

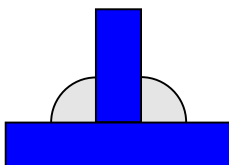
SOLDAGEM

O QUE É A SOLDAGEM ?

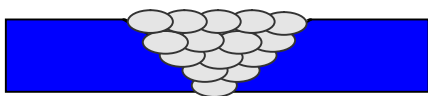
É o processo pelo qual se faz a união localizada de metais ou não-metais, produzida pelo aquecimento dos materiais a temperatura adequada, com ou sem aplicação de pressão, ou pela aplicação de pressão apenas, e com ou sem a utilização de metal de adição. É extremamente utilizado pela indústria mecânica de grande porte - que produz tubulações, caldeiras, navios, automóveis, vagões, pontes metálicas, assim como por outros setores também, como o de eletrodomésticos, eletrônicos, etc.

É considerado um processo especial, pois é impossível se avaliar a sua qualidade somente através de análises simples como uma inspeção visual ou dimensional, tendo como solução os ensaios não destrutivos (END).

Basicamente existem três tipos de soldagem:



União entre componentes em ângulo



União entre componentes topo a topo



Revestimento

União entre componentes de ângulo (solda de ângulo) - soldagem executada com 2 ou mais chapas colocadas perpendicularmente entre si formando um ângulo.

Solda topo a topo - soldagem executada com duas ou mais chapas colocadas sobre o mesmo plano.

Revestimento - soldagem executada no metal de base com finalidade de deixar o material resistente ao desgaste e a corrosão.

PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Dentre as diversas matérias primas necessárias à produção de ferro e aço, a mais importante é o minério de ferro, tanto em quantidade, quanto em custo.

O ferro ocorre, na natureza, sob diversas formas de minerais. Entretanto, apenas alguns destes têm valor comercial como fontes de ferro. Dentre estes, os diversos minerais formados por óxidos de ferro representam a grande maioria das fontes de ferro para a indústria siderúrgica.

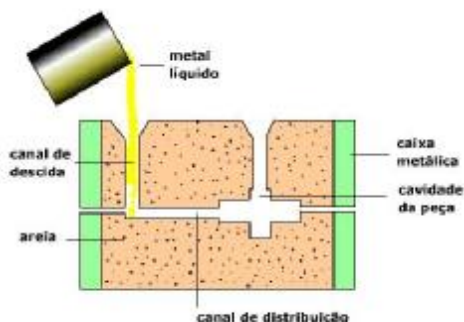
Definiremos noções dos processos de obtenção de produtos acabados de aços objetivando conhecer os processos de fundição, laminação, forjamento, extrusão, trefilação e soldagem.

1. Fundição

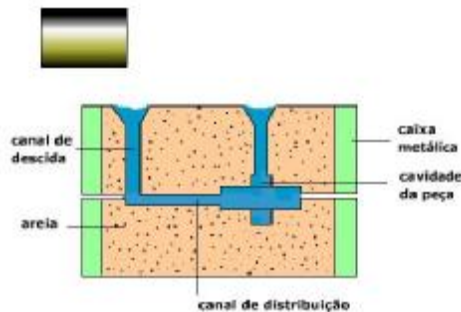
O processo de fundição consiste em vaziar (despejar) metal líquido num molde contendo uma cavidade na geometria desejada para a peça final.

O processo de fundição permite obter, de modo econômico, peças de geometria complexa, sua principal vantagem em relação a outros processos.

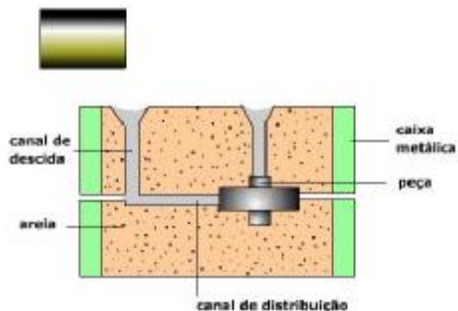
O processo de fundição aplica-se a vários tipos de metais, tais como aços, ferros fundidos, alumínio, cobre, zinco, magnésio e respectivas ligas. Porém existem desvantagens. Os aços fundidos, por exemplo, podem apresentar elevadas tensões residuais, microporosidades e variações de tamanho de grão. Tais fatores resultam em menor resistência e ductilidade, quando comparados aos aços obtidos por outros processos de fabricação como conformação a quente.



Vazamento do metal líquido no molde



Material se solidificando



Produto final após eliminação de rebarbas

As principais descontinuidades dos fundidos são:

1. Rechupes: são vazios de diversos tipos, formas e localizações nas peças fundidas, causadas pela contração dos metais durante sua solidificação. Podem ser rechupes internos, externos, macrorechupes, microrechupes, rechupes lamelares, rechupes centrais, etc.

O rechupe ocorre porque a primeira parte do metal a solidificar é aquela que está em contato com o molde, ou seja, aonde ocorre a maior troca de calor, solidificando o material antes que os vazios consigam submergir.

Através de técnicas de alimentação, procura-se localizar estes pontos quentes fora da parte útil da peça, em regiões que deverão ser cortadas. Em peças de geometria muito complicada, isto nem sempre é possível, deve-se sempre contar com estes vazios, que porém, devem ser controlados o melhor possível.

2. Bolsas de Gás: são vazios de paredes geralmente lisas, causados por gases oclusos pelo metal. Estes gases podem ser oriundos de um alto teor de gases no metal líquido, de reações metal-areia, umidade excessiva do molde ou dos machos, má extração de gases do molde, falta de respiros, turbilhonamento no canal de descida, etc.

3. Trincas de Contração: são trincas intercristalinas, geralmente de grande extensão e de forma irregular. Ocorrem geralmente nos estágios finais de solidificação, como resultado de um estado de altas tensões de contração.

As causas principais são mudanças bruscas de seções, má colapsibilidade de machos, restrições à contração pelos canais de alimentação ou massalotes, etc.

4. Granulação Grosseira: o metal bruto de fusão apresenta uma estrutura cristalográfica muito grosseira, dendrítica, localmente agravada por segregação. Esta granulação deve obrigatoriamente ser destruída por tratamento térmico, que provocará a recristalização com refino térmico, que provocará a recristalização com refino estrutural. Assim sendo, a peça submetida a tratamento térmico incorreto ou insuficiente, ou então devido a problemas metalúrgicos durante a fusão, pode apresentar áreas de grande atenuação sônica, diminuindo a resistência do material.

Obs.: Existem 4 tipos de fornos para fundição : forno à óleo, forno cubilo, forno por indução e forno à arco. Cada um desses oferecem suas vantagens e desvantagens.



