda é alinhado de modo semelhante a uma soldagem normal em uma superfície horizontal (veja a Figura 58).



- a. Arame de solda diretamente sobre a linha de centro da junta. Esse alinhamento resulta em uma zona de fusão centrada.



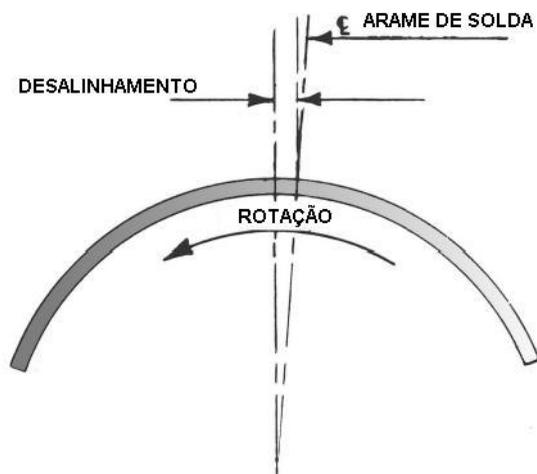
- b. Arame descentrado resulta em fusão incompleta



- c. Desalinhamento necessário quando se soldam materiais dissimilares ou chapas com espessuras diferentes

Figura 58 - Posicionamento do arame

Adicionalmente, o arame é usualmente posicionado à frente do ponto de tangência horizontal para evitar os efeitos prejudiciais da soldagem nas progressões ascendente e descendente. Algumas vezes, quando se soldam peças de pequena espessura e quando se depositam cordões em filete, esses efeitos das progressões ascendente e descendente auxiliam na obtenção do perfil desejado para o cordão de solda. O exato posicionamento deve ser determinado por tentativas e ajustes (veja a Figura 59a e a Figura 59b).



- a. Soldagem circunferencial externa.
Inclinar o arame de solda de tal modo
que ele fique na direção radial.**

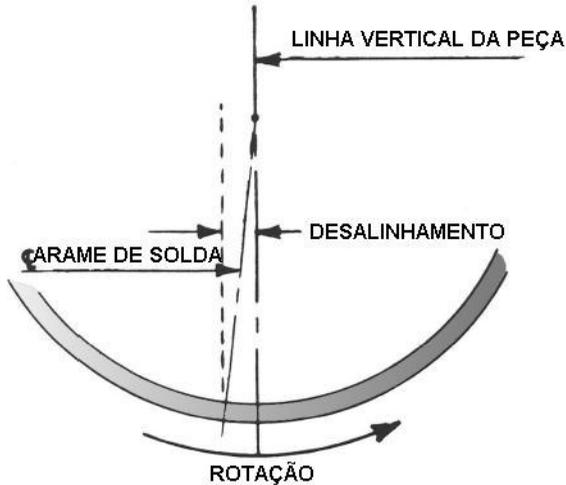
Figura 59a - Soldagem circunferencial externa

Inclinação lateral

A soldagem circunferencial em peças girantes usualmente não requer qualquer inclinação lateral do arame de solda.

Ângulo de ataque

Proceder conforme mostrado na Figura 59a e na Figura 59b durante a soldagem circunferencial de peças girantes.



- b. Soldagem circunferencial interna. Inclinarm o arame de solda de tal modo que ele fique na direção radial.**

Figura 59b - Soldagem circunferencial interna

Início da soldagem

A técnica empregada para iniciar a soldagem em uma aplicação particular dependerá de fatores como o tempo requerido para o início relativamente ao tempo total de ajustes e de soldagem, do número de peças a serem soldadas e da importância do início da soldagem em

um local particular da peça. As diversas técnicas disponíveis são descritas abaixo.

Observe que, nas descrições, os controles e chaves reais que são acionados para "iniciar a soldagem" nem sempre são assim denominados, visto que serão diferentes dependendo do tipo de equipamento em uso. As instruções fornecidas com o equipamento indicarão quais os controles a serem usados para fechar o contato, acionar o deslocamento do cabeçote, etc.

Partida apontando o arame

Com um alicate, corte o arame de solda e alimente-o até encostá-lo na peça. Adicione o fluxo e inicie a soldagem.

Partida arrastando o arame

Alimente o arame de solda até que ele fique em leve contato com a peça, adicione o fluxo, acione o deslocamento do cabeçote e então aplique a corrente de soldagem. Por causa do movimento do cabeçote, o arame de solda não irá furar a peça.

Inícios arrastando o arame são empregados quando a posição de início não for importante e quando o arco necessitar ser aberto com certa frequência, como em soldas circunferenciais em pequenos tanques ou em tubulações. Para tais atividades, o arame de solda pode ser alimentado, com a peça girando, através da camada de fluxo granulada, desde que seja aplicada uma densidade de corrente razoavelmente alta.

Partida com lâ de aço

Coloque uma bola feita de lâ de aço com diâmetro 10 mm sobre a peça, bem abaixo do arame de solda. Alimente lentamente o arame de solda em direção à bola de lâ de aço até comprimi-la aproximadamente a metade do diâmetro. Adicione o fluxo e inicie a soldagem.

Partida com material fundido

Sempre que houver uma poça de fluxo fundido, pode ser iniciada uma soldagem simplesmente inserindo o arame de solda na poça e aplicando a corrente de soldagem.

Quando dois ou mais arames de solda forem alimentados separadamente na poça de fusão, como é o caso na soldagem com múltiplos eletrodos (*tandem arc*), é necessário alimentar apenas um arame de solda para iniciar a poça de fusão. Os outros arames iniciarão a soldagem quando forem alimentados na poça de fusão.

Partida com arame retrátil

Essa partida somente é possível quando o equipamento de soldagem é especificamente adaptado a este procedimento. É empregado quando têm que ser efetuadas partidas freqüentes em um curto tempo de soldagem e quando a posição de partida é particularmente importante.

A prática normal é alimentar aos poucos o arame de solda até que ele encoste a peça, certificando-se de que foi estabelecido um bom contato elétrico. A ponta do arame de solda é então coberta com fluxo e a corrente de soldagem é ativada. Assim que o circuito fechar, o arame de solda retrai-se acionado pelo dispositivo adaptado ao equipamento e momentaneamente reverte o motor de alimentação, evitando que o arame de solda fure a peça.

Se a peça tiver pequena espessura, as condições de partida tornam-se críticas. O arame de solda deve ter o contato mais leve possível que produza uma boa condutividade elétrica. O cabeçote de soldagem deve ser rigidamente montado. A ponta do arame de solda deve estar limpa e seu diâmetro deve ser escolhido de modo a permitir altas densidades de corrente já que, quanto maior a densidade de corrente, mais fácil será a partida.

Variáveis controláveis durante a soldagem

Conhecimento e controle das variáveis na soldagem por arco submerso são essenciais caso se queira obter soldas de boa qualidade. As variáveis, na ordem aproximada de importância, são:

- ❑ corrente de soldagem;
- ❑ tensão do arco;
- ❑ velocidade de soldagem;
- ❑ largura e altura da camada de fluxo;
- ❑ ajustes mecânicos.

Essas variáveis são discutidas no texto a seguir.

Corrente de soldagem

A corrente de soldagem é a variável mais influente. Ela controla a taxa de fusão do arame de solda, a profundidade de fusão e a quantidade de metal de base fundido. Se a corrente for excessivamente alta, a fusão será também excessivamente profunda (excesso de penetração) e o metal de solda fundido poderá vazar. Adicionalmente, o maior calor desenvolvido pode alargar demais a zona termicamente afetada do metal de base. Correntes muito altas significam também um desperdício de energia e de arame de solda no sentido de reforço excessivo. Por outro lado, se a corrente for muito baixa, haverá penetração e reforço insuficientes.

Tensão do arco

O mais próximo em importância à corrente de soldagem é a tensão do arco, que é a diferença de potencial elétrico entre a ponta do arame de solda e a superfície do metal de solda fundido. A tensão de soldagem varia com a distância entre o arame de solda e a poça de fusão (comprimento do arco). Se o comprimento do arco aumentar, a tensão do arco aumenta; inversamente, se o comprimento do arco diminuir, a tensão do arco diminui.

A tensão do arco tem um pequeno efeito na quantidade de arame de solda depositado, que é determinada majoritariamente pela corrente de soldagem. A tensão do arco determina principalmente a geometria da zona de fusão e o reforço (perfil do cordão de solda). Altas tensões do arco produzem cordões mais largos, mais planos e menos profundos.

Velocidade de soldagem

Com qualquer combinação de corrente-tensão de soldagem, os efeitos de variação da velocidade de soldagem seguem um modelo geral:

Se a velocidade de soldagem aumentar:

- ❑ diminui o aporte térmico (quantidade de calor transferido pelo arco por unidade de comprimento de solda);
- ❑ diminui a quantidade de arame de solda por unidade de comprimento de solda;
- ❑ conseqüentemente, diminui o reforço de solda.

Se a velocidade de soldagem diminuir:

- ❑ aumenta o aporte térmico;

- ❑ aumenta a quantidade de arame de solda por unidade de comprimento de solda;
- ❑ conseqüentemente, aumenta o reforço de solda.

Adicionalmente a esse modelo, a velocidade de soldagem pode ter outro efeito na solda acabada. Normalmente, apenas a corrente de soldagem afeta a penetração da solda. Entretanto, se a velocidade de soldagem diminuir além de um certo valor, a penetração também diminuirá. Isso acontece porque uma boa parte da poça de fusão estará embaixo do arame de solda e a força de penetração do arco será atenuada pela poça. Inversamente, se a velocidade de soldagem ultrapassar um certo valor, a penetração aumentará porque o arame de solda estará à frente da poça de fusão.

Largura e altura da camada de fluxo

A largura e a altura da camada de fluxo granulado influenciam a aparência e a integridade do cordão de acabamento bem como na soldagem propriamente dita.

Se a camada de fluxo granulado for muito alta, deverá resultar em um cordão áspero e rugoso. Os gases gerados durante a soldagem não conseguem escapar prontamente e a superfície do metal de solda fundido fica distorcida.

Por outro lado, se a camada de fluxo granulado for muito rasa, a zona de soldagem não estará inteiramente submersa. Ocorrerão centelhamento e respingos; o cordão de solda terá uma aparência ruim e poderá apresentar porosidade.

Para cada condição de ajuste de parâmetros de soldagem existe uma altura ótima de fluxo granulado. Essa altura pode ser estabelecida aumentando-se lentamente a quantidade de fluxo granulado até que o arco esteja submerso e que não ocorra mais centelhamento.

Os gases serão liberados sem turbulência em torno do arame de solda, algumas vezes havendo queima deles.

Raramente é aplicada uma camada excessivamente estreita. O procedimento mais seguro é aplicar uma camada com largura três vezes superior à largura da poça de fusão. Em cordões largos pode ser necessário aplicar uma camada mais larga. Uma camada de fluxo que esteja limitada por limitadores muito estreitos interfere na fluidez lateral normal do metal de solda fundido, resultando em um reforço estreito, com altura desproporcionalmente maior que a largura e sem molhar convenientemente o metal de base.

Ajustes mecânicos

A posição do arame de solda deve ser mantida para controlar a geometria do cordão e a profundidade de penetração. O arame pode ser guiado automaticamente ou ajustado manualmente à medida que a solda progride.

Enquanto a solda estiver em andamento, uma inspeção indicará se o cobre-juntas está pressionado contra o lado inferior da junta. Se não estiver pressionado, muito metal poderá fluir nas folgas, resultando em um reforço de solda reduzido, mordeduras e conseqüentemente em uma solda perdida.

Variantes do processo

A soldagem por arco submerso leva a uma ampla variedade de combinações de arame e fluxo, a arranjos de um e de vários arames e ao uso de fontes de soldagem CC ou CA. O processo tem sido adaptado a uma gama de materiais e espessuras. Várias configura-

ções de arcos múltiplos podem ser empregadas para controlar o perfil do cordão de solda e aumentar as taxas de deposição em relação à soldagem com um único arame. Os depósitos de solda podem variar desde cordões largos com pouca penetração para revestimentos até cordões estreitos com penetração profunda para juntas espessas. Parte dessa versatilidade provém do emprego de CA.

