

A background image of a metal casting plant. Molten metal is being poured from a ladle into a mold, creating a bright orange glow. Workers in protective gear are visible in the background, and industrial machinery is present.

Processos Metalúrgicos

AULA 11-14 – SOLDAGEM

PROF.: KAIO DUTRA

Fundamentos da Soldagem

- Soldagem é o processo de união de materiais no qual duas ou mais peças são coalescidas em suas superfícies de contato pela aplicação adequada de calor e/ou pressão.
- Muitos processos de soldagem são realizados somente com calor, sem pressão aplicada; outros por uma combinação de calor e pressão; e ainda outros somente por pressão, sem aplicação externa de calor. Em alguns processos de soldagem, um material de adição é adicionado para facilitar a coalescência.



Fundamentos da Soldagem

- A importância comercial e tecnológica da soldagem decorre do seguinte:
 - A soldagem fornece uma junta permanente.
 - As juntas soldadas podem ser tão resistentes quanto os materiais de base.
 - A soldagem é usualmente a maneira mais econômica para unir componentes em termos de custos de utilização de material e custos de fabricação.
 - A soldagem não se restringe a ambientes industriais. Pode ser realizada "no campo".



Fundamentos da Soldagem

- Embora a soldagem tenha as vantagens já indicadas, ela também tem suas limitações e desvantagens:
 - A maioria das operações de soldagem é realizada manualmente e é cara em termos de mão de obra de custos do trabalho.
 - A maioria dos processos de soldagem é inerentemente perigosa porque envolve o uso de alta energia.
 - Como a soldagem realiza uma ligação permanente entre os componentes, não permite desmontagem simples.
 - A junta soldada pode apresentar certos tipos de defeitos difíceis de detectar.



Tipos de Processos de Soldagem

- Cerca de 50 processos de soldagem diferentes foram catalogados pela American Welding Society (AWS).
- Podemos dividir os processos de soldagem em dois grupos principais:
 - Soldagem por fusão;
 - Soldagem no estado sólido.

Tipos de Processos de Soldagem

Soldagem Por Fusão

- Processos de soldagem por fusão usam calor para fundir os metais de base. Em muitas operações de soldagem por fusão, o metal de adição é adicionado na poça fundida para facilitar o processo e prover o volume e resistência para a junta soldada. A operação de soldagem por fusão na qual não é adicionado o metal de adição é conhecida como uma solda autógena.



Tipos de Processos de Soldagem

Soldagem Por Fusão

- A categoria de fusão inclui os processos mais amplamente usados, os quais podem ser organizados nos seguintes grupos:
 - Soldagem a arco (arc welding Aw). A soldagem a arco refere-se ao grupo de processos de soldagem no qual o aquecimento dos metais é realizado por um arco elétrico
 - Soldagem por resistência (resistance welding RW). A soldagem por resistência alcança coalescimento usando calor a partir da resistência elétrica ao fluxo de corrente passando entre a superfície de contato de duas peças mantidas unidas sobre pressão.
 - Soldagem a gás oxicom bustível (oxyfuel gas welding OFW) Estes processos de união usam gás oxicom bustível, tais como a mistura de oxigênio e acetileno, para produzir chama quente a fim de fundir o metal de base e o metal de adição, caso seja usado.

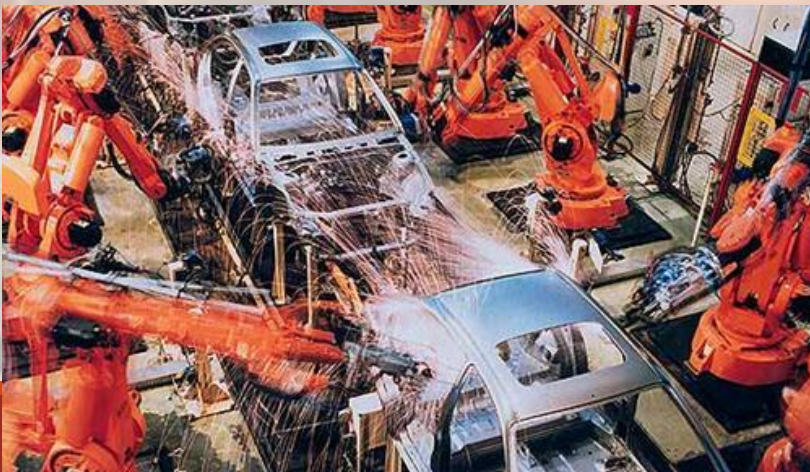
Tipos de Processos de Soldagem

Soldagem no Estado Sólido

- Soldagem no estado sólido refere-se aos processos de união nos quais o coalescimento resulta apenas da aplicação de pressão ou a combinação de calor e pressão.
- Os processos de soldagem representativos neste grupo incluem:
 - Soldagem por difusão (diffusion welding DFW). Duas superfícies são unidas sob pressão em elevadas temperaturas e coalescem por difusão no estado sólido.
 - Soldagem por fricção (friction welding -FRW). A coalescência é alcançada pelo calor do atrito entre duas superfícies.
 - Soldagem por ultrassom (ultrasonic welding USW). Pressão moderada é aplicada entre as duas peças e um movimento oscilante em frequências ultrassônicas é usado na direção paralela da superfície de contato. A combinação das forças vibratória e normal resulta em tensões cisalhantes que removem filmes de superfície e atingem as ligações atômicas das superfícies.

Soldagem Como Uma Operação Comercial

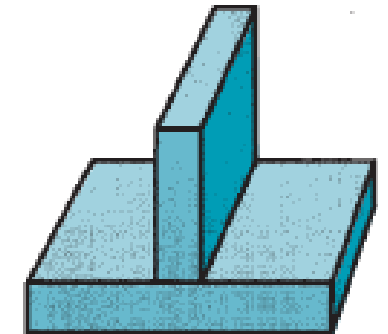
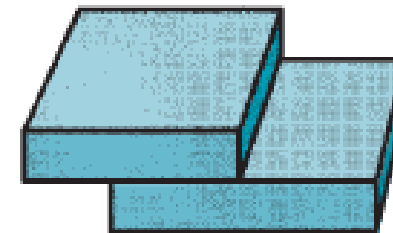
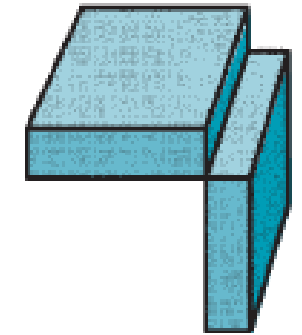
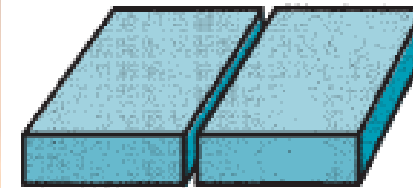
- As principais aplicações de soldagem são:
 - Construções, tais como edifícios e pontes;
 - Tubulações, vasos de pressão, caldeiras e tanques de armazenagem;
 - Construção de navios;
 - Aviões e aeroespacial;
 - Indústria automotiva e ferroviária.



Junta Soldada

Tipos de Juntas

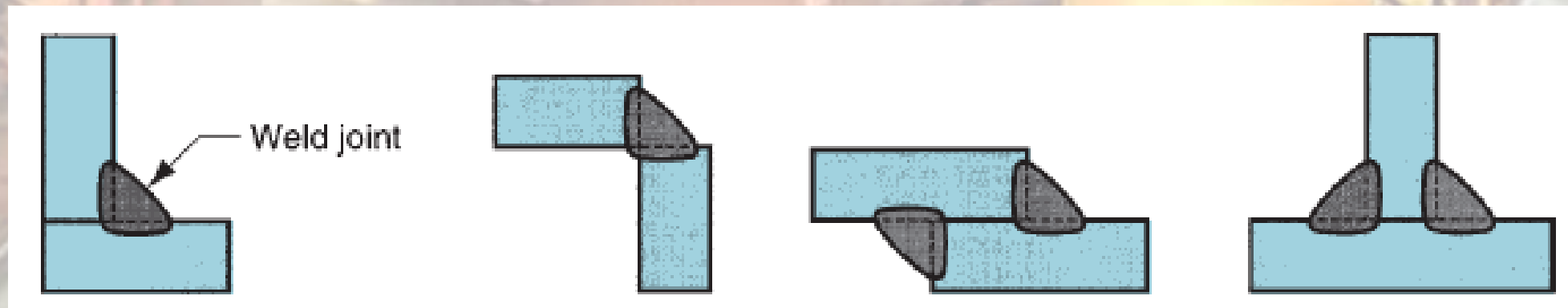
- Existem cinco tipos básicos de juntas para união entre duas peças:
 - Junta de topo: Neste tipo de junta, as peças são alinhadas no mesmo plano e estão unidas pelas suas extremidades.
 - Junta de canto: As partes em uma junta de canto formam um ângulo reto e são unidas no canto do ângulo.
 - Junta sobreposta: Esta junta consiste em duas peças sobrepostas.
 - Junta em Tê: Na junta em Tê, uma parte é perpendicular à outra em forma aproximada da letra "T".
 - Junta em aresta: Na junta em aresta, as peças são paralelas com pelo menos uma das arestas em comum, e a junta é feita nesta aresta em comum.



Junta Soldada

Tipos de Solda

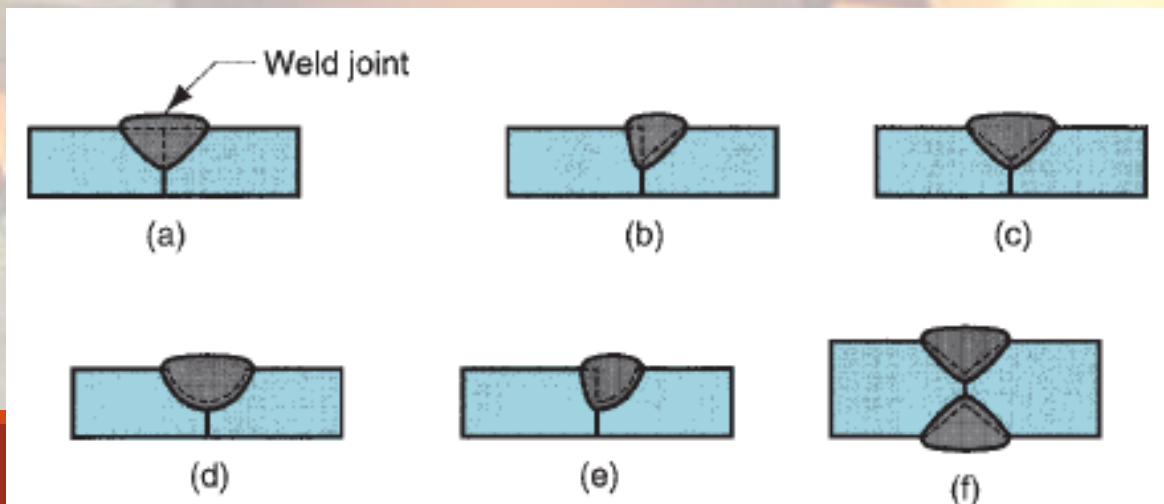
- As Soldas devem distinguir-se entre o tipo de junta e a forma em que é soldada.
- **Uma solda de filete** é usada para preencher as arestas das peças criadas nas juntas de canto, sobrepostas e tê. O metal de adição é usado para fornecer uma seção transversal na forma aproximada de um triângulo. Soldas de filete podem ser simples ou dupla e pode ser contínua ou intermitente.



Junta Soldada

Tipos de Solda

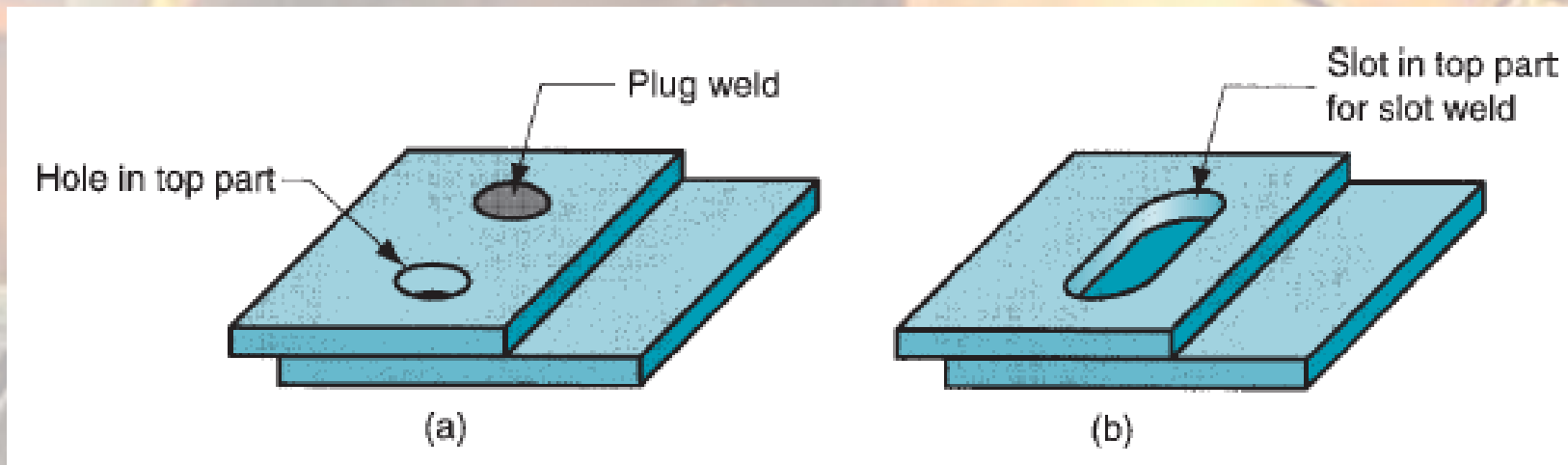
- As Soldas devem distinguir-se entre o tipo de junta e a forma em que é soldada.
- Soldas em chanfro normalmente necessitam que peças sejam moldadas em um chanfro para facilitar a penetração da solda. As formas dos chanfros incluem reto, bisel, V, U e J, de um só lado ou duplo. A preparação das arestas das peças, em vez do uso de aresta reta, requer procedimento adicional, mas é muitas vezes empregada para aumentar a resistência da junta soldada ou quando peças mais espessas serão soldadas.