Metal líquido sendo vazado na panela

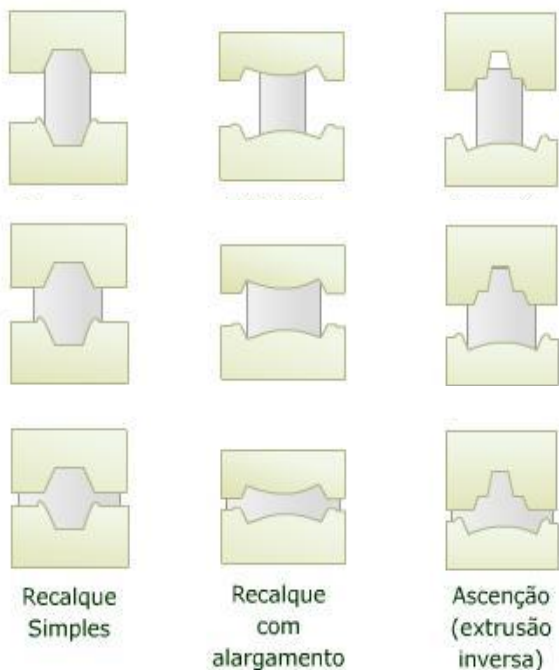


Peça sendo fundida

2. Forjamento

O forjamento é uma operação normalmente realizada a quente e, é, até hoje responsável pela produção de grande parte do elementos mecânicos.

A combinação de formas adequadas com propriedades excelentes obtidas com este processo tem garantido sua permanência dentre os mais empregados, inclusive para aplicações aeroespaciais. Podemos demonstrar o processo de forjamento através de martelamento, matrizes e prensas para forjados de grandes dimensões.



Lingotes no processo de forjamento



As principais discontinuidades dos forjados são:

1. Rechupes, Segregações e Granulação Grosseira: estas discontinuidades são originárias do lingote, e seu efeito pode ser minorado por um bom forjamento. Aparece geralmente com mais intensidade na região da cabeça original do lingote e ao longo do centro de forjados cilíndricos. Estas discontinuidades são por vezes eliminadas na trepanação, ou atenuadas por reforjamento com o objetivo de caldeá-las ou recristalizá-las.

2. Trincas de Forjamento: ocorrem durante a deformação mecânica devido a falta de plasticidade. Podem ser trincas planas no núcleo ou cilíndricas sob a superfície.

3. Dobras: são porções de material superpostas e não caldeadas, com incrustações de carepas, aflorando à superfície.

4. Trincas de Flocos: são trincas de pequeno comprimento causadas por acúmulo de hidrogênio em contornos de grão, rompendo-os. Devem-se a má técnica de desgaseificação do metal líquido. Podem ser evitadas por tratamentos térmicos de difusão de hidrogênio por longos períodos

3. Laminação

Consiste na passagem do material entre dois rolos que giram com a mesma velocidade periférica e em sentidos opostos e estão espaçados de uma distância algo inferior à espessura da peça a laminar. Nestas condições, em função do atrito metal-rolo, a peça é puxada para entre os rolos, tendo sua espessura reduzida, o comprimento alongado e a largura levemente aumentada.

Devido as características de trabalho a laminação pode ser feita à quente (geralmente em equipamentos pesados), ou à frio (proporciona um melhor controle das medidas finais).



Laminação em barras



Laminação em chapas

As principais discontinuidades dos laminados são:

1. Dupla laminação: ocorre principalmente nos produtos laminados planos (chapas), devido a falta de plasticidade do material, decorrente da temperatura de laminação muito baixa ou excesso de segregação no material. Localiza-se geralmente à meia espessura do material.

2. Segregação e Granulação Grosseira: estas discontinuidades são originárias do lingote, e seu efeito pode ser minorado por uma boa laminação. Aparece geralmente com mais intensidade na região do centro dos laminados.

Obs.: Produtos pré-conformados a quente podem ser, posteriormente laminados a frio.

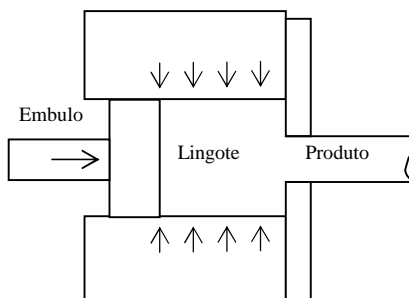
As vantagens da laminação à frio são:

- . Propriedades mecânicas aumentadas;
- . Excelente precisão dimensional;
- . Excelente qualidade superficial;
- . Produção econômica de produtos de pequenas espessuras.

3. Extrusão

No processo de extrusão, o metal sólido (tarugo) é forçado a fluir, por compressão, através de um orifício em uma matriz com seção transversal inferior a da bitola original.

A extrusão é um dos processos de maior flexibilidade com respeito à forma de seção transversal do produto obtido. Perfis diversos, assim como tubos sem costura, podem ser produzidos, com excelente precisão dimensional, por este processo.

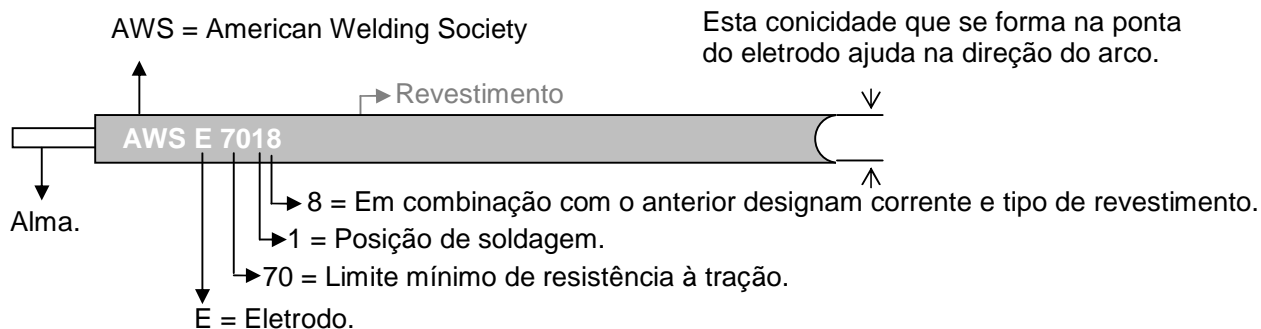


PROCESSOS DE SOLDAGEM

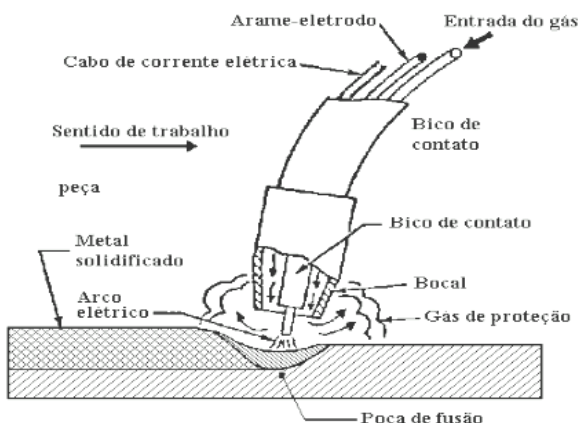
1. Soldagem a arco com eletrodo revestido (shielded metal arc welding - SMAW) : É o processo que produz a coalescência entre metais pelo aquecimento e fusão destes com um arco elétrico estabelecido entre a ponta de um eletrodo revestido e a superfície do metal de base na junta que está sendo soldada.

Os revestimentos variam de um eletrodo para o outro, mas possuem algumas características semelhantes, tais como: isolante, ajuda na deposição do metal, possui elementos de liga, produz escória para proteção da solda do hidrogênio contido na atmosfera, etc.

Cada eletrodo deve conter sua classificação marcada no revestimento para que o soldador identifique-o com facilidade. Cada dígito da classificação nos oferece uma informação como veremos a seguir.