Os princípios que favorecem o uso de CA para minimizar o sopro magnético na soldagem com um único arame são freqüentemente aplicados na soldagem com arcos múltiplos para criar uma deflexão favorável do arco. A corrente que flui nos eletrodos adjacentes gera campos magnéticos interativos que podem tanto aumentar quanto diminuir um ao outro. No espaço entre os arcos, esses campos magnéticos são usados para produzir forças que irão defletir os arcos (e, portanto, distribuir o calor) nas direções benéficas à aplicação de soldagem pretendida.

Vários tipos de fontes de soldagem e acessórios são projetados e fabricados especialmente para a soldagem com arcos múltiplos. Esses equipamentos relativamente sofisticados são projetados para a produção em larga escala de longos cordões ou para aplicações repetitivas.

As configurações seguintes são típicas do processo de soldagem por arco submerso empregadas atualmente na soldagem de produção. Elas podem ser empregadas para a soldagem de aços carbono e de baixa liga dentro das limitações anteriormente observadas.

Soldagem com um único arame

A soldagem com um único arame é a mais comum dentre todas as configurações, utilizando apenas um arame e uma fonte de soldagem. É normalmente aplicada com CC+, porém pode também ser aplicada com CC- quando for requerida uma menor penetração no metal de base. O processo pode ser empregado no modo semi-

automático, onde o soldador manipula o arame, ou no modo automático.

Um único arame é freqüentemente utilizado com equipamentos de soldagem especiais para passes de acabamento em juntas horizontais com chanfro em tanques de estocagem e vasos de pressão. O equipamento é montado sobre o anel superior e solda a junta circunferencial. Um dispositivo especial é empregado para suportar o fluxo contra os anéis. Normalmente, ambos os lados da junta (interno e externo) são soldados simultaneamente para reduzir o tempo de fabricação.

Soldagem com chanfro estreito

Configurações com chanfro estreito são freqüentemente empregadas para a soldagem de peças com espessuras acima de 50 mm, com aberturas de raiz entre 13 e 25 mm e um ângulo total de chanfro de 0 a 8°. Essa variante de processo normalmente alimenta o arame com CC+ ou CA, dependendo do tipo de arame e do fluxo sendo utilizados. É essencial empregar fluxos especialmente desenvolvidos para a soldagem em chanfro estreito por causa da dificuldade de remoção da escória. Esses fluxos apresentam características especiais que facilitam a remoção de escória em chanfros estreitos.

Soldagem com arames múltiplos

Sistemas de arames múltiplos combinam dois ou mais arames de soldagem alimentando a mesma poça de fusão. Os arames podem ou conduzir corrente elétrica ou ser alimentados a frio. Eles podem ser alimentados por uma ou por várias fontes, que podem ser CC ou CA ou ambos os tipos de corrente.

Sistemas de soldagem com arames múltiplos não só aumentam a taxa de deposição do metal de solda como também melhoram a flexibilidade operacional e proporcionam uma aplicação mais eficiente do metal de solda. Esse controle melhorado da taxa de deposição também pode levar a maiores velocidades de soldagem, até cinco vezes os valores normalmente atingidos com um único arame.

Processo com arames geminados (*twin arc*)

Essa configuração usa dois arames alimentados na mesma poça de fusão. Os dois arames são conectados a uma única fonte de soldagem e alimentador, e são normalmente utilizados com CC+. Como os dois arames são fundidos, esse modo proporciona taxas de deposição maiores quando comparadas com a soldagem com um único arame. O processo é empregado no modo automático e pode ser aplicado em juntas com chanfro na posição plana ou em juntas em ângulo na posição horizontal.

a) Taxas de deposição

A Tabela VI mostra valores de taxas de deposição que podem ser alcançados para diversos diâmetros de arame sólido e tubular e também para diferentes polaridades de corrente.

Com um arranjo de um arame, o efeito do tipo e da polaridade da corrente desempenha um papel mais importante na taxa de deposição. Um arame sólido de $\varnothing 4,0$ mm a 1.000 A depositará 20,5 Kg/h com CC- ou 44% mais que CC+ com 14,2 Kg/h. Se for aplicada CA, a taxa de deposição é de 17,4 Kg/h (23% maior que para CC+). Como o arranjo mais comum é CC+, devido à maior penetração e estabilidade do arco, as comparações a seguir são feitas somente com CC+.

Com uma corrente de 600 A, um arame sólido de $\varnothing 2,0$ mm depositará 11,5 Kg/h e um de $\varnothing 4,0$ mm 7,2 Kg/h. Isso representa um aumento de 60% na taxa de deposição para o arame de $\varnothing 2,0$ mm comparado com o arame de $\varnothing 4,0$ mm à mesma corrente devido à densidade de corrente quatro vezes maior na seção do arame de $\varnothing 2,0$ mm (191 A/mm^2 para $\varnothing 2,0$ mm e 48 A/mm^2 para $\varnothing 4,0$ mm). Se

o projeto de junta e a aplicação permitirem, é desejável levar o arame a sua maior capacidade de corrente, visto que isso também aumenta a estabilidade do arco.

	600 A	800 A	1.000 A
Um arame			
CC- 4,0mm – arame sólido	9,8	14,6	20,5
CA 4,0mm – arame sólido	8,5	12,6	17,4
CC+ 4,0mm – arame sólido	7,2	10,5	14,2
CC+ 4,0mm – arame tubular MC	8,5	12,8	15,8
CC+ 4,0mm – arame tubular FCW	9,2	14,6	18,0
Arco geminado (<i>twin arc</i>)			
CC+ 2 x 2,0mm – arame sólido	8,0	11,8	17,5
CC+ 2 x 2,4mm – arame sólido	7,4	10,9	15,3
CC+ 2 x 2,4mm – arame tubular MC	8,7	14,4	21,0
CC+ 2 x 2,4mm – arame tubular FCW	9,4	15,3	22,9

Tabela VI - Taxas de deposição típicas para a soldagem com um arame e com arco geminado para uma extensão de eletrodo de 30 mm

A 1.000 A, um arame de $\varnothing 4,0$ mm depositará 14,2 Kg/h com CC+. Se for aplicada a mesma corrente para a configuração $2 \times \varnothing 2,0$ mm, será alcançada a taxa de deposição de 17,5 Kg/h. Arco geminado com OK Autrod[®] 12.20, $2 \times \varnothing 2,0$ mm pode produzir cordões em juntas em ângulo com alta velocidade a 1.100 A e 27 V, com garganta de 3 mm e velocidade de soldagem de 3 m/min.

Uma comparação entre arame tubular e sólido $\varnothing 4,0$ mm à mesma corrente de 800 A mostra que o arame tubular com fluxo não metálico produz 14,6 Kg/h, o arame tubular com pó metálico 12,8 Kg/h e o arame sólido 10,5 Kg/h.

Em aplicações com arco geminado a 800 A com a configuração 2x \varnothing 2,4 mm, as taxas de deposição favorecem o arame tubular com fluxo não metálico com 15,3 Kg/h comparado com o arame tubular com pó metálico a 14,4 Kg/h e o arame sólido com 10,9 Kg/h.

Na soldagem com arco geminado, um equipamento padrão de arco submerso é dotado de conjuntos duplos de roldanas, motores de acionamento e bicos de contato adequados à alimentação simultânea de dois arames em vez de um único arame. O processo de arco geminado produz taxas de deposição consideravelmente maiores que o processo convencional com um único arame empregando grandes diâmetros (veja a Figura 60). Esse processo pode resultar em taxas de deposição 30-50% mais altas.

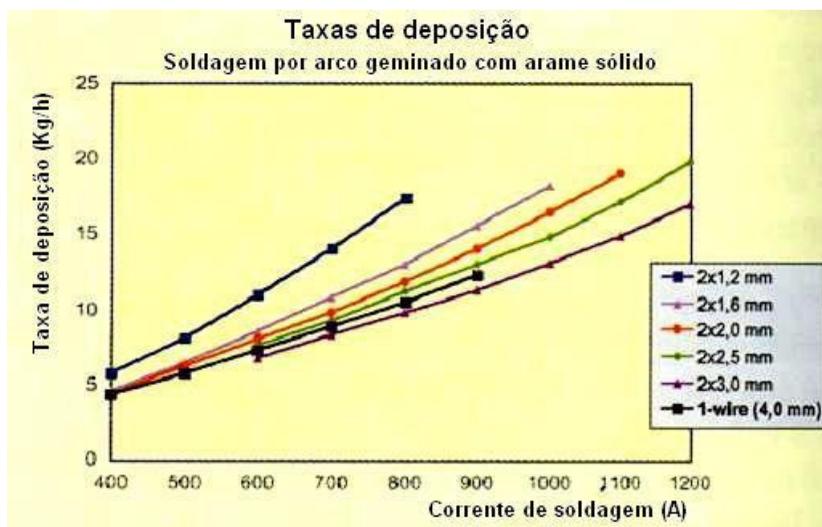


Figura 60 - Efeito do arco geminado na taxa de deposição (CC+, extensão do eletrodo: \varnothing 1,2 mm e \varnothing 1,6 mm: 20 mm; \varnothing 2,0 mm: 25 mm; e \varnothing 2,5-4,0 mm: 30 mm)

O aumento na taxa de deposição pode ser atribuído primeiramente ao aumento na densidade de corrente e no aquecimento por resistência dos arames de menor diâmetro, e conseqüentemente a uma maior taxa de fusão. Para atingir maiores

uma maior taxa de fusão. Para atingir maiores taxas de deposição no processo arco geminado, o diâmetro dos arames ($\varnothing 1,2-2,5$ mm) deve ser 70% menor que o diâmetro do arame empregado no processo equivalente com um único arame.

Exemplo 1: densidade de corrente nos processos arco geminado e com um único arame

- ❑ um arame ($\varnothing 4,0$ mm) e 600 A: 48 A/mm²
- ❑ arco geminado ($2 \times \varnothing 2,0$ mm) e 600 A: 95 A/mm²

O outro aspecto desse processo é que as altas velocidades de soldagem são possíveis graças à poça de fusão mais comprida. Adicionalmente, a capacidade de corrente do processo com arco geminado é maior que a do processo com um arame, como pode ser observado na Figura 60.

Exemplo 2: soldagem de alta velocidade em junta em ângulo com arco geminado

- ❑ perna (posição horizontal em ângulo 2F/PB): 3,5 mm
- ❑ espessura da chapa: 6 mm
- ❑ diâmetro do arame: $2 \times \varnothing 2,0$ mm
- ❑ corrente de soldagem: 800 A
- ❑ tensão do arco: 33-34 V
- ❑ velocidade de soldagem: 160 cm/min

O processo com arco geminado é principalmente empregado em juntas em ângulo onde podem ser alcançadas altas velocidades de soldagem. Entretanto, ele também pode ser aplicado com sucesso em juntas de topo, chegando a resultar em taxas de deposição superiores a 15 Kg/h. Nesse processo também podem ser usados arames tubulares para aumentar ainda mais as taxas de deposição (veja a Figura 61).

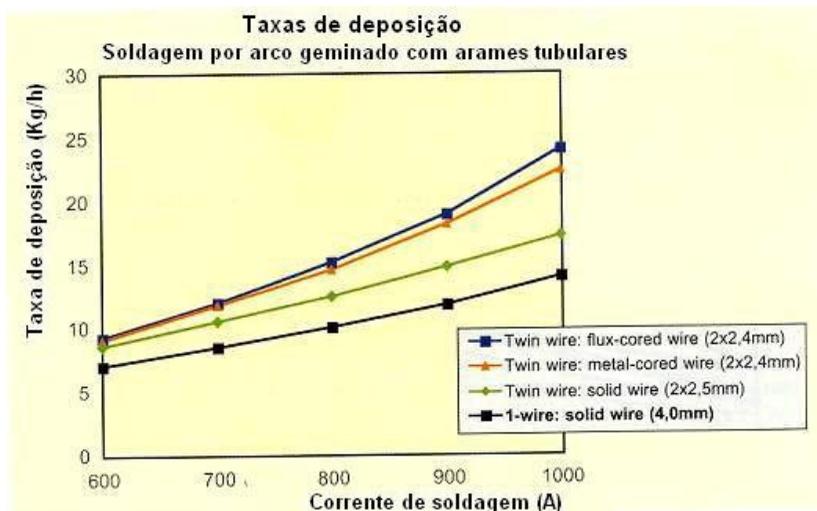


Figura 61 - Efeito dos arames tubulares com arco geminado na taxa de deposição (CC+)

Processo com arames múltiplos (*tandem arc*)

Na soldagem com arcos múltiplos — conhecida como processo *tandem* — cada arame é ligado a sua própria fonte e é alimentado simultaneamente por seu próprio alimentador. O 1º arame, que é operado a altas correntes (normalmente CC+) e a baixas tensões, produz alta penetração, enquanto que o 2º arame aplica correntes mais baixas (normalmente CA) para deixar o perfil do cordão de solda mais suave. A corrente alternada é empregada normalmente no 2º arame para evitar os efeitos indesejáveis de sopro magnético resultante da atração magnética de arcos muito próximos. O 1º arame tem normalmente o ângulo de ataque puxando e o 2º arame empurrando. Os arames usados nesse processo são normalmente de grande diâmetro (3,0-6,0 mm).

