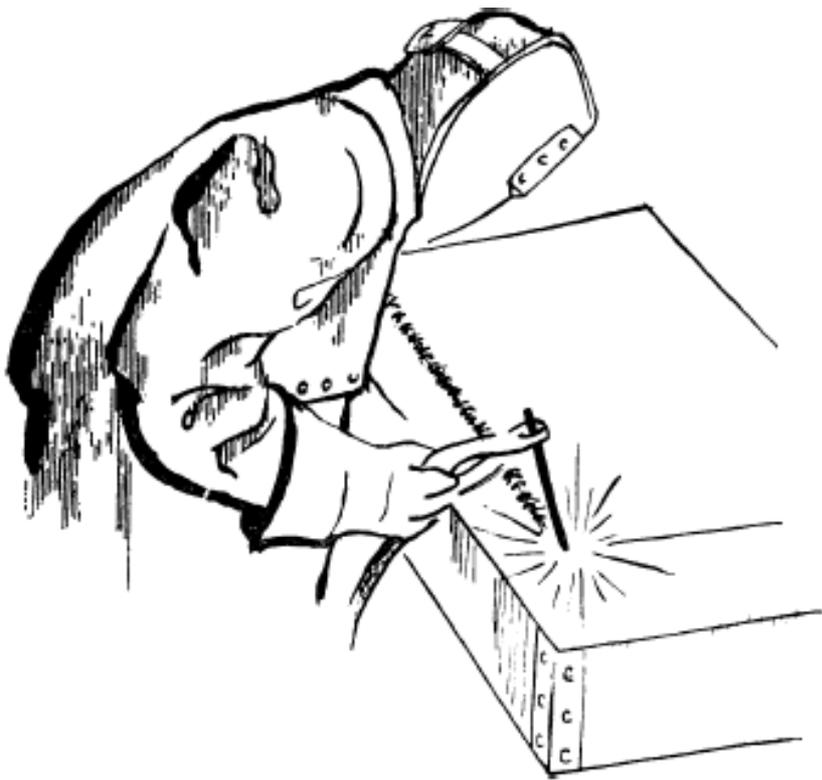


CURSO DE SOLDAGEM



Curso de Soldagem

- 1. INTRODUÇÃO**
 - 1.1) O que é soldagem
 - 1.2) Visão geral do processo MIG/MAG
 - 1.3) Responsabilidades do soldador
 - 1.4) Compromisso com a Empresa (Cliente)
- 2. EQUIPAMENTOS**
 - 2.1) Máquina
 - 2.2) Tocha, bicos de contato e bocais
 - 2.3) Consumíveis
 - 2.4) Gases de proteção
 - 2.5) Parâmetros de soldagem
 - 2.6) Tipos de Transferência
- 3. TERMINOLOGIA DE SOLDAGEM**
 - 3.1) A Zona Termicamente Afetada (ZTA)
 - 3.2) Posições de soldagem
 - 3.3) Tipos de junta
 - 3.4) Chanfro
 - 3.5) Dimensional de chanfro
- 4. CARACTERÍSTICA DO CORDÃO DE SOLDA**
 - 4.1) Dimensional
 - 4.2) Número de passes
- 5. MODOS DE OPERAÇÃO**
- 6. SÍMBOLOGIA DE SOLDAGEM**
- 7. MORFOLOGIA DO CORDÃO DE SOLDA**
 - 7.1) Intensidade de corrente
 - 7.2) Polaridade
 - 7.3) Tensão de soldagem
 - 7.4) Velocidade de soldagem
 - 7.5) Comprimento do eletrodo (“stick-out”)
 - 7.6) Orientação do eletrodo
 - 7.7) Diâmetro do eletrodo
- 8. DESCONTINUIDADES**
 - 8.1) Descontinuidades dimensionais
 - 8.2) Descontinuidades estruturais
- 9. INSPEÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS**
 - 9.1) Inspeção visual
 - 9.2) Inspeção com Líquido Penetrante
- 10. PREVENÇÃO E CONTROLE DA DEFORMAÇÃO**
- 11. PREAQUECIMENTO**
- 12. FRAGILIZAÇÃO POR HIDROGÊNIO**
- 13. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO E MEDIDAS DE SEGURANÇA**

1. INTRODUÇÃO

1.1) O que é soldagem?

Entre todos os processos de fabricação existentes, este situa-se numa posição privilegiada, pois através da união de materiais produzidos em grandes números e formas padronizadas, é possível se obter inúmeras combinações, das quais resultam desde pequenas peças, como armações de óculos, até estruturas gigantescas, exemplificadas pelas plataformas submarinas e naves espaciais. Além disso, esse também é o método que permite utilizar um material de muito menor custo como base e, somente, nos locais necessários sobre o mesmo, realizar revestimento protetor próprio para enfrentar corrosão; atrito; calor, ou outro tipo de desgaste.

Dessa forma, a opção por esta tecnologia propicia, em geral, enormes reduções nos consumos de energia; tempo e material, provavelmente os mais escassos bens sobre a Terra.

A união de materiais é realizada, ou através da fusão dos mesmos em íntimo contato; ou pela fusão de ambos e adição de outro material fundido; ou, ainda, simplesmente, por contato destes materiais, nas fases sólidas ou semi-sólida. Em geral, a soldagem provoca maior distorção no material base e normalmente não é utilizada sobre cerâmicos. A grande área de atuação da mesma são os metais e suas ligas, devendo-se esse fato à sua grande versatilidade e economia, além das excelentes propriedades mecânicas que as uniões assim obtidas apresentam.

1.2) Visão geral sobre processo MIG MAG

A soldagem a arco com eletrodos fusíveis sobre proteção gasosa, é conhecida pelas denominações de:

MIG – quando a proteção gasosa utilizada for constituída de um gás inerte, ou seja, um gás normalmente monoatômico como Argônio ou Hélio, e que não tem nenhuma atividade física com a poça de fusão.

MAG – quando a proteção gasosa é feita com um gás dito ativo, ou seja, um gás que interage com a poça de fusão, normalmente CO₂ - dióxido de Carbono. GMAW, (abreviatura do inglês Gás Metal Arc Welding) que é a designação que engloba os dois processos acima citados.

Os dois processos diferem entre si unicamente pelo gás que utilizam, uma vez que os componentes utilizados são exatamente os mesmos. A simples mudança do gás por sua vez, será responsável por uma série de alterações no comportamento das soldagens.

Estes gases, segundo sua natureza e composição, tem uma influência preponderante nas características do arco, no tipo de transferência de metal do eletrodo à peça, na velocidade de soldagem, nas perdas por projeções, na penetração e na forma externa da solda. Além disto, o gás também tem influência nas perdas de elementos químicos, na temperatura da poça de fusão, na sensibilidade a fissuração e porosidade, bem como na facilidade da execução da soldagem em diversas posições. Os gases nobres (processo MIG) são preferidos por razões metalúrgicas enquanto o CO₂ puro é preferido por razões econômicas.

Como seria lógico de concluir, muitas das vezes impossibilitado tecnicamente por um lado e economicamente por outro, acabamos por utilizar mistura dos dois tipos de gás, como por exemplo, Argônio (inerte) com Oxigênio (ativo), Argônio com CO₂ e outros tipos.

O processo MAG é utilizado somente na soldagem de materiais ferrosos, enquanto o processo MIG pode ser usado tanto na soldagem de materiais ferrosos quanto não ferrosos como Alumínio, Cobre, Magnésio, Níquel e suas ligas.

Uma das características básicas deste processo, em relação aos outros processos de soldagem manuais, é sua alta produtividade, que é motivada, além da continuidade do arame, pelas altas densidades de corrente que o processo pode ser utilizado.

De um modo geral, pode-se dizer que as principais vantagens da soldagem **MIG/MAG** são: alta taxa de deposição e alto fator de trabalho do soldador, grande versatilidade, quanto ao tipo de material e espessuras aplicáveis, não existência de fluxos de soldagem e, conseqüentemente, ausência de operações de remoção de escória e exigência de menor habilidade do soldador, quando comparada à soldagem com eletrodos revestidos.

A principal limitação da soldagem **MIG/MAG** é a sua maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação do arco de soldagem, que influenciam diretamente na qualidade do cordão de solda depositado. Além da necessidade de um ajuste rigoroso de parâmetros para se obter um determinado conjunto de características para solda, a determinação desses parâmetros para se obter uma solda adequada é dificultada pela forte interdependência destes, e por sua influência no resultado final da solda produzida. O maior custo do equipamento, a maior necessidade de manutenção deste, em comparação com o equipamento para soldagem com eletrodos revestidos e menor variedade de consumíveis são outras limitações deste processo.

A soldagem **MIG/MAG** e a soldagem com arame tubular, tem sido as que apresentaram um maior crescimento em termos de utilização, nos últimos anos em escala mundial. Este crescimento ocorre principalmente devido à tendência à substituição, sempre que possível da soldagem manual por processos semi-automáticos, mecanizados e automáticos, para a obtenção de maior produtividade em soldagem. Estes processos tem se mostrado os mais adequados dentre os

processos de soldagem a arco, à soldagem automática e com a utilização de robôs.

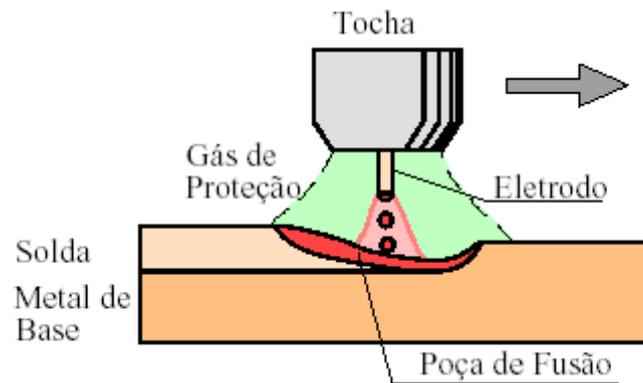


Figura 1.1- Região do arco na soldagem GMAW

1.3) Responsabilidades do soldador

Um bom soldador não se define apenas pelas qualidades técnicas estudadas e desenvolvidas por cada profissional; boa parte da produção das indústrias metal-mecânica estão nas mãos dos soldadores. Temos o dever, como parte integrante deste processo, de fornecer produtos de qualidade, pois não somente a aparência dos produtos soldados é importante, mas a segurança oferecida pelos mesmos, durabilidade e garantia de um produto final que cumpre com o seu objetivo idealizado no projeto é dever de um soldador.

1.4) Compromisso com a Empresa

A imagem de um produto produzido é o “retrato” da empresa que o *produziu!!* Essa é a realidade que enfrentamos diante de nossos clientes, embora muitas vezes não pareçam justo, nossos produtos são nossos cartões de visita, pois nossos clientes estão diariamente em contato com os produtos que fornecemos, refletindo diretamente a imagem do que produzimos na nossa imagem como empresa.

Portanto, devemos dar o melhor de nosso esforço para fazer de nossa empresa uma indústria de qualidade, competitiva e lucrativa no acirrado mercado industrial.

2. EQUIPAMENTOS

2.1) Máquina

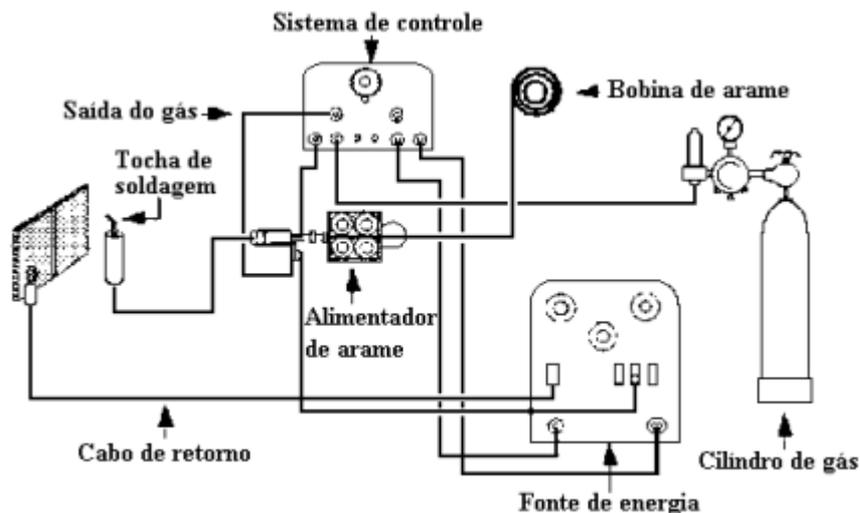


Figura 2.1- Esquema representativo de Máquina de Solda

O equipamento básico para soldagem MIG MAG consiste de uma fonte de energia, uma tocha de soldagem com um jogo de bocais, um alimentador de arame, um sistema de controle, um par de cabos elétricos, um jogo de válvulas redutoras para o gás de proteção, canalizações para transporte do gás (água se houver), uma fonte para o gás de proteção e uma garra para fixação do cabo a peça. Estes equipamentos podem ser vistos na figura acima e são descritos em seguida.

2.1.1. FONTES DE ENERGIA

O processo utiliza corrente do tipo contínua que pode ser fornecida por um conjunto transformador-retificador ou por um conversor.

A forma da característica estática da fonte pode ser do tipo corrente constante ou tensão constante, conforme o sistema de controle do equipamento.

Quando se utiliza uma fonte do tipo tensão constante, a velocidade de alimentação do arame-eletrodo se mantém constante durante a soldagem. Este sistema é mais simples e mais barato.

Com a fonte de energia do tipo corrente constante o comprimento do arco é controlado pelo ajuste automático da velocidade de alimentação do arame. Este tipo de sistema é particularmente recomendado para arames de diâmetro superior a 1.2 mm.

Para certas aplicações particulares, pode-se sobrepor à corrente principal uma certa corrente pulsada, proveniente de um segundo gerador ligado ao primeiro.

2.1.2. ALIMENTADOR DE ARAME

O alimentador de arame normalmente utilizado, é acionado por um motor de corrente contínua e fornece arame a uma velocidade constante ajustável numa ampla faixa. Não existe qualquer ligação entre o alimentador e a fonte de energia, entretanto ajustando-se a velocidade de alimentação de arame, ajusta-se a corrente de soldagem fornecida pela máquina, devido às características da fonte e do processo. O arame é passado entre um conjunto de roletes chamados de roletes de alimentação que podem estar próximos ou longe da tocha de soldagem e, dependendo da distância entre o carretel de arame e a tocha de soldagem, um ou outro tipo de alimentador apresenta melhores resultados.

2.1.3. SISTEMA DE CONTROLE

O sistema de controle permite a verificação e o ajuste de alguns parâmetros de soldagem, como por exemplo: velocidade de alimentação do arame, corrente e tensão de soldagem, etc. Estes vários controles estão normalmente em um único painel.