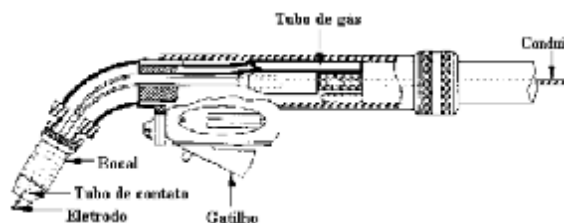


2. Soldagem MIG-MAG (gas metal arc welding - GMAW) Processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo consumível sob proteção gasosa, que utiliza como eletrodo um arame maciço e como proteção gasosa um gás inerte (MIG) ou um gás ativo (MAG).



Observando a figura ao lado notamos que no processo Mig-Mag o arame-eletrodo não possui revestimento. Isso se dá por conta do gás de proteção, que tem a função de proteger a poça de fusão do ar atmosférico exercendo uma das funções do revestimento.

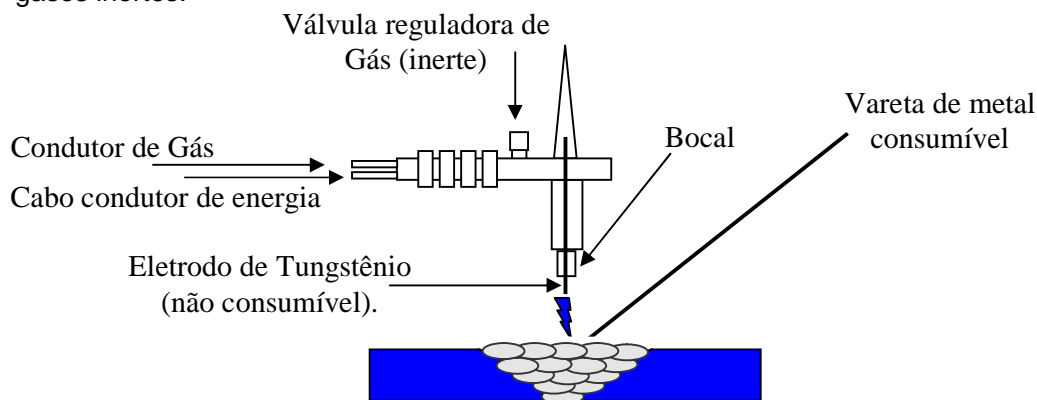
A pistola contém um cabo para conduzir a corrente elétrica, um condúite para a passagem do arame-eletrodo, e um tubo para conduzir o gás.



A grande vantagem da soldagem pelo processo Mig-Mag é sua alta produtividade devido ao arame-eletrodo estar em forma de rolo, o que acaba ajudando na quantidade de metal depositado sem intervalos.

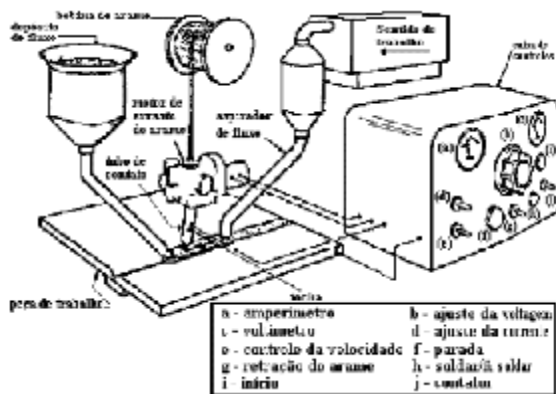
Os gases inertes (Argônio, Hélio, etc.) têm a função somente de proteger a poça de fusão, enquanto que os gases ativos (Oxigênio, Dióxido de Carbono, etc.) já influenciam na soldagem.

3. Soldagem TIG (gas tungsten arc welding - GTAW) Processo a arco elétrico com eletrodo não consumível de tungstênio ou liga de tungstênio sob proteção gasosa de gás inerte ou misturas de gases inertes.



A soldagem pelo processo TIG geralmente é executada em tubulações devido a sua ótima penetração. Já por outro lado, sua desvantagem é a baixa deposição de material, o que acaba prolongando o tempo de soldagem.

4. Soldagem a Arco Submerso (submerged arc welding - SAW) Processo de soldagem a arco elétrico com eletrodos consumíveis (arames em rolos), nos quais o arco elétrico e a poça de fusão são protegidos do ambiente pelos produtos resultantes da queima de um fluxo que é adicionado independente do eletrodo.



O fluxo de soldagem tem influência tanto na deposição do material quanto na propriedade mecânica da solda, por conter vários elementos de liga que proporcionam uma solda de ótima qualidade. As características do fluxo são similares às dos revestimentos usados no processo de soldagem a arco com eletrodo revestido.

A grande vantagem desse processo é ter a taxa de deposição e a velocidade do deslocamento extremamente alta. Também produz uma solda de ótima aparência.

TERMINOLOGIA DE SOLDAGEM

- **Abertura de raiz** (root opening) - Mínima distância que separa os componentes a serem unidos por soldagem ou processos afins.
- **Acetileno** (acetylene) - Composto gasoso de carbono e hidrogênio, gás combustível usado para oxicorte e também para soldagem.
- **Alma do eletrodo** (core electrode) - Núcleo metálico de um eletrodo revestido, cuja seção transversal apresenta uma forma circular maciça.
- **Alicate porta eletrodo** (electrode hold) - Dispositivo utilizado para prender mecanicamente o eletrodo enquanto este conduz corrente elétrica na soldagem.
- **Alívio de tensões** Consiste em aquecer uniformemente a peça de maneira que o limite de escoamento do material fique reduzido a valores inferiores às tensões residuais.
- **Ângulo de trabalho** (work angle) - Ângulo que o eletrodo ou forma com relação à superfície do metal de base.
- **Ângulo de deslocamento ou de inclinação do eletrodo** (travel angle) - Ângulo formado entre o eixo do eletrodo e uma linha referência perpendicular ao eixo da solda, localizado num plano determinado pelo eixo do eletrodo e o eixo da solda.
- **Ângulo excessivo do reforço** Ângulo excessivo entre o plano da superfície do metal de base e o plano tangente ao reforço de solda, traçado a partir da margem da solda.
- **Aporte de calor** (heat input) É a quantidade de calor introduzida no metal de base por unidade de comprimento do cordão de solda.
- **Atmosfera protetora** Envoltória de gás que circunda a parte a ser soldada, sendo este gás com composição controlada com relação à sua composição química, pressão, vazão, etc.
- **Atmosfera redutora** Atmosfera protetora quimicamente ativa que a temperaturas elevadas, reduz óxidos de metais ao seu estado metálico.
- **Bico de contato** (contact tip) Peça por onde passa o arame, com função de guiar o arame e transferir a corrente elétrica para o arame (energizar o arame).
- **Bico de corte** Acessório utilizado que permite a saída da chama oxicomustível para soldar a peça.
- **Bocal da tocha** Instalado na extremidade da tocha, e serve de condutor do fluxo de gás para a proteção da poça de solda.