Exemplo 3: soldagem com arcos múltiplos na soldagem unilateral de chapas finas

- ❑ espessura da chapa: 6 mm
- ❑ junta: topo a topo com abertura de 1 mm
- ❑ cobre-juntas: fita de fibra de vidro + cobre
- ❑ correntes: CC+ / CA
- ❑ 1º arame (vertical): CC+, Ø3,0 mm, 800 A, 30 V
- ❑ 2º arame (empurrando): CA, Ø3,0 mm, 625 A, 33 V
- ❑ distância entre os cabeçotes: 20 mm
- ❑ velocidade de soldagem: 2 m/min
- ❑ aporte térmico: 1,4 KJ/mm

A taxa de deposição alcançada com esse processo é cerca de duas vezes a da soldagem com um arame (veja a Figura 62).

É desnecessário dizer que o investimento adicional é muito alto para a soldagem com arcos múltiplos, visto que são necessários vários equipamentos de soldagem. Esse processo é largamente aplicado na indústria pesada como, por exemplo, estaleiros, *offshore*, fabricação de perfis e tubulações. A soldagem com arcos múltiplos não se restringe unicamente a chapas espessas, mas também é adequada a chapas finas e à soldagem em alta velocidade de pequenos cordões em juntas em ângulo.

Exemplo 4: soldagem de juntas em ângulo empregando arames tubulares usando o processo com arcos múltiplos no 1º cabeçote e arco geminado no 2º cabeçote

- ❑ perna (posição horizontal em ângulo 2F/PB): 5,5 mm
- ❑ processo arcos múltiplos: um arame + arco geminado
- ❑ eletrodo: arame tubular metálico
- ❑ 1º cabeçote: CC+, Ø3,0 mm, 450 A, 27 V
- ❑ 2º cabeçote: CC+, 2xØ2,4 mm, 800 A, 32 V
- ❑ distância entre os cabeçotes: 50 mm
- ❑ velocidade de soldagem: 1,20 m/min
- ❑ taxa de deposição: 6 Kg/h + 14 Kg/h = 20 Kg/h
- ❑ aporte térmico: 1,8 KJ/mm

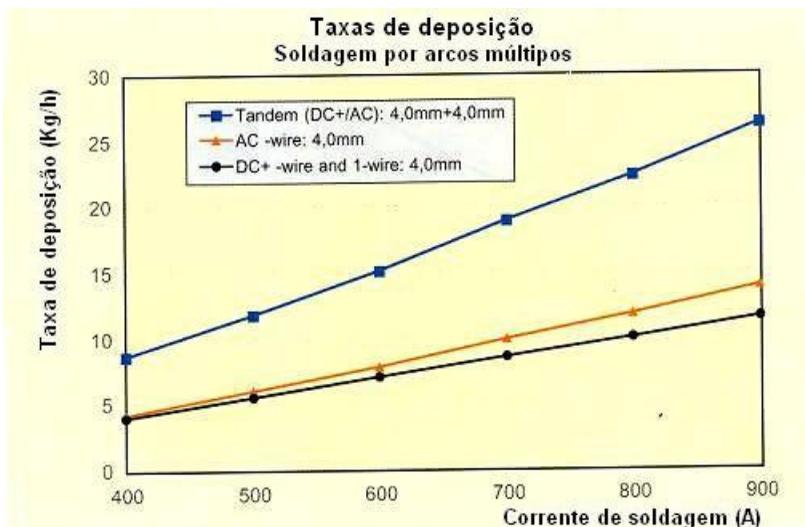


Figura 62 - Efeito da soldagem com arcos múltiplos na taxa de deposição (CC+/CA, $\varnothing 4,0$ mm / $\varnothing 4,0$ mm e extensão do eletrodo: 30 mm). A corrente total é a soma da corrente de cada arame

Juntamente com a soldagem com arcos múltiplos, outras variantes podem ser aplicadas para aumentar ainda mais a taxa de deposição; são os arames tubulares, adição de pó metálico e alimentação de arame a frio. No segundo cabeçote também pode ser empregado o processo arco geminado em vez de um único arame.

Processo com três arames (*triple-arc tandem*)

Há duas variantes para o processo com três arames. Numa variante, todos os três arames ficam conectados a fontes CA que, por sua vez, são conectados ao primário trifásico. Os primeiros arames nesse sistema são conectados com a conexão *Scott* do item anterior e o terceiro arame fica em fase com o primeiro. Essa conexão resulta em uma poderosa deflexão à frente do arco, proporcionando altas velocidades de soldagem. Essa variante é empregada em muitas fábricas de tubos com costura e também em estaleiros para aplicações de soldagem unilateral.

A segunda variante desse processo utiliza um arco CC+ penetrante e dois arames CA conectados com a conexão *Scott*.

Adição de arame frio

O processo de adição de arame frio tem se mostrado viável tanto com arame sólido quanto com arame tubular sem queda das propriedades da junta soldada. Essa técnica não é muito empregada na indústria. O equipamento necessário é o mesmo para qualquer aplicação com arames múltiplos, porém um arame não fica conectado a uma fonte de energia. Aumentos nas taxas de deposição até 73% são possíveis; taxas 35 a 40% maiores podem ser atingidas de forma consistente. Maiores taxas de deposição com o mesmo aporte térmico resultam em menor penetração.

Adição de arame quente

O processo de adição de arame quente é muito mais eficiente que o de arame frio ou mesmo que processos com arcos múltiplos, porque a corrente introduzida é empregada inteiramente para aquecer o arame alimentado e não para fundir o metal de base ou o fluxo. A deposição pode ser aumentada em 50 a 100% sem prejudicar as propriedades do metal de solda. Esse processo não necessita de equipamentos de soldagem adicionais, nem de controles adicionais das variáveis ou de tempo considerável de ajuste ou de uma atenção especial do operador.

Adição de pó metálico

O processo de adição de pó metálico pode aumentar as taxas de deposição em até 70%. Essa técnica proporciona fusão suave, me-

lhor aparência do cordão e reduzidas penetração e diluição. Pós metálicos podem também modificar a composição química do depósito de solda final. Os pós podem ser adicionados à frente da poça de fusão ou diretamente sobre ela, por gravidade ou utilizando o campo magnético em torno do arame para transportá-los.

Testes realizados com adições de pós metálicos confirmaram que o aumento na taxa de deposição não requer a energia adicional de um arco, não deteriora as propriedades de tenacidade do metal de solda nem aumenta os riscos de fissuração. Esses testes também indicam que as propriedades da junta soldada podem ser melhoradas controlando-se as microestruturas granulométricas resultantes do baixo aporte térmico e da composição química do metal de solda diluído.

Capítulo 5

Procedimentos e dicas operacionais

A produção consistente de metais de solda íntegros não é por acaso. É necessário um conhecimento total do processo de soldagem e de seus elementos. Apenas conhecer as condições iniciais de soldagem não é suficiente. É também necessário ser capaz de analisar um cordão de solda e alterar as condições de soldagem no que for requerido.

Para auxiliar na absorção desse conhecimento, essa seção é dedicada a uma discussão sobre o que acontece se uma ou mais condições de soldagem forem indevidamente ajustadas.

Esse item deve ser considerado como necessário para firmar idéias nas mentes das pessoas responsáveis pela produção de soldas íntegras, possuindo boa aparência e propriedades mecânicas aceitáveis.

Corrente, tensão e velocidade de soldagem

Corrente, tensão e velocidade de soldagem são as três mais importantes variáveis da soldagem por arco submerso. A qualidade da solda depende quase inteiramente de uma seleção e controle ade-

quados desses parâmetros. Por esse motivo, o operador deve conhecer como cada variável afeta a soldagem e que alterações devem ser feitas caso seja necessário efetuar alguma. A Figura 63, a Figura 64 e a Figura 65 mostram os efeitos das variáveis e ilustra os resultados de boas e más práticas de soldagem.

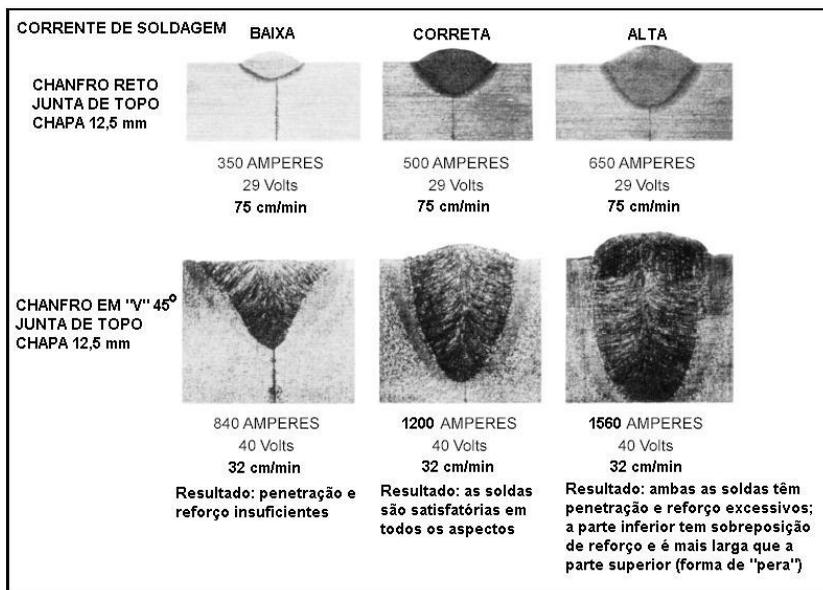


Figura 63 - Efeito da corrente de soldagem

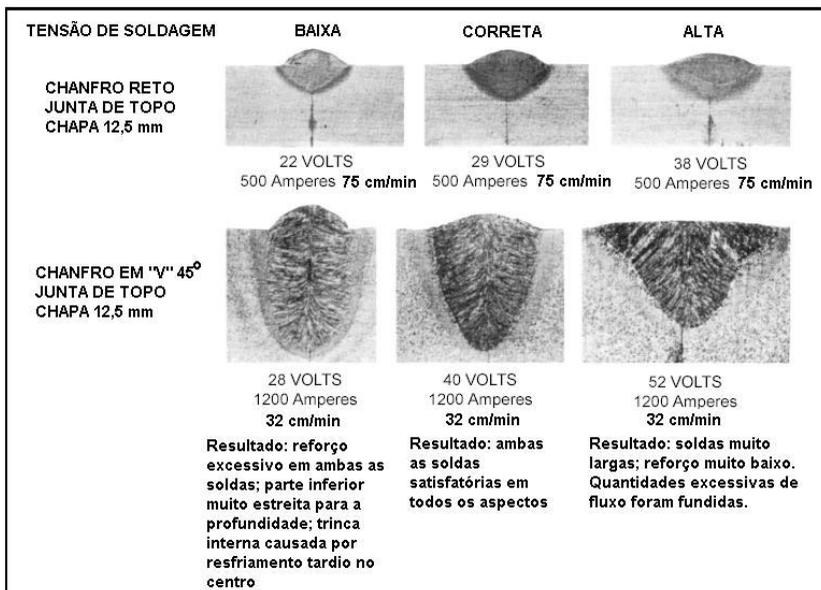


Figura 64 - Efeito da tensão do arco

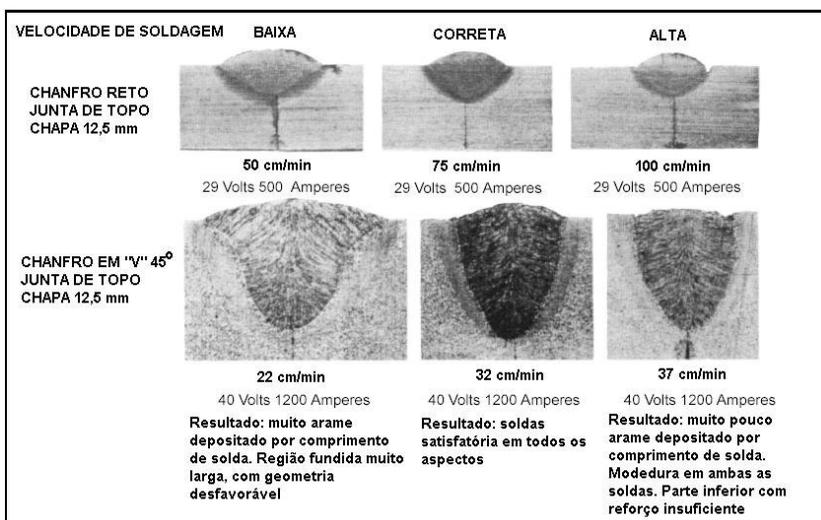


Figura 65 - Efeito da velocidade de soldagem

Altura do fluxo

A altura da camada de fluxo aplicada não deve ser maior que a necessária para obter uma soldagem sem turbulência e sem porosidade no cordão de acabamento.