Junta Soldada

Tipos de Solda

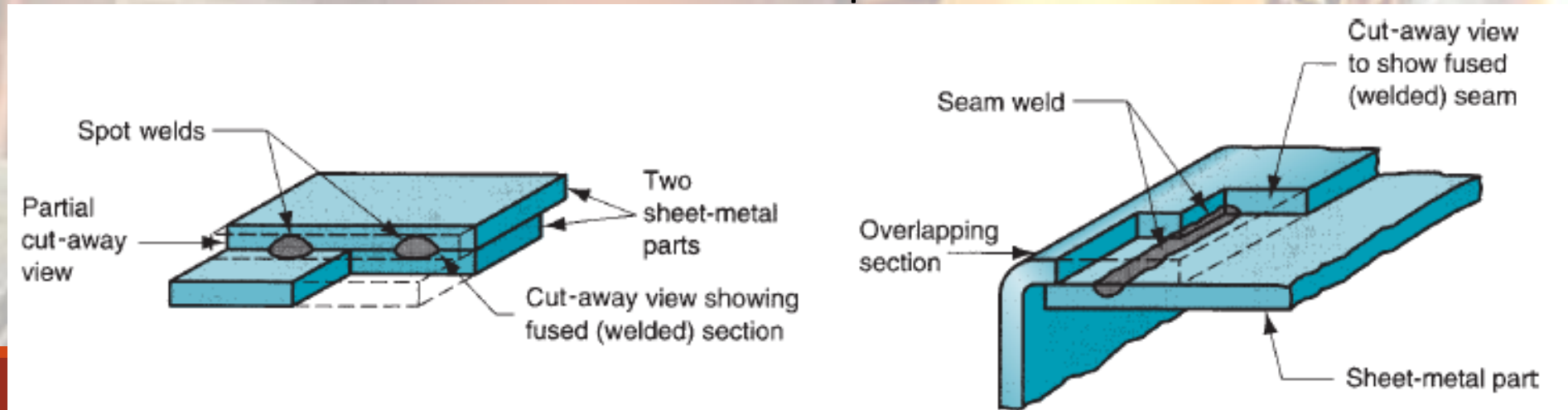
- As Soldas devem distinguir-se entre o tipo de junta e a forma em que é soldada.
- Soldas tampão e solda de fenda são utilizadas para fixar placas planas usando um ou mais furos ou ranhuras na parte superior e, em seguida, preenchendo com metal de adição para fundir as duas partes.



Junta Soldada

Tipos de Solda

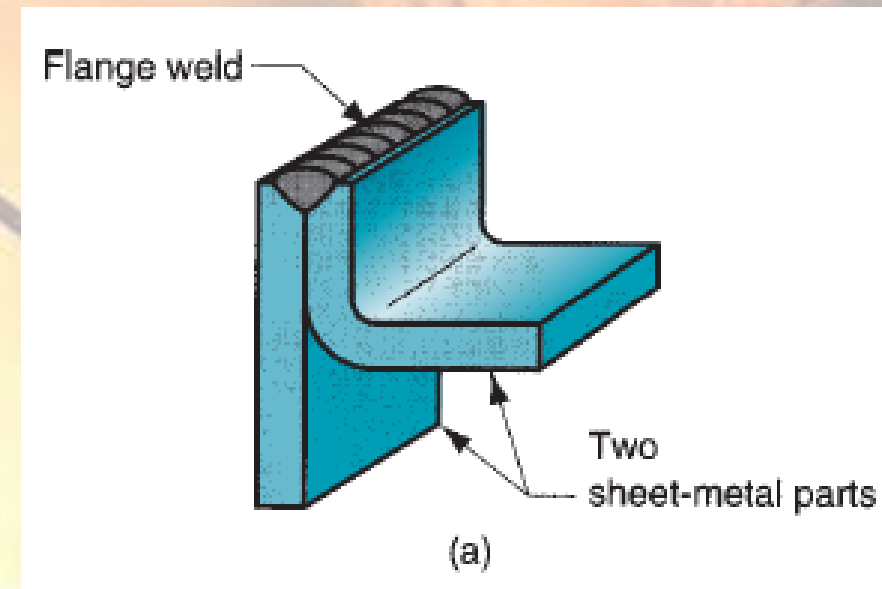
- As Soldas devem distinguir-se entre o tipo de junta e a forma em que é soldada.
- A solda por ponto é uma pequena seção fundida entre as superfícies de duas folhas ou placas. Múltiplas soldas de ponto são em geral necessárias para unir as partes, e isto é intimamente associado com a resistência da solda. Uma solda de costura é semelhante solda de ponto, exceto que esta consiste em uma ou mais seções fundidas de forma contínua entre duas folhas ou placas.



Junta Soldada

Tipos de Solda

- As Soldas devem distinguir-se entre o tipo de junta e a forma em que é soldada.
- Uma solda de flange é feita nas arestas de duas (ou mais) peças, normalmente metal em chapa ou placa fina, sendo pelo menos uma das partes flangeada. Uma solda de acabamento não é usada para unir peças, mas de preferencia depositar metal de adição na superfície de um metal de base em um ou mais cordões de solda.



Física da Soldagem

Densidade de Potência

- Apesar de vários mecanismos de coalescimento estarem disponíveis para soldagem, a fusão é de longe o meio mais comum.
- Para realizar a fusão, uma fonte de energia térmica de alta densidade é fornecida às superfícies de atrito, e as temperaturas resultantes são suficientes para causar fusão localizada nos metais de base.
- A densidade de potência pode ser definida como a potência térmica transferida para a peça por unidade de área W/mm^2 .
- Verificou-se que a densidade de potência mínima necessária para fundir a maioria dos metais na soldagem é de cerca de $10 W/mm^2$. À medida que a densidade de potência aumenta, o tempo de fusão é reduzido.



Física da Soldagem

Densidade de Potência

- A densidade de potência pode ser calculada como a potência adicionada à superfície dividida pela área de superfície correspondente:

$$PD = \frac{P}{A}$$

TABLE 29.1 Comparison of several fusion welding processes on the basis of their power densities.

Welding Process	Approximate Power Density	
	W/mm ²	Btu/sec-in ²
Oxyfuel welding	10	6
Arc welding	50	30
Resistanc welding	1000	600
Laser beam welding	9000	5000
Electron beam welding	10,000	6000

Física da Soldagem

Exemplo 22.1

- Uma fonte de calor transfere 300 W para a superfície de uma peça de metal. O calor incide sobre a superfície em uma área circular, com intensidades que variam no interior do círculo. A distribuição é realizada da seguinte forma: 70% de potencia é transferida a um círculo interno com diâmetro de 5 mm. Qual é a densidade de potência no círculo de 5 mm de diâmetro?

Física da Soldagem

Equilíbrio Térmico Na Soldagem

- A quantidade de calor necessária para fundir um dado volume do metal depende:
 - I- O calor para aumentar a temperatura do metal sólido para o ponto de fusão, que depende do calor específico volumétrico do metal;
 - II- O ponto de fusão do metal
 - III- O calor para transformar o metal da fase sólida para líquida no ponto de fusão, que depende do calor de fusão do metal.



Física da Soldagem

Equilíbrio Térmico Na Soldagem

- Para aproximação razoável, esta quantidade de calor pode ser estimada pela equação:

$$U_m = KT_m^2$$

- Onde:
 - U_m - a unidade de energia para fusão (J/mm^3);
 - T_m - ponto de fusão do metal em uma escala de temperatura absoluta (Kelvin, por exemplo);
 - K - Constante em que o valor é $3,33 \times 10^{-6}$ quando a escala Kelvin é usada.

Física da Soldagem

Equilíbrio Térmico Na Soldagem

- Nem toda a energia gerada pela fonte de energia é utilizada na fusão do metal de solda. Existem dois mecanismos de transferência de calor na peça, ambos reduzem a quantidade de calor gerado que é usada pelos processos de soldagem.
- O primeiro mecanismo envolve a transferência de calor entre a fonte de calor e a superfície do trabalho. Este processo tem um **fator de transferência** de calor f_1 , definido como a razão do calor efetivamente recebido pela peça de trabalho, dividido pelo total de calor gerado na fonte.
- O segundo mecanismo envolve a condução de calor distante da área de solda a ser dissipada ao longo do metal de trabalho, de modo que apenas uma porção do calor transferido para a superfície esteja disponível para fusão. Este **fator de fusão** f_2 é a proporção de calor recebida na superfície de trabalho, que pode ser usada para fusão.



Física da Soldagem

Equilíbrio Térmico Na Soldagem

- O efeito combinado destes dois fatores é o de reduzir a energia térmica disponível para soldagem, conforme equação a seguir:

$$H_w = f_1 f_2 H$$

- Onde:
 - H_w - Calor disponível para soldagem (J);
 - f_1 - fator de transferência de calor;
 - f_2 - fator de fusão;
 - H - Total de calor gerado pelo processo de soldagem (J).

Física da Soldagem

Equilíbrio Térmico Na Soldagem

- Podemos escrever uma equação de balanço entre o aporte de energia e a energia necessária para soldagem:

$$H_w = U_m V$$

- Onde:
 - H_w - energia térmica total de uma operação de soldagem (J);
 - U_w - unidade de energia requerida para fundir o metal, J/mm³;
 - V - volume do metal fundido, mm³.

Física da Soldagem

Equilíbrio Térmico Na Soldagem

- A maioria das operações de soldagem são variações de processos; isto é, a energia térmica total Q_s é entregue à determinada taxa, e o cordão de solda é efetuado à determinada velocidade de soldagem.
- Portanto, é adequado expressar a equação anterior como uma taxa de equilíbrio:

$$R_{Hw} = U_m R_{WV}$$

- Onde R_{Hw} representa a taxa de energia liberada para operação de soldagem (J/s) e R_{WV} o fluxo em volume do metal soldado (mm^3/s).

Física da Soldagem

Equilíbrio Térmico Na Soldagem

- Na soldagem de um cordão contínuo, a taxa de deposição em volume de metal soldado é o produto da área de solda A_w , e a velocidade de soldagem v :

$$R_{Hw} = f_1 f_2 R_H = U_m A_w v$$

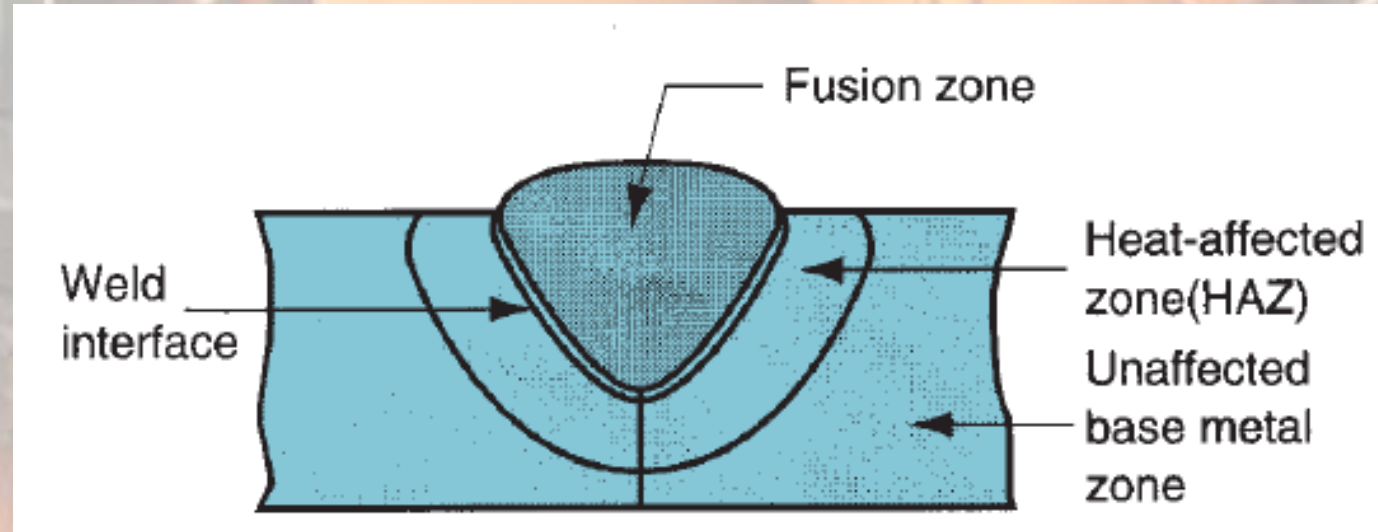
Física da Soldagem

Exemplo 22.2

- A fonte de energia para o ajuste de uma soldagem específica gera 3500W, que pode transferir à superfície de trabalho com um fator de transferência de calor de 0,7. O metal a ser soldado é um aço baixo-carbono, cuja temperatura de fusão é de 1760K. O fator de fusão na operação é de 0,5. Um metal de adição contínuo é feito com área de seção transversal de 20mm². Determine a velocidade de deslocamento em que a operação de solda transversal pode ser realizada.