- **Brasagem** (brazing, soldering) Processo de união de materiais onde apenas o metal de adição sofre fusão, ou seja, o metal base não participa da zona fundida. O metal de adição se distribui por capilaridade na fresta formada pelas superfícies da junta após fundir-se.
- **Camada de Solda** Conjunto de passes depositados e situados aproximadamente num mesmo plano.
- **Cordão de solda** Depósito resultante de um ou mais passes ou filetes de solda.
- **Diluição** (dilution) Modificação na composição química de um metal de adição causado pela mistura do metal base ou do metal de solda anterior. É medido em porcentagem do metal de base ou do metal de solda anterior no cordão de solda.
- **Eletrodo de carvão** (carbon electrode) Eletrodo não consumível usado em corte ou soldagem a arco elétrico, consistindo de uma vareta de carbono ou grafite, que pode ser revestida com cobre ou outros revestimentos.
- **Eletrodo revestido** (stick electrode) Eletrodo metálico consumível revestido por um composto de matérias orgânicas e/ou minerais, com dosagens bem definidas.
- **Eletrodo de tungstênio** (tungsten electrode) Eletrodo metálico, não consumível, usado em soldagem ou corte a arco elétrico, feito principalmente de tungstênio.
- **Eletrodo tubular** (flux cored electrode) Metal de adição composto, consistindo de um tubo de metal ou outra configuração oca, contendo produtos químicos que formam uma atmosfera protetora, desoxidam o banho, estabilizam o arco, formam escória ou que contribuam com elementos de liga para o metal de solda. Proteção adicional externa pode ou não ser usada.
- **Ensaio não destrutivo** (non destructive testing) Ensaio que quando realizados sobre peças acabadas ou semi-acabadas, não prejudicam nem interferem com o futuro das mesmas.
- **Escamas de solda** (stringer bead, weave bead) - aspecto da face da solda semelhante escamas de peixe. Em deposição sem oscilação transversal (stringer bead), assemelha-se a uma fileira de letras V; em deposição com oscilação transversal (weave bead), assemelha-se a escamas entrelaçadas.
- **Escória** (slag) Resíduo não metálico proveniente da dissolução do fluxo ou revestimento e impurezas não metálicas na soldagem e brasagem.
- **Estufa de solda** (weld) Equipamento utilizado para remover a umidade do revestimento do eletrodo.
- **Face da solda** (weld face) Superfície exposta da solda, pelo lado por onde a solda foi executada.
- **Fator de trabalho** (work factor) É o fator de utilização efetiva do equipamento de soldagem durante a soldagem de uma peça. Pode ser calculado pela divisão entre o tempo de arco aberto e o tempo total de soldagem.
- **Filtro de proteção** Filtro que serve para minimizar a radiação do arco, permitindo ao soldador observar a região da solda e o arco elétrico. Possui uma numeração que, para soldagem deve ser acima de 10.
- **Fluxo de soldagem** (weld flux) Composto mineral granular cujo objetivo é proteger a poça de fusão, purificar a zona fundida, modificar a composição química do metal de solda, influenciar as propriedades mecânicas.
- **Garganta de solda** (fillet weld throat) Dimensão em ângulo determinada de três modos:
 - a) **Teórica** : Dimensão de uma solda em ângulo que determina a distância entre a face da solda sem o reforço e a raiz da junta sem a penetração.
 - b) **Efetiva** : Dimensão de uma solda em ângulo que determina a distância entre a raiz da junta até da solda sem o reforço.
 - c) **Real** : Dimensão de uma solda em ângulo que determina a distância entre a raiz da solda até a face desta, inclusive o reforço.
- **Gás de proteção** (shielding gas) Gás utilizado para prevenir contaminação indesejada pela atmosfera.
- **Gás ativo** (active gas) Gás que faz a proteção da soldagem, porém participa metalurgicamente da poça de fusão, podendo ser ativo redutor ou ativo oxidante.
- **Gás inerte** (inert gas) Gás que faz somente a proteção da soldagem, não participando metalurgicamente da poça de fusão

- **Goivagem** (gouging) Variação do processo de corte térmico que remove metal por fusão com objetivo de fabricar um bisel ou chanfro.
- a) **Goivagem a arco** (arc gouging) - goivagem térmica que usa uma variação do processo de corte a arco para fabricar um bisel ou chanfro.
- b) **Goivagem por trás** (back gouging) - remoção do metal de solda e do metal de base pelo lado oposto de uma junta parcialmente soldada, para assegurar penetração completa pela subsequente soldagem pelo lado onde foi efetuada a goivagem.
- **Junta de ângulo** (corner joint) Junta em que numa seção transversal, os componentes da solda apresentam-se sob forma de ângulo.
- **Junta sobreposta** (lap joint) Junta formada por dois componentes a soldar, de tal forma que suas superfícies sobreponham-se.
- **Junta de topo** (butt joint) Junta entre dois membros alinhados aproximadamente no mesmo plano.
- **Maçarico** Equipamento de soldagem oxcombustível, onde são misturados os gases responsáveis pelos diversos tipos de chama do processo de soldagem.
- **Margem da solda** Junção entre a face da solda e o metal de base.
- **Martelamento** (peening) Trabalho mecânico, aplicado à zona fundida da solda por meio de impacto destinado a controlar deformações da junta soldada e aliviar mecanicamente as tensões devidas a contração.
- **Metal de adição** (filler metal) Metal a ser adicionado na soldagem de uma junta.
- **Metal base** (base metal) Metal a ser soldado ou cortado (peça).
- **Passe de solda** (weld pass) Depósito da material obtido pela progressão sucessiva de uma poça de fusão.
- **Passe estreito** (stringer bead) Depósito efetuado seguindo a linha de solda sem movimento lateral apreciável.
- **Passe oscilante** (weave bead) Depósito efetuado com movimento lateral, em relação à linha de solda.
- **Passe de revenimento** (temper bead) Passe ou camada depositada em condições que permitam a modificação estrutural do passe ou camada anterior e de suas zonas afetadas termicamente.
- **Penetração** (penetration) É a profundidade da solda medida entre a face da solda e sua extensão.
- **Perna de solda** (fillet weld leg) Distância da raiz da junta à margem da solda em ângulo.
- **Poça de fusão** (weld pool) Volume localizado de metal líquido proveniente de metal de adição e metal de base antes de sua solidificação como metal de solda.
- **Polaridade direta** (straight polarity) Tipo de ligação para soldagem com corrente contínua, onde os elétrons deslocam-se do eletrodo para a peça (a peça é considerada como pólo positivo e o eletrodo como pólo negativo).
- **Polaridade reversa** (reverse polarity) Tipo de ligação para soldagem com corrente contínua, onde os elétrons deslocam-se do eletrodo para a peça (a peça é considerada como pólo negativo e o eletrodo como pólo positivo).
- **Pós-aquecimento** (postheating) Aplicação de calor na junta soldada, imediatamente após a deposição da solda, com a finalidade de remover hidrogênio difusível.
- **Preaquecimento** (preheat) Aplicação de calor no metal de base imediatamente antes da soldagem brasagem ou corte.
- **Procedimento de soldagem** (welding procedure) Documento emitido pela executante dos serviços, descrevendo detalhadamente todos os parâmetros e as condições da operação de soldagem para uma aplicação específica para garantir a repetibilidade.
- **Qualificação de procedimento** (procedure qualification) Demonstração pela quais soldas executadas por um procedimento específico podem atingir os requisitos preestabelecidos.
- **Qualificação de soldador** (welder performance qualification) Demonstração da habilidade de um soldador em executar soldas que atendam padrões preestabelecidos
- **Reforço de solda** (weld reinforcement) Metal de solda em excesso, além do necessário para preencher a junta; excesso de metal depositado nos últimos passes, podendo ser na face da solda e/ou na raiz da solda.
- **Regulador de pressão** Regula a pressão de trabalho e a estabiliza, mesmo que a pressão de fornecimento não seja constante.