A Figura 66 mostra o efeito de uma altura de fluxo adequada e de uma altura de fluxo insuficiente.

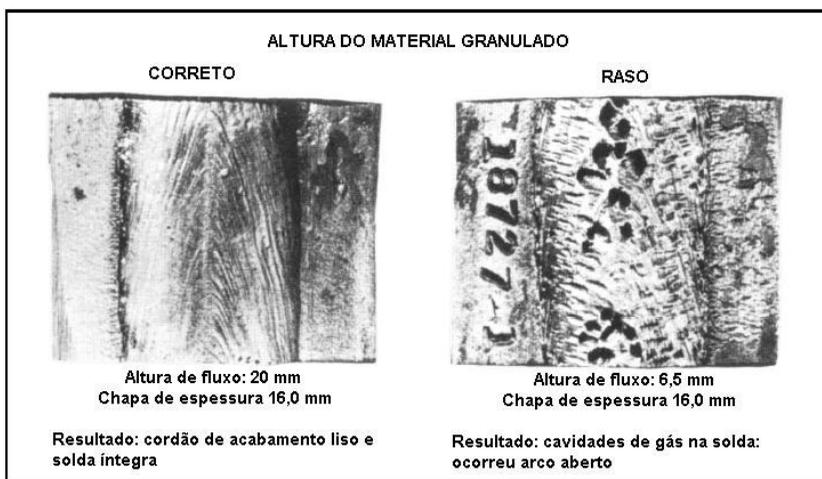


Figura 66 - Efeito da altura do fluxo

Se for aplicada uma camada de fluxo muito alta, o cordão de solda será rugoso e irregular. Pode ocorrer porosidade porque os gases gerados durante a soldagem não podem escapar pela espessa camada de fluxo.

O fluxo não fundido pode ser removido de uma curta distância da região de soldagem onde o material fundido já tenha solidificado. No entanto, sob certas condições, pode ser desejável não causar turbu-

lência no material até que o calor tenha se distribuído melhor através de toda a seção.

O fluxo fundido não deve ser removido enquanto o metal de solda estiver a alta temperatura. Deixando-se o fluxo fundido resfriar, fica mais fácil removê-lo com uma escova com pouco esforço. Algumas vezes, uma pequena seção pode ser removida para uma rápida inspeção da superfície de solda.

É importante que nenhum material estranho seja apanhado com o fluxo reciclado. Para evitar isso, uma região de aproximadamente 300 mm de largura deve ser limpa em ambos os lados da região de soldagem antes que o fluxo seja depositado. Se o fluxo recuperado contiver partes fundidas, deve ser passado por uma peneira com malha menor que 3,2 mm.

O fluxo está completamente seco quando é transportado da fábrica. Se o fluxo ficar úmido, deve ser secado antes do uso, porque a umidade pode causar porosidade.

Limpeza da junta

Superfícies limpas são essenciais para uma boa soldagem. Todo e qualquer material estranho como óleo, graxa, água, tinta, óxidos ou carepa deve ser removido. Essas substâncias geram gases quando expostas ao calor da região de soldagem. O gás pode ficar aprisionado no metal de solda fundido e causar porosidade. Mesmo um risco de lápis térmico na superfície pode estragar uma solda que poderia ser boa (veja a Figura 67).

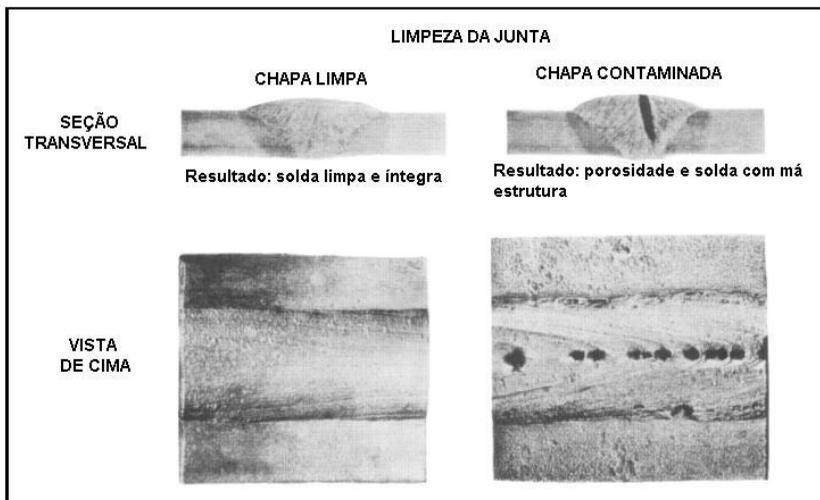


Figura 67 - Importância da limpeza da junta

Montagem de juntas a serem soldadas

A montagem da junta escolhida para qualquer atividade de soldagem afeta diretamente a qualidade, a resistência e a aparência do cordão de solda. Essa seção é dedicada a uma discussão dos efeitos da montagem na qualidade da solda. Os exemplos não ilustram toda a gama de aplicações da soldagem por arco submerso, mas os princípios descritos podem ser aplicados a todos os tipos de juntas.

Junta de topo sem chanfro

O reforço de juntas de topo sem chanfro tende a aumentar com a espessura da peça. Entretanto, com cobre-juntas adequados, o reforço pode ser controlado aumentando-se ligeiramente a abertura da ra-

iz. Nesse aspecto, podem ser realizadas soldas monopasse de boa qualidade em peças até 8 mm de espessura. O reforço excessivo mostrado na Figura 68 foi causado por uma abertura de raiz muito estreita.



Figura 68 - Reforço excessivo causado por uma abertura de raiz muito estreita

Peças com espessura acima de 8,0 mm necessitam de uma preparação em "V" ou podem ser soldadas de ambos os lados até espessuras de 16 mm.

Soldas com cobre-juntas de aço

A Figura 69 ilustra o efeito de montagem e espaçamento inadequados em soldas com cobre-juntas de aço complementar. As soldas são monopasse realizadas em juntas de topo sem chanfro. Embora não esteja indicado na Figura 69, o efeito mencionado na seção anterior também está aqui presente: alargamento da abertura de raiz diminui o reforço de solda.

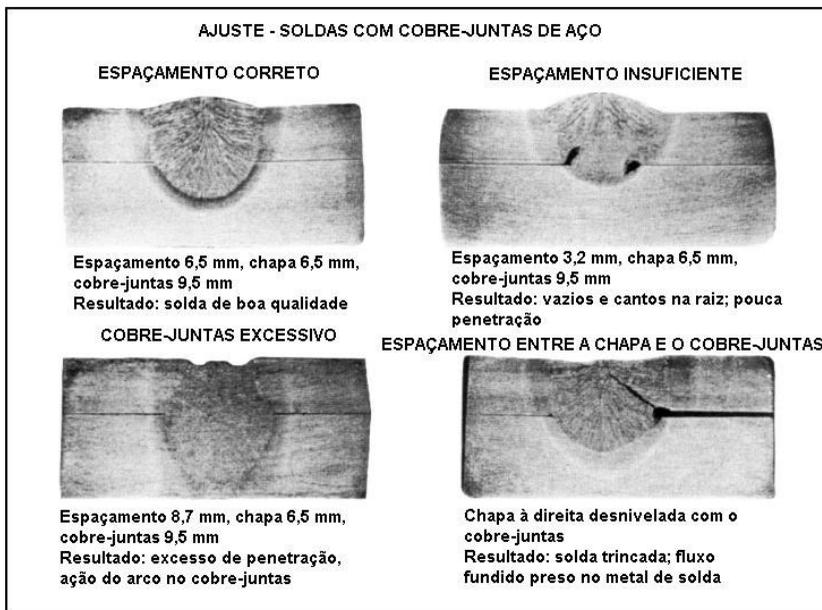


Figura 69 - Efeito de montagem e espaçamento inadequados

Soldagem com chanfro duplo

Na soldagem com chanfro duplo, é executado um passe de soldagem de cada lado da junta. O primeiro passe penetra apenas parcialmente a junta e emprega como suporte ("cobre-juntas") o nariz da junta. Por esse motivo, a montagem é importante e as peças devem estar firmemente ajustadas.

Duas preparações são mostradas na Figura 70. Ambas ilustram o efeito de uma abertura de raiz onde não deveria existir nenhuma. Numa junta sem chanfro, o metal de solda pode escorrer no primeiro passe.

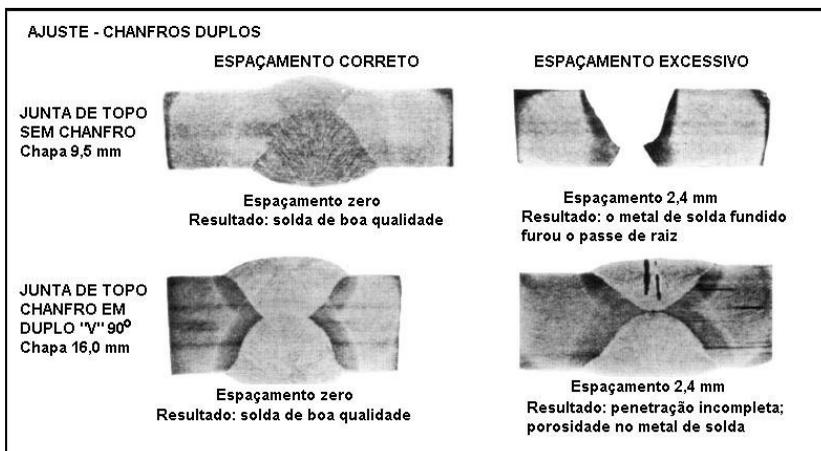


Figura 70 - Efeito de uma abertura de raiz desnecessária

Na junta em duplo "V" inadequadamente preparada, a abertura causou porosidade no primeiro passe (acima).

O segundo passe — passe de acabamento — é realizado do lado oposto, sendo parcialmente suportado pelas peças e parcialmente pelo primeiro passe. Para garantir a continuidade (integridade) do metal de solda, o passe de acabamento deve penetrar e refundir o primeiro passe até uma profundidade de 4,5 mm a 8 mm. Um mero contato de fusão não é suficiente, pois pode resultar em um vazio similar ao mostrado entre os dois cordões de solda (abaixo à direita da Figura 70). Embora aqui a porosidade tenha sido causada por espaçamento inadequado, uma penetração insuficiente no primeiro passe pelo segundo poderia resultar em um defeito similar no segundo passe.

Passo de selagem manual

Por razões de projeto ou de fabricação, algumas vezes soldas manuais são empregadas como passes de selagem para a soldagem por arco submerso.

É importante que as peças soldadas por essa técnica possuam abertura de raiz suficiente de tal modo que possa ser obtida uma penetração adequada. É recomendada uma abertura de raiz máxima de 3,2 mm para assegurar a penetração do passo de selagem por soldagem manual, que deve ser obrigatoriamente de boa qualidade. Se assim não for, a porosidade ou a escória presa nesse passo pode ser levada ao passo de acabamento executado por arco submerso e prejudicar sua qualidade.

O efeito da abertura de raiz em uma junta em "V" com passo de selagem manual é mostrado na Figura 71.