Também neste processo, o sistema de controle é a parte que consideramos o "coração" do equipamento de soldagem. Deve ser sempre manipulado com cuidado, especialmente, quando transportado, devido ao grande número de componentes eletro-eletrônicos que se encontram em seu interior.

2.1.4. CABOS ELÉTRICOS E GARRAS DE FIXAÇÃO

O processo necessitará, como no caso da soldagem com eletrodos revestidos, de cabos para transporte da eletricidade.

As garras de fixação servem para prender o cabo de retorno da eletricidade. Deve ser verificado se prendem a peça com boa fixação, e se a fixação do cabo de soldagem nelas está feito de maneira adequada.

2.1.5. CANALIZAÇÕES E VÁLVULAS REDUTORAS

A tocha de soldagem manipulada pelo operador é conectada ao equipamento de soldagem por uma série de cabos e canalizações. Para além do cabo de transporte da eletricidade e da espiral que leva em seu interior o arame-eletrodo, existem também as canalizações do gás de proteção (obrigatória), e nos casos de tochas refrigeradas à água, as canalizações para a água.

Estas canalizações devem ser constituídas de mangueiras de resistência compatível com as pressões de trabalho utilizadas, e, em suas extremidades, serem fixadas por abraçadeiras.

2.1.6. FONTE DE GÁS

Os diversos gases de proteção, que serão vistos mais adiante, estão normalmente contidos em garrafas de aço de alta resistência. A garrafa é colocada na instalação na proximidade do posto de trabalho, e é equipada de um conjunto redutor-manômetro, que baixa a pressão do gás a um valor conveniente para a alimentação da tocha de soldagem, e que permite a regulação da vazão expressa em litros por minuto.

No caso de várias instalações funcionarem na mesma oficina, a fonte de gás pode ser substituída de um cilindro único, por uma central de vários cilindros conectados entre si num sistema único. Esta central deve ter um conjunto redutor único, e o gás é distribuído por canalização à pressão desejada, a vazão é regulada por cada operador por meio de um manômetro local e individual. No caso de consumos muito elevados pode-se adquirir o gás em sua forma líquida, ficando este também em uma instalação centralizada.

Estas duas últimas formas citadas são investimentos inicialmente maiores, porém proporcionam numerosas vantagens, das quais algumas são citadas à seguir:

- eliminação de garrafas no interior das oficinas
- ganho de espaço
- melhor aproveitamento do conteúdo das garrafas
- funcionamento contínuo sem risco de interrupção da alimentação de gás durante a soldagem.
- ganhos de tempo (trocas de garrafas)
- aumento da segurança

2.2) Tocha, Bicos de Contato e Bocais



Figura 2.2- Exemplo de tochas MIG / MAG

A tocha de soldagem consiste basicamente de um bico de contato, que faz a energização do arame-eletrodo, de um bocal que orienta o fluxo de gás protetor e de um gatilho de acionamento do sistema. O bico de contato é um pequeno tubo à base de cobre, cujo diâmetro interno é ligeiramente superior ao diâmetro do arame-eletrodo, e serve de contato elétrico deslizante. O bocal é feito de Cobre ou material cerâmico e deve ter um diâmetro compatível com a corrente de soldagem e o fluxo de gás a ser utilizado numa dada aplicação. O gatilho de acionamento movimenta um contator que está ligado ao primário do transformador da máquina de solda, energizando o circuito de soldagem, além de acionar o alimentador de arame e uma válvula solenóide, que comanda o fluxo de gás protetor para a tocha. As tochas para soldagem MIG MAG podem ser refrigeradas a água ou pelo próprio gás de proteção, dependendo de sua capacidade, dos valores de corrente utilizados e do fator de trabalho. Quanto ao formato, as tochas podem ser retas ou curvas, sendo as mais utilizadas as do tipo "pescoço de cisne" que são as que oferecem maior manejabilidade. Na figura pode ser observado o esquema de uma tocha de soldagem MIG MAG.

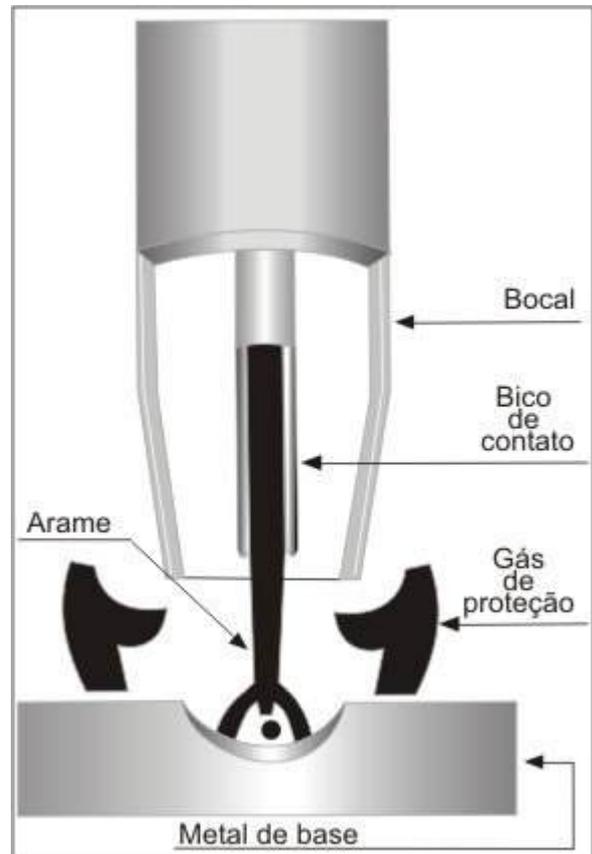


Figura 2.3- Desenho esquemático da saída do bocal

2.3) Consumíveis

Os principais consumíveis utilizados na soldagem MIG MAG, são o arame-eletrodo e os gases de proteção.

TABELA 2.1- ESPECIFICAÇÕES AWS DE MATERIAIS DE ADIÇÃO MIG MAG

<i>Especificação</i>	<i>Materiais</i>
AWS - A 5.10	Alumínio e suas ligas
AWS - A 5.7	Cobre e suas ligas
AWS - A 5.9	Aço inox e aços com alto Cr
AWS - A 5.14	Níquel e suas ligas
AWS - A 5.16	Titânio e suas ligas
AWS - A 5.18	Aço Carbono e baixa liga
AWS - A 5.19	Magnésio e suas ligas

A interpretação da especificação para arames utilizados na soldagem de aços ao Carbono é apresentada na figura a seguir.

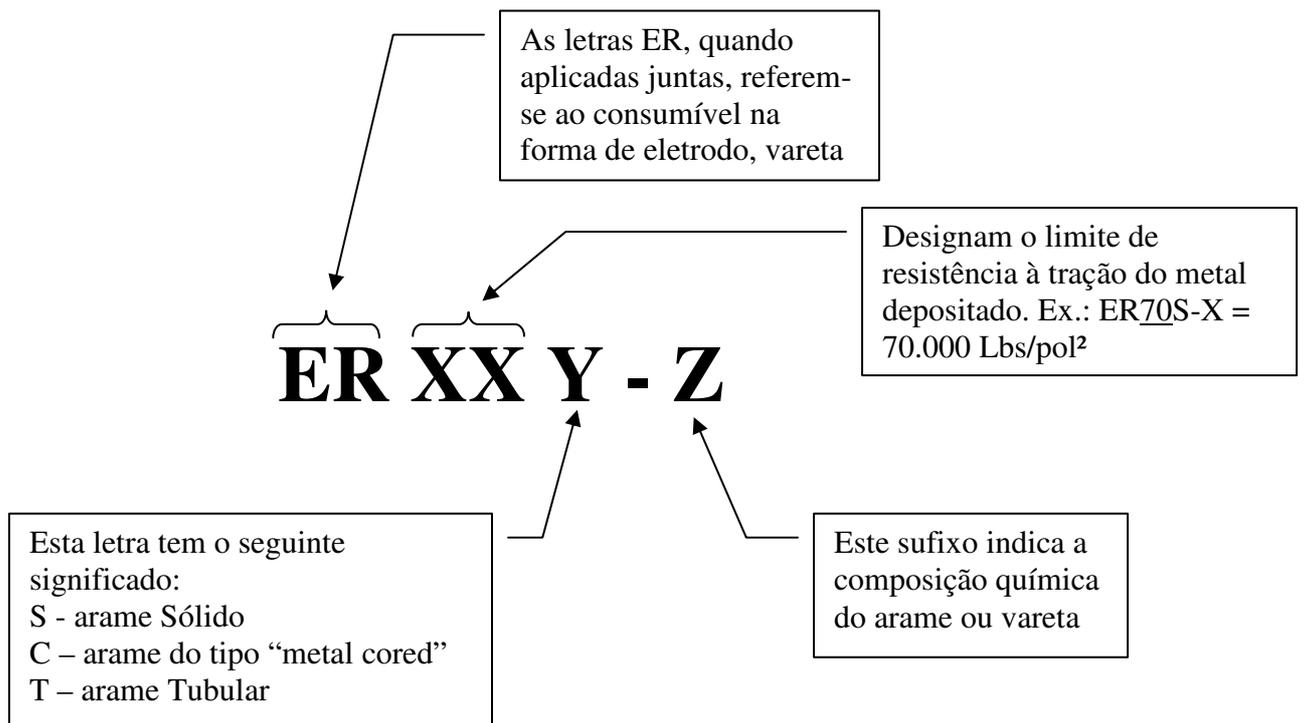


Figura 2.4- Sistema de classificação de consumível

TABELA 2.2- ANÁLISE QUÍMICA DE ARAMES CONFORME AWS

<i>Classificação</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>
ER 70S- 2	0,07	0,90 to 1,40	0,40 to 0,70	0,025	0,035
ER 70S- 3	0,06 to 0,15	0,90 to 1,40	0,45 to 0,70	0,025	0,035
ER 70S- 4	0,07 to 0,15	1,00 to 1,50	0,65 to 0,85	0,025	0,035
ER 70S- 5	0,007 to 0,19	0,90 to 1,40	0,30 to 0,60	0,025	0,035
ER 706S- 6	0,07 to 0,15	1,40 to 1,85	0,80 to 1,15	0,025	0,035
ER 70S - 7	0,07 to 0,15	1,50 to 2,00	0,50 to 0,80	0,025	0,35

2.4) Gases de proteção

Os gases de proteção utilizados em soldagem MIG MAG podem ser inertes, ativos ou misturas destes dois tipos. O tipo de gás influencia as características do arco e transferência do metal, penetração largura e formato do cordão de solda, velocidade de soldagem, tendência a aparecimento de defeitos e o custo final do cordão de solda.

Os principais gases e misturas utilizados na soldagem MIG MAG são apresentados na tabela a seguir:

TABELA2.3- GASES E MISTURAS UTILIZADOS NA SOLDAGEM MIG MAG

<i>Gás ou mistura</i>	<i>Comportamento químico</i>	<i>Aplicações</i>
Argônio (Ar)	inerte	quase todos metais (- aço)
Hélio (He)	inerte	Al, Mg, Cu e suas ligas
Ar + 20 a 50 % He	inerte	idem He (melhor que 100% He)
Nitrogênio (N2)	inerte	Cobre e suas ligas
Ar + 20 a 30 % N2	inerte	idem N2 (melhor que 100% N2)
Ar + 1 a 2 % O2	ligeiramente oxidante	aços inox e alg. ligas Cu

Ar + 3 a 5 % O ₂	oxidante	aços Carb. e alguns b. liga
CO ₂	oxidante	aços Carb. e alguns b. liga
Ar + 20 a 50 % CO ₂	oxidante	div. aços - transf. c. circ
Ar + CO ₂ + O ₂	oxidante	diversos aços

Os gases inertes puros são utilizados principalmente na soldagem de metais não ferrosos, principalmente os mais reativos como Titânio e Magnésio. Na soldagem de metais ferrosos, a adição de pequenas quantidades de gases ativos melhora sensivelmente a estabilidade do arco e a transferência de metal. Para aços Carbono e baixa liga, o custo da soldagem pode ser reduzido com a utilização de CO₂ como gás de proteção. As misturas de gases inertes ou inertes com ativos, em diferentes proporções, permitem a soldagem com melhor estabilidade de arco e transferência de metal em certas aplicações. Nitrogênio e misturas com Nitrogênio, são utilizados na soldagem de Cobre e suas ligas.

De um modo geral, com a utilização de Hélio e CO₂ obtém-se maiores quedas de tensão e maior quantidade de calor gerado no arco de soldagem para uma mesma corrente e comprimento de arco, em relação ao Argônio, devido a maior condutividade térmica destes gases. Em geral, misturas contendo He são utilizadas em peças de maior espessura.

A figura mostra o perfil do cordão de solda característico para diversos gases e misturas. Entretanto, deve-se lembrar que o perfil do cordão de solda também pode ser alterado por alterações nos parâmetros de soldagem.

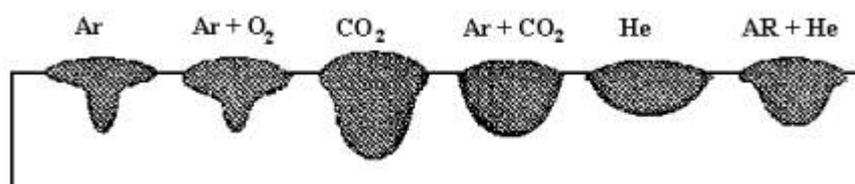


Figura 2.5- Perfil de cordões de solda feitos com diferentes gases

2.5) Parâmetros de soldagem

2.5.1. VARIÁVEIS

A habilidade manual requerida para o soldador no processo MIG MAG é menor do que a necessária para a soldagem com eletrodos revestidos, uma vez que a alimentação do arame é mecanizada, dispensando com isto o movimento de mergulho da tocha em direção a poça de fusão. No entanto, a otimização de parâmetros é mais difícil de ser feita devido ao maior número de variáveis existentes neste processo.

A abertura do arco se dá por toque do eletrodo na peça. Como a alimentação é mecanizada, o início da soldagem é feita aproximando-se a tocha à peça e acionando o gatilho. Neste instante é iniciado o fluxo de gás protetor, a alimentação do arame e a energização do circuito de soldagem. Depois da formação da poça de fusão, a tocha deve ser deslocada ao longo da junta, com uma velocidade uniforme. Movimentos de tecimento do cordão devem ser executados quando necessários.

Ao final da operação simplesmente se solta o gatilho da tocha que interromperá automaticamente a corrente de soldagem, a alimentação do arame e o fluxo de gás, extinguindo com isto, o arco de soldagem.

O processo de soldagem MIG MAG utiliza normalmente corrente contínua e polaridade inversa (eletrodo positivo), que é o tipo de corrente que apresenta melhor penetração e estabilidade de arco. Polaridade direta pode eventualmente ser utilizada para aumentar a velocidade de deposição, quando não for necessária grande penetração (revestimentos), porém causa grande instabilidade de arco. A corrente alternada não é normalmente utilizada em MIG MAG.