- **Retrôcesso de chama** Acontece quando a chama oxicomustível tem sua trajetória invertida, fazendo com que caminhe na direção do cilindro.
- **Robôs de soldagem** É um manipulador automático com servossistema de posicionamento, reprogramável, polivalente capaz de soldar materiais e peças, e que utiliza dispositivos especiais com movimentos variados e programados para execução de tarefas variadas.
- **Roupas do soldador** Equipamentos utilizados pelo soldador para sua proteção contra o calor, gases e radiações do processo de soldagem.
- **Solda (weld)** União localizada de metais ou não-metais, produzida pelo aquecimento dos materiais a temperatura adequada, com ou sem aplicação de pressão, ou pela aplicação de pressão apenas, e com ou sem a utilização de metal de adição.
- **Solda autógena** (autogenous weld) Solda de fusão sem participação de metal de adição. Chamada também de caldeamento
- **Solda de selagem** (seal weld) Qualquer solda projetada com a finalidade principal de impedir vazamentos.
- **Solda de tampão** (plug weld/slot weld) Solda executada através de um furo circular ou alongado num membro de uma junta sobreposta ou em T, unindo um membro ao outro. As paredes do furo podem ser paralelas ou não e o furo pode ser parcial ou totalmente preenchido com metal de solda.
- **Solda de topo** (butt weld) Solda executada em uma junta de topo.
- **Solda descontínua** (intermittent weld) Solda na qual a continuidade é interrompida por espaçamentos sem solda.
- **Solda em ângulo** (fillet weld) Solda de seção transversal aproximadamente triangular que une duas superfícies em ângulo, em uma junta sobreposta, junta em T e junta aresta.
- **Solda em chanfro** (groove weld) Solda executada em um chanfro localizado entre componentes.
- **Solda em escalão** (staggered intermittent fillet weld) Solda em ângulo, usada nas juntas em T, composta de cordões intermitentes que se alternam entre si, de tal modo que a um trecho do cordão se opõe uma parte não soldada.
- **Solda em passe único** Solda realizada em um único passe.
- **Solda em dois passes** Solda realizada em dois passes, um de cada lado da junta.
- **Solda multipasse** Solda realizada em vários passes, devido a grande espessura da chapa ou tamanho do chanfro.
- **Solda heterogênea** (heterogen weld) Solda cuja composição química da zona fundida, difere significativamente da do(s) metal (ais) de base, no que difere aos elementos de liga.
- **Solda homogênea** (homogen weld) Solda cuja composição química da zona fundida é próxima a do metal de base.
- **Solda por pontos** (spot weld) Solda executada entre ou sobre componentes sobrepostos cuja fusão ocorre entre as superfícies em contato ou sobre a superfície externa de um dos componentes.
- **Solda provisória** (tack weld) Também conhecida como "ponteamto", é a solda destinada a manter membros ou componentes adequadamente ajustados até a conclusão da soldagem.
- **Soldabilidade** (weldability) Capacidade de um material ser soldado, sob condições de fabricação obrigatórias a uma estrutura específica adequadamente projetada, e de se apresentar desempenho satisfatório em serviço.
- **Soldagem a arco com eletrodo revestido** (shielded metal arc welding, stick electrode - SMAW) É o processo que produz a coalescência entre metais pelo aquecimento e fusão destes com um arco elétrico estabelecido entre a ponta de um eletrodo revestido e a superfície do metal de base na junta que está sendo soldada.
- **Soldagem a arco com arame tubular** (flux cored arc welding - FCAW) Processo de soldagem a arco que produz coalescência de metais pelo aquecimento destes com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico tubular, contínuo, consumível e o metal de base. A proteção do arco e do cordão é feita por um fluxo de soldagem contido dentro do eletrodo, que pode ser suplementado por uma proteção gasosa adicional fornecida por uma fonte externa.
- **Soldagem a arco submerso** (submerged arc welding - SAW) Processo de soldagem a arco elétrico com eletrodos consumíveis, nos quais o arco elétrico e a poça de fusão são protegidos do ambiente pelos produtos resultantes da queima de um fluxo que é adicionado independente do eletrodo.

- **Soldagem Mig/Mag** (gas metal arc welding - GMAW) Processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo consumível sob proteção gasosa, que utiliza como eletrodo um arame maciço e como proteção gasosa um gás inerte (MIG) ou um gás ativo (MAG).
- **Soldagem Tig** (gas tungsten arc welding - GTAW) Processo a arco elétrico com eletrodo não consumível de tungstênio ou liga de tungstênio sob proteção gasosa de gás inerte ou misturas de gases inertes.
- **Soldagem automática** (automatic welding) Processo no qual toda a operação é executada e controlada automaticamente, sem a intervenção do operador.
- **Soldagem manual** (manual welding) Processo no qual toda operação é executada e controlada manualmente.
- **Soldagem semi-automática** (semiautomatic arc welding) Soldagem a arco com equipamento que controla somente o avanço do metal de adição. O avanço da soldagem é controlado manualmente.
- **Taxa de deposição** (deposition rate) Peso de material depositado por unidade de tempo.
- **Temperatura de interpasse** (interpass temperature) Em soldagem multi-passe, temperatura do metal de solda antes do passe seguinte ter começado.
- **Tensão residual** (residual stress) Tensão remanescente numa estrutura ou membro, estando livre de forças externas ou gradientes térmicos.
- **Válvula corta chama** Válvula controladora da pressão, que desconecta o suprimento de gás, sob estímulo de uma maior pressão, além de extinguir a chama que porventura retroceder.
- **Velocidade de alimentação do arame** (wire feed speed) É a velocidade com que se alimenta o arame na poça de fusão.
- **Velocidade de soldagem** (speed weld) É a velocidade de deslocamento da poça de fusão durante a soldagem.
- **Vareta de solda** (welding rod) Tipo de metal de adição utilizado para soldagem ou brasagem, o qual não conduz corrente elétrica durante o processo.
- **Zona termicamente afetada** (heat-affected zone) Região do metal de base que não foi fundida durante a soldagem, mas cujas propriedades mecânicas e microestrutura foram alteradas devido à geração de calor, imposta pela soldagem, brasagem ou corte.
- **Zona de fusão** (fusion zone) Região do metal de base que sofre fusão durante a soldagem.
- **Zona de ligação** (ligation zone) Região da junta soldada que envolve a zona que sofre fusão durante a soldagem.