Figura 71 - Efeito da abertura de raiz numa junta em "V" com passo de selagem manual

Corrente e arame de soldagem

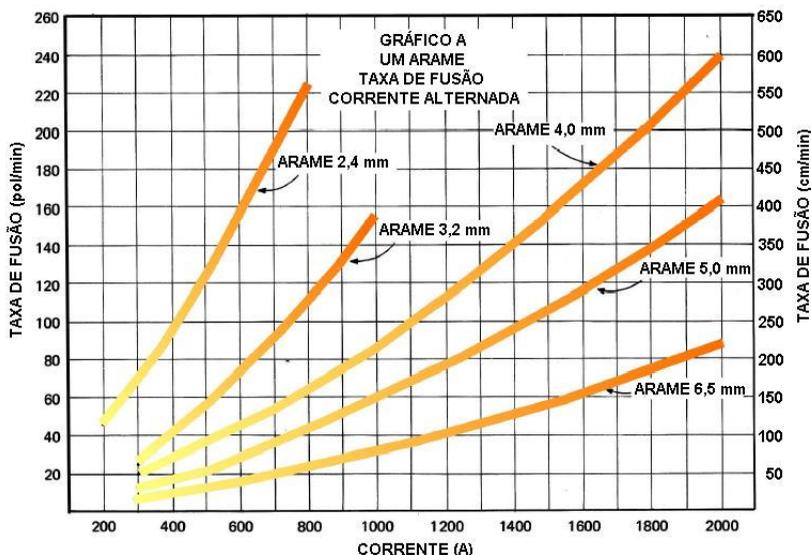
As faixas de corrente de soldagem geralmente aceitas para os diâmetros de arames de solda são mostradas na Tabela VII:

Diâmetro do arame (mm)	Corrente (A)
2,4	120 - 700
3,2	220 - 1100
4,0	340 - 1200
5,0	400 - 1300
6,5	600 - 1600
8,0	1000 - 2500

Tabela VII - Faixas de corrente de soldagem x diâmetros de arame

O bico de contato deve estar em boas condições e manter-se próximo à peça se for empregado o valor máximo de corrente para cada diâmetro de arame de solda. Contato deficiente entre o arame de solda e o bico de contato causará aquecimento irregular do arame de solda acima da região de soldagem. Essa condição deve ser corrigida repondo-se o bico de contato (podem ser também necessárias limpeza e usinagem do sistema de fixação do bico de contato).

O gráfico A mostrado na Figura 72 mostra a relação entre a velocidade de alimentação do arame de solda e a corrente alternada para vários diâmetros de arame. Deve ser notado que, quando se usa CC+, a velocidade de alimentação do arame de solda deve ser diminuída de 10 a 15%. Quando é empregada CC-, a velocidade de alimentação do arame deve ser aumentada de 10 a 15% para uma dada corrente. Essa relação também mudará com diferentes extensões de eletrodo e fluxos.



Notas: para CC+ diminua 10-15% da taxa de fusão; para CC- aumente 10-15% da taxa de fusão; extensões de eletrodo ajustadas para 8x o diâmetro do arame; taxas de fusão podem variar mais de 110% para fluxos diferentes.

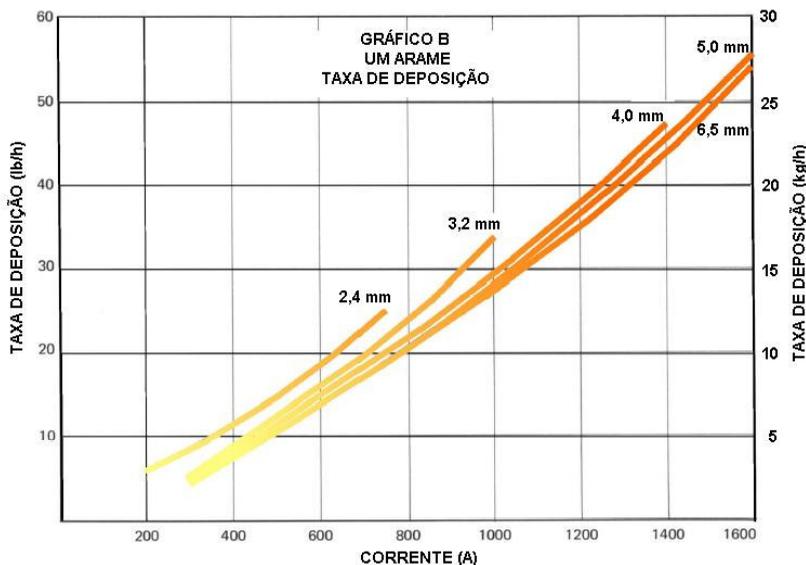
Figura 72 - Relação entre a corrente de soldagem (CA) e a taxa de fusão

O gráfico B mostrado na Figura 73 apresenta a taxa de deposição contra a corrente alternada para vários diâmetros de arame. São aplicáveis as mesmas correções para o uso de corrente contínua, alterações na extensão do eletrodo e fluxos diferentes mencionadas no gráfico A.

A penetração da solda também é afetada pela polaridade da corrente contínua. CC- resulta em 15 a 25% menos penetração que CC+. Esse conceito pode ser efetivamente empregado no tratamento de juntas mal ajustadas. Arcos com CC- são, no entanto, menos estáveis que com CC+, de modo que as bordas podem se tornar irregulares.

O uso de arame de solda oxidado deve ser evitado, porque prejudica a passagem de corrente do bico de contato, resultando em cor-

rente e arco irregulares. A oxidação do arame de solda também causa desgaste excessivo do bico de contato.



Notas: para CC+ diminua 10-15% da taxa de fusão; para CC- aumente 10-15% da taxa de fusão; extensões de eletrodo ajustadas para 8x o diâmetro do arame; taxas de fusão podem variar mais de 110% para fluxos diferentes.

Figura 73 - Relação entre a corrente de soldagem (CA) e a taxa de deposição

A extensão do eletrodo é a distância entre o bico de contato e a peça. Geralmente é ajustada para aproximadamente 8 vezes o diâmetro do arame de solda.

Aumentos na extensão do eletrodo causam aumentos na resistência ao aquecimento do arame de solda à medida que a corrente passa do bico de contato para a peça — aumentando a taxa de deposição por unidade de corrente. Entretanto, extensões de eletrodo excessivas levam ao posicionamento inadequado do arame de solda e a arcos instáveis, causando cordões de solda irregulares, penetração reduzida e desigual e soldas de baixa qualidade.

O circuito da corrente de soldagem

Ao soldar cordões longos, pode haver uma tendência a uma lenta alteração da corrente ou da tensão. Isso acontece porque a forma e as características elétricas do circuito mudam à medida que a solda progride. Soldas mais uniformes podem ser obtidas conectando-se o cabo terra a ambas as extremidades da peça sendo soldada. Se for usado apenas um cabo terra, a soldagem deve prosseguir afastando-se dele.

Durante a soldagem de cordões longitudinais em cilindros de pequena espessura empregando cobre-juntas de cobre, é freqüentemente vantajoso conectar o cabo terra à extremidade inicial da barra de cobre. Outra técnica é empregar um certo número de cabos terra igualmente espaçados ao longo da barra de cobre. Esse procedimento é particularmente apropriado quando é utilizada corrente contínua, porém pode ser também necessário com corrente alternada.

Os cabos que conduzem a corrente até o cabeçote de soldagem e o cabo terra na peça devem ser mantidos o mais próximo possível. Nenhum dos cabos deve fazer voltas, particularmente quando for empregada corrente alternada, nem deve ficar suspenso nem enrolado em torno de objetos metálicos.

Soldas irregulares e com cristas podem resultar de sopro magnético do arco. Pode também ocorrer porosidade se o sopro magnético tornar-se intenso. As precauções sobre aterramento mencionadas acima minimizarão esse problema. No entanto, quando as correntes excedem 1.000 A ou mesmo a correntes mais baixas durante a soldagem interna de tubos, soldas multipasses em peças espessas, em torno de grandes dispositivos de aço, pode ocorrer sopro magnético do arco. Para essas aplicações, deve ser aplicada corrente alternada, de modo que sejam eliminados os defeitos gerados pelo sopro magnético do arco.

Juntas em ângulo

Dois fatores — o posicionamento do arame de solda e a forma do reforço de solda — são especialmente importantes nas juntas em ângulo. O efeito dessas variáveis é mostrado na Figura 74. Em geral, a soldagem de juntas em ângulo requer velocidades e tensões de soldagem ligeiramente menores que nas juntas de topo com a mesma corrente de soldagem.



Figura 74 - Efeito do posicionamento do arame na forma do reforço de solda em juntas em ângulo

Soldagem de juntas circunferenciais

A geometria do cordão de solda produzido em uma junta circunferencial pode ser controlada variando-se a posição do arame de solda. A Figura 75 mostra o efeito dessa variável — desalinhamento do

arame — em um cordão externo. Os resultados variam de um cordão de solda profundo, com crista no centro, para um cordão de solda plano e raso. Dependendo da peça, qualquer um dos três resultados poderia ser desejável, embora o central seja comumente o mais requerido. O cordão de solda raso e plano à direita é insatisfatório para a junta mostrada, já que a penetração foi insuficiente para fundir a raiz do chanfro em "V", existindo ali um vazio. Esse cordão poderia ser satisfatório em outro trabalho — um revestimento superficial, por exemplo.

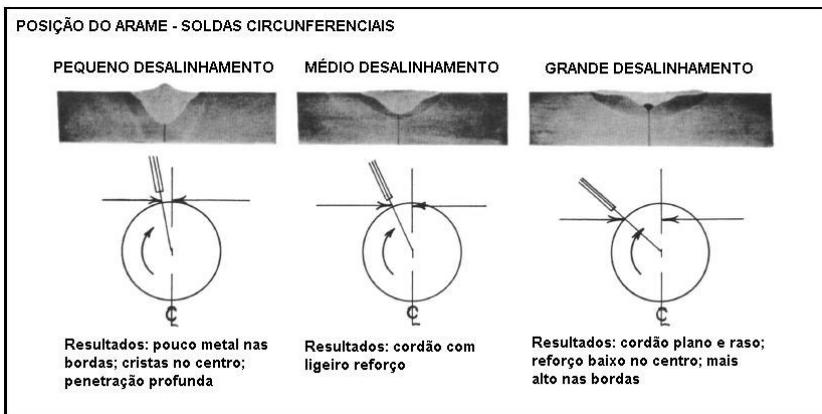


Figura 75 - Efeito do posicionamento do arame em juntas circunferenciais

Os efeitos do posicionamento do arame de solda na soldagem de um cordão interno são o oposto do ilustrado para um cordão externo na Figura 75.

Juntas de topo em duplo "V" são largamente empregadas na fabricação de vasos de pressão. Existe, no entanto, uma limitação para executar juntas circunferenciais. A razão entre a espessura da peça e o diâmetro do vaso deve ser de pelo menos 1:25. Caso contrário, a grande poça de fusão escorrerá e causará soldagem instável à medida que o vaso girar sob o cabeçote de soldagem.

Se forem empregadas as condições normais de soldagem, haverá uma corrente máxima para cada diâmetro, que é a maior que pode ser aplicada sem escorrer metal fundido e que é afetada pela velocidade de soldagem, pela fluidez do metal fundido e pela composição química da solda.

A Figura 76 ilustra a relação entre a velocidade de soldagem e o diâmetro externo da peça.