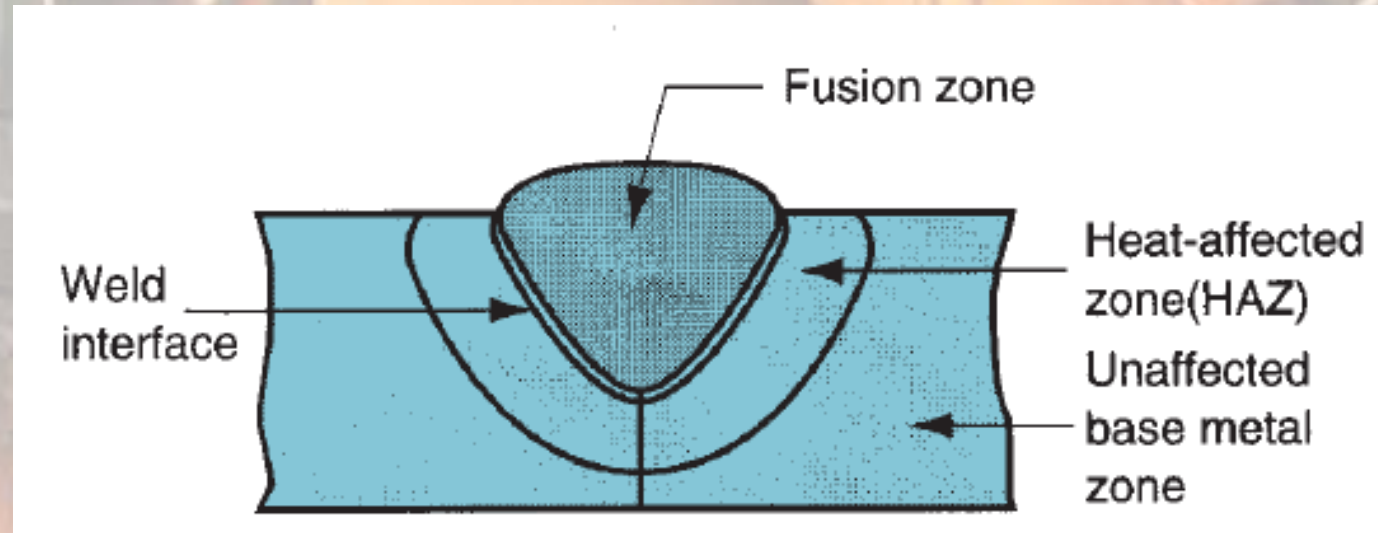
Aspectos de Uma Junta Soldada Por Fusão

- Uma típica junta soldada por fusão consiste naquela em que o metal de adição é adicionado e constituída de várias zonas:
- Zona de fusão;
- Interface da solda;
- Zona termicamente afetada;
- Zona do metal base que não foi afetada.



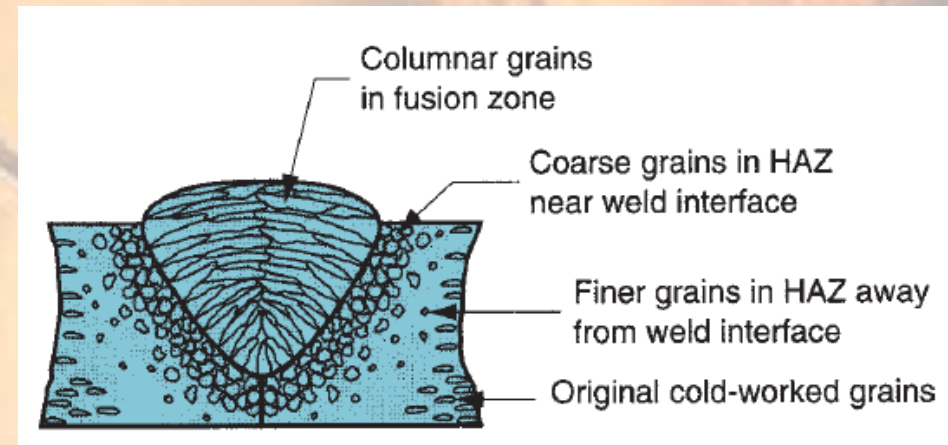
Aspectos de Uma Junta Soldada Por Fusão

- A **zona de fusão** consiste em uma mistura de metal de adição e metal base que é completamente fundido. Esta região é caracterizada por elevado grau de homogeneidade entre os componentes metálicos que tenham sido fundidos durante a soldagem.
- Na solda, a poça é formada nas arestas que não fundiram ou nas superfícies de componentes a serem soldados.



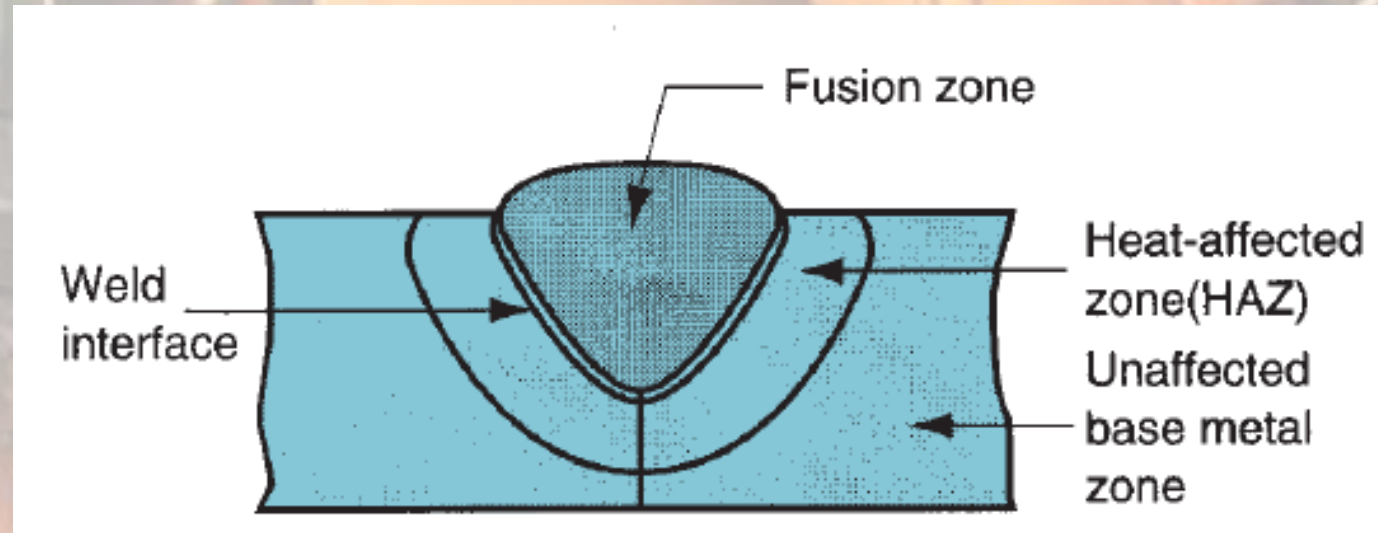
Aspectos de Uma Junta Soldada Por Fusão

- Na fundição, os grãos metálicos são formados a partir da fusão pela nucleação de partículas sólidas na parede do molde, seguidos pelo crescimento do grão. Na soldagem, por outro lado, a fase de nucleação de solidificação é evitada pelo mecanismo de crescimento de grão epitaxial, no qual os átomos da poça de fusão solidificam nas lacunas preexistentes do metal de base adjacente.
- Em consequência, a estrutura do grão na zona de fusão próxima da zona termicamente afetada tende a seguir a orientação cristalográfica ao redor desta última zona.



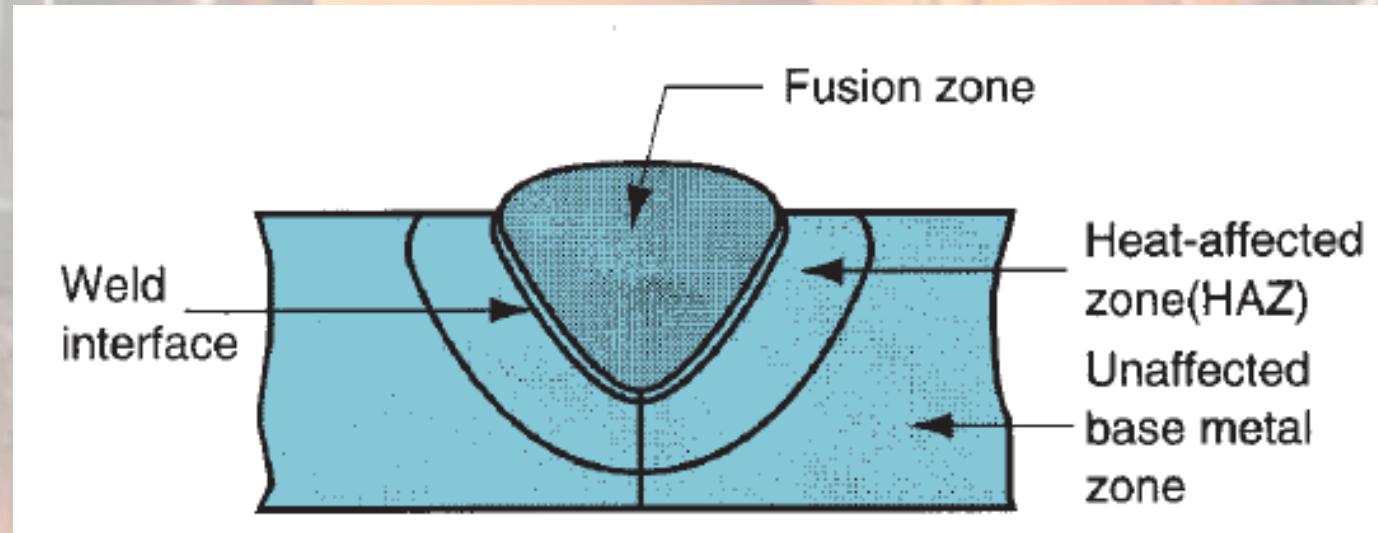
Aspectos de Uma Junta Soldada Por Fusão

- A segunda região em uma junta de solda é a **interface da solda**, contorno estreito que separa a zona de fusão da zona termicamente afetada.
- A interface consiste em uma fina faixa do metal de base que foi fundida ou parcialmente fundida durante o processo de soldagem, mas que solidifica de imediato antes de ser misturada com o metal da região de fusão. Portanto, sua composição química é idêntica a do metal base.