As variáveis mais importantes, que afetam a penetração e a geometria do cordão são:

2.5.2. CORRENTE DE SOLDAGEM

Se forem mantidas constantes todas as demais variáveis de soldagem, um aumento na corrente de soldagem (aumento na velocidade de alimentação do arame), irá causar aumento na profundidade e largura de penetração, aumento na taxa de deposição e aumento do cordão de solda.

2.5.3. TENSÃO DE SOLDAGEM

Nas mesmas condições citadas acima, um aumento na tensão proporcionará alargamento e achatamento do cordão de solda, aumento da largura de fusão e aumento do aporte térmico que resultará em um aumento do tamanho da zona termicamente afetada. Uma tensão de soldagem muito alta poderá causar porosidades, respingos e mordeduras. Já uma tensão muito baixa tenderia a estreitar o cordão de solda e aumentar a altura do reforço do cordão.

2.5.4. VELOCIDADE DE SOLDAGEM

Uma velocidade de soldagem baixa resultará em um cordão muito largo com muito depósito de material. Já velocidades muito altas produzem cordões estreitos e com pouca penetração. Quando a velocidade é excessivamente alta, a tendência é de que cause mordeduras no cordão de solda.

2.5.5. EXTENSÃO LIVRE DO ELETRODO

Define-se como extensão livre do eletrodo ou stick-out a distância entre o último ponto de contato elétrico do arame (normalmente o tubo de contato), e a ponta do eletrodo ainda não fundida. Quando esta distância aumenta, aumenta também a resistência elétrica do eletrodo, que terá assim mais tempo para aquecer-se por efeito Joule. Com esta elevação da temperatura do eletrodo, será necessária uma menor corrente para fundir o eletrodo para a mesma taxa de alimentação, ou vendo de outra forma, para a mesma corrente de soldagem utilizada, se obterá uma maior taxa de deposição, porém com menor penetração. As extensões normalmente utilizadas situam-se na faixa entre 6 e 13 mm. para a transferência por curto-circuito e entre 13 e 35 para os demais modos de transferência.

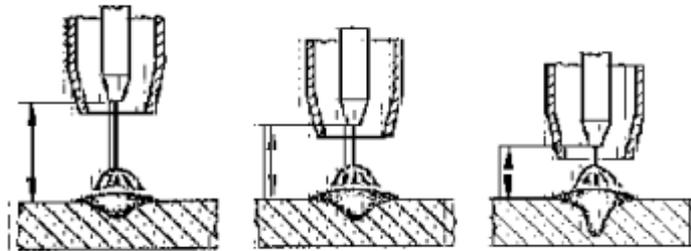


Figura 2.6- Influência da distância entre o bico de contato e a peça

2.5.6. INCLINAÇÃO DA PISTOLA DE SOLDAGEM

A inclinação da pistola de soldagem durante a execução dos cordões, tem, a nível de forma e penetração do cordão, um efeito mais marcante do que algumas variações em parâmetros como velocidade e tensão de soldagem. Na soldagem à esquerda, aponta-se o cordão para o metal de base frio, causando com isto cordões mais largos, achatados e de menor penetração. Já quando se solda no sentido oposto (à direita), apontando-se para a poça de fusão os cordões são mais estreitos, o reforço é mais convexo, o arco é mais estável e a penetração é máxima.

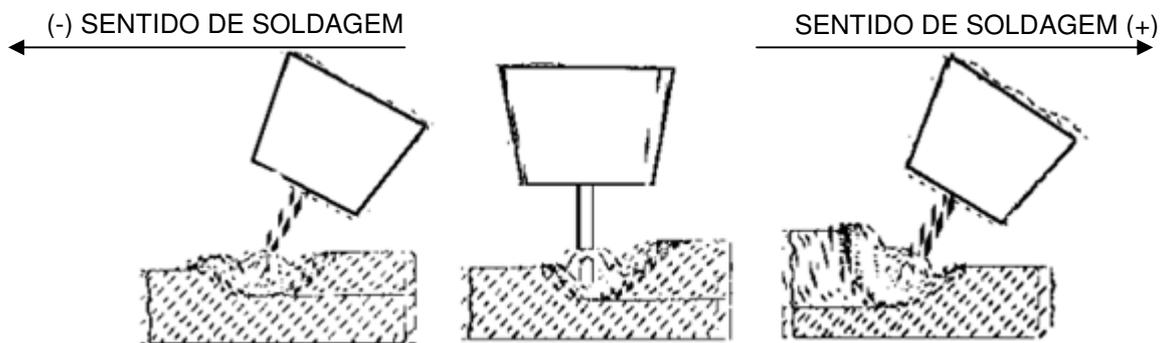


Figura 2.7- Sentido de soldagem

- Sentido Positivo: Nesse sentido de soldagem, ocasiona uma penetração profunda e cordão estreito.
- Sentido Negativo: A configuração do cordão de solda nesse sentido o cordão é de baixa penetração e largo.
- Sentido Neutro: A configuração do cordão de solda nesse sentido é de média penetração como também a largura do mesmo.

2.5.7. DIÂMETRO DO ELETRODO

Cada eletrodo de uma dada concepção e natureza, tem uma faixa de corrente utilizável de trabalho. Esta faixa é naturalmente delimitada por efeitos indesejáveis, tais como ausência de molhabilidade em valores muito baixos de correntes, e salpicos e porosidades no caso de valores muito elevados

Tanto as taxas de fusão de um eletrodo, como sua penetração, são entre outras coisas função da densidade de corrente. Assim, em igualdade de corrente, um eletrodo mais fino penetrará mais e depositará mais rapidamente do que um eletrodo de maior diâmetro. Deve-se lembrar porém, que esta aparente vantagem acabará saindo mais caro uma vez que, devido ao processo produtivo, em igualdade de peso, o arame de menor diâmetro é sempre mais caro.

2.6) Tipos de transferência

Na soldagem com eletrodos consumíveis, o metal fundido na ponta do arame tem que ser transferido para a poça de fusão. O modo como esta transferência ocorre, é muito importante na soldagem MIG MAG, pois afeta muitas características do processo, como por exemplo: a quantidade de gases (principalmente Hidrogênio, Nitrogênio e Oxigênio) absorvidos pelo metal fundido, a estabilidade do arco, a aplicabilidade do processo em determinadas posições de

soldagem e o nível de respingos gerados. Os principais fatores que influenciam no modo de transferência são:

- Intensidade e tipo de corrente
- Tensão do arco elétrico
- Densidade da corrente
- Natureza do arame-eletrodo
- Extensão livre do eletrodo
- Gás de proteção
- Características da fonte de energia

De uma forma simplificada, pode-se considerar que existem quatro modos distintos de transferência. Estes modos são apresentados a seguir:

2.6.1. TRANSFERÊNCIA GLOBULAR

Em CC+ a transferência globular toma lugar com níveis baixos de corrente, independente do tipo de gás de proteção. Com CO₂ este tipo de transferência ocorre com alta intensidade de corrente utilizável) Este tipo de transferência é caracterizado pela formação de gotas maiores do que o diâmetro do eletrodo.

A transferência globular e axialmente dirigida, pode ser obtida em uma atmosfera gasosa substancialmente inerte (teores de CO₂ menores que 5%). O comprimento do arco deve ser longo bastante para garantir o destacamento da gota antes que mesma atinja a poça de fusão (curto-circuito). Entretanto, a solda resultante não é considerada de boa qualidade por típicas faltas de fusão, insuficiente penetração e reforço excessivo.

Quando sob um gás ativo (CO₂), a transferência em tensões elevadas é tipicamente globular, não axial. Isto é devido o aparecimento de uma força contrária (jato catódico) ao destacamento da gota. A gota cresce de uma forma desordenada, oscilando na ponta do arame, levando consigo o arco elétrico. A gota é finalmente destacada, quer por excesso de peso (forças gravitacionais) ou por curto circuito com a peça (efeito Pinch).

2.6.2. TRANSFERÊNCIA POR SPRAY

Com uma proteção gasosa de pelo menos 80% de Argônio ou Hélio, a transferência do metal de adição muda de globular para spray (ou aerosol) a partir de um determinado nível de corrente conhecido como corrente de transição para um dado diâmetro de eletrodo.

Na transferência spray pequenas gotas são arrancadas do arame-eletrodo e ejetadas em direção ao metal de base. A redução do tamanho da gota é acompanhada de um aumento na taxa de destacamento dos mesmos.

Sob proteção de CO₂ não há transição de globular para spray. Com o aumento da corrente, as gotas diminuem de tamanho, mas não são axialmente dirigidas. Com isto a quantidade de salpicos será muito grande. Isto pode ser minimizado com a utilização de um arco muito curto.

Em metais ferrosos, a transferência por spray é limitada à posição plana, devido a grande quantidade de material transferido e a fluidez da poça de fusão. Também devido a grande penetração, nestes mesmos materiais não é o tipo de transferência adequado para chapas finas. Em metais não ferrosos, pode ser utilizada com maior liberdade.

2.6.3. TRANSFERÊNCIA POR CURTO-CIRCUITO

A soldagem por curto circuito é a característica mais importante de utilização das misturas de gases ativas (CO₂ puro ou misturas com teor deste gás superior a 25%).

Com esta proteção gasosa em baixos níveis de corrente e tensão, os glóbulos crescem algumas vezes o diâmetro do eletrodo até que tocam na poça de fusão. Quando ocorre o curto, a gota na extremidade saliente do arame se estrangula por capilaridade ocasionando alta densidade de corrente que irá destacar, finalmente, a gota dando origem a novo arco. O eletrodo curto circuita a poça de fusão numa taxa de 20 a 200 vezes por segundo.

Este tipo de transferência produz uma poça de fusão pequena e de rápido resfriamento, sendo por isto adequada para chapas finas, soldagem fora de posição e passes de raiz. Por outro lado, como o calor transferido para a poça de fusão é menor, ocorrerão menores problemas de distorções.

Nesta transferência alguns problemas de salpicos poderão ocorrer, porém podem ser eficientemente controlados por modificações de indutância que são normalmente colocadas em série com o circuito de soldagem, diminuindo assim a velocidade de estabelecimento do pico de corrente de curto circuito.

2.6.4. TRANSFERÊNCIA CONTROLADA

Sob esta denominação estão agrupados outros modos de transferência que podem ser obtidos pela introdução de perturbações controladas na corrente de soldagem e/ou na alimentação do arame. Estas perturbações tem como objetivo obter uma transferência controlada de metal de adição com as características desejáveis da transferência por spray, mas a níveis de corrente média bem mais

baixos, de forma a permitir sua utilização na soldagem de chapas finas ou fora da posição plana.

A transferência controlada mais usada é a pulsada, um tipo de transferência mais estável e uniforme, obtida pela pulsação da corrente de soldagem em dois patamares; um inferior a corrente de transição e outro superior a esta, de modo que durante o período de tempo que a corrente é baixa, uma gota se forma e cresce na ponta do arame, sendo transferida quando o valor da corrente é elevado. Para se obter este modo de transferência deve-se utilizar fontes de energia especiais, capazes de fornecer corrente pulsada, com parâmetros de pulso controláveis. Um problema acarretado pela adoção deste tipo de transferência é a introdução de quatro novas variáveis no processo de soldagem MIG MAG (tempo de pico, corrente de pico, tempo de pulso e corrente de pulso). Isto dificultará um pouco mais a seleção e otimização dos parâmetros de soldagem.

3. TERMINOLOGIA DE SOLDAGEM

- **Soldagem** – é o processo de união de materiais, a **Solda** é o resultado deste processo.
- **Metal Base:** Material da peça que sofre o processo de soldagem.
- **Metal de Adição:** Material adicionado, no estado líquido, durante a soldagem.
- **Poça de Fusão:** Região em fusão, a cada instante, durante uma soldagem
- **Penetração:** Distância da superfície original do metal de base ao ponto em que termina a fusão, medida perpendicularmente à mesma.

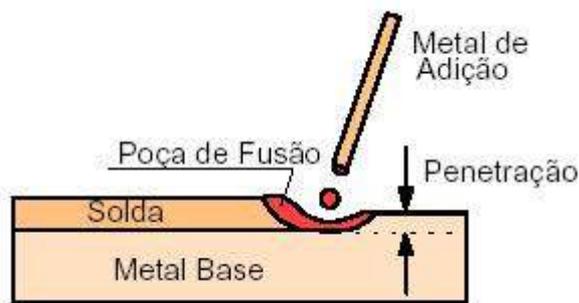


Figura 3.1- Terminologia de soldagem

3.1) A Zona Termicamente Afetada (ZTA)

Nenhuma solda por fusão pode ser realizada sem acumular um gradiente térmico no metal de base. A difusão de calor para o metal de base é fortemente influenciada pela temperatura da poça de fusão e pela velocidade de soldagem. Soldagem com alta potência e alta velocidade reduz o gradiente térmico. Num ponto da ZTA logo além da borda da poça de fusão a temperatura aumenta

rapidamente a um nível próximo do da poça de fusão e diminui rapidamente produzindo um efeito como o de têmpera. Em aços essa região torna-se austenítica durante o aquecimento e pode conter o constituinte duro conhecido como *martensita* quando se resfria. Essa região desenvolve grãos grosseiros (*região de crescimento de grão*), porém, um pouco mais além, onde a temperatura não foi tão alta, entrando na faixa acima da temperatura de transformação, mas não atingindo a região austenítica, o tamanho de grão é menor (*região de refino de grão*). Mais além ainda, não há alteração no tamanho de grão, mas o calor é suficiente para reduzir a dureza dessa região e eliminar até certo ponto os efeitos de qualquer encruamento (*região intercrítica*). Em materiais que não sofrem transformação, como os aços, nem endurecem por solução sólida, como ligas de alumínio tratáveis termicamente, os efeitos do calor são mais simples, sendo aplicados principalmente para reduzir a dureza e para a eliminação completa ou parcial do encruamento. Raramente a condição de soldagem é tão simples como foi descrita acima porque os metais de base são freqüentemente imperfeitos quando observados detalhadamente, sendo também possível para a poça de fusão introduzir hidrogênio na zona termicamente afetada.

Esta é, portanto, uma região potencial de defeitos e seu comportamento em um material qualquer é um aspecto importante da consideração de soldabilidade. *Soldabilidade*, no entanto, é uma propriedade do material que não pode ser definida precisamente porque varia com o processo empregado e com a maneira como o processo é utilizado. Materiais com soldabilidade ruim podem ser soldados satisfatoriamente desde que seja tomado muito cuidado na seleção do consumível, no controle da soldagem e na inspeção final. Isso freqüentemente significa muitos testes antes da produção e naturalmente um aumento nos custos.