Descontinuidades e defeitos mais comuns em soldas

- **Abertura do arco** - imperfeição local na superfície do metal de base resultante da abertura do arco elétrico.
- **Ângulo excessivo de reforço** - ângulo excessivo entre o plano da superfície do metal de base e o plano tangente ao reforço de solda, traçado a partir da margem da solda.
- **Deformação angular** - distorção angular da junta soldada em relação à configuração de projeto exceto para junta soldada de topo (ver embicamento).
- **Deposição insuficiente** - insuficiência de metal na face da solda.
- **Desalinhamento** - junta soldada de topo, cujas superfícies das peças, embora paralelas, apresentam-se desalinhadas, excedendo à configuração de projeto.
- **Embicamento** - deformação angular da junta soldada de topo.
- **Falta de fusão** - fusão incompleta entre a zona fundida e o metal de base, ou entre passes da zona fundida.
- **Falta de penetração** - insuficiência de metal na raiz da solda.
- **Inclusão de escória** - material sólido não metálico retido no metal de solda ou entre o metal de solda e o metal de base.
- **Mordedura** - depressão sob a forma de entalhe, no metal de base acompanhando a margem da solda.

- **Penetração excessiva** - metal da zona fundida em excesso da raiz da solda.
- **Perfuração** - furo na solda ou penetração excessiva localizada resultante da perfuração do banho de fusão durante a soldagem.
- **Poros** - vazio arredondado, isolado e interno à solda.
- **Poros superficial** - poros que emerge a superfície da solda.
- **Porosidade** - conjunto de poros distribuídos de maneira uniforme, entretanto não alinhado.
- **Porosidade agrupada** - conjunto de poros agrupados.
- **Respingos** - glóbulos de metal de adição transferidos durante a soldagem e aderidos à superfície do metal de base ou à zona fundida já solidificada.
- **Sobreposição** - excesso de metal da zona fundida sobreposto ao metal de base na margem da solda em desacordo com a configuração do projeto.
- **Solda em ângulo assimétrica** - solda em ângulo cujas pernas são significativamente desiguais em desacordo com configuração de projeto.
- **Trinca** - tipo de descontinuidade planar caracterizada por uma ponta aguda e uma alta razão comprimento largura, isto é, descontinuidade bidimensional produzida pela ruptura local do material.

Tipos de Descontinuidades	Causas
Superfície Irregular	Escolha do tipo de corrente/ polaridade errada
	Amperagem inadequada
	Utilização do eletrodo úmido/ de má qualidade
	Manuseio incorreto
Mordedura	Amperagem muito alta
	Arco muito longo
	Manuseio incorreto do eletrodo
	Velocidade de soldagem muito baixa
	Ângulo incorreto do eletrodo
Poros Visíveis	Utilização do eletrodo úmido
	Ponta de eletrodo danificado (sem revestimento)
	Em C.C., polaridade invertida
	Velocidade de soldagem muito alta
	Arco muito longo
	Amperagem inadequada
	Metal de base sujo de óleo, tintas, oxidação ou molhado
	Manuseio inadequado do eletrodo na posição vertical ascendente
	Irregularidade no fornecimento de energia elétrica
	Preparação inadequada da junta
Metal de base impuro ou defeituoso	

Inclusão de escória visível	Não remoção da escória do passe anterior	
	Chanfro irregular	
	Chanfro muito estreito	
	Manuseio incorreto do eletrodo	
	Sobreposição errada dos passes	
	Amperagem baixa	
	Velocidade de soldagem muito alta	
Respingos	Amperagem muito elevada	
	Arco muito longo	
	Em C.C., polaridade invertida	
	Arco com sopro magnético	
	Metal de base sujo de óleo, tintas, oxidação ou molhado	
	Utilização de eletrodo úmido de má qualidade	
Falta de Penetração ou Falta de Fusão na Raiz	Eletrodo de diâmetro muito grande impedindo sua descida até a raiz	
	Fresta muito pequena ou mesmo inexistente; fresta irregular	
	Presença de nariz ou nariz muito grande	
	Falha no manejo do eletrodo	
	Ângulo incorreto, principalmente com eletrodos básicos	
	Falta de calor na junta	
	Penetração da escória, entre os dois membros da junta na região da raiz impede uma fusão completa dos materiais	
	Alta velocidade de soldagem	
	Soldagem defeituosa, contendo inclusões de escória, falta de penetração, mordeduras, etc	
	Cratera final com mal acabamento	
	Calor excessivo na junta causando excesso de contração e distorção	
	Metal de base sujo de óleo, tintas ou molhado	
	Trincas	Trincas devido ao ponteamto fraco
		Cordão de solda muito pequeno(particularmente passe de raiz ou de filete)
		Teor de enxofre alto no metal base
Têmpera da zona termicamente afetada		
Fragilização pelo hidrogênio		
Projeto de junta adequado		
Montagem muito rígida		
Tensões residuais muito elevadas		

Tratamento Térmico que acontece na solda:

O arco elétrico estabelecido entre o eletrodo e o metal de base gera uma grande quantidade de calor, que é responsável pelo derretimento do eletrodo e também acaba por aquecer a peça. Quando se termina uma solda, a peça não deve ser molhada nem deixar esfriar no vento, pois pode acontecer de a região soldada ficar tratada termicamente com tensões internas que podem causar trincas, com dureza muito alta. Esse efeito só não acontece nos aços inoxidáveis austeníticos.



Ensaio Não destrutivo aplicados à solda:

Para verificar as regiões soldadas, são realizados os chamados Ensaio Não Destrutivos, que podemos destacar: Líquido Penetrante, Partícula Magnética e Ultra Som. Não se esqueça que a primeira inspeção de soldagem é a visual. Através de uma inspeção bem elaborada e cuidadosa, podemos descobrir defeitos na superfície da solda, do tipo respingos, mordeduras, deposição insuficiente, poros, trincas, etc.

1. Ensaio Visual

A inspeção por meio do Ensaio Visual é uma das mais antigas atividades nos setores industriais, e é o primeiro ensaio não destrutivo aplicado em qualquer tipo de peça ou componente, e está frequentemente associado a outros ensaios de materiais.

Utilizando uma avançada tecnologia, hoje a inspeção visual é um importante recurso na verificação das alterações dimensionais, padrão de acabamento superficial e na observação de descontinuidades superficiais visuais em materiais e produtos em geral, tais como trincas, corrosão, deformação, alinhamento, cavidades, porosidade, montagem de sistemas mecânicos e muitos outros.

A inspeção de peças ou componentes que não permitem o acesso direto interno para sua verificação (dentro de blocos de motores, turbinas, bombas, tubulações, etc.), utiliza-se de fibras óticas conectadas a espelhos ou micro-câmeras de TV com alta resolução, além de sistemas de iluminação, fazendo a imagem aparecer em monitores de TV. São soluções simples e eficientes, conhecidas como técnicas de inspeção visual.

Na aviação, o ensaio visual é a principal ferramenta para inspeção de componentes para verificação da sua condição de operação e manutenção.

Não existe nenhum processo industrial em que a inspeção visual não esteja presente.

A simplicidade de execução e baixo custo operacional são características deste método, mas que mesmo assim requer uma técnica apurada, obedece a sólidos requisitos básicos que devem ser conhecidos e corretamente aplicados.



Execução de inspeção visual



Inspeção com auxílio de micro-câmera



Inspeção visual em fundido

2. Líquido Penetrante

O ensaio por Líquidos Penetrantes é considerado um dos melhores métodos de teste para a detecção de descontinuidades superficiais de materiais isentos de porosidade tais como: metais ferrosos e não ferrosos, alumínio, ligas metálicas, cerâmicas, vidros, certos tipos de plásticos ou materiais organo-sintéticos. Líquidos penetrantes também são utilizados para a detecção de vazamentos em tubos, tanques, soldas e componentes.