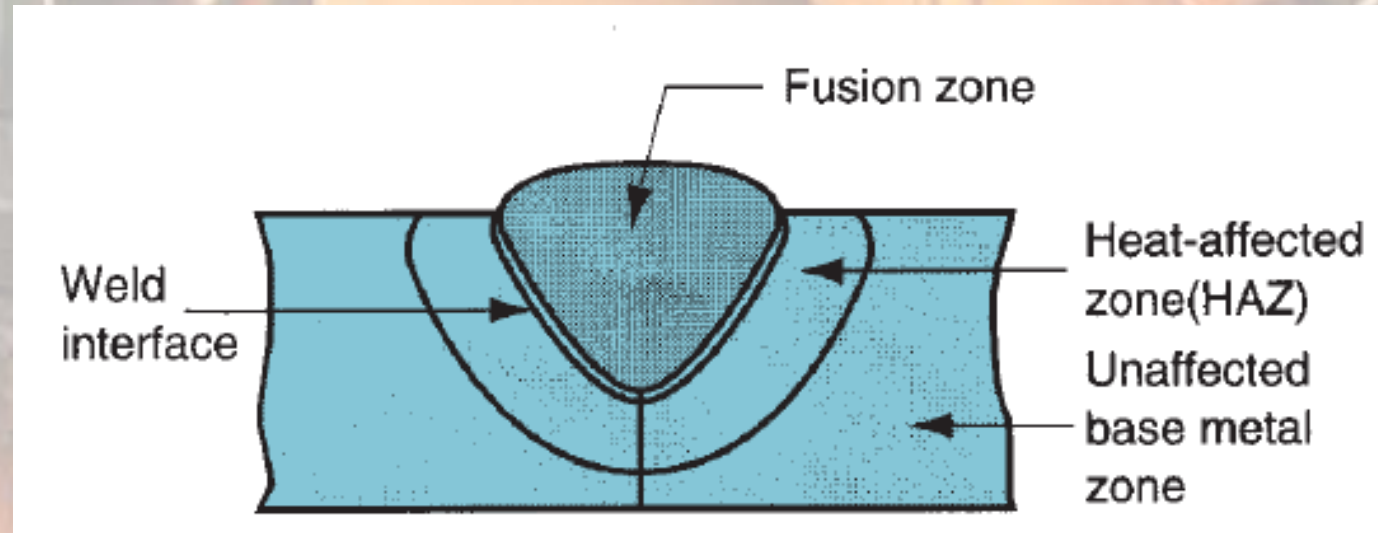
Aspectos de Uma Junta Soldada Por Fusão

- A terceira região em uma solda de fusão típica é a **zona termicamente afetada (ZTA)**. O metal nesta região apresenta temperaturas que estão abaixo do ponto de fusão, mas ainda alta o suficiente para causar alterações microestruturas no metal sólido.
- A composição química na zona termicamente afetada é a mesma do metal base, mas tem tratamento térmico devido temperatura de soldagem, de modo que suas propriedades e estruturas são alteradas.



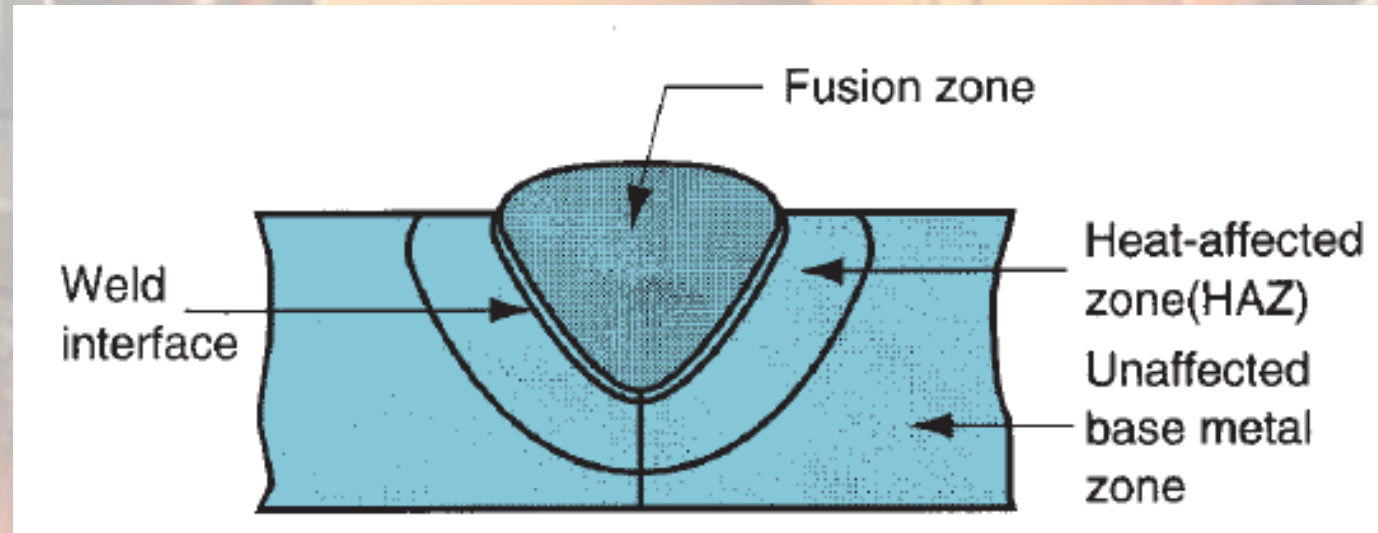
Aspectos de Uma Junta Soldada Por Fusão

- A quantidade de danos metalúrgicos na ZTA depende de fatores tais como a quantidade de aporte térmico, temperaturas máximas alcançadas, distância da zona de fusão, duração do tempo em que o metal foi exposto a altas temperaturas, a taxa de resfriamento e as propriedades térmicas do metal.



Aspectos de Uma Junta Soldada Por Fusão

- A medida que se distancia da zona de fusão, a **zona do metal de base que não foi afetada** é finalmente alcançada, na qual não ocorrem mudanças microestruturais.



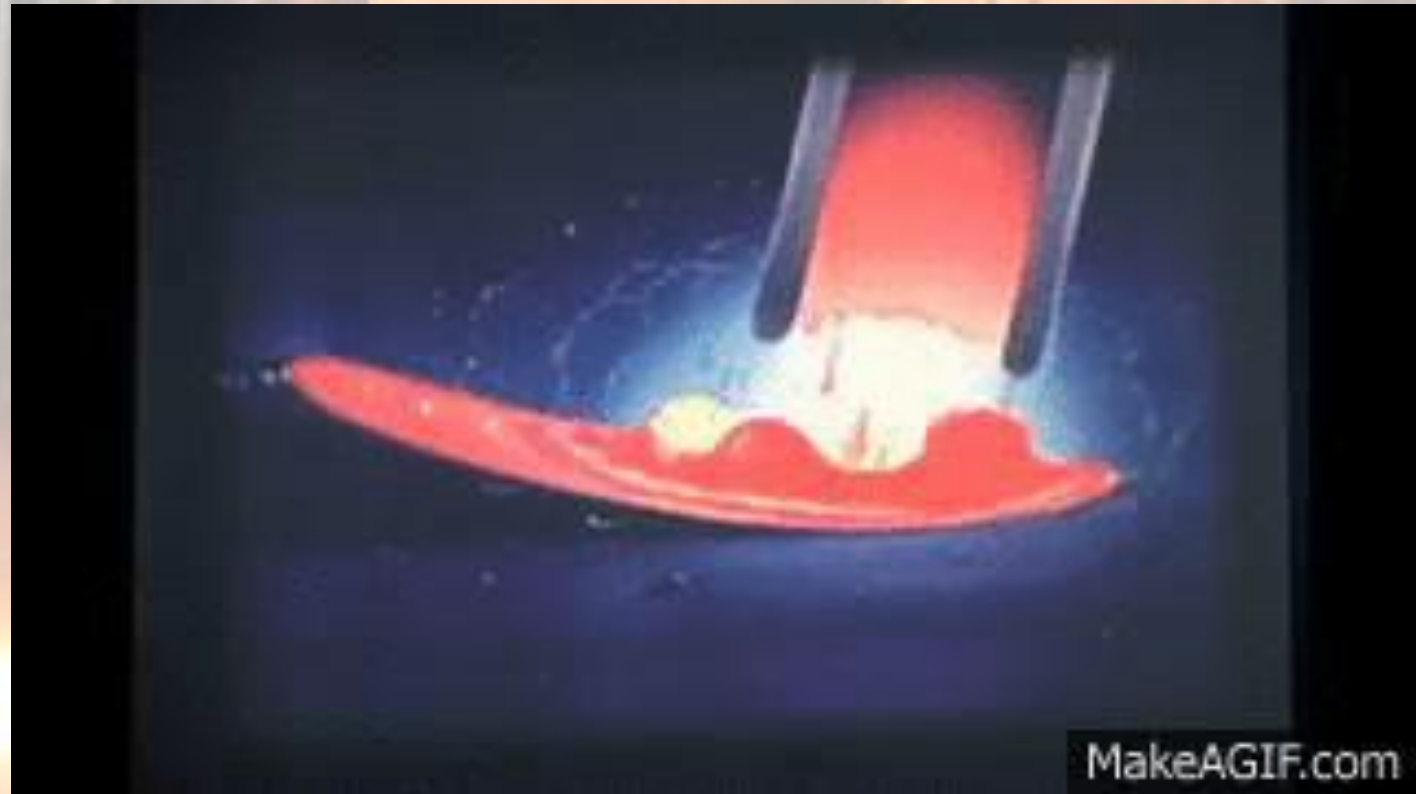
Processos de Soldagem

- Os processos de soldagem são divididos em duas categorias principais:
 - Soldagem por fusão;
 - Soldagem a arco;
 - Soldagem por resistência;
 - Soldagem a gás oxicombustível;
 - Outros processos de soldagem por fusão.
 - Soldagem no estado sólido.

Processos de Soldagem

Soldagem a Arco

- A soldagem a arco (arc welding – AW) é um processo de soldagem por fusão, no qual a coalescência dos metais é alcançada pelo calor do arco elétrico entre um eletrodo e a peça de trabalho.



MakeAGIF.com

Processos de Soldagem

Soldagem a Arco

- Um arco elétrico é uma descarga de corrente elétrica pela abertura de um circuito. Ele é mantido pela presença de uma coluna de gás ionizada termicamente, por meio da qual a corrente flui.
- A energia elétrica do arco produz temperaturas de 5500°C , ou mais, bastante quentes para fundir muitos metais.
- A poça de metal fundido, composta de metal base e metal de adição é formada perto da ponta do eletrodo.



Soldagem a Arco

Tecnologia Geral de Soldagem

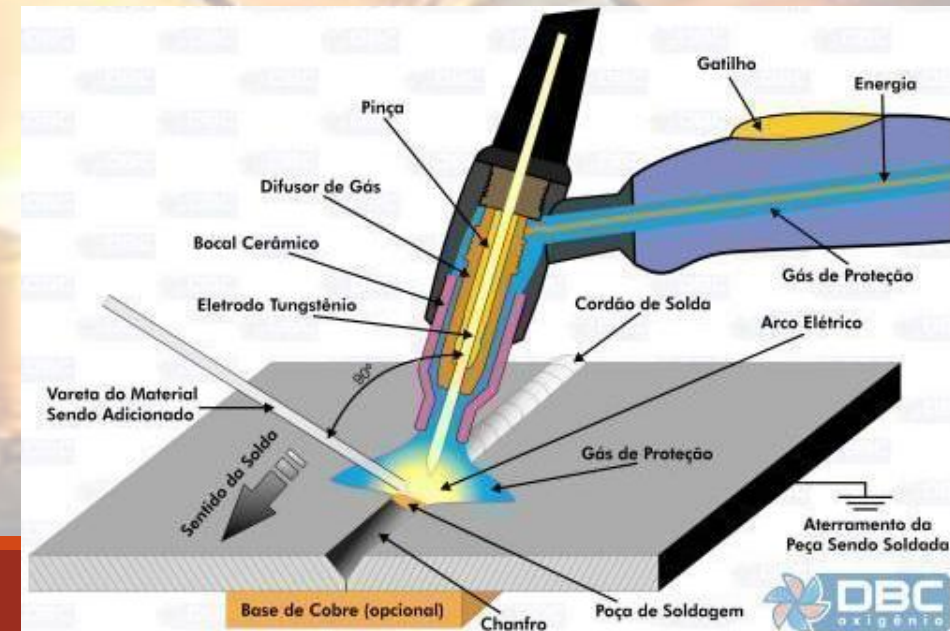
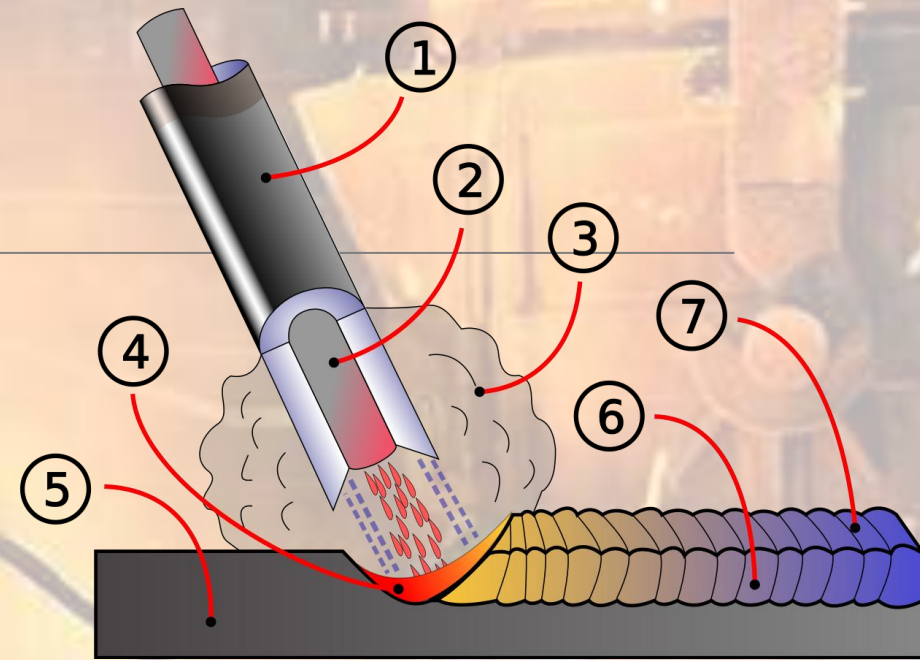
- **Eletrodos:** Os eletrodos usados em processos AW são classificados como consumíveis ou não consumíveis.
- Os eletrodos consumíveis fornecem a fonte de metal de adição em soldagem a arco. Estes eletrodos estão disponíveis em duas formas: vareta e arame.
- Os eletrodos não consumíveis são feitos de tungstênio (ou carbono, raramente), que resistem à fusão do arco. Apesar do nome, um eletrodo não consumível é gradualmente desgastado durante o processo de soldagem.