3.2) Posições de soldagem

A posição de soldagem define em que plano será realizada a solda

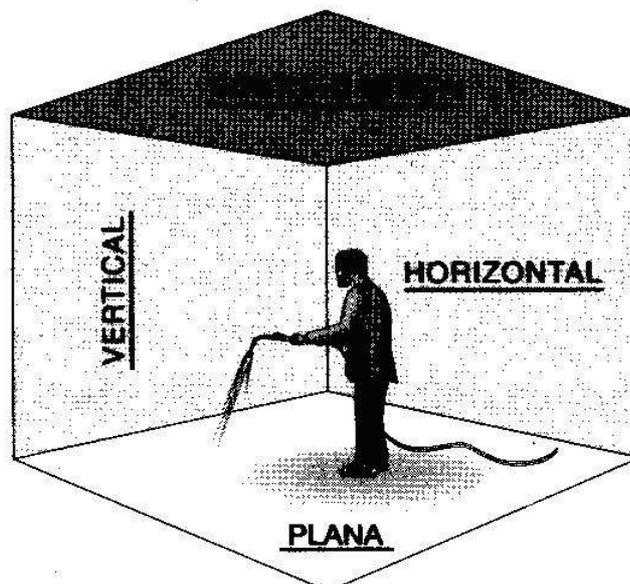
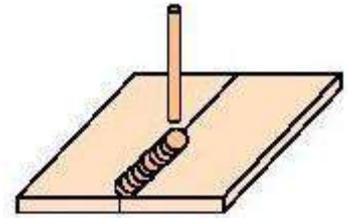


Figura 3.2- Posições de soldagem

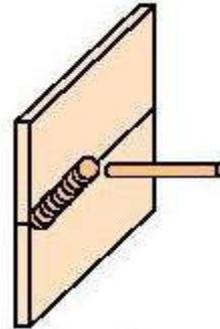
3.2.1. POSIÇÃO PLANA (FLAT)

A soldagem é feita no lado superior de uma junta e a face da solda é aproximadamente horizontal.



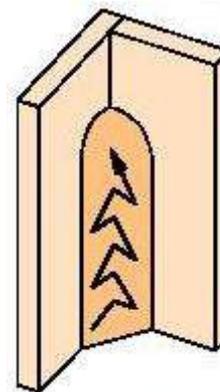
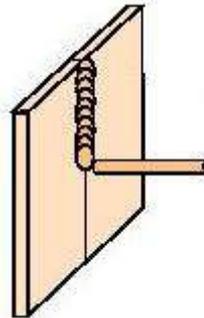
3.2.2. POSIÇÃO HORIZONTAL (HORIZONTAL)

O eixo da solda é aproximadamente horizontal mas a sua face é inclinada.



3.2.3. POSIÇÃO VERTICAL (VERTICAL)

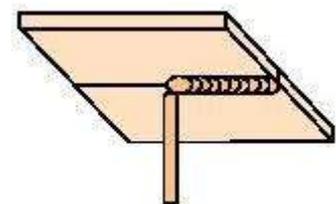
O eixo da solda é aproximadamente vertical. A soldagem pode ser “para cima” (*vertical – up*) ou “para baixo” (*vertical – down*).



Movimento de tecimento

3.2.4. POSIÇÃO SOBRECABEÇA (OVERHEAD)

A soldagem é feita do lado inferior de uma solda de eixo aproximadamente horizontal.



3.3) Tipos de Junta

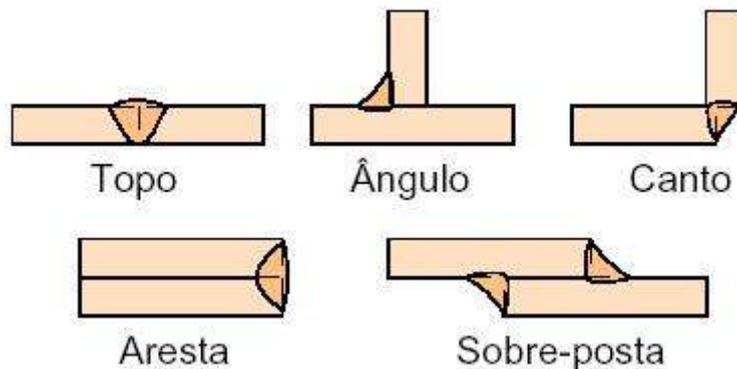


Figura 3.3- Tipos de junta

Soldas em juntas de topo e ângulo podem ser de **penetração total**

3.4) Chanfro

Corte efetuado na junta para possibilitar, ou facilitar, a soldagem em toda a sua espessura.

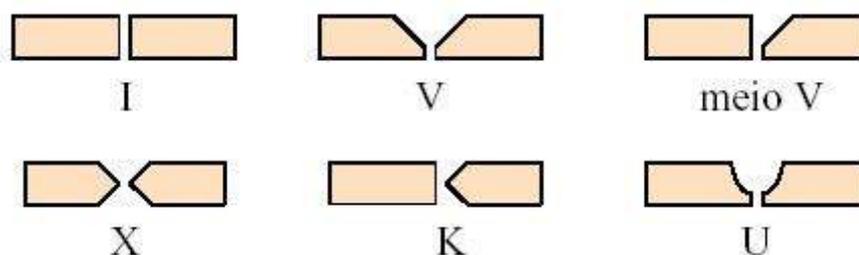


Figura 3.4- Tipos de chanfro

Elementos de um chanfro:

Encosto ou nariz (S): Parte não chanfrada de um componente da junta.

Garganta, folga ou fresta (f): Menor distância entre as peças a soldar.

Ângulo de abertura da junta (α) e Ângulo de chanfro (β): Os elementos de um chanfro são escolhidos de forma a permitir um fácil acesso até o fundo da junta, mas, idealmente, com menor necessidade possível de metal de adição.

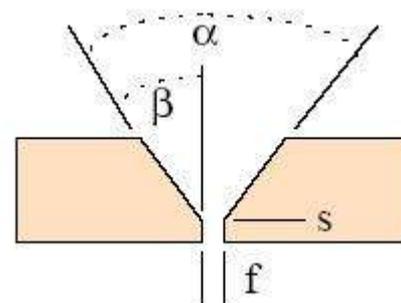
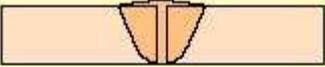
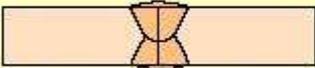
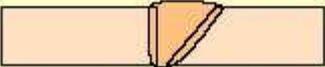
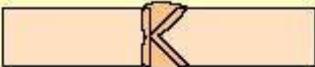
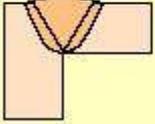
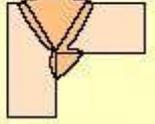
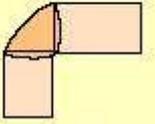
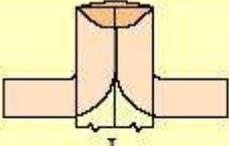
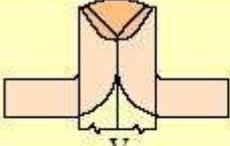
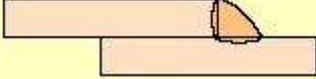
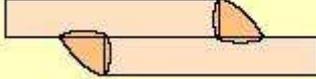
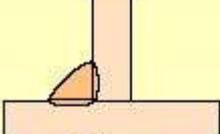
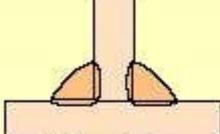
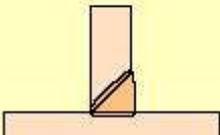
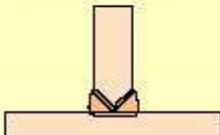


Figura 3.5- Elementos de um chanfro

Juntas de Topo			
			
			
			
Juntas de Canto			
	Juntas de Aresta		
			
Juntas Sobrepostas			
	Juntas de Ângulo		
Juntas de Ângulo			
			

- **Raiz:** Região mais profunda do cordão de solda. Em uma junta chanfrada, corresponde à região do cordão junto da fresta e do encosto.
- Tende a ser região mais propensa à formação de discontinuidades em uma solda.
- **Face:** Superfície oposta à raiz da solda.
- **Passe:** Depósito de material obtido pela progressão sucessiva de uma só poça de fusão. Uma solda pode ser feita em um único ou em vários passes.

- **Camada:** Conjunto de passes localizados em uma mesma altura no chanfro.
- **Reforço:** Altura máxima alcançada pelo excesso de material de adição, medida a partir da superfície do material de base.
- **Margem:** Linha de encontro entre a face da solda e a superfície do metal de base.

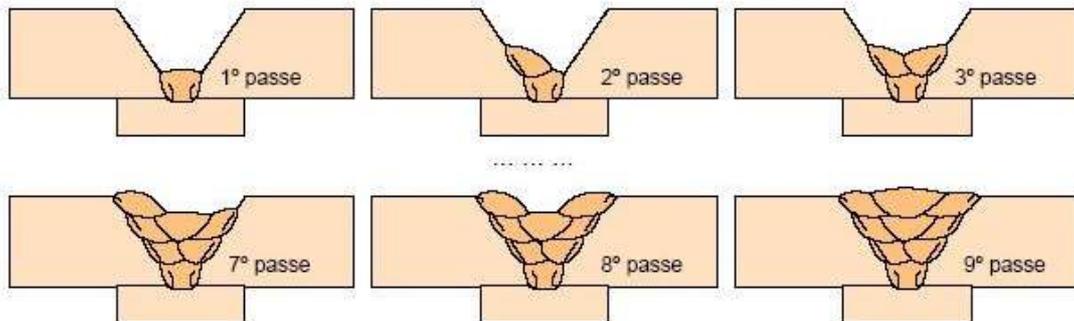


Figura 3.7- Sobreposição de passes

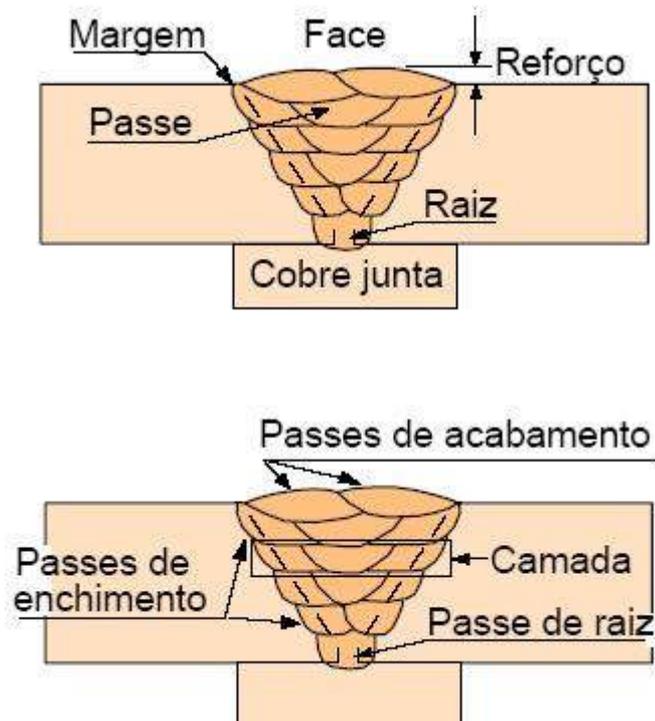


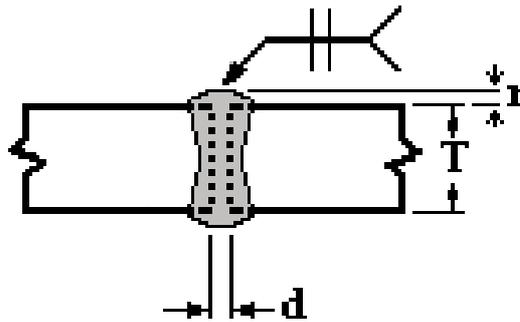
Figura 3.8- Nomenclatura de solda multipasse

3.5) Dimensional de chanfro

3.5.1. SOLDA DE JUNTA DE TOPO

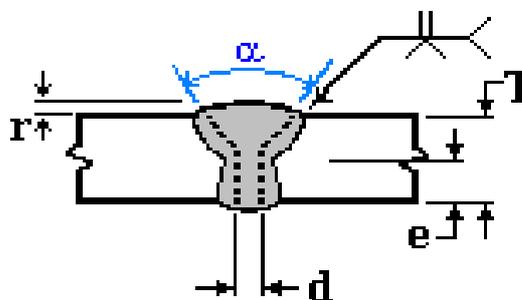
Solda em que os dois elementos estão localizados no mesmo plano. Caso Houver diferentes espessuras de chapas a serem soldadas, a solda será aplicada tomando como referência a espessura da chapa mais fina.

A) Solda de Junta de Topo com Chanfro Reto I



<i>Espessura</i> <i>T</i>	<i>Distância</i> <i>entre</i> <i>os topos - d</i>	<i>Reforço</i> <i>Máximo - r</i>	<i>Número</i> <i>de</i> <i>Passes</i>
1,9	0 - 1,0	1,0	1
3,2	1,0	1,0	1 a 2
4,8	1,0 a 2,0	1,5	1 a 2
6,4	1,0 a 2,0	1,5	2 a 3
7,9	1,0 a 3,0	1,5	2 a 3

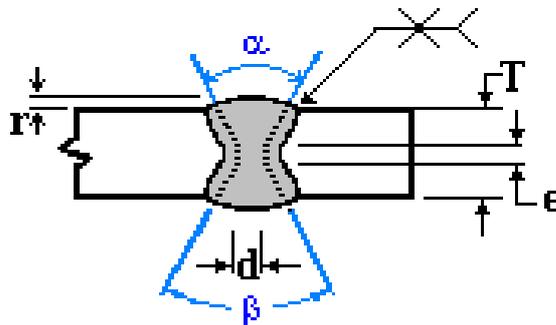
B) Solda de Junta de Topo com Chanfro V



<i>Espessura</i> <i>T</i>	<i>Distância</i> <i>entre</i> <i>os topos - d</i>	<i>Angulo</i> <i>α</i>	<i>Reforço</i> <i>Máximo - r</i>	<i>Largura</i> <i>da</i> <i>raiz - e</i>	<i>Número</i> <i>de</i> <i>Passes</i>

9,5	2,0 a 3,0	60°	1,5	0 - 1,0	2 a 3
12,7	2,0 a 3,0	60°	2,0	0 - 1,0	3 a 4
15,8	2,0 a 3,0	60°	2,0	0 - 1,0	3 a 4
19,1	2,0 a 3,0	60°	2,0	0 - 1,0	4 a 5

C) Solda de Junta de Topo com Chanfro Duplo V

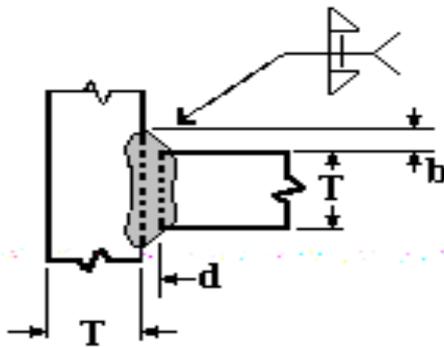


<i>Espessura T</i>	<i>Distância entre os topos - d</i>	<i>Ângulos α e β</i>	<i>Reforço Máximo - r</i>	<i>Largura da raiz - e</i>	<i>Número de Passes</i>
22,2	2,0 a 3,0	60°	2,5	0 - 1,0	5 a 6
25,4	2,0 a 3,0	60°	2,5	0 - 1,0	6 a 7
31,7	2,0 a 3,0	60°	2,5	0 - 1,0	7 a 8
38,1	2,0 a 3,0	60°	3,0	0 - 2,0	8 a 9
41,2	2,0 a 3,0	60°	3,0	0 - 2,0	9 a 10
50,8	2,0 a 3,0	60°	3,0	0 - 2,0	12 a 13

3.5.2. SOLDA DE JUNTA EM T

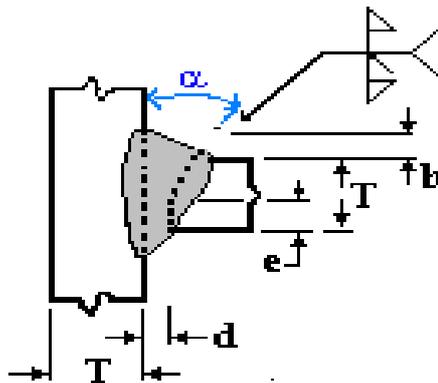
Solda em que os dois elementos estão localizados em superfícies perpendiculares.