O líquido penetrante é aplicado com pincel, pistola, ou com lata de aerossol ou mesmo imersão sobre a superfície a ser ensaiada, que então age por um tempo de penetração. Efetua-se a remoção deste penetrante da superfície por meio de lavagem com água ou remoção com solventes. A aplicação de um revelador (talco) irá mostrar a localização das descontinuidades superficiais com precisão e grande simplicidade embora suas dimensões sejam ligeiramente ampliadas.

Este método está baseado no fenômeno da capilaridade que é o poder de penetração de um líquido em áreas extremamente pequenas devido a sua baixa tensão superficial. O poder de penetração é uma característica bastante importante uma vez que a sensibilidade do ensaio é enormemente dependente do mesmo.

Descontinuidades em materiais fundidos tais como gota fria, trinca de tensão provocados por processos de têmpera ou revenimento, descontinuidades de fabricação ou de processo tais como trincas, costuras, dupla laminação, sobreposição de material ou ainda trincas provocadas pela usinagem, ou fadiga do material ou mesmo corrosão sob tensão, podem ser facilmente detectadas pelo método de Líquido Penetrante.



Líquido penetrante sendo aplicado



Peças com líquido aplicado



Descontinuidades após revelação

3. Partículas Magnéticas

O ensaio por partículas magnéticas é usado para detectar discontinuidades superficiais e sub-superficiais em materiais ferromagnéticos. São detectados defeitos tais como: trincas superficiais e sub-superficiais em materiais ferromagnéticos. São detectados defeitos tais como: trincas, junta fria, inclusões, gota fria, dupla laminação, falta de penetração, dobramentos, segregações, etc.

O método de ensaio está baseado na geração de um campo magnético que percorre toda superfície do material ferromagnético. As linhas magnéticas do fluxo induzido no material desviam-se de sua trajetória ao encontrar uma discontinuidade superficial ou sub-superficial, criando assim uma região com polaridade magnética, altamente atrativa a partículas magnéticas. No momento em que se provoca esta magnetização na peça, aplica-se as partículas magnéticas por sobre a peça que serão atraídas à localidade da superfície que conter uma discontinuidade. Alguns exemplos típicos de aplicações são fundidos de aço ferrítico, forjados, laminados, extrusados, soldas, peças que sofreram usinagem ou tratamento térmico (porcas e parafusos), trincas por retífica e muitas outras aplicações em materiais ferrosos.

Para que as discontinuidades sejam detectadas é importante que elas estejam de tal forma que sejam “interpretadas” ou “cruzadas” pelas linhas do fluxo magnético induzido; conseqüentemente, a peça deverá ser magnetizada em pelo menos duas direções defasadas de 90°. Para isto utilizamos os conhecimentos dos yokes, máquinas portáteis com contatos manuais ou equipamentos de magnetização estacionários para ensaios seriados ou padronizados.



Método do Yoke



Método da Bobina



Método do Yoke

3. Ultra-som

Detecta discontinuidades internas em materiais, baseando-se no fenômeno de reflexão em ondas acústicas quando encontram obstáculos à sua propagação, dentro do material.

Um pulso ultra-sônico é gerado e transmitido através de um transdutor especial, encostado ou acoplado ao material. Os pulsos ultra-sônicos refletidos por uma discontinuidade, ou pela superfície oposta da peça, são captados pelo transdutor, convertidos em sinais eletrônicos e mostrados na tela LCD ou em um tubo de raios catódicos (TRC) do aparelho.

Os ultra-sons são ondas acústicas com frequências acima do limite audível. Normalmente, as frequências ultra-sônicas situam-se na faixa de 0,5 à 25 Mhz.

Geralmente, as dimensões reais de um defeito interno podem ser estimadas com uma razoável precisão, fornecendo meios para que a peça ou componente em questão possa ser aceito, ou rejeitado, baseando-se em critérios de aceitação da certa norma aplicável. Utiliza-se ultra-som também para medir espessura e detectar corrosão com extrema facilidade e precisão.

As aplicações deste ensaio são inúmeras: soldas, laminados, forjados, fundidos, ferrosos e não ferrosos, ligas metálicas, vidro, borracha, materiais compostos, tudo permite ser analisado por ultra-som. Indústria de base (usinas siderúrgicas) e de transformação (mecânicas pesadas), indústria automobilística, transporte marítimo, ferroviário, rodoviário, aéreo e aeroespacial: todos utilizam ultra-sol. Mesmo em hospitais.

Modernamente o ultra-som é utilizado na manutenção industrial, na detecção preventiva de vazamentos de líquidos ou gases, falhas operacionais em sistemas elétricos (efeito corona), vibrações em mancais e rolamentos, etc.

O ensaio ultra-sônico é, sem sombra de dúvidas, o método não destrutivo mais utilizado e o que apresenta o maior crescimento, para a detecção de descontinuidades internas dos materiais.



Ensaio com cabeçote angular



Aparelho de ultra-som analógico

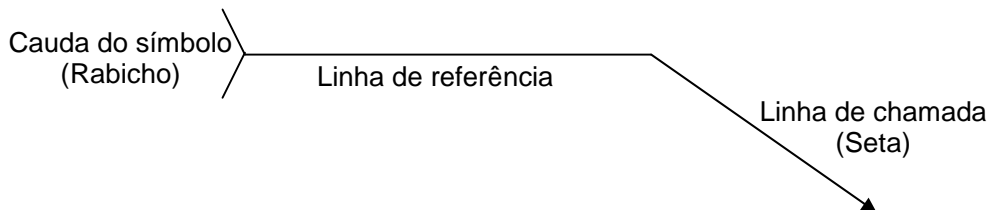


Aparelho de U.S. digital

SIMBOLOGIA DE SOLDAGEM

Os símbolos de soldagem constituem um importante meio técnico em engenharia para transmitir informações necessárias à soldagem, tais como: geometria e dimensões do chanfro, comprimento da solda, penetração, etc.