Soldagem a Arco

Tecnologia Geral de Soldagem

- **Proteção do Arco:** Na soldagem a arco sob temperaturas elevadas, os metais que estão sendo unidos reagem quimicamente com o oxigênio, nitrogênio e hidrogênio do ar. As propriedades mecânicas da junta soldada podem ser muito degradadas por essas reações.
- A proteção do arco é realizada pelo revestimento da ponta do eletrodo, arco e poça de solda fundida com uma camada de gás ou fluxo, ou ambos, que inibe a exposição do metal de solda ao ar.



Soldagem a Arco

Tecnologia Geral de Soldagem

- Os gases de proteção mais comuns incluem argônio e hélio, ambos inertes. Na soldagem de metais ferrosos com certos processos AW, o oxigênio e o dióxido de carbono são usados geralmente em combinação com Ar e/ou He para produzir atmosfera oxidante ou controlar a forma da solda.
- O fluxo é um material usado para prevenir a formação de óxidos e outros contaminantes indesejáveis, ou para dissolvê-los e facilitar sua remoção. Durante a soldagem, fluxo funde e torna-se uma poça líquida, cobrindo a operação e protegendo o metal de solda fundido.
- O fluxo é usualmente formulado para atender as seguintes funções: (1) proporcionar atmosfera protetora para soldagem; (2) estabilizar o arco; (3) reduzir os respingos.

Soldagem a Arco

Tecnologia Geral de Soldagem

- **Fontes de Energia em Soldagem a Arco:** Tanto a corrente contínua (CC) como a corrente alternada (CA) são usadas em soldagem a arco.
- As máquinas CA são menos caras, mas são geralmente restritas à soldagem de metais ferrosos. O equipamento CC pode ser usado em todos os metais com resultados bons e em geral é observado melhor controle do arco.



Soldagem a Arco

Tecnologia Geral de Soldagem

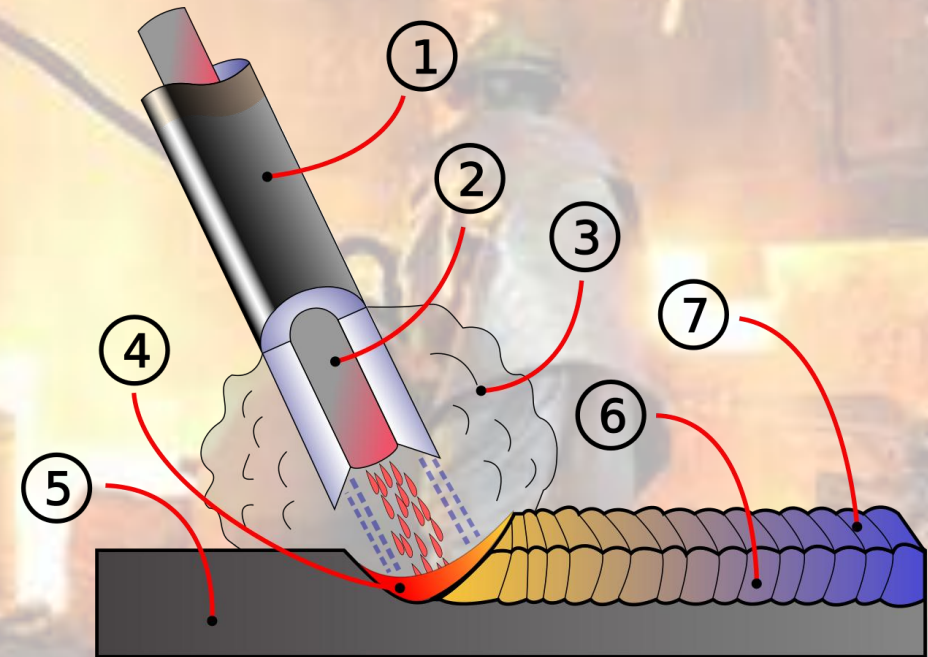
- Em todos os processos de soldagem a arco, a energia para conduzir a operação é o produto da corrente I passando através do arco e a voltagem E através dele.
- O balanço de energia em soldagem a arco é definido por:

$$R_{Hw} = f_1 f_2 I E = U_m A_w v$$

Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem a Arco com Eletrodos Revestidos

- A soldagem a arco com eletrodos revestidos (shielded metal arc welding-SMAW) é um processo AW que usa um eletrodo consumível, consistindo em uma vareta de metal de adição revestida com elementos químicos que proporcionam o fluxo e a proteção.
- O eletrodo de soldagem tem comprimento geralmente entre 225 e 450mm e diâmetro de 2,5 a 9,5mm.



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem a Arco com Eletrodos Revestidos

- O metal de adição usado na vareta deve ser compatível com o metal a ser soldado, e a composição normalmente é muito próxima do metal de base. O revestimento consiste em celulose em pó (algodão e madeira em pó) misturada com óxidos, carbonetos e outros ingredientes, mantidos unidos por um aglomerante de silicato.
- Os pós metálicos são incluídos também para aumentar a quantidade de metal de adição e adicionar elementos de liga. O calor do processo de soldagem funde o revestimento para fornecer atmosfera protetora e escória para operação de soldagem.



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

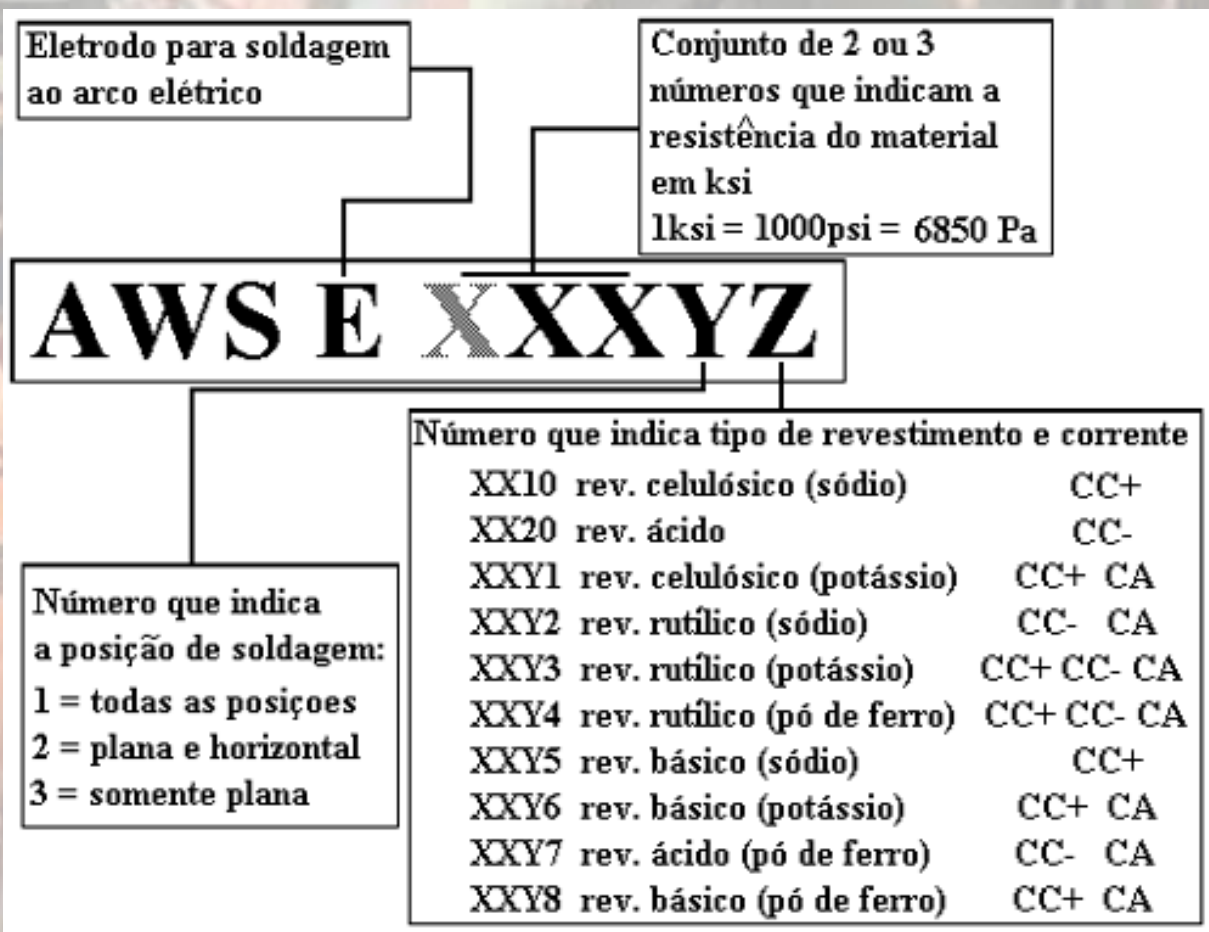
Soldagem a Arco com Eletrodos Revestidos

- As correntes usadas em processos SMAW variam geralmente entre 30 e 300A, e as voltagens entre 15 e 45V.
- A soldagem a arco com eletrodo revestido é em geral realizada manualmente. As aplicações mais comuns incluem edificações, tubulações, estruturas metálicas, construção naval, processos de fabricação em oficina e trabalhos de reparos.
- Os metais de base incluem basicamente os aços carbono, aços inoxidáveis e ferros fundidos.



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem a Arco com Eletrodos Revestidos



Principais tipos de eletrodos e suas características

Tipo Características	Básico	Rutilico	Celulósico
Espessura de revestimento	Geralmente grosso, eventualmente médio.	Geralmente grosso ou médio, eventualmente delgado.	Médio
Formação de gotas	Normalmente gotas de tamanho médio.	Grossas quando o revestimento é delgado, médias quando for médio e pequenas quando o revestimento for grosso.	De médias até grandes.
Posição para soldar	Em todas as posições.	Em todas as posições.	Em todas as posições.
Profundidade de penetração	Mediana.	Conforme espessura do revestimento.	Muito boa.
Manejo	O arco deve ser mantido curto.	Fácil, produzindo um arco suave e tranquilo.	De fácil manejo com arco curto.
Tipo de escória	Densa, de aspecto marrom.	Densa, distribuição uniforme.	Pouca formação de escória, forma capa delgada e se cristaliza rapidamente.
Aplicações	Próprios para grandes espessuras, aços de baixa liga e aços de baixo teor de carbono.	Os de revestimento delgado em espessuras finas, os médios e grossos para preenchimento.	Para condições difíceis e trabalhos de grande resistência.

Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem a Arco com Eletrodos Revestidos

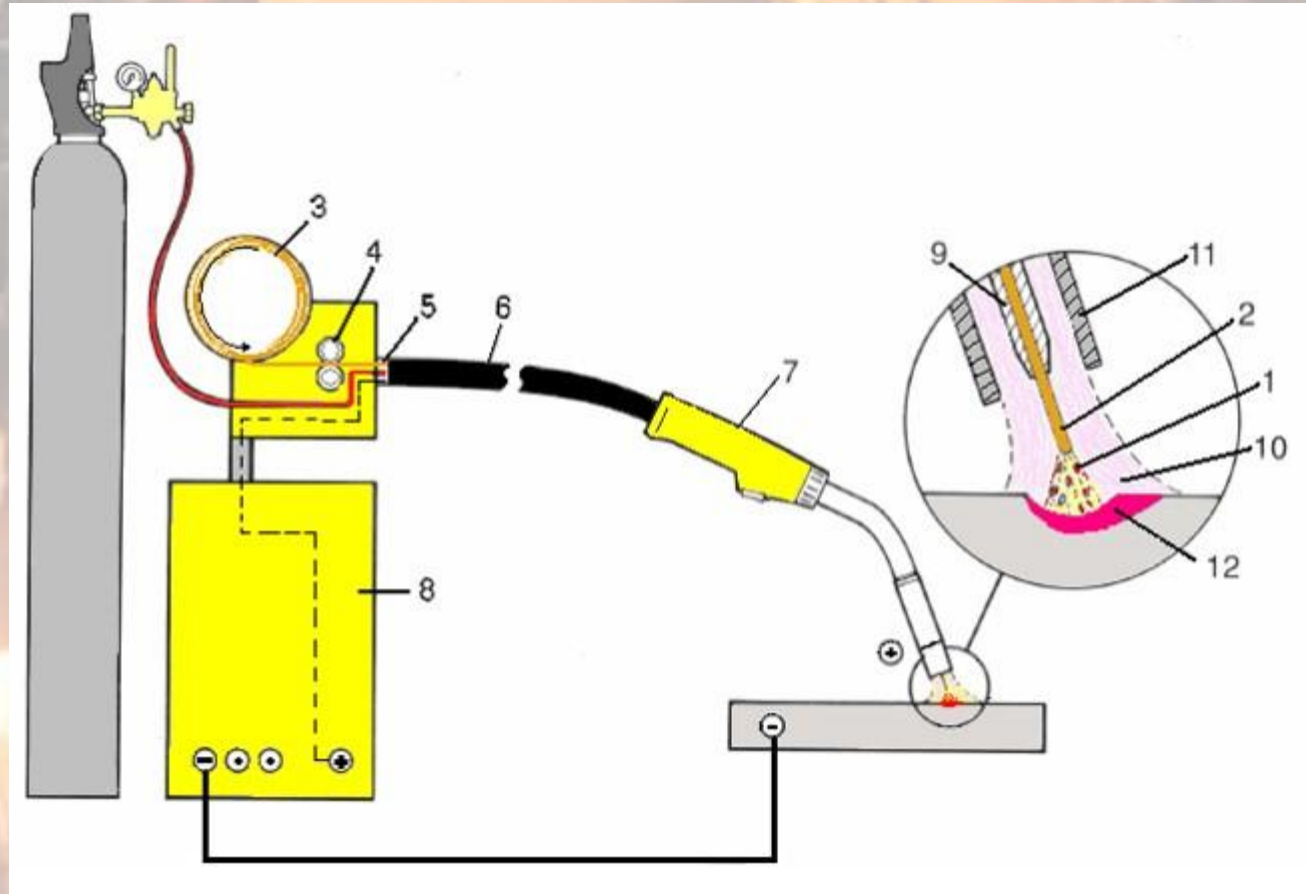
- Uma desvantagem da soldagem a arco com eletrodo revestido, como uma operação de produção, é o uso do eletrodo consumível.
- Outra limitação é o nível de corrente que pode ser usado. Devido ao comprimento do eletrodo variar durante a operação, e este comprimento afetar a resistência do eletrodo ao calor, níveis de corrente precisão ser mantidos em uma faixa segura ou o revestimento irá sobreaquecer e fundir prematuramente quando começar nova soldagem.



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem a Arco com Proteção Gasosa

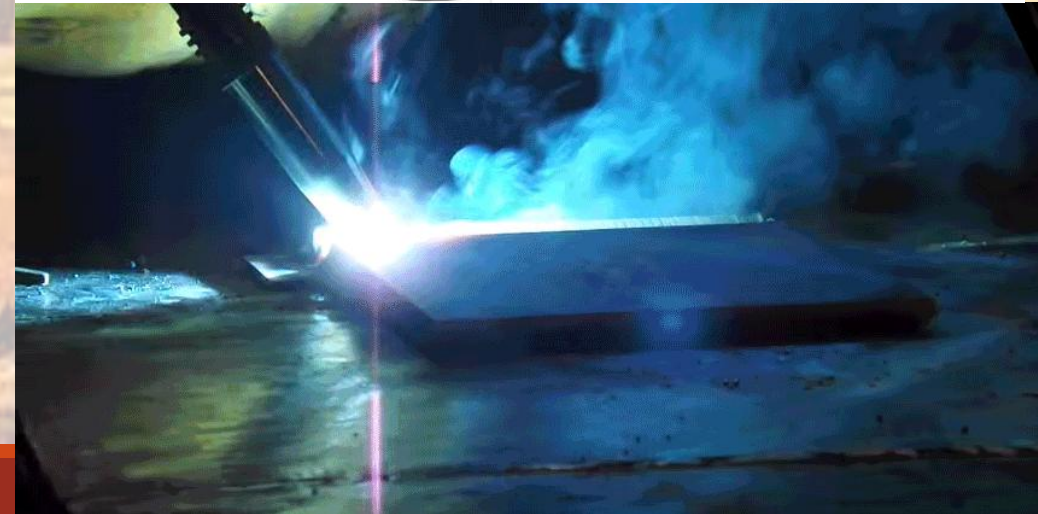
- A soldagem a arco com proteção gasosa (gas metal arc welding GMAW) é um processo AW no qual o eletrodo é um arame metálico consumível, e a proteção é realizada pelo preenchimento do arco com um gás. O arame é alimentado continuamente e automaticamente na poça por uma pistola de soldagem.
- No processo GMAW, os diâmetros dos arames usados variam de 0,8mm a 6,5 mm e o tamanho depende da espessura das peças que serão unidas e a taxa de deposição desejada.



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem a Arco com Proteção Gasosa

- Os gases usados para proteção incluem gases inertes, tais como argônio e hélio, e gases ativos, como dióxido de carbono.
- A seleção de gases (e mistura de gases) depende do metal que vai ser soldado, bem como de outros fatores. Os gases inertes são usados para soldagem de ligas de alumínio e aços inoxidáveis, e o CO_2 é normalmente usado para soldagem de aços baixo e médio-carbono.



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem a Arco com Proteção Gasosa

- Quando o processo foi introduzido no final dos anos 1940, ele foi aplicado para soldagem de alumínio usando gás inerte para proteção do arco. O nome utilizado para este processo foi soldagem MIG (metal inert gas).
- Quando o mesmo processo de soldagem foi aplicado para aços, verificou-se que gases inertes eram caros, e o CO_2 foi utilizado como alternativa. Assim os termos soldagem CO_2 e MAG (metal active gas) foram aplicados.



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem a Arco com Proteção Gasosa

- O processo GMAW é amplamente utilizado em operação de fabricação nas indústrias para soldagem de vários metais ferrosos e não ferrosos. Pelo fato de usar alimentação contínua de arame, em vez de varetas, tem vantagem significativa sobre o processo SMAW em termos de duração do arco, quando realizada manualmente.
- O processo GMAW possui taxas de deposição maiores que as dos processos SMAW e boa versatilidade.



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem a Arco com Proteção Gasosa

- O processo GMAW é amplamente utilizado em operação de fabricação nas indústrias para soldagem de vários metais ferrosos e não ferrosos. Pelo fato de usar alimentação contínua de arame, em vez de varetas, tem vantagem significativa sobre o processo SMAW em termos de duração do arco, quando realizada manualmente.
- O processo GMAW possui taxas de deposição maiores que as dos processos SMAW e boa versatilidade.



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem com Arame Tubular

- A soldagem com arame tubular (flux-cored arc welding – FCAW) é um processo de soldagem a arco, em que o eletrodo é um tubo contínuo, consumível que contém fluxo e outros elementos em seu núcleo.
- Outros elementos podem incluir desoxidantes e elementos de liga.

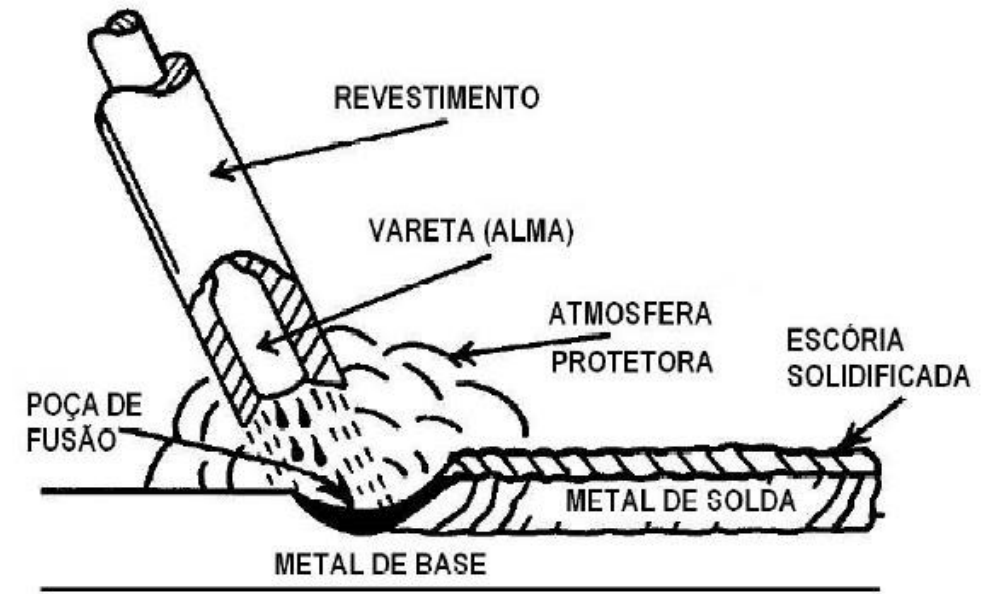


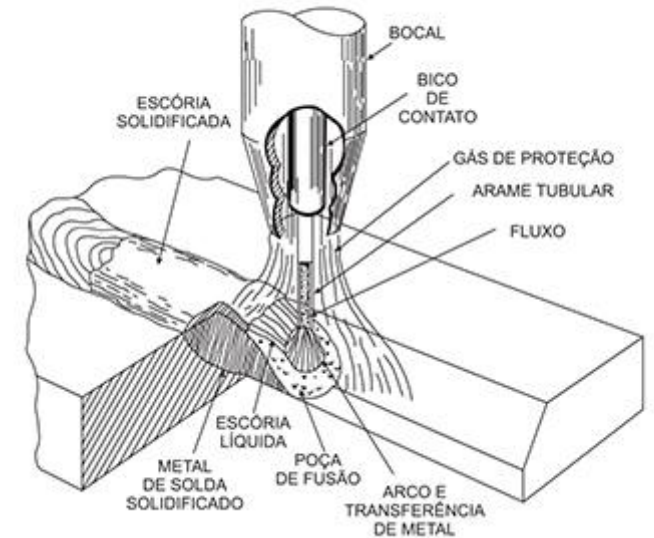
Figura 1 - Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido

Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

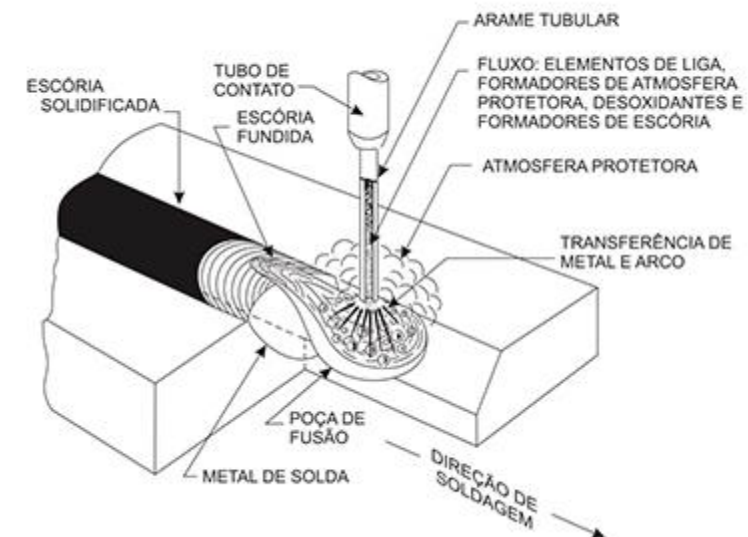
Soldagem com Arame Tubular

- Existem duas variações do processo FCAW:
 - (1) Autoprotégido: O núcleo inclui não somente os fluxos, mas também os elementos que geram os gases para proteção do arco.
 - (2) Proteção gasosa: Desenvolvido em especial para soldagem de aços, obtém a proteção do arco por meio de gases fornecidos externamente. Os gases de proteção em geral utilizados são o dióxido de carbono para aços doces, ou uma mistura de argônio e dióxido de carbono para aços inoxidáveis.