A) Solda de Junta em T sem Chanfro



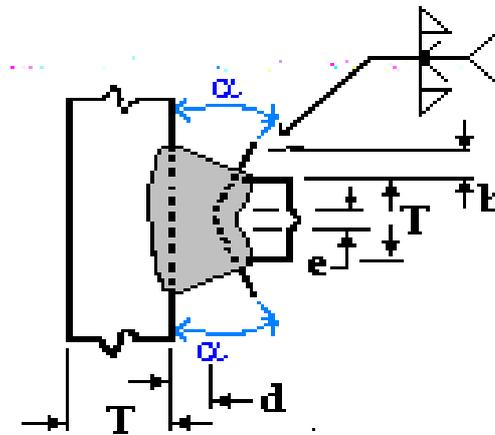
<i>Espessura</i> <i>T</i>	<i>Distância</i> <i>entre</i> <i>os topos - d</i>
1,9	1,0
3,2	1,0
4,8	2,0
6,4	2,0
7,9	2,0

B) Solda de Junta em T com Chanfro V



<i>Espessura</i> <i>T</i>	<i>Distância</i> <i>entre</i> <i>os topos - d</i>	<i>Angulo</i> <i>α</i>	<i>Largura</i> <i>da</i> <i>raiz - e</i>
9,5	1,0 - 3,0	45°	0 - 1,0
12,7	2,0 - 3,0	45°	0 - 1,0
15,8	2,0 - 3,0	45°	0 - 1,0
19,1	2,0 - 3,0	45°	0 - 1,0

C) Solda de Junta em T com Chanfro Duplo V



<i>Espessura</i> <i>T</i>	<i>Distância</i> <i>entre</i> <i>os topos - d</i>	<i>Angulo</i> <i>α e β</i>	<i>Largura</i> <i>da</i> <i>raiz - e</i>	<i>Número</i> <i>de</i> <i>Passes</i>
22,2	2,0 a 3,0	45°	0 - 1,0	5 a 6
25,4	2,0 a 3,0	45°	0 - 1,0	6 a 7
31,7	2,0 a 3,0	45°	0 - 1,0	7 a 8
38,1	2,0 a 3,0	45°	0 - 2,0	8 a 9
41,2	2,0 a 3,0	45°	0 - 2,0	9 a 10
50,8	2,0 a 3,0	45°	0 - 2,0	12 a 13

4. CARACTERÍSTICA DO CORDÃO DE SOLDA

4.1) Dimensional

A dimensão dos cordões de solda a serem utilizados estão indicados no projeto de cada produto. No caso de dúvida deverá ser consultada a Eng. de Produto ou Eng. de Processos.

4.2) Número de Passes:

O número de passes informado nas tabelas acima serve como sugestão. No entanto, a utilização de passe único é permitido somente para cordões até a dimensão de 8mm. Para soldas com dimensão maior que 8mm deverão ser utilizados multipasses sendo respeitada a dimensão máxima de 8mm por cordão de solda podendo ser utilizados tantos passes quanto necessário para cumprir-se as especificações de projeto.

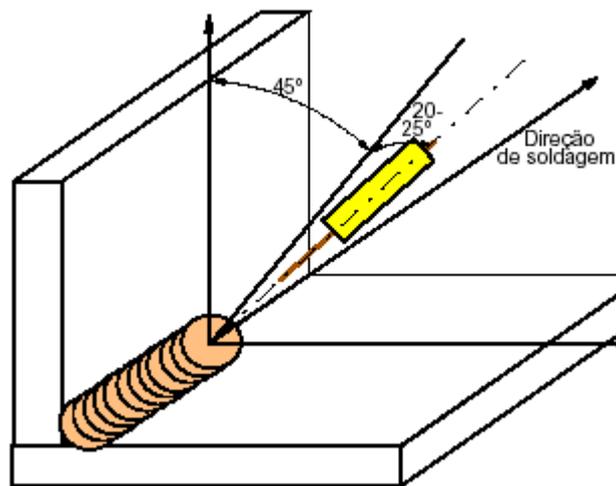


Figura 4.1- Posição recomendada para a execução de uma solda

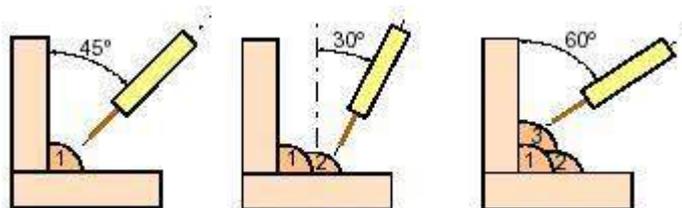


Figura 4.2- Sequência de deposição de passes a ser utilizada

5. MODOS DE OPERAÇÃO

Manual: Soldagem na qual toda a operação é realizada e controlada manualmente pelo soldador.

Semi-automático: Soldagem com controle automático da alimentação de metal de adição, mas com controle manual pelo operador do posicionamento da tocha e de seu acionamento.

Mecanizado: Soldagem com controle automático da alimentação de metal de adição, controle do deslocamento do cabeçote de soldagem pelo equipamento, mas com posicionamento, acionamento do equipamento e supervisão da operação sob responsabilidade do operador de soldagem.

Automático: Soldagem com controle automático de praticamente todas as operações necessárias. Em alguns casos, a definição de um processo como mecanizado ou automático não é fácil, em outros, o nível de controle da operação, o uso de sensores, a possibilidade de programar o processo indicam claramente um processo de soldagem automático. De uma forma ampla, os sistemas automáticos de soldagem podem ser divididos em duas classes: (a) Sistemas dedicados, projetados para executar uma operação específica de soldagem, basicamente com nenhuma flexibilidade para mudanças no processo e (b) sistemas com robôs, programáveis e apresentando uma flexibilidade relativamente grande para alterações no processo.

6. SIMBOLOGIA DE SOLDAGEM:

Símbolos padronizados são usados para indicar a localização, detalhes do chanfro e outras informações de operações de soldagem em desenhos de engenharia. Existem sistemas de símbolos de soldagem desenvolvidos em normas de diferentes países. No Brasil, o sistema mais usado é o da American Welding Society, através de sua norma AWS A2.4, Symbols for Welding and Nondestructive Testing. Contudo, símbolos baseados em normas de outros países são, também, usados. Como estes símbolos são similares aos da AWS, mas apresentam diferenças em detalhes, isto pode levar à interpretação errada de desenhos. Um símbolo completo de soldagem consiste dos seguintes elementos:

- Linha de referência (sempre horizontal),
- Seta,
- Símbolo básico da solda,
- Dimensões e outros dados,
- Símbolos suplementares,
- Símbolos de acabamento,
- Cauda
- Especificação de procedimento, processo ou outra referência.

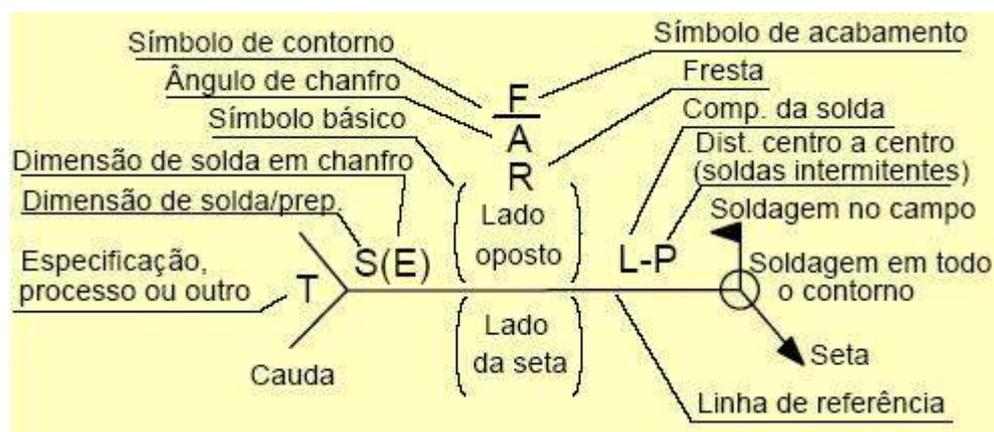
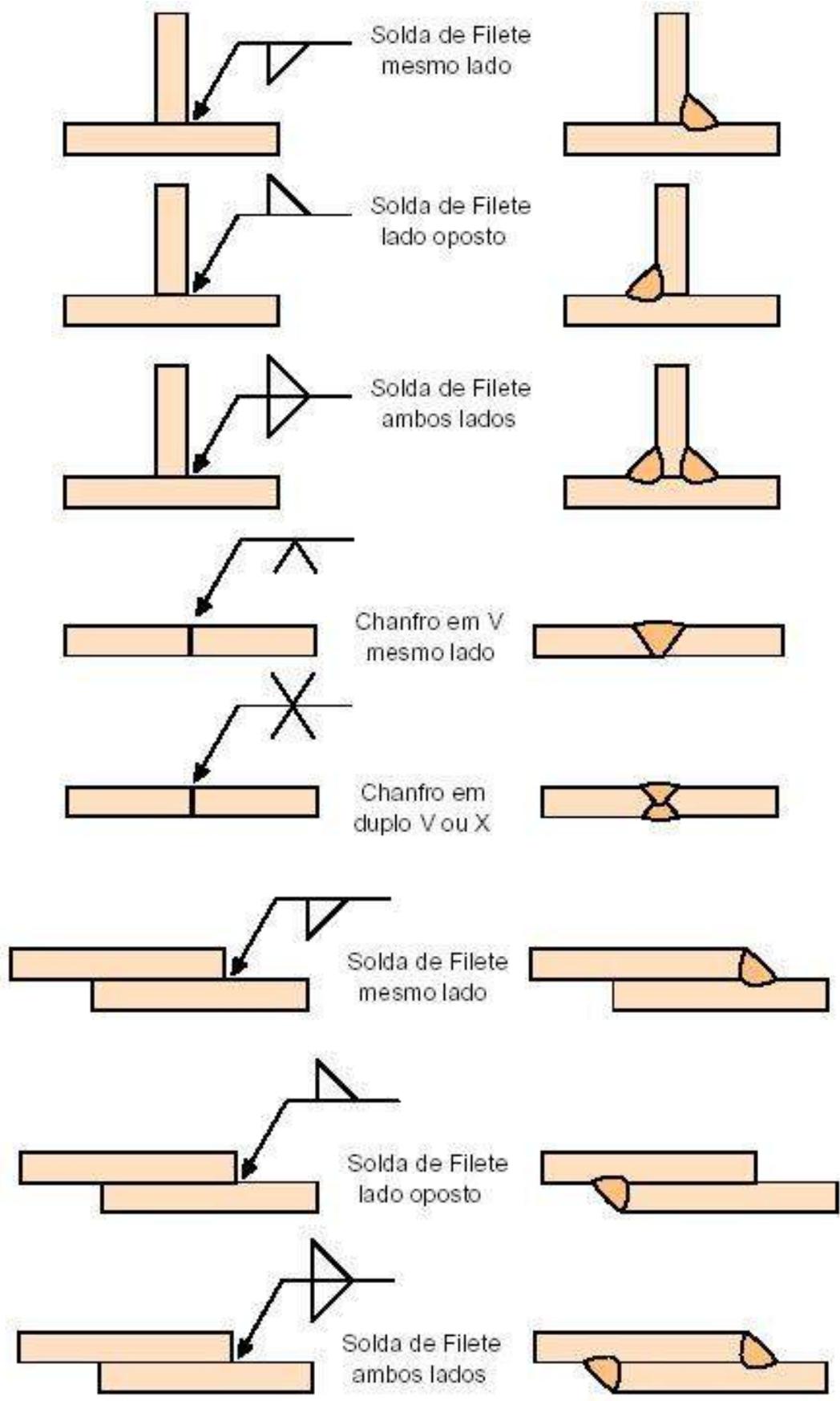
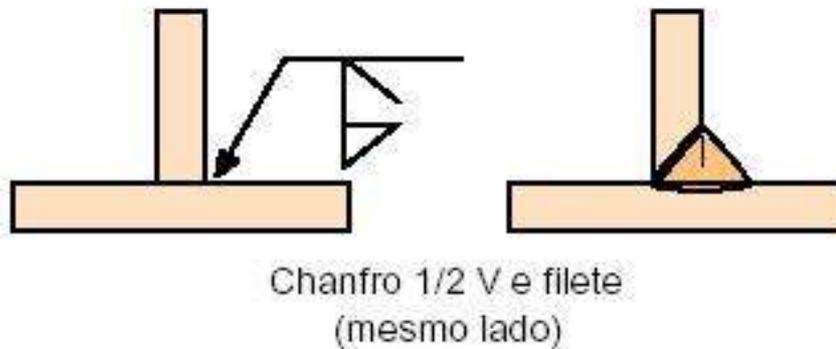


Figura 6.1- Simbologia de soldagem

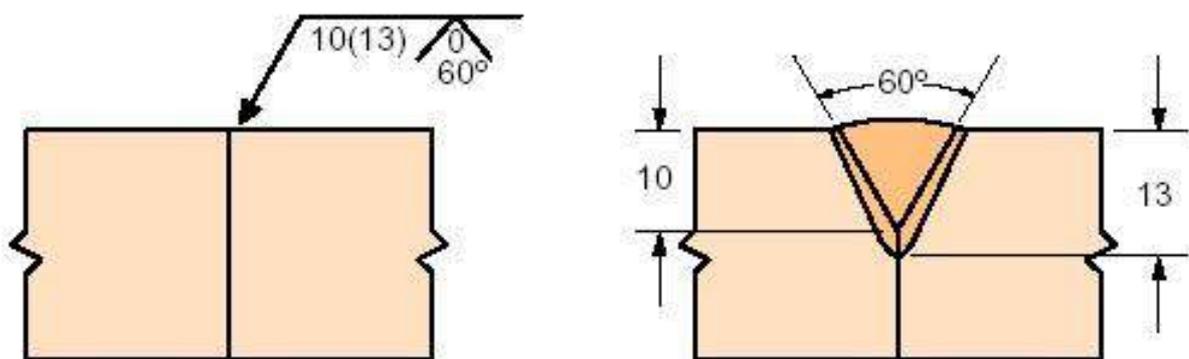
A posição do símbolo básico na linha de referência indica se a solda será depositada no mesmo lado ou no lado oposto do local indicado no desenho pela seta:



Exemplo de uso de símbolos compostos:



Exemplo de um símbolo para uma solda em chanfro de 1/2 V com dimensões:



7. MORFOLOGIA DO CODÃO

Os Parâmetros de Soldagem influenciam diretamente, e notavelmente, na geometria (morfologia) do cordão de solda, propriedades mecânicas, defeitos operacionais e estabilidade do arco.