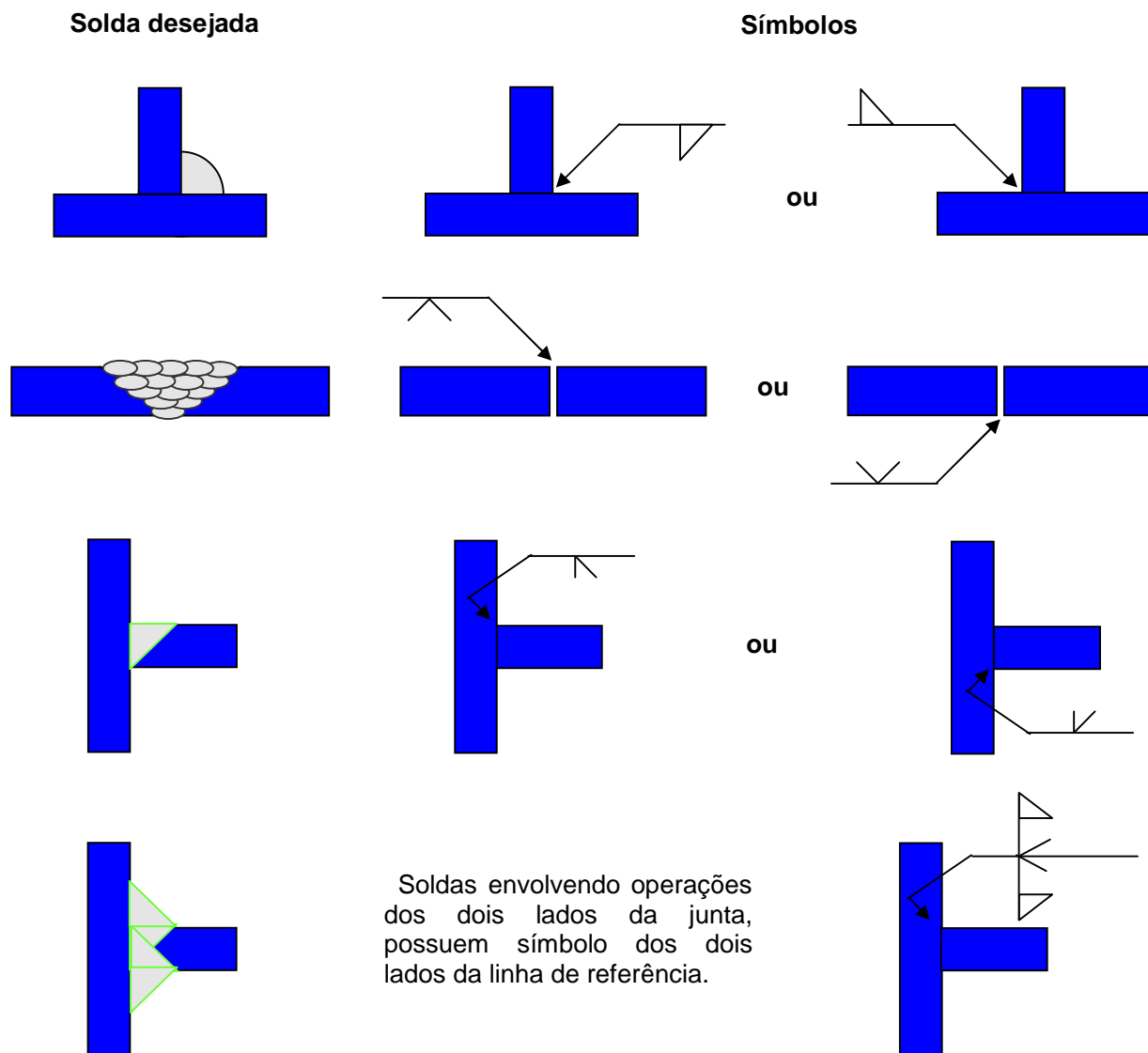
É conhecida universalmente, mas existem algumas empresas que criam, internamente, sua própria simbologia.



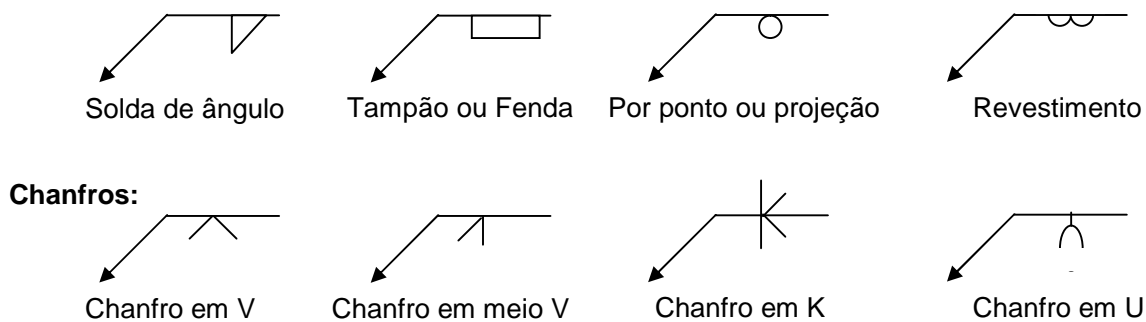
Os símbolos de soldagem são posicionados acima ou abaixo da linha de referência, dependendo da localização da seta em relação à junta.

- **Símbolo abaixo** da linha de referência corresponde a uma solda realizada **do mesmo lado em que a seta aponta.**
- **Símbolo acima** da linha de referência corresponde a uma solda realizada **do lado oposto em que a seta aponta.**

Ilustração do posicionamento dos símbolos de soldagem.



Símbolos básicos de soldagem



Segurança - EPC e EPI's

Como o próprio nome sugere, os equipamentos de proteção coletiva (EPC) dizem respeito ao coletivo, devendo proteger todos os trabalhadores expostos a determinado risco. Como exemplo podemos citar o enclausuramento acústico de fontes de ruído, a ventilação dos locais de trabalho, a proteção de partes móveis de máquinas e equipamentos, a sinalização de segurança, capelas químicas, extintores de incêndio, dentre outros.

Os E.P.I.s (Equipamentos de Proteção Individual) evitam lesões ou minimizam sua gravidade, em casos de acidente ou exposição a riscos, também, protegem o corpo contra os efeitos de substâncias tóxicas, alérgicas ou agressivas, que causam as doenças ocupacionais.

1. Máscara de solda



Máscara de solda convencional

Protegem os olhos e o rosto contra fagulhas incandescentes e raios ultravioleta em serviços de soldagem. As lentes variam de acordo com a intensidade da radiação. As lentes, também chamadas de filtros devem ser de número 10 ou maior para soldagem tig e 12 ou maior para soldagem com eletrodos revestidos e MIG-MAG.



Máscara de solda com escurecimento automático

2. Óculos de segurança



São especificados de acordo com o tipo de risco, desde materiais sólidos perfurantes até poeiras em suspensão, passando por materiais químicos, radiação e serviços de solda ou corte a quente com maçarico. Nesse último caso, devem ser usadas lentes especiais.



3. Protetor auricular



Protegem os ouvidos em ambientes onde o ruído está acima dos limites de tolerância, ou seja, 85dB para oito horas de exposição. Existem pessoas que não dão importância a esse EPI, mas quando o trabalhador fica exposto por um longo tempo a surdez chega a ser imperceptível.



4. Calçado de Segurança

Podem ser botas ou sapatos. As botas, feitas de PVC e com solado antiderrapante, são usadas em locais úmidos, inundados ou com presença de ácidos e podem ter canos até as virilhas. Os sapatos são de uso permanente na obra. A versão com biqueira de aço protege de materiais pesados que podem cair nos pés do usuário.



5. Respiradores



Asseguram o funcionamento do aparelho respiratório contra gases, poeiras e vapores. Contra poeiras incômodas é usada a máscara descartável. Os respiradores podem ser semifaciais (abrange nariz e boca) ou faciais (nariz, boca e olhos). A especificação dos filtros depende do tipo de substância ao qual o trabalhador está exposto.



5. Luvas e Aventais

As luvas e aventais são EPI's de grande importância na soldagem. Sem eles ficaríamos expostos a radiação e a alta temperatura que a soldagem exerce.



Na soldagem é importante usarmos a perneira que também nos protege de respingos como os aventais e luvas.



6. Cinto de Segurança

Evitam quedas de trabalhadores, acidentes muitas vezes fatais. Feitos de couro ou náilon, possuem argolas que se engancham em um cabo preso à estrutura da construção.