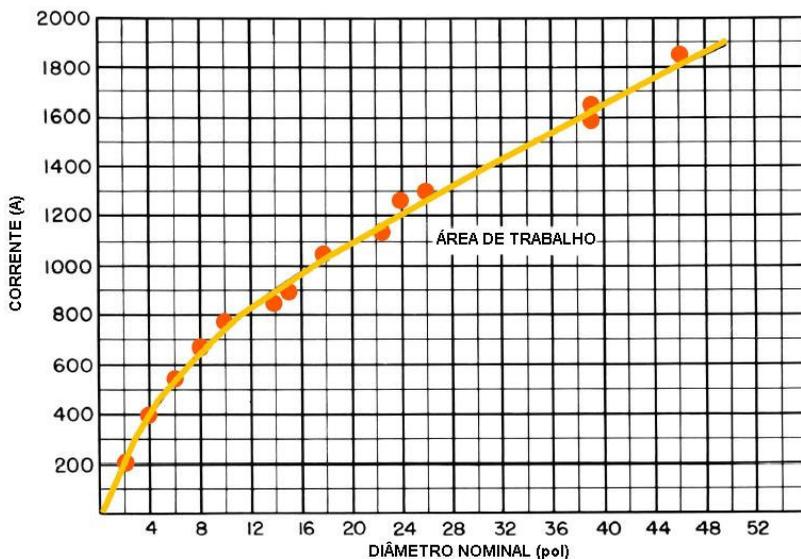


Figura 76 - Relação entre a velocidade de soldagem e o diâmetro externo da peça

Defeitos da soldagem

DEFEITO	CAUSA	SOLUÇÃO
Porosidade por sopro ou cordão ondulado	Corrente contínua excessiva	Veja a Figura 63 na página 105
	Soldas feitas próximas a dispositivos de aço ou em chanfros profundos	Veja item Corrente, tensão e velocidade de soldagem á página 104
	Velocidade de soldagem muito baixa	Veja a Figura 65 na página 106
Raiz perfurada	Corrente muito alta	Veja a Figura 63 na página 105
	Ângulo do bisel muito alto	Veja o item Quando biselar na página 43
	Nariz muito pequeno	Veja o item Efeito da dimensão do nariz na página 43
	Abertura excessiva da raiz	Veja o item Soldagem com chanfro duplo na página 111
Metal de solda escorrido	Descentralização incorreta do arame	Veja o item Soldagem de juntas circunferenciais na página 118
	Corrente de soldagem muito alta	Veja o item Soldagem de juntas circunferenciais na página 118
Geometria do cordão em forma de pêra	Corrente muito alta	Veja a Figura 63 na página 105
	Tensão muito baixa	Veja a Figura 64 na página 106
	Necessária soldagem multipasse	Veja o item Soldagem multipasse na página 140

DEFEITO	CAUSA	SOLUÇÃO
Penetração muito profunda ou muito rasa	Corrente muito alta ou muito baixa	Veja a Figura 63 na página 105
	Tensão muito baixa ou muito alta	Veja a Figura 64 na página 106
	Abertura incorreta de raiz Usar CC monopasse	Veja o item Soldas com cobre-juntas de aço na página 110
Porosidade e gases aprisionados	Contaminação da junta	Veja o item Limpeza da junta na página 108
	Camada rasa de fluxo	Veja o item Altura do fluxo na página 107
	Limpeza inadequada	Veja o item Limpeza da junta na página 108
	Passo de selagem contaminado	Veja o item Junta sem abertura de raiz e passo de selagem na página 38
	Penetração insuficiente em chanfros duplos	Veja o item Soldagem com chanfro duplo na página 111
	Montagem inadequada em passes de selagem	Veja o item Passo de selagem manual na página 113
Reforço de solda alto e estreito	Camada de fluxo muito estreita	Veja o item Altura do fluxo na página 107
	Tensão muito baixa	Veja a Figura 64 na página 106
	Preparação de peças inadequada	Veja o item Quando biselar na página 43
Sobreposição do reforço de solda	Corrente muito alta	Veja a Figura 63 na página 105
	Velocidade de soldagem muito alta	Veja a Figura 65 na página 106
	Tensão muito baixa	Veja a Figura 64 na página 106

DEFEITO	CAUSA	SOLUÇÃO
Reforço de solda ondulado	Camada muito alta de fluxo	Veja o item Altura do fluxo na página 107
	Tensão baixa	Veja a Figura 64 na página 106
	Perfuração da raiz	Veja a Figura 63 na página 105
Reforço de solda muito alto ou muito baixo	Corrente muito alta ou muito baixa	Veja a Figura 63 na página 105
	Tensão muito baixa ou muito alta	Veja a Figura 64 na página 106
	Velocidade de soldagem muito alta	Veja a Figura 65 na página 106
	Abertura inadequada de raiz em juntas com cobre-juntas	Veja o item Junta de topo sem chanfro na página 109
	Cobre-juntas inadequado	Veja o item Suporte para o metal de solda fundido na página 33
	Peça desnivelada	Veja o item Posicionamento das peças na página 75
Porosidade proveniente de óxidos	Umidade contida na camada de óxido Desoxidantes insuficientes no arame	Veja o item Limpeza da junta nas páginas 45 e 108
Inclusão de escória em chanfro profundo	Tensão muito alta e cordão côncavo	Veja a Figura 64 na página 106
Trincas transversais em soldas multipasse	Pré-aquecimento insuficiente, velocidade de soldagem muito alta	Veja a Figura 65 na página 106
	Fluxo úmido	Veja o item Limpeza da junta na página 108
	Arame inadequado	Veja o Capítulo 2

DEFEITO	CAUSA	SOLUÇÃO
Mordedura	Velocidade de soldagem muito alta	Veja a Figura 65 na página 106
	Alinhamento do arame inadequado em juntas em ângulo	Veja a Figura 74 na página 118
	Cobre-juntas inadequado	Veja o item Suporte para o metal de solda fundido na página 33
	Tensão alta	Veja a Figura 64 na página 106
Vazios e trincas	Resfriamento inadequado	Veja o Capítulo 4
	Montagem inadequada	Veja o item Soldas com cobre-juntas de aço na página 110
	Reforço côncavo em junta em ângulo	Veja a Figura 74 na página 118
	Velocidade de soldagem muito alta	Veja a Figura 65 na página 106
	Arame inadequado	Veja o Capítulo 2

Tabela VIII - Defeitos da soldagem – causas e soluções

Condições de soldagem

As tabelas de condições típicas de soldagem são designadas como um guia na seleção e no desenvolvimento de tensões, correntes e velocidades de soldagem adequadas. Variações das condições dadas são certamente permitidas e freqüentemente desejadas por causa das características de uma instalação particular. No entanto, é recomendado que as preparações dos biséis mostrados nas tabelas sejam rigorosamente seguidas, já que pequenas variações podem a-

fetar consideravelmente a execução das soldas e os resultados obtidos com as condições de soldagem escolhidas.

A tabela a ser empregada deve ser baseada no tipo de material a ser soldado, nos requisitos de qualidade da junta soldada, no projeto ou tipo de junta a ser empregado e no tipo de cobre-juntas.

Aços carbono - juntas de topo de alta qualidade em aços de alta qualidade

Juntas de topo sem chanfro e com cobre-juntas de cobre

São exibidas preparações de juntas e condições de soldagem típicas para a soldagem de juntas com qualidade radiográfica em aços classificados como ASME SA-201, SA-204 e SA-212 (veja a Figura 77 e a Tabela IX).

As chapas devem estar com as bordas no esquadro, bem acopladas e com cobre-juntas de cobre.

A composição química e a qualidade metalúrgica do aço podem afetar as condições de soldagem e a qualidade e a aparência dos cordões de solda.

Para chapas mais finas, inclinar a peça não mais que 18° da horizontal é algumas vezes necessário ou desejável para melhorar as condições de soldagem e a qualidade da solda quando são empregadas velocidades maiores. A progressão de soldagem deve ser descendente. A operação fica melhor se o arame for inclinado de 25° com a vertical, criando-se um ângulo de ataque puxando.

Juntas de topo com chanfro reto
Cobre-juntas de cobre (16 a 0 MSG)

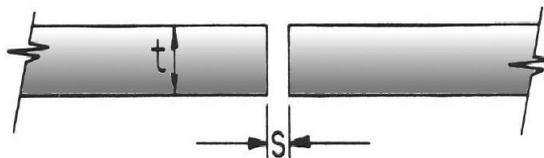


Figura 77

Empregue fluxos OK 10.82B ou OK 10.81

MSG U.S.S.	t (mm)	S Abertura de raiz (mm)	Arame de solda		Fluxo kg/m	Parâmetros de soldagem		
			Ø (mm)	Peso kg/m		Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade (cm/min)
16	1,6	0	2,4	0,03	0,03	250 - 350	22 - 24	250 - 375
14	2,0	0	2,4	0,03	0,03	325 - 400	24 - 26	250 - 375
12	2,8	0	2,4	0,04	0,04	350 - 425	24 - 26	190 - 250
10	3,6	0 - 1,6	2,4	0,07	0,07	400 - 475	24 - 27	125 - 200
8	4,4	0 - 1,6	3,2	0,10	0,09	500 - 600	25 - 27	100 - 175
7	4,8	0 - 1,6	3,2	0,15 - 0,19	0,13	575 - 650	25 - 27	90 - 115
3	6,5	0 - 2,4	4,0	0,21 - 0,34	0,18 - 0,30	750 - 850	27 - 29	75 - 90
0	8,0	0 - 2,4	4,8	0,37 - 0,45	0,31 - 0,39	800 - 900	26 - 30	65 - 75

- CA é empregada com sucesso para soldagem de chapas finas, mas CC+ é preferencial para soldagem de produção a altas velocidades.

Tabela IX

Juntas com chanfro em duplo "V" e passe de selagem

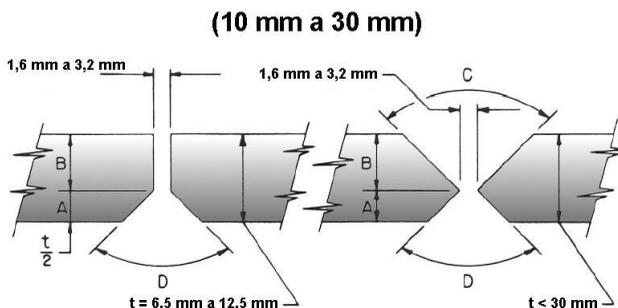


Figura 78

Empregue fluxos OK 350 ou OK 429 para correntes de soldagem até 1.100 A

t (mm)	\varnothing_{int} mín. (pol)	Cordões de contra-solda				Arame de solda		Passe de selagem		
		B (mm)	C (°)	Corrente mín. (A)	Tensão mín. (V)	Vel. (cm/min)	\varnothing (mm)	Peso (kg/m)	A (mm)	D (°)
9,5	14	4,8*	60	700	33	45	4,0	0,39	4,8	90
12,5	14	6,5*	60	850	33	40	4,0	0,48	6,5	90
14,3	15	8,0*	60	900	35	40	4,8	0,63	6,5	90
16,0	15	8,0	90	1.000	35	35	4,8	0,94	8,0	90
17,5	16	9,5	90	1.000	35	33	4,8	1,21	8,0	90
19,0	18	9,5	90	1.050	35	30	4,8	1,28	9,5	90
20,6	20	11,1	70	1.100	35	35	4,8	1,15	9,5	90
22,2	20	12,5	70	1.150	35	30	6,5	1,39	9,5	90
25,0	22	16,0	70	1.250	35	28	6,5	1,97	9,5	90
28,6	30	119,0	70	1.350	36	25	6,5	2,62	9,5	90

* Limpe o lado "B" para a soldagem por arco submerso após o passe de selagem.

É necessária uma boa sobreposição entre o passe de selagem manual e os passes de arco submerso para evitar vazios (passe oco).

Notas:

\varnothing_{int} mínimo para soldas circunferenciais

C - $\pm 5^\circ$

D - $\pm 5^\circ$

Velocidade - variar levemente para assegurar o reforço desejado.

Verificar freqüentemente a precisão dos instrumentos de medição.

Dar preferência para soldagem com gás de proteção.

Tabela X

Juntas com chanfro em duplo "V" para dois passes

Veja a Figura 79 e a Tabela XI.