7.1) Intensidade de corrente

A corrente é o parâmetro com maior influência sobre a taxa de deposição, modo de transferência, penetração e reforço. Quando todas as outras variáveis do processo são mantidas constantes, a corrente de soldagem varia com a velocidade de alimentação do arame

Com todas as outras variáveis do processo mantidas constante, pode-se concluir:

AÇÃO	EFEITO
Aumenta-se a CORRENTE	<i>Aumento da penetração da solda;</i>
	<i>Aumenta a taxa de deposição do metal de adição;</i>
	<i>Aumento do tamanho da gota de solda;</i>

7.2)Polaridade

O termo polaridade é usado para descrever a conexão elétrica da tocha de soldagem com relação aos terminais de corrente da saída da fonte de tensão. Quando a tocha é conectada ao terminal positivo da fonte, a polaridade é designada como polaridade inversa. Caso o terminal negativo seja conectado à tocha, a polaridade é designada como polaridade direta.

A grande maioria das aplicações utiliza polaridade inversa. Esta condição leva a um arco estável, transferência metálica suave, baixa quantidade de respingos, boas características do leito e maior profundidade de penetração para uma vasta gama de correntes de soldagem.

7.3)Tensão de soldagem

A tensão é o principal parâmetro para regular a largura do cordão influenciando, também, o modo de transferência. A seleção da tensão mais conveniente é função da intensidade de corrente (para estabilizar o arco); tipo do arame e do gás de proteção, além da geometria desejada do cordão.

Uma muito baixa tensão pode causar porosidade, sobreposição (nos lados do cordão), cordão estreito e convexo. Um aumento excessivo deste parâmetro, faz com que o arco aumente proporcionalmente, causando porosidade, salpico, mordedura. Em ambos os casos, a estabilidade do arco é prejudicada.

AÇÃO	EFEITO
Redução da TENSÃO	<i>Cordão estreito</i>
	<i>Penetração profunda;</i>
Tensões excessivamente BAIXAS	<i>Toque do eletrodo</i>

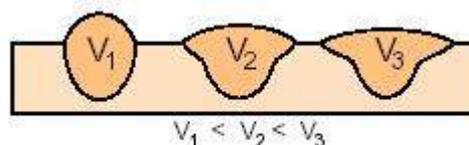


Figura 7.1- Influência da tensão do arco no formato de cordões depositados sobre chapa.

Na soldagem em chanfro, um valor elevado de tensão pode fazer com que o arco não atinja a raiz da solda e resulte em falta de penetração.

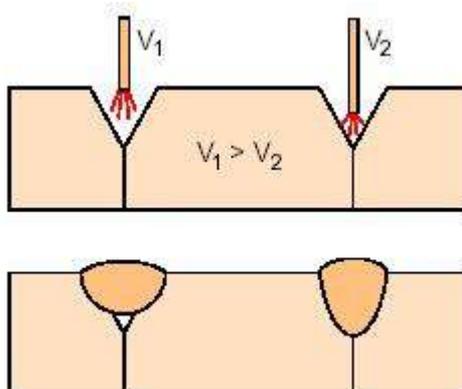


Figura 7.2- Influência da tensão do arco no formato de cordões depositados em chanfro.

7.4) Velocidade de soldagem

Velocidade de soldagem é a taxa linear com que o arco é movido ao longo da junta. Mantendo-se todas as variáveis do processo constante, a penetração é máxima para velocidades intermediárias. Quando a velocidade de soldagem é reduzida, a deposição de metal por unidade de comprimento aumenta. Em velocidades muito baixas o arco de soldagem colide com a poça de fusão mais do que com o metal base, reduzindo assim a penetração efetiva. Uma poça larga também é esperada como resultado.

AÇÃO	EFEITO
Aumento da VELOCIDADE	<i>Menor distorção da estrutura;</i>
	<i>ZAC mais estreita;</i>
	<i>Diminuição da dimensões gerais do cordão</i>

COM AUMENTOS SUCESSIVOS DAS VELOCIDADES, HÁ UMA TENDÊNCIA À MORDEDURA NAS BORDAS DEVIDO A DEPOSIÇÃO INSUFICIENTE.

7.5) Comprimento do eletrodo (stick-out)

O comprimento do eletrodo ou “stick-out” é a distância entre o final do tubo de contato e o final do eletrodo. O aumento do comprimento do eletrodo resulta no aumento da resistência elétrica, aumentando assim a temperatura do eletrodo e resultando em um pequeno aumento da taxa de fusão do eletrodo. Globalmente o aumento da resistência elétrica produz uma grande queda de tensão, sendo compensada pela fonte de soldagem com uma redução na corrente que reduz imediatamente a taxa de fusão do eletrodo, levando assim a um encurtamento do

arco. Assim, a menos que haja um aumento da tensão da máquina de soldagem, o metal vai ser depositado como um cordão estreito e altamente restrito.

O stick-out desejável é de 6 a 13mm para transferência por curto-circuito, e de 13 a 25mm para as outras formas de transferência.

7.6) Orientação do eletrodo

Como em todos os processos de soldagem, a orientação do eletrodo afeta a penetração e a forma do cordão de solda. A orientação do eletrodo é descrita de 2 formas:

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

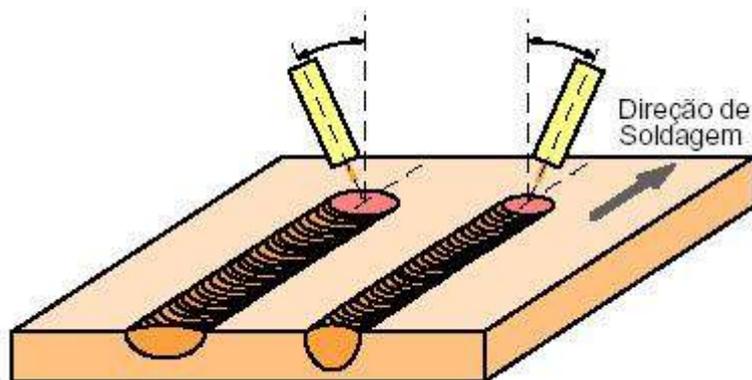


Figura 7.3- Efeito da inclinação do eletrodo no formato do cordão.

7.7) Diâmetro do eletrodo

O diâmetro do eletrodo influencia a forma do cordão de solda. Quanto maior o diâmetro do arame, maior será a corrente necessária para a sua fusão. Correntes grandes produzem fusão adicional do eletrodo e depósitos maiores e mais fluidos. Altas correntes também originam altas taxas de deposição e grande penetração. Entretanto nas posições verticais e sobre cabeça, menores diâmetros de arame são utilizados com baixas correntes de soldagem.

8. DESCONTINUIDADES

Designa-se como descontinuidade a qualquer interrupção da estrutura típica (ou esperada) de uma junta solda. Neste sentido, pode-se considerar, como descontinuidade, a falta de homogeneidade de características físicas, mecânicas ou metalúrgicas do material ou da solda. A existência de descontinuidades em uma junta não significa necessariamente que a mesma seja defeituosa. Esta condição depende da aplicação a que se destina o componente e é, em geral, caracterizada pela comparação das descontinuidades observadas ou propriedades medidas com

níveis estabelecidos em um código, projeto ou contrato pertinente. Assim, considera-se uma junta soldada contém defeitos quando esta apresenta descontinuidades ou propriedades (neste caso, defeitos) que não atendam ao exigido, por exemplo, por um dado código. Juntas defeituosas precisam, em geral, ser reparadas ou, mesmo, substituídas.

Existem quatro tipos gerais de descontinuidades: (a) descontinuidades dimensionais, (b) descontinuidades estruturais, (c) descontinuidades relacionadas com propriedades indesejáveis da região da solda e (d) descontinuidades relacionadas com as propriedades do metal de base.

8.1) Descontinuidades Dimensionais

Para a fabricação de uma estrutura soldada, é necessário que tanto a estrutura como as suas soldas tenham dimensões e formas similares (dentro das tolerâncias exigidas) às indicadas em desenhos, projetos ou contratos. Uma junta que não atenda a esta exigência pode ser considerada defeituosa, sendo necessário a sua correção antes da aceitação final da estrutura. As principais descontinuidades estruturais são:

8.1.1. DISTORÇÃO:

É a mudança de forma da peça soldada devido às deformações térmicas do material durante a soldagem. Problemas de distorção são controlados ou corrigidos por medidas como: (1) projeto cuidadoso da peça ou estrutura, (2) planejamento da seqüência da deposição das soldas, (3) projeto adequado do chanfro, (4) adoção de técnicas especiais para a deposição da solda, (5) desempenho, com ou sem a aplicação de calor, da junta soldada e (6) remoção e correção de soldas problemáticas. A forma usada de correção depende do código ou especificação considerados, de acordo entre o fabricante e cliente ou, mesmo, dos equipamentos disponíveis.

8.1.2. PREPARAÇÃO INCORRETA DA JUNTA:

Inclui a falha em produzir um chanfro com as dimensões ou forma especificadas, por exemplo, em um desenho e adequadas para a espessura do material e para processo de soldagem a ser usado. Uma falha deste tipo pode aumentar a tendência para a formação de descontinuidades estruturais (item 2) na solda, necessitando, de correção antes da soldagem.

8.1.3. DIMENSÃO INCORRETA DA SOLDADA:

As dimensões (figura 1) de uma solda são especificadas para atender algum requisito como um nível de resistência mecânica adequado. Soldas com dimensões fora do especificado podem ser consideradas como defeituosas uma vez que deixam de atender a estes requisitos ou, no caso de soldas, cujas dimensões ficam maiores que as especificadas, levam ao desperdício de material ou aumentam a chance de distorção e outros problemas. As dimensões de uma solda podem ser verificadas por meio de gabaritos.

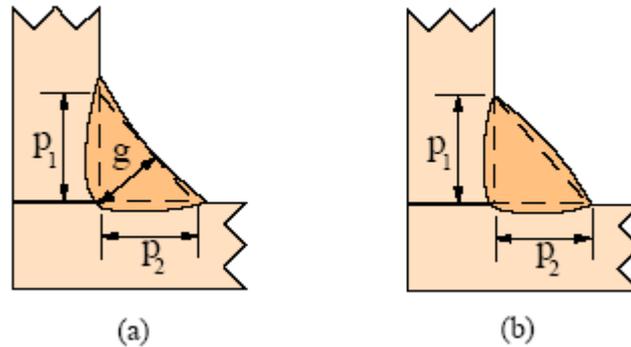


Figura 8.1- Perfis adequados de soldas de filete e suas dimensões: p_1 e p_2 – pernas e g – garganta. Cordão côncavo (a) e convexo (b).

8.1.4. PERFIL INCORRETO DA SOLDA:

O perfil de uma solda é importante pois variações geométricas bruscas agem como concentradores de tensão, facilitando o aparecimento de trincas. O perfil do cordão pode também ser considerado como inadequado quando (i) facilitar o aprisionamento de escória entre passes de soldagem, (ii) levar ao acúmulo de resíduos e, assim, prejudicar a resistência à corrosão da estrutura ou (iii) fazer com que a solda tenha, em alguns locais, dimensões incorretas. Esta forma de descontinuidade está, em geral, associada com problemas operacionais (manipulação incorreta do eletrodo, parâmetros incorretos de soldagem, instabilidade do processo, etc.). A figura a seguir ilustra exemplos de perfis inadequados de soldas.

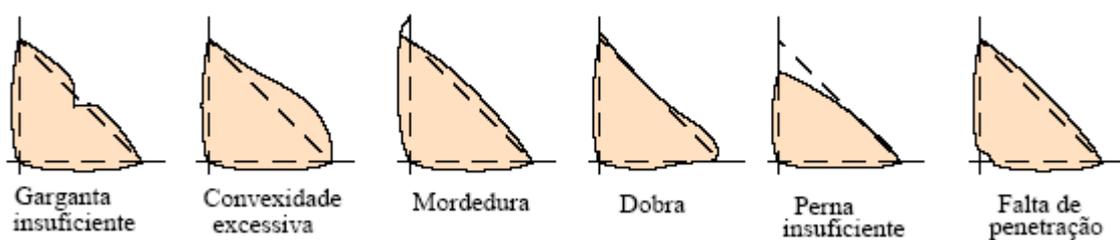


Figura 8.2- Exemplos de perfis inadequados de soldas de filete.

8.1.5. FORMATO INCORRETO DA JUNTA:

O posicionamento ou o dimensionamento inadequado das peças pode levar a problemas como o desalinhamento em juntas de topo (figura 3). Problemas de distorção podem também ser um importante fator para a obtenção de juntas soldadas com um formato incorreto.

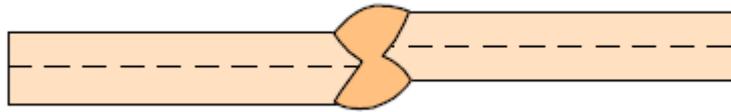


Figura 8.3- Desalinhamento em junta de topo.