Soldagem com arames tubulares com proteção externa



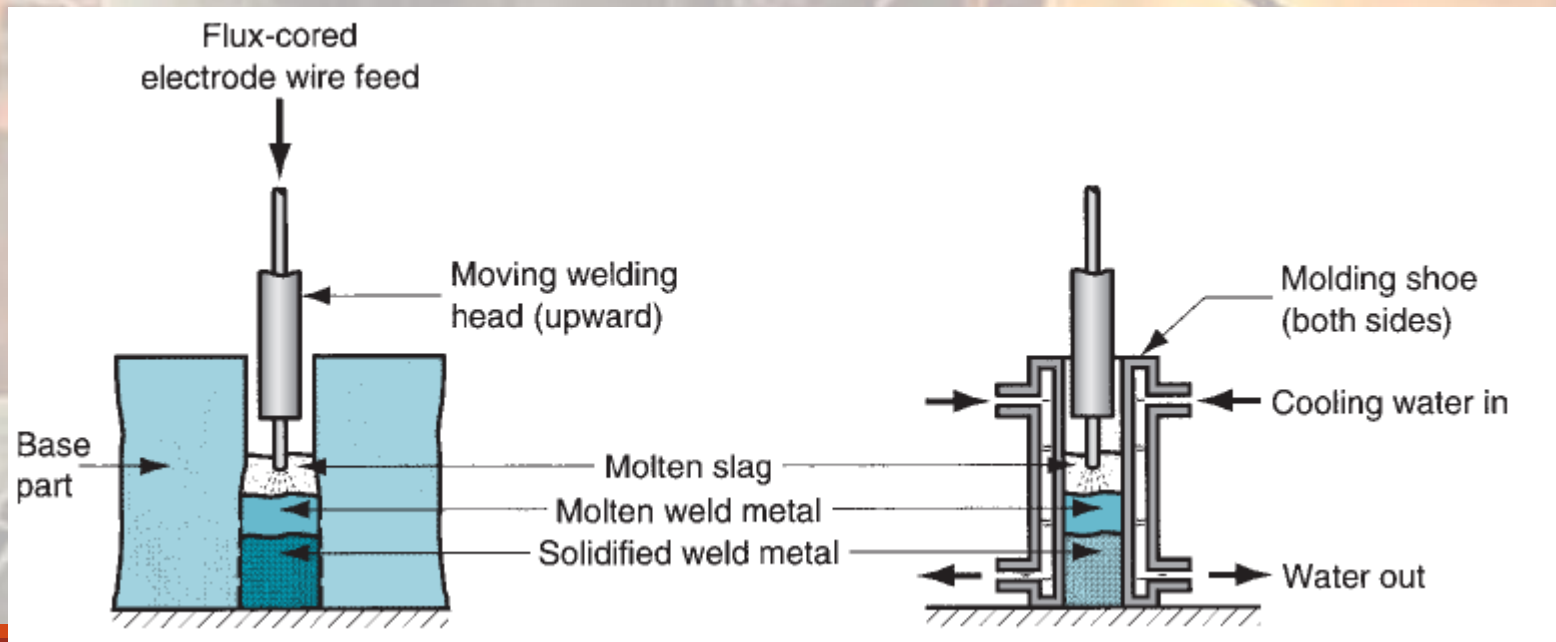
Soldagem com arames tubulares autoprotégidos



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem por Eletrogás

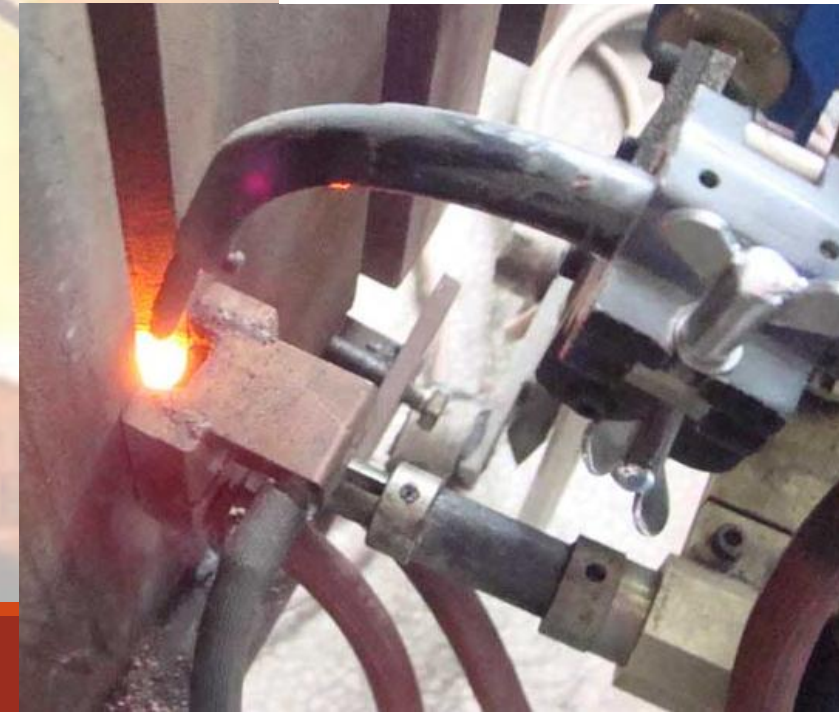
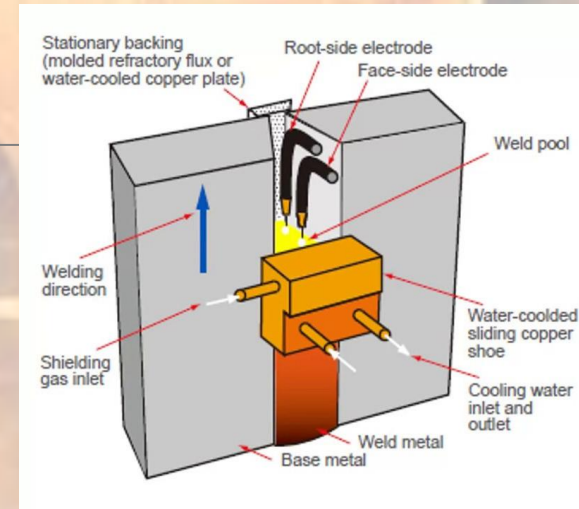
- A soldagem por eletrogás (electrogas welding – EGW) é um processo AW que utiliza um eletrodo consumível contínuo e sapatas de moldagem para conter o metal fundido.



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem por Eletrogás

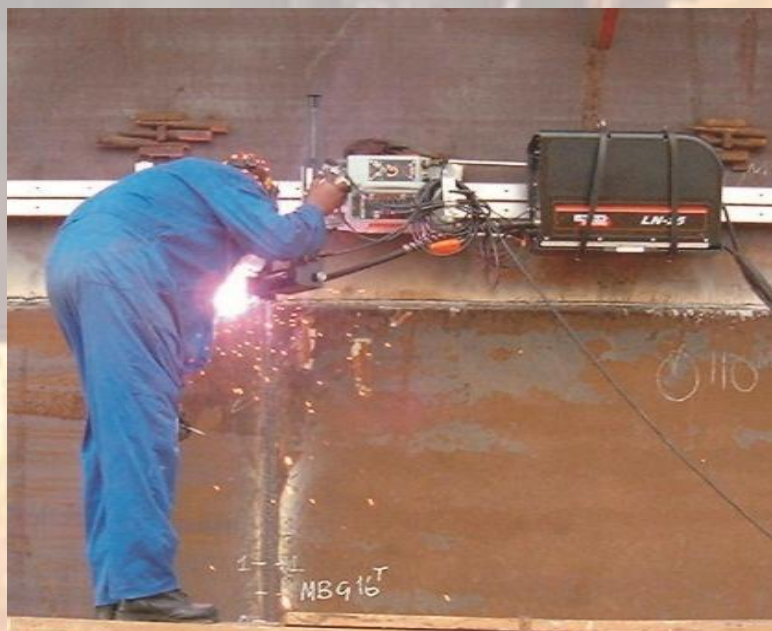
- As sapatas de moldagem são refrigeradas à água para impedir que sejam adicionadas à poça fundida. As sapatas, junto com as bordas das peças a serem soldadas, formam um recipiente, quase como uma cavidade de molde, onde o metal do eletrodo fundido e das peças base é adicionado gradualmente.



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem por Eletrogás

- As principais aplicações da soldagem por eletrogás são em aços na construção de grandes tanques de armazenamento e em construção naval.



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem a Arco Submerso

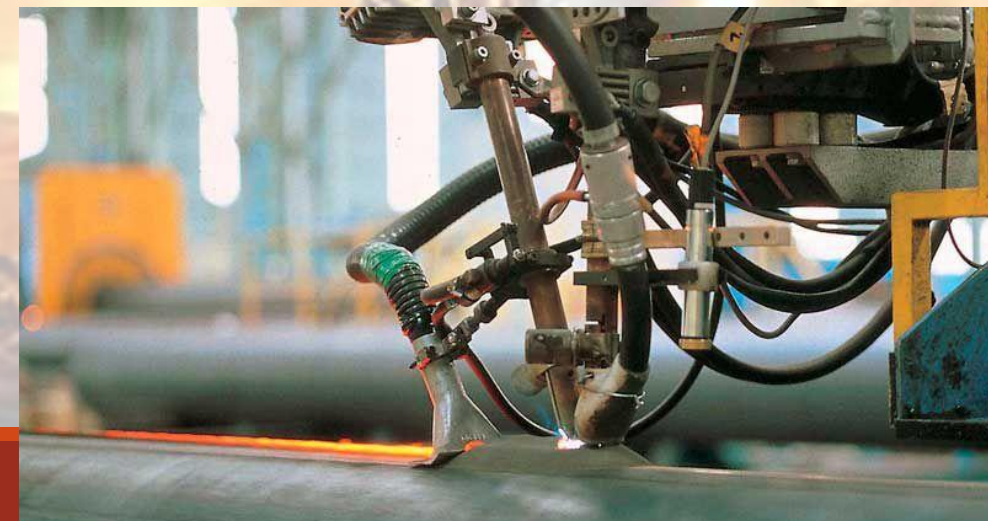
- A soldagem a arco submerso (submerged arc welding SAW) é um dos processos de soldagem a arco que usam um eletrodo de fio contínuo e consumível, e a proteção do arco é fornecida por uma camada de fluxo granular. O eletrodo de fio é alimentado de forma automática no arco por meio de uma bobina. O fluxo é introduzido na junta, ligeiramente à frente do arco de solda, por gravidade a partir de um funil. A operação de soldagem fica por completo submersa na camada de fluxo granular.



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem a Arco Submerso

- A porção de fluxo mais próximo do arco é fundida, misturando com o metal de solda fundido para remover as impurezas e, em seguida, solidificando sobre a junta da solda para formar uma escoria.
- A escoria e o fluxo granular sobre o topo oferecem boa proteção da atmosfera e bom isolamento térmico para área de solda, resultando em resfriamento relativamente lento.



Soldagem a Arco – Eletrodos Consumíveis

Soldagem a Arco Submerso

- O processo é amplamente usado na fabricação de perfis estruturais; costuras longitudinais e circunferenciais para tubos de grande diâmetro, tanques, vasos de pressão e componentes soldados para máquinas pesadas.
- Aços baixo-carbono e aços inoxidáveis podem ser facilmente soldados pelo processo SAW; o que não ocorre com aços alto-carbono, aços ferramenta e metais não ferrosos.



Soldagem a Arco – Eletrodos Não Consumíveis

Soldagem a Arco Eletrodo de Tungstênio

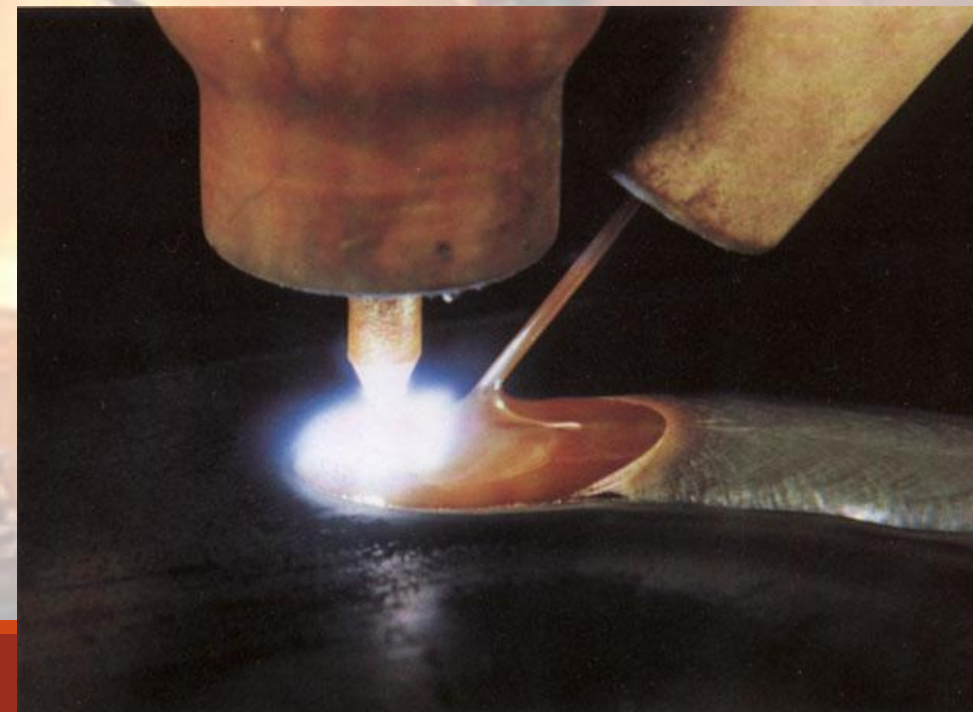
- A soldagem a arco com eletrodo de tungstênio e proteção gasosa (gas tungsten arc welding - GTAW) é um processo AW que usa um eletrodo de tungstênio não consumível e um gás inerte para proteção do arco.
- O termo soldagem TIG (tungsten inert gas) é geralmente utilizado para este processo.
- O processo GTAW pode ser aplicado com ou sem metal de adição.
- Os gases de proteção típicos incluem argônio, hélio, ou a mistura destes gases.