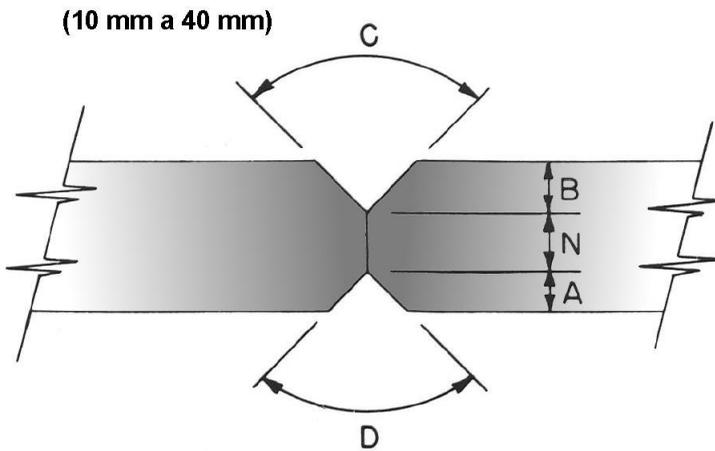


Figura 79

Empregue fluxos OK 350 ou OK 429 para correntes de soldagem até 1.100 A

Cordões de contra-solda								Passe de selagem						Arame	
t (mm)	Ø _{int} min. (pol)	B (mm)	C (°)	Corrente min. (A)	Tensão min. (V)	Vel. (cm/min)	Arame Ø (mm)	N (mm)	A (mm)	D (°)	Corrente (A)	Tensão máx. (V)	Vel. (cm/min)	Arame Ø (mm)	Peso (kg/m)
9,5	14	3,2	*	600	33	50	4,0	9,5	0	0	550	33	55	4,0	0,60
12,5	14	3,2	*	900	35	40	4,0	9,5	3,2	90	650	35	45	4,0	0,88
14,3	16	3,2	*	1.000	35	40	4,8	9,5	4,8	90	700	35	45	4,8	0,92
16,0	18	4,8	90	1.050	35	35	4,8	6,5	4,8	90	750	33	40	4,8	0,97
17,5	20	6,5	90	1.100	35	33	4,8	6,5	4,8	90	800	33	40	4,8	1,09
19,0	21	6,5	90	1.150	35	33	6,5	8,0	4,8	90	850	33	40	6,5	1,19
20,6	22	8,0	90	1.200	35	33	6,5	8,0	4,8	90	900	33	40	6,5	1,31
22,2	24	8,0	90	1.250	35	30	6,5	8,0	6,5	90	950	34	38	6,5	1,42
25,0	24	9,5	90	1.300	36	28	6,5	8,0	8,0	90	1.000	34	38	6,5	1,64
28,6	24	9,5	90	1.350	36	28	6,5	9,5	9,5	60	1.050	34	35	6,5	2,15
31,8	30	12,5	70	1.450	36	25	6,5	9,5	9,5	60	1.100	35	33	6,5	2,38
35,0	32	12,5	70	1.500	37	25	6,5	11,1	11,1	60	1.200	35	28	6,5	2,64
38,1	36	16,0	70	1.600	37	23	6,5	11,1	11,1	60	1.300	35	25	6,5	2,92

* Limpe o lado "B" para a soldagem por arco submerso após o passe de selagem.

Ø_{int} mínimo para soldas circunferenciais

Tolerâncias recomendadas:

Abertura de raiz - 0,8 mm (use cama de fluxo se a abertura estiver maior que 0,8 mm).

N - +1,6 mm / -0 mm.

Desalinhamento entre bordas ou nariz - 3,2 mm.

C ou D - a concordância deve ser feita durante a preparação dos biséis quanto à distorção causada pela laminação.

A corrente aplicada no primeiro passe variará de acordo com a montagem e deve ser a máxima que a junta puder suportar.

Velocidade de soldagem - a ser alterada levemente para assegurar o reforço desejado.

Verificar freqüentemente a precisão dos instrumentos de medição.

Tabela XI

Soldas de qualidade estrutural para aços carbono

Juntas com chanfro em "V" com cobre-juntas de cobre

Veja a Figura 80 e a Tabela XII.

Soldas de qualidade estrutural - 90% de penetração
Preparações e condições para soldas estruturais. Pode ser usado
quando não houver necessidade de qualidade radiográfica.

Juntas em "V" com cobre-juntas de cobre

(5 mm a 20 mm)

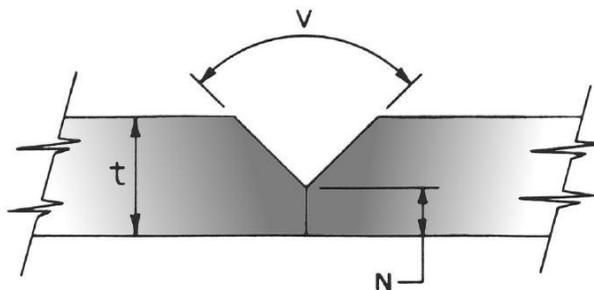


Figura 80

Empregue fluxos OK 10.82B ou OK 350

Espessura t (mm)	Ângulo do chanfro V(°)	N (mm)	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade (cm/min)	Arame Ø (mm)	Peso (kg/m)
4,8	60	3,2	500 - 575	28 - 31	75 - 125	4,0	0,16 - 0,19
6,5	60	3,2	725 - 825	29 - 32	70 - 115	4,0	0,21 - 0,34
8,0	60	3,2	775 - 900	30 - 33	65 - 100	4,8	0,37 - 0,45
9,5	60	3,2	900 - 1.000	32 - 36	60 - 70	4,8	0,41 - 0,52
11,1	60	3,2	1.000 - 1.100	32 - 36	55 - 65	4,8	0,49 - 0,60

Nota: a massa de fluxo consumido (quantidade fundida) é de 85% a 100% da massa de arame depositado.

* Tolerâncias máximas recomendadas:

Abertura de raiz - 0,8 mm.

N - $\pm 0,8$ mm.

V - $\pm 5^\circ$.

Verificar freqüentemente a precisão dos instrumentos de medição.

Tabela XII

Juntas sem chanfro e com chanfro em "V" com cobre-juntas de aço

Veja a Figura 81 e a Tabela XIII.

Juntas com chanfro reto e em "V" com cobre-juntas de aço

(5 mm a 20 mm)

Nota: essa junta é mais freqüentemente empregada em soldagem estrutural, mas a qualidade radiográfica pode ser obtida se for mantido um controle rígido nas variáveis.

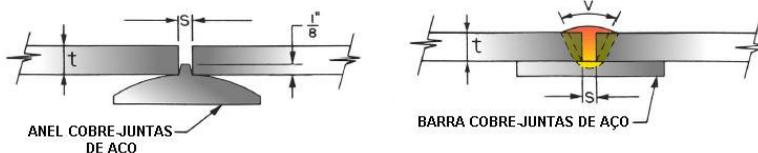


Figura 81

Empregue fluxos OK 10.82B ou OK 350

Espesura t (mm)	Prepara- ção do bisel	Abertura mínima de raiz S (mm)	Espesura mínima do co- bre- juntas (mm)	Cor- rente (A)	Ten- são (V)	Vel. (cm /min)	Arame de solda	
							Ø (mm)	Peso (kg/m)
4,8	Reto	1,6	4,8	750	27	70 - 100	4,0	0,19
6,5	Reto	3,2	6,5	850	27	55 - 75	4,0	0,28
8,0	Reto	3,2	6,5	875	28	50 - 75	4,8	0,33
9,5	Reto	3,2	6,5	900	28	45 - 75	4,8	0,37
11,1	"V" 30°	4,8	9,5	950	30	30 - 50	4,8	0,73
12,5	"V" 30°	4,8	9,5	975	30	30 - 50	4,8	0,82

Tabela XIII

Modificação

Veja a Figura 82 e a Tabela XIV.

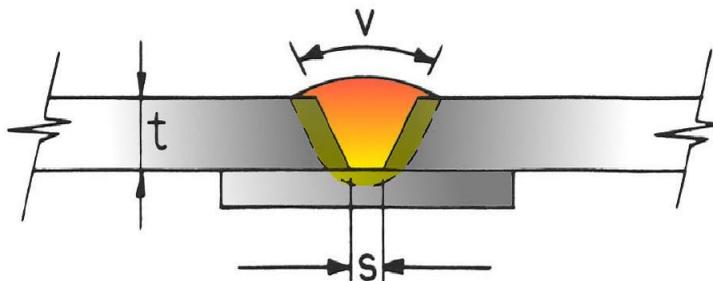


Figura 82

Empregue fluxos OK 10.82B ou OK 350

Espes- sura t (mm)	Prepara- ção do bisel em "V" (°)	Abertura mínima de raiz S (mm)	Espes- sura mí- nima do cobre- juntas (mm)	Cor- rente (A)	Ten- são (V)	Vel. (cm /min)	Arame de solda	
							Ø (mm)	Peso (kg/m)
6,5	45	3,2	6,5	800	30	45	4,0	0,40
8,0	45	3,2	6,5	800	30	40	4,8	0,45
9,5	45	3,2	6,5	800	30	30	4,8	0,60
12,5	45	4,8	9,5	960	30	24	4,8	0,91
16,0	45	4,8	9,5	1.000*	33	25	4,8	1,39
16,0	45	4,8	9,5	800	35	30	4,8	1,39

Nota: a abertura de raiz deve ser uniforme.

* Primeiro passe ou solda em dois passes.

Tabela XIV

Juntas sem chanfro e com chanfro em "V" para dois passes

Veja a Figura 83 e a Tabela XV, e a Figura 84 e a Tabela XVI.

Juntas com chanfro reto e em "V" para dois passes

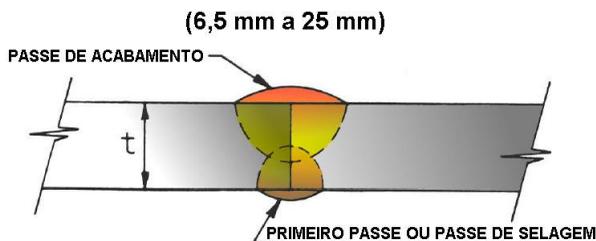


Figura 83

Empregue fluxos OK 10.82B ou OK 350 para espessuras de 6,5 mm até 16,0 mm.

Empregue o fluxo OK 350 para espessuras de 17,5 mm até 19 mm.

Espes- sura t (mm)	Passe	Cor- rente (A)	Ten- são (V)	Vel. (cm /min)	Arame de solda		Preparação antes do passe de acabamento
					Ø (mm)	Peso (kg/m)	
6,5	Selagem	400	32	70 - 115	2,4 ou 3,2	0,15	Nenhuma
6,5	Acaba- mento	500	30	68 - 115	2,4 ou 3,2	0,18	Nenhuma
8,0	Selagem	420	32	70 - 100	2,4 ou 3,2	0,16	Nenhuma
8,0	Acaba- mento	550	30	65 - 100	3,2 ou 4,0	0,22	Nenhuma
9,5	Selagem	500	32	70 - 80	3,2 ou 4,0	0,21	Nenhuma
9,5	Acaba- mento	650	32	60 - 80	3,2 ou 4,0	0,27	Nenhuma
11,1	Selagem	600	33	60	3,2 ou 4,0	0,30	Nenhuma

Espes- sura t (mm)	Passe	Cor- rente (A)	Ten- são (V)	Vel. (cm /min)	Arame de solda		Preparação antes do passe de acabamento
					Ø (mm)	Peso (kg/m)	
11,1	Acaba- mento	700	33	55 - 68	3,2 ou 4,0	0,37	Nenhuma
12,5	Selagem	650	33	55	3,2 ou 4,0	0,34	Nenhuma
12,5	Acaba- mento	750	35	50 - 65	3,2 ou 4,0	0,40	Nenhuma
14,3	Selagem	700	33	50	3,2 ou 4,0	0,37	Nenhuma
14,3	Acaba- mento	800	35	45	3,2 ou 4,0	0,48	Nenhuma
16,0	Selagem	725	33	45	4,0 ou 4,8	0,42	Nenhuma
16,0	Acaba- mento	850	35	40	4,0 ou 4,8	0,57	Nenhuma
17,5	Selagem	850	38	30	4,0 ou 4,8	0,60	Nenhuma
17,5	Acaba- mento	1.100	42	30	4,8	0,75	Goivagem
19,0	Selagem	960	38	30	4,8	0,67	Goivagem
19,0	Acaba- mento	1.100	42	30	4,8	0,75	Goivagem

Goivar um chanfro de profundidade 3,2 mm a 8 mm assegura penetração adequada do passe de acabamento sem reforço excessivo.

Tabela XV

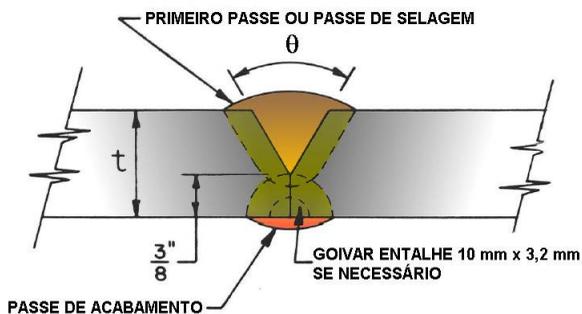


Figura 84

Empregue fluxos OK 350 ou OK 429.