8.2) Descontinuidades Estruturais em Soldas por Fusão

8.2.1. POROSIDADE

Porosidade é formada pela evolução de gases, na parte posterior da poça de fusão, durante a solidificação da solda. Os poros têm usualmente um formato esférico, embora poros alongados (porosidade vermiforme) possam ser formados, em geral, associados com o hidrogênio. As principais causas operacionais da formação de porosidade estão relacionadas com contaminações de sujeira, oxidação e umidade na superfície do metal de base, de consumíveis de soldagem ou no equipamento de soldagem (como no sistema de refrigeração e em roletes tracionadores de arames) ou por perturbações na proteção (turbulência no gás proteção devido a uma vazão muito elevada ou a problemas no equipamento ou por efeito de correntes de ar). Parâmetros inadequados de soldagem como corrente excessiva e um arco muito longo podem, também, causar a formação de porosidade, particularmente, na soldagem SMAW. Neste processo, estas condições favorecem a degradação do revestimento ou o consumo excessivo de desoxidantes, propiciando a evolução de CO na poça de fusão e a formação de porosidade. Quanto à sua distribuição na solda, a porosidade pode ser dividida em: (a) uniformemente distribuída, (b) agrupada (associada, em geral, com pontos de abertura ou de interrupção do arco) e (c) alinhada (que ocorre, em geral, no passe de raiz), conforme figura abaixo.

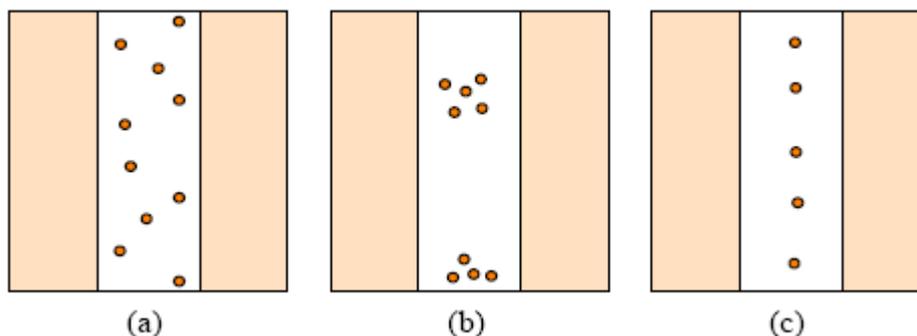


Figura 8.4- Esquema dos tipos de distribuição de porosidade: (a) distribuída, (b) agrupada e (c) alinhada (radiografia esquemática).

8.2.2. INCLUSÕES DE ESCÓRIA

Este termo é usado para descrever partículas de óxido e outros sólidos não-metálicos aprisionados entre passes de solda ou entre a solda e o metal de base (figura 5). Em vários processos de soldagem, uma escória é formada por materiais

pouco solúveis no metal fundido e que tendem a sobrenadar na superfície da poça de fusão devido à sua menor densidade. Uma manipulação inadequada do eletrodo durante a soldagem pode fazer com que parte da escória escoe a frente da poça de fusão aprisionando-a sob o cordão. Adicionalmente, na soldagem com vários passes, parte da escória depositada com um passe pode ser inadequadamente removida e não ser refundida pelo passe seguinte ficando aprisionada sob este passe. Diversos fatores podem dificultar a remoção da escória, incluindo, a formação de um cordão irregular ou o uso de um chanfro muito fechado. Este tipo de descontinuidade aparece, em geral, com uma forma alongada em radiografias. Inclusões de escória podem agir como concentradores de tensão favorecendo a iniciação de trincas.



Figura 8.5- Inclusão de escória.

8.2.3. FALTA DE FUSÃO:

Este termo refere-se à ausência de união por fusão entre passes adjacentes de solda ou entre a solda e o metal de base (figura 6). A falta de fusão é causada por um aquecimento inadequado do material sendo soldado como resultado de uma manipulação inadequada do eletrodo, do uso de uma energia de soldagem muito baixa, da soldagem em chanfros muito fechados ou, mesmo, da falta de limpeza da junta. Esta descontinuidade é um concentrador de tensões severo, podendo facilitar a iniciação de trincas, além de reduzir a seção efetiva da solda para resistir a esforços mecânicos.

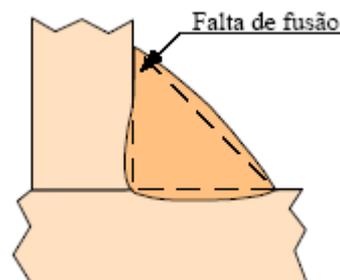


Figura 8.6- Falta de fusão.

8.2.4. FALTA DE PENETRAÇÃO

O termo refere-se à falha em se fundir e encher completamente a raiz da junta (figura 2 e 7). A falta de penetração é causada por diversos fatores, destacando-se a manipulação incorreta do eletrodo, um projeto inadequado da junta (ângulo de chanfro ou abertura da raiz pequenos) ou, alternativamente, a

escolha de um eletrodo muito grande para um dado chanfro (em ambos os casos, torna-se difícil, ou impossível, direcionar o arco para a raiz da junta) e o uso de uma baixa energia de soldagem. Falta de penetração causa uma redução da seção útil da solda além de ser um concentrador de tensões. Deve-se ressaltar que, frequentemente, juntas são especificadas para terem penetração parcial. Nesses casos, a falta de penetração, desde que mantida nos limites especificados não é considerada como um defeito de soldagem.

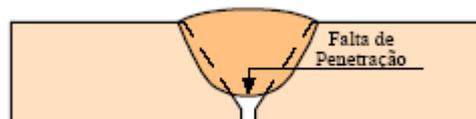


Figura 8.7- Falta de penetração.

8.2.5. MORDEDURA

Este termo é usado para descrever reentrâncias agudas formadas pela ação da fonte de calor do arco entre um passe de solda e o metal de base ou um outro passe adjacente. Quando formada na última camada do cordão, a mordedura causa uma redução da espessura da junta e atuar como um concentrador de tensões (figura 2 e 8). Quando formada no interior da solda, ela pode ocasionar a formação de uma falta de fusão ou de inclusão de escória. Mordeduras são causadas por manipulação inadequada do eletrodo, comprimento excessivo do arco e por corrente ou velocidade de soldagem elevadas. A tendência à formação desta descontinuidade depende também do tipo de consumível (eletrodo, fluxo ou gás de proteção) usado.

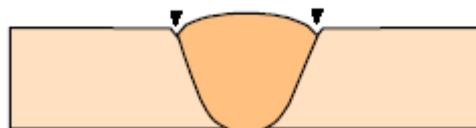


Figura 8.8- Mordeduras.

8.2.6. TRINCAS:

São consideradas, em geral, as descontinuidades mais graves em uma junta soldada por serem fortes concentradores de tensão. Trincas resultam da atuação de tensões de tração (tensões transientes, residuais ou externas) sobre um material incapaz de resistir a elas, em geral, devido a algum problema de fragilização. Elas podem se formar durante, logo após a soldagem, em outras operações de fabricação subseqüentes à soldagem ou durante o uso do equipamento ou estrutura soldada.

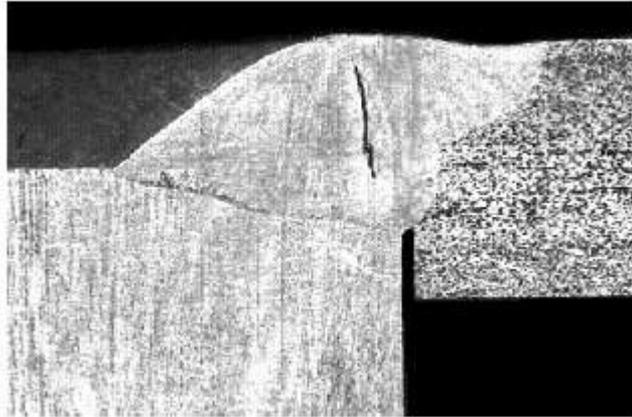


Figura 8.9- Trinca no centro do cordão formada entre uma chapa de aço baixo carbono de 9mm de espessura e um pino de aço SAE 1045. Ataque: Nital 10%.

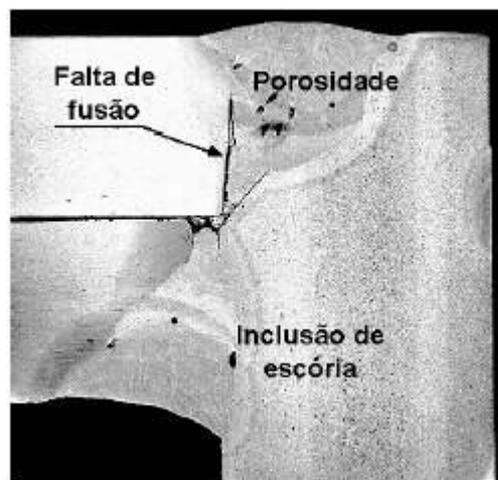


Figura 8.10- Descontinuidades diversas em uma solda em aço estrutural. Ataque: Nital 10%.

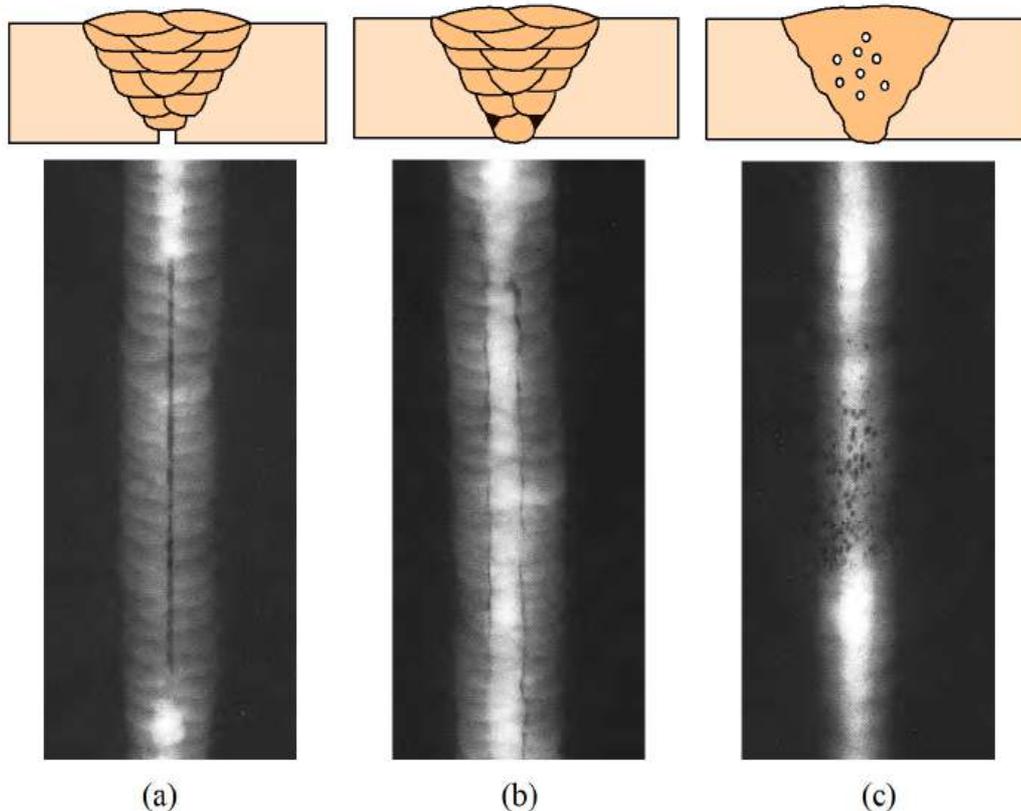


Figura 8.11- Exemplos de radiografias de soldas com descontinuidades: (a) Falta de penetração, (b) inclusão de escória e (c) porosidade agrupada

9. INSPEÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS

A inspeção de um conjunto soldado envolve atividades relacionadas com o processo e os equipamentos de soldagem, o procedimento de soldagem, a sua especificação e qualificação, a qualificação do soldador ou operador, a metalurgia da soldagem, métodos de avaliação dimensional, visual e não destrutiva, diferentes tipos de testes destrutivos, particularmente ensaios mecânicos, juntamente com o conhecimento de desenhos e diferentes normas e especificações. Os responsáveis pela inspeção estão, em geral, ligados ao contratante do serviço ou a uma organização independente, embora o executor possa ter seus inspetores para o seu controle interno. A inspeção pode ocorrer em diferentes momentos de um processo de fabricação. A extensão e requisitos associados com esta variam bastante em função do tipo de atividade considerada, exigências de contrato e normas e diversos outros fatores.

De uma forma geral, a inspeção pode envolver aspectos como:

a) Inspeção antes da soldagem:

- Procedimentos e qualificações.
- Planos de fabricação e testes.

- Especificação e qualidade do metal base.
- Equipamentos de soldagem e auxiliares.
- Consumíveis de soldagem.
- Projeto e preparação das juntas.

b) Inspeção durante a soldagem:

- Controle da montagem e ajuste das peças
- Qualidade das soldas de ponteamto
- Controle da distorção.
- Conformidade com procedimentos de soldagem e planos de fabricação.
- Controle da temperatura de pré-aquecimento e entre passes e métodos de medição.
- Manuseio e controle dos consumíveis de soldagem.
- Qualificação dos soldadores para as operações executadas.
- Limpeza entre passes e limpeza final da junta.
- Inspeção não destrutiva (exame visual e, caso necessário, outros).

c) Inspeção após a soldagem:

- Conformidade com desenhos e especificações.
- Limpeza.
- Inspeção não destrutiva.
- Inspeção destrutiva (por exemplo, ensaios mecânicos, em amostras).
- Ensaios de operação.
- Controle de reparos
- Controle de tratamento térmico após a soldagem e de outras operações.
- Documentação das atividades de fabricação e inspeção.

9.1) Inspeção visual

Este é o método mais simples, o mais utilizado e, em geral, precede qualquer outro tipo de ensaio. Ela é usada na inspeção de superfícies externas para a determinação de tamanho, forma, acabamento, ajuste e existência de trincas, poros, etc. Pode ser feita a olho nu ou com o uso de instrumentos como microscópios, lupas, tuboscópios, espelhos e câmaras de televisão.

Além disso, instrumentos como réguas e gabaritos (figura 9.1) são comumente utilizados.

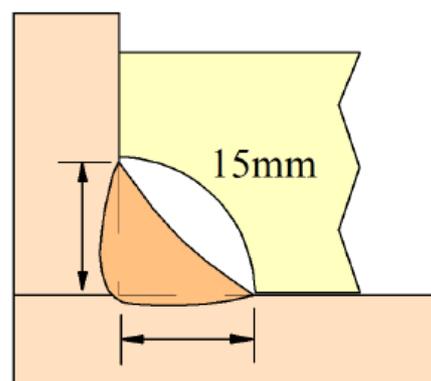


Figura 9.1- Esquema de gabarito para a determinação da dimensão de soldas de filete.

9.2) Inspeção com líquido penetrante

Este método de END é usado para a revelação de descontinuidades superficiais e é baseado na penetração destas por um líquido apropriado e na sua posterior remoção pela aplicação de um material absorvente (revelador) na superfície sendo examinada (figura 9.2).