Soldagem a Arco – Eletrodos Não Consumíveis

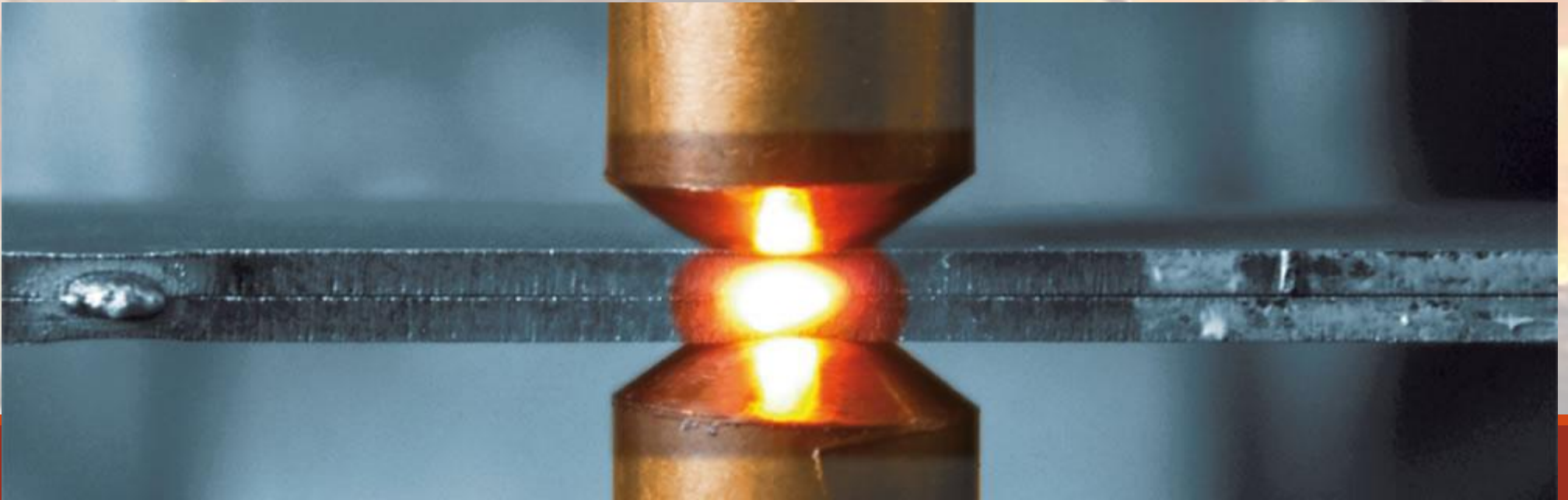
Soldagem a Arco Eletrodo de Tungstênio

- O processo GTAW é aplicável à maioria dos metais em grande variedade de espessuras. Ele pode ser usado para unir várias combinações de metais dissimilares.
- Suas aplicações mais comuns são para alumínio e aço inoxidável.
- Em aplicações de soldagem de aço o processo GTAW é geralmente mais lento e mais caro que os processos AW com eletrodos consumíveis, exceto quando seções finas são usadas e requeridas soldas de altíssima qualidade.



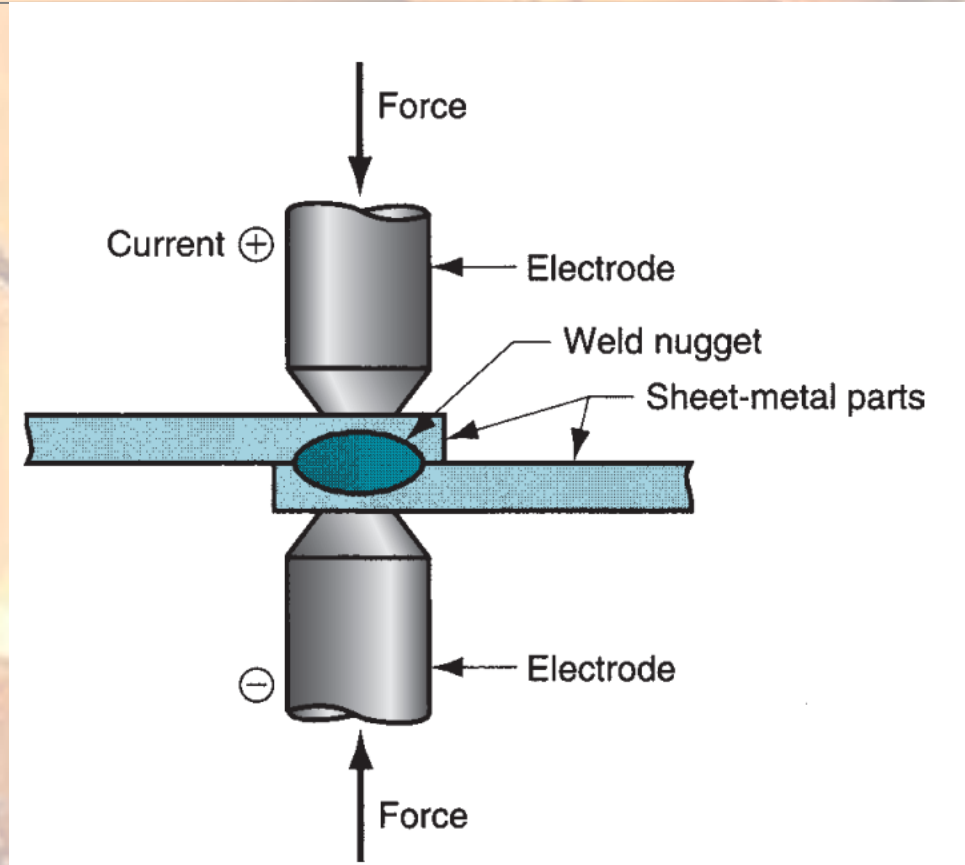
Soldagem Por Resistência

- Soldagem por resistência (resistance welding – RW) é um grupo de processos por fusão que usa uma combinação de calor e pressão para realizar o coalescimento, e o calor é gerado por resistência elétrica decorrente do fluxo de corrente entre as junções a serem soldadas.



Soldagem Por Resistência

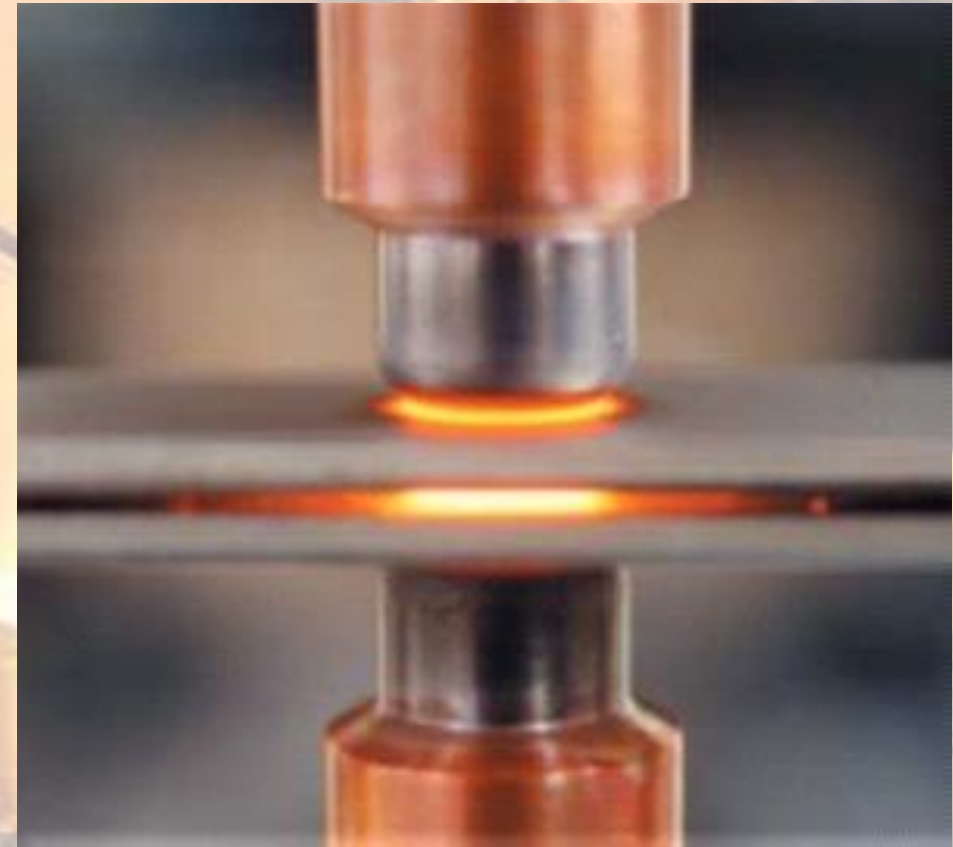
- Os componentes consistem em peças de trabalho a serem soldadas, dois eletrodos em posições opostas, um meio de aplicação de pressão para pressionar as peças entre os eletrodos e fonte de alimentação AC, a partir da qual uma corrente controlada pode ser aplicada. A operação resulta em uma zona fundida entre as duas peças chamada lente da solda na soldagem por pontos.



Soldagem Por Resistência

Fonte de Calor

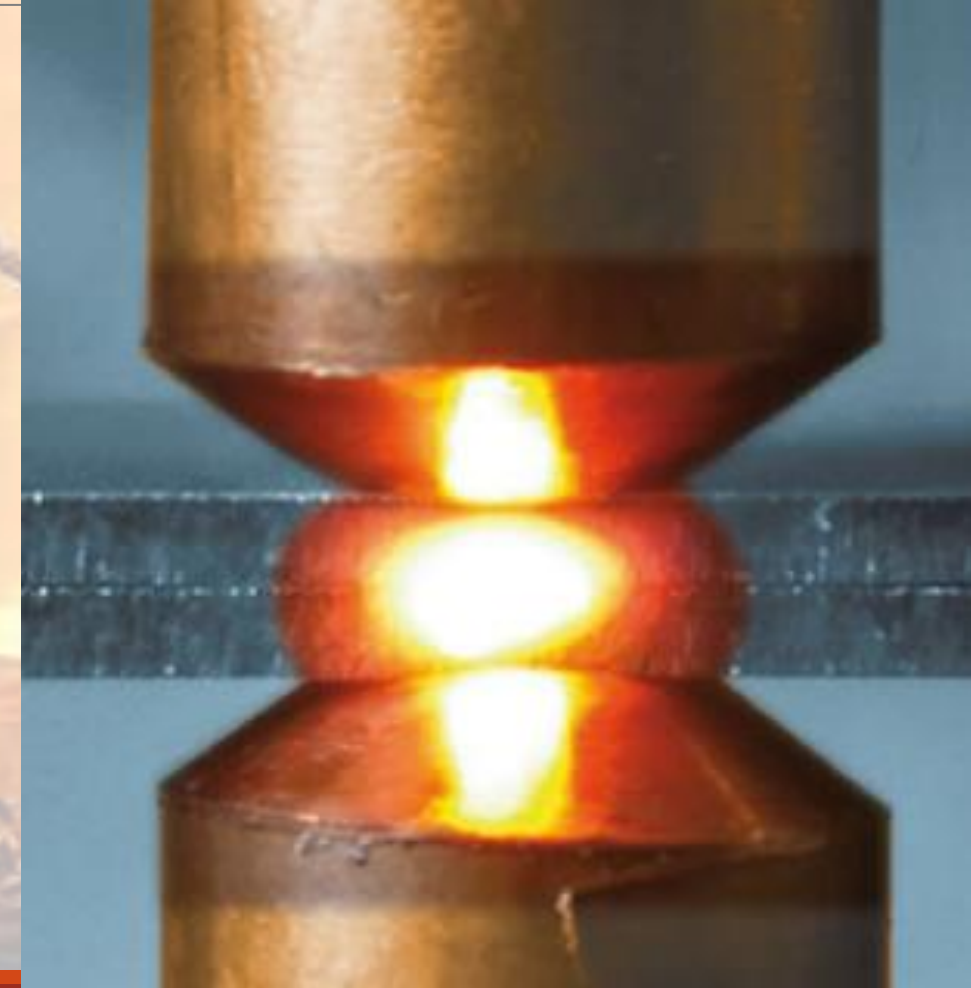
- O calor gerado aplicado na operação de soldagem depende do fluxo de corrente, resistência do circuito e o tempo de corrente aplicado.
- Isto pode ser expresso pela equação:
$$H = I^2 R t$$
- em que H = calor gerado; I=corrente; R=resistência elétrica; t=tempo
- A corrente usada nas operações de soldagem por resistência é muito alta (tipicamente, 5000 a 20.000 A). A duração t da corrente é curta na maioria dos processos, em torno de 0,1 a 0,4 segundos em operações de soldagem por pontos.



Soldagem Por Resistência

Fonte de Calor