Esp. t (mm)	Passe	Corrente (A)	Tensão (V)	Vel. (cm /min)	Arame de solda		Ângulo do chanfro (°)
					Ø (mm)	Peso (kg/m)	
14,3	Selagem	850	33	50	4,0	0,57	75
14,3	Acab.	650	33	55	4,0	0,31	75
16,0	Selagem	900	33	45	4,8	0,66	75
16,0	Acab.	700	33	55	4,8	0,31	75
19,0	Selagem	950	33	40	4,8	0,75	60
19,0	Acab.	750	33	50	4,8	0,37	60

Goivar um chanfro de profundidade 3,2 mm a 8 mm assegura penetração adequada do passe de acabamento sem reforço excessivo.

Tabela XVI

Juntas em ângulo para aços carbono

Juntas em ângulo na posição plana

Veja a Figura 85, a Tabela XVII e a Tabela XVIII.

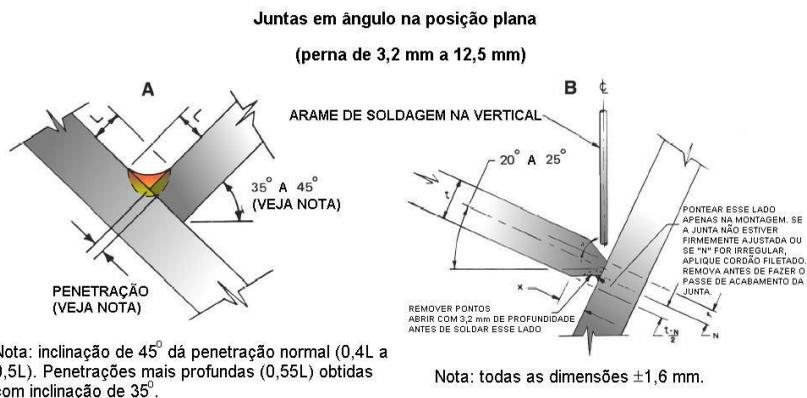


Figura 85

Empregue fluxos OK 350 ou OK 429.

FIGURA A

Perna L (mm)	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade (cm/min)	Arame de solda	
				Ø (mm)	Peso (kg/m)
3,2	400	25	90 - 165	2,4	0,06
4,8	500	25	80 - 100	3,2	0,10
6,5	650	27	70 - 90	4,0	0,16
8,0	650	27	55	4,0	0,25
9,5	750	29	45	4,8	0,37
12,5	900	32	40	4,8	0,64
16,0	1.050	32	33	6,5	0,98
19,0	1.150	32	28	6,5	1,42

Tabela XVII

FIGURA B

t (mm)	N (mm)	X (mm)	Âng. do bisel (°)	Arame de solda		Passe	Cor- rente (A)	Ten- são máx. (V)	Vel. mín. (cm /min)
				Ø (mm)	Peso por junta (kg/m)				
16,0	6,5	9,5	26,5	4,0	0,83	Primeiro	750	30	23
16,0	6,5	9,5	26,5	4,0	0,83	Final	800	30	18
19,0	9,5	12,5	21,0	4,8	1,07	Primeiro	950	30	22
19,0	9,5	12,5	21,0	4,8	1,07	Final	1.050	30	22
25,0	11,1	16,0	24,0	4,8	1,98	Primeiro	1.050	30	20
25,0	11,1	16,0	24,0	4,8	1,98	Final	1.150	30	19
32,0	11,1	19,0	28,5	6,5	4,10	Primeiro	1.100	30	18
32,0	11,1	19,0	28,5	6,5	4,10	Final	1.150	30	18
38,0	11,1	22,2	31,0	6,5	4,47	Primeiro	1.150	30	17
38,0	11,1	22,2	31,0	6,5	4,47	Final	1.200	30	15

Tabela XVIII

Juntas em ângulo na posição horizontal

Veja a Figura 86 e a Tabela XIX.

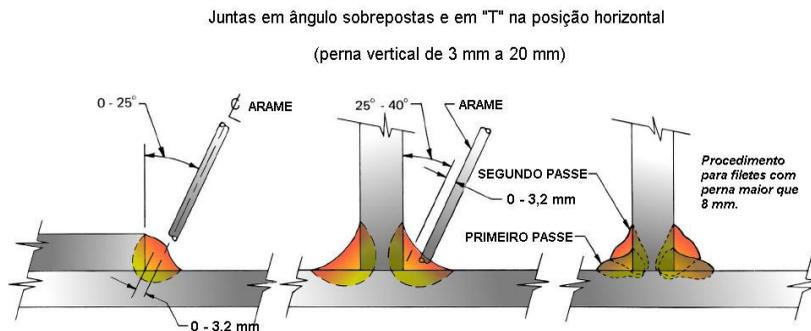


Figura 86

Empregue fluxos OK 10.82B ou OK 429.

Perna vertical (mm)	Dimensão aprox. do filete manual para resistência equivalente (mm)	Corrente (A)	Tensão (V)	Vel. (cm/min)	Arame de solda	
					Ø (mm)	Peso (kg/m)
3,2	3,2 - 4,8	400	25	75 - 165	2,4	0,09
4,0	4,8 - 6,5	450	27	65 - 140	3,2	0,10
4,8	6,5	500	27	55 - 100	3,2	0,13
6,5	8,0	550	28	50 - 75	3,2	0,20
8,0	9,5	650	28	45 - 65	4,0	0,30
9,5	12,5	700	28	38 - 50	4,0	0,43
9,5	1ª passe	520	30	55	3,2	0,46
9,5	2ª passe	520	30	55	3,2	0,46
12,5	1ª passe	650	33	55	4,0	0,61
12,5	2ª passe	750	35	50	4,0	0,61
16,0	1ª passe	725	33	45	4,0	0,86
16,0	2ª passe	850	35	40	4,0	0,86
19,0	1ª passe	800	35	23	4,0	1,67
19,0	2ª passe	820	33	23	4,0	1,67

Tabela XIX

Soldagem multipasse

A soldagem multipasse é freqüentemente empregada com o processo arco submerso. Quando a espessura da peça exceder a limitação das técnicas de dois passes ou quando não for possível fazer uma boa montagem da junta, de modo que não se possam aplicar altas correntes, a soldagem multipasse por arco submerso deve ser empregada.

Quando for possível, deve ser aplicado um procedimento de soldagem conforme mostrado na Figura 87 para facilitar a remoção do fluxo e evitar a fissuração dos cordões. Cada passe de solda deve ser ligeiramente côncavo conforme mostrado para auxiliar na remoção da escória e evitar fissurações.

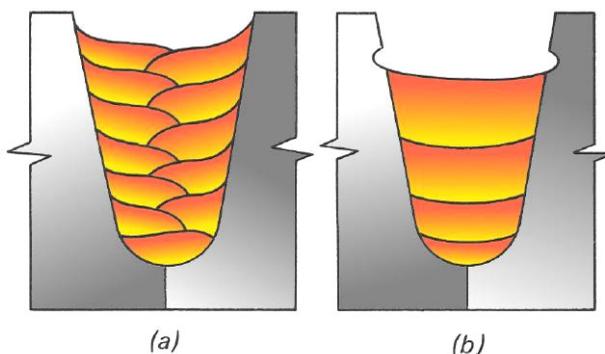
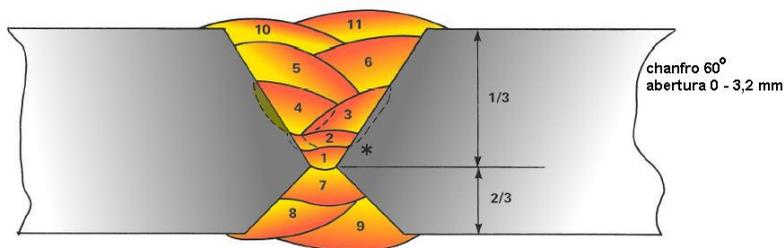


Figura 87 - Procedimentos de soldagem multipasse

Os procedimentos de soldagem multipasse também permitem que uma gama de juntas e espessuras de peças seja soldada com os mesmos procedimentos e materiais. Em certos materiais de base, a técnica de soldagem multipasse deve ser empregada para manter propriedades adequadas na zona termicamente afetada do metal de base.

Um exemplo da aplicação da técnica multipasse para juntas que apresentam problemas complexos de alinhamento é mostrado na figura ao lado. Para juntas circunferenciais de vasos de pressão tais como anel-calota e anel-anel, essa preparação de duplo bisel empregando MIG automático ou semi-automático para contornar a variação de abertura da raiz é uma excelente combinação. Os passes de enchimento podem então ser soldados com arco submerso, resultando em soldas de qualidade consistente a custos baixos. O processo de soldagem com gás de proteção é a melhor escolha para uma raiz manual ou automática ou para o primeiro passe. O metal de solda resultante é livre de inclusões de escória e a escória externa é mínima, tornando os passes subseqüentes por arco submerso livres de defeitos.



* Primeiro e segundo passes - GMAW

Podem ser necessários um nariz de 3,2 mm para uma boa montagem

Arame de solda de diâmetro 3,2 mm a 4,8 mm

Procedimentos típicos: passe 1 dia. arame 1,2 mm 170 A / passe 2 arame 1,2 mm 350 A

	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade (cm/min)
Passes 3 e 4	400-500	27-32	40 - 50
Restantes	500-600	27-32	35 - 45

Figura 88 - Procedimento de soldagem multipasse com raiz através do processo MIG

O procedimento multipasse deve ser empregado obrigatoriamente para peças com espessura acima de 50 mm. A Figura 89 e a Figura

90 mostram exemplos de preparação de juntas e ambas as condições de um e dois arames de solda para peças espessas.

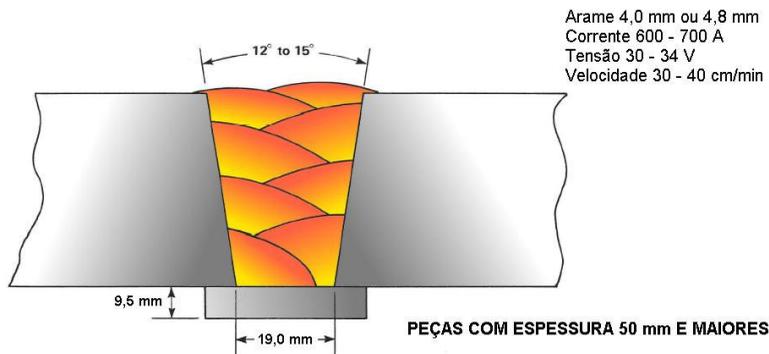
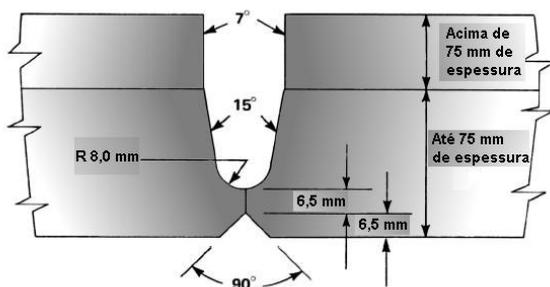


Figura 89 - Procedimento de soldagem multipasse para peças com espessura com um único arame e cobre-juntas não consumível



Técnica de soldagem	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade (cm/min)	Arame de solda ϕ (mm)
Um arame (CA ou CC)				
Preferência: CA	500-700	32-34	30 - 40	4,0

Notas: o arame não deve ser posicionado mais próximo da parede da junta que um diâmetro; as tensões de soldagem dependerão do fluxo utilizado.

Figura 90 - Procedimento de soldagem multipasse para peças de espessura acima de 75 mm sem cobre-juntas

O fluxo e o arame de solda devem ser escolhidos tendo em mente procedimentos multipasse. O controle da composição química do metal de solda depositado é particularmente importante para garantir depósitos livres de trincas. Normalmente, empregam-se fluxos neutros para tais aplicações.

Bibliografia

- ❑ Sub Arc Welding, ESAB Welding & Cutting Products, 1999
- ❑ AWS Handbook, Vol. 2, 8th Edition
- ❑ Soldagem & Técnicas Conexas: Processos, Ivan Guerra Machado, 1996
- ❑ Tecnologia da Soldagem, Paulo Villani Marques, 1991