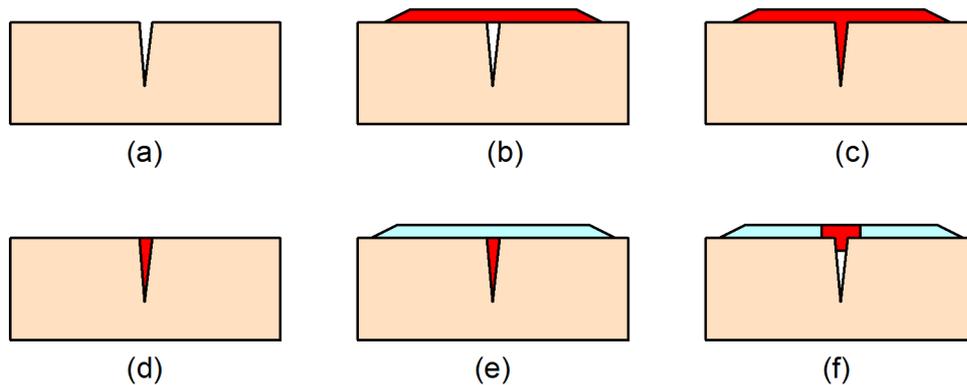


Figura 9.2- Princípios básicos da inspeção com líquidos penetrantes: (a) peça com trinca superficial, (b) aplicação do líquido penetrante, (c) penetração, (d) remoção do excesso de líquido, (e) aplicação do revelador e (f) formação da indicação da trinca.

Este método é simples, rápido e barato, pode ser aplicado a peças de praticamente qualquer tamanho, pode ser usado para peças únicas ou em batelada (no caso de produção seriada), tem uma grande sensibilidade para a detecção de trincas finas e, em contraste com a inspeção com partículas magnéticas, não é afetado pela orientação da descontinuidade. Por outro lado, o método não se aplica para descontinuidades internas, o seu resultado é fortemente influenciado pela rugosidade e o estado de limpeza da superfície e o material de ensaio pode, em alguns casos, reagir com a peça.

10. PREVENÇÃO E CONTROLE DA DEFORMAÇÃO

As medidas de controle e prevenção da deformação na soldagem devem ser tomadas desde o projeto até a montagem final de um equipamento ou de uma estrutura.

10.1) Evitar soldagem excessiva

Reduzir ao mínimo a quantidade depositado numa junta, pois quanto maior a quantidade de metal depositado numa junta maior será a força de contração. Os chanfros devem ter abertura e espaçamento pequenos, compatíveis com a penetração completa. Em chapas relativamente espessas o ângulo do chanfro pode ser diminuído se o espaçamento da raiz for aumentado ou se o chanfro J ou V for usado

10.2) Usar chanfros duplos

Uma junta com chanfro em X requer cerca da metade da quantidade de metal depositado da necessária para uma junta com chanfro em V numa chapa de mesma espessura. Além disso, a solda em ambos os lados possibilita o equilíbrio dos esforços de contração.

10.3) Usar soldas intermitentes

Sempre que possível usar soldas intermitentes ao invés de solda contínua. Na união de nervuras as chapas de painéis, por exemplo, as soldas intermitentes podem reduzir em até 75% a quantidade de metal depositado, mantendo ainda a necessária resistência.

10.4) Menor número possível de passes

Usar, sempre que possível, poucos passes. A contração causada em cada passe tende a ser cumulativa, quando não se aguarda o resfriamento necessário entre os passes aumentando desse modo a contração total quando muitos passes são usados.

Entretanto, sempre que for possível aguardar o resfriamento entre passes, o ideal, para diminuir as deformações, é fazer passes mais finos na seqüência.

10.5) Posicionar as soldas próximas à linha neutra

A deformação é minimizada quando se tem o menor braço de alavanca possível para as forças de contração puxarem o perfil fora do seu alinhamento. Tanto o projeto das soldas quanto a seqüência de soldagem podem efetivamente ser utilizados para controlar este tipo de deformação.

10.6) Balancear as soldas em torno da linha neutra

Esta prática compensa uma força de contração com uma força para efetivamente minimizar a deformação de soldagem. Aqui, também o projeto de montagem e a seqüência apropriada de soldagem são fatores importantes.

10.7) Utilizar a soldagem com passe a ré (“backstep welding”)

Na técnica com passe a ré, a progressão geral da soldagem pode ser, por exemplo, da esquerda para a direita, mas cada segmento do cordão é depositado da direita para a esquerda, conforme figura 10.1. À medida que cada cordão é depositado, a extremidade aquecida se expande, o que temporariamente separa as chapas em B, mas, como o calor se escoia através da chapa para C, a expansão ao longo da borda CD leva as chapas a se juntarem. Esta separação é mais pronunciada quando o primeiro cordão é depositado. Com os cordões sucessivos, as chapas se expandem cada vez menos devido à restrição das soldas anteriores. A soldagem com passe a ré pode ser efetiva em todas as aplicações, e ela pode ser econômica quando usada em soldagem automática.

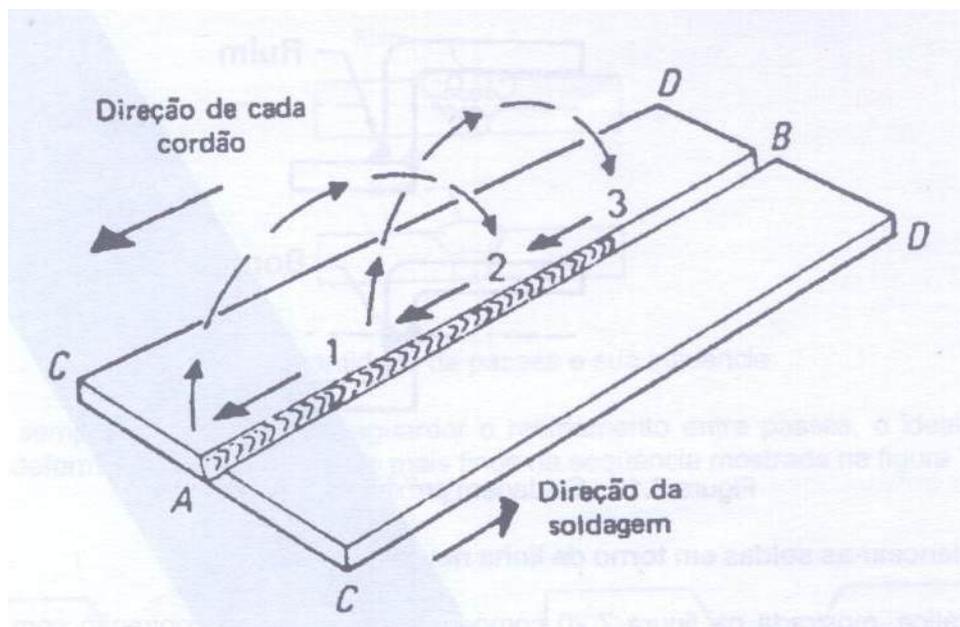


Figura 10.1- Soldagem com passe a ré (“backstep welding”)

10.8) Utilização de pré-deformação e a disposição dorso-a-dorso

Colocar as partes a serem soldadas fora de posição pode fazer com que a contração trabalhe de maneira construtiva. Diversos conjuntos, são pré-deformados desta maneira, como mostra a figura 10.2. A quantidade requerida de pré-deformação para que a contração puxe as chapas no alinhamento pode ser determinada a partir de poucas soldas experimentais.

O pré-encurvamento ou pré-tensionamento das peças a serem soldadas é um exemplo simples do uso de forças mecânicas opostas para interagir com a deformação devida à soldagem. O topo da solda – a qual conterá o maior volume de metal de adição – é esticado quando as chapas são encurvadas. Assim a solda pronta é um pouco maior do que se ela tivesse sido feita com a chapa plana. Quando as grampos são retirados após a soldagem, as chapas retornam à forma plana, permitindo à solda aliviar suas tensões de contração longitudinal endireitando-se e diminuindo seu comprimento. As duas ações se superpõem e as chapas soldadas assumem a forma plana desejada.

Uma outra prática comum para balancear as forças de contração em soldagem de peças idênticas é soldá-las uma contra a outra, disposição dorso-a-dorso, constituindo conjunto simétricos unidos através de dispositivos de fixação. Estas serão separadas após o tratamento térmico de alívio de tensões; na impossibilidade deste tratamento o pré-encurvamento deve ser combinado com a disposição dorso-a-dorso através da inserção de cunhas em posições apropriadas entre as peças antes de serem fixadas uma contra a outra.

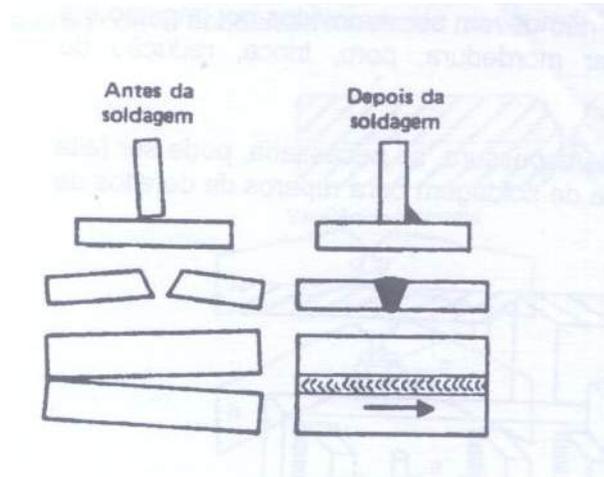


Figura 10.2- Peças pré-deformadas

11. PRAQUECIMENTO

O preaquecimento consiste no aquecimento da junta numa etapa anterior a soldagem. Seu principal objetivo é reduzir a velocidade de resfriamento da junta soldada. Em consequência diminui a tendência de formar martensita (em metais ferríticos). Além de reduzir o nível das tensões de contração, o preaquecimento possibilita ao hidrogênio, quando presente, a difundir-se para fora da solda (efeito secundário).

→ Então, porque **PRAQUECER**?

- 1- Diminuir a razão de resfriamento entre metal de solda e o metal base, produzindo uma estrutura metalúrgica mais maleável com uma ótima resistência a ruptura;
- 2- Uma razão de resfriamento mais lenta proporciona uma oportunidade do hidrogênio, que pode estar presente, espalhar-se inofensivamente, reduzindo o potencial de ruptura;
- 3- Reduz as tensões (stresses) de contração dentro da solda e metal adjacente o qual é especialmente importante nas juntas de alta retenção;

→ Quando o **PRAQUECIMENTO** deve ser usado?

Na determinação, precisa, ou não, usar pré-aquecimento, o que se segue deve ser considerado:

Exigência de normas, espessura da seção, composição química metal base, restrições, temperatura ambiente, índice de hidrogênio do metal de adição e possibilidade de ocorrência de trincas.

Se uma norma de soldagem deve ser seguida, então geralmente tais normas especificarão a temperatura mínima de preaquecimento para um dado metal base, processo de solda e espessura de seção. Este valor mínimo deve ser atingido desconsiderando a retração ou variação da química do metal base, entretanto, este valor mínimo pode ser aumentado se necessário.

Normas de soldagem geralmente especificam valores mínimos de temperatura de preaquecimento que podem, ou não, ser adequados para evitar a quebra em todas as aplicações.

Quando não há nenhuma norma que governa o processo de soldagem, se deve determinar se é necessário preaquecimento, e assim, a temperatura apropriada de preaquecimento.

Em geral, o preaquecimento não é requerido nos aços de baixo carbono com menos de 1" (25 mm) de espessura.

Entretanto, com a química, o nível de difusividade do hidrogênio do metal de solda, a restrição ou o aumento da espessura da seção, a necessidade para preaquecimento também aumenta.

12. FRAGILIZAÇÃO POR HIDROGÊNIO

Embora seja dada uma grande atenção aos problemas causados pela fragilização por hidrogênio, a possibilidade deste problema acontecer com GMAW é pequeno, uma vez que nenhum fluxo higroscópico ou revestimento é utilizado. Entretanto, outras fontes de hidrogênio devem ser consideradas. Por exemplo, o gás de proteção deve conter umidade suficientemente baixa. Ela deve ser bem controlada pelo fornecedor de gás. Óleo, graxa e componentes lubrificantes do eletrodo ou do metal base se tornam fontes potenciais de hidrogênio no metal de solda. Produtores de eletrodo estão atentos para limpeza e normalmente tomam cuidados especiais para fornecer um eletrodo limpo. Contaminantes podem ser também introduzidos pela manipulação do eletrodo pelo usuário. Usuários estão atentos a estas possibilidades tomam medidas para evitar sérios problemas, particularmente em soldagem de aços de alta dureza

13. ENSAIO NÃO DESTRUTIVO

São ensaios realizados em peças que não interferem ou prejudicam o uso ou processamento posterior das mesmas. Existe um grande número de métodos de ensaio não destrutivo (END), vários dos quais têm aplicação na inspeção de juntas e equipamentos soldados. Em geral, um END não mede diretamente a propriedade de interesse, sendo o valor desta obtido por alguma correlação entre essa e a propriedade realmente medida. Assim, por exemplo, na inspeção por ultra-som, usualmente se mede a intensidade e tempo de retorno da onda sonora refletida pela descontinuidade, sendo esta informação usada para localizar e

dimensionar a descontinuidade. Assim, a confiabilidade de um END depende da unicidade e precisão da correlação entre a propriedade medida e a de interesse. Os tipos de END mais usados na inspeção de juntas soldadas são:

14. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO E MEDIDAS DE SEGURANÇA

As medidas de segurança em soldagem visam a prevenir danos pessoais ao soldador e às pessoas próximas ao local de trabalho. O calor, a chama e os respingos produzidos representam constante perigo de radiação, queimadura, incêndio e explosão.

Incêndio e explosão: mantenha próximo do local de trabalho instrumentos de combate a incêndios. Sempre que for soldar reservatórios de combustível ou lubrificante, lave-os internamente e encha-os com água. Isso evita a formação de gases e, conseqüentemente, alguma explosão. As roupas do profissional devem estar livres de graxa e não podem ser usados materiais sintéticos. Produtos inflamáveis devem ficar afastados do local de soldagem.

Choque elétrico: formar um condutor isolante entre os pólos de eletricidade. Um exemplo: pisar na terra ao soldar uma plataforma de laminação pode evitar choques.

Radiação: o processo de soldagem MIG/MAG libera grande quantidade de raios ultravioletas, que queimam rapidamente a pele e decompõem solventes, o que libera gases tóxicos e cegam. Por isso, é importante que equipamentos de proteção individual (EPI) sejam usados. Alguns deles são máscara de soldador, óculos com filtros de luz (na maioria das vezes acoplados às máscaras), equipamentos respiratórios, quando o trabalho for executado em ambientes fechados e/ou um dos materiais usados no processo for tóxico. Além disso, avental, luvas com manga $\frac{3}{4}$ e um gorro ou boné, para proteger a cabeça e o corpo contra respingos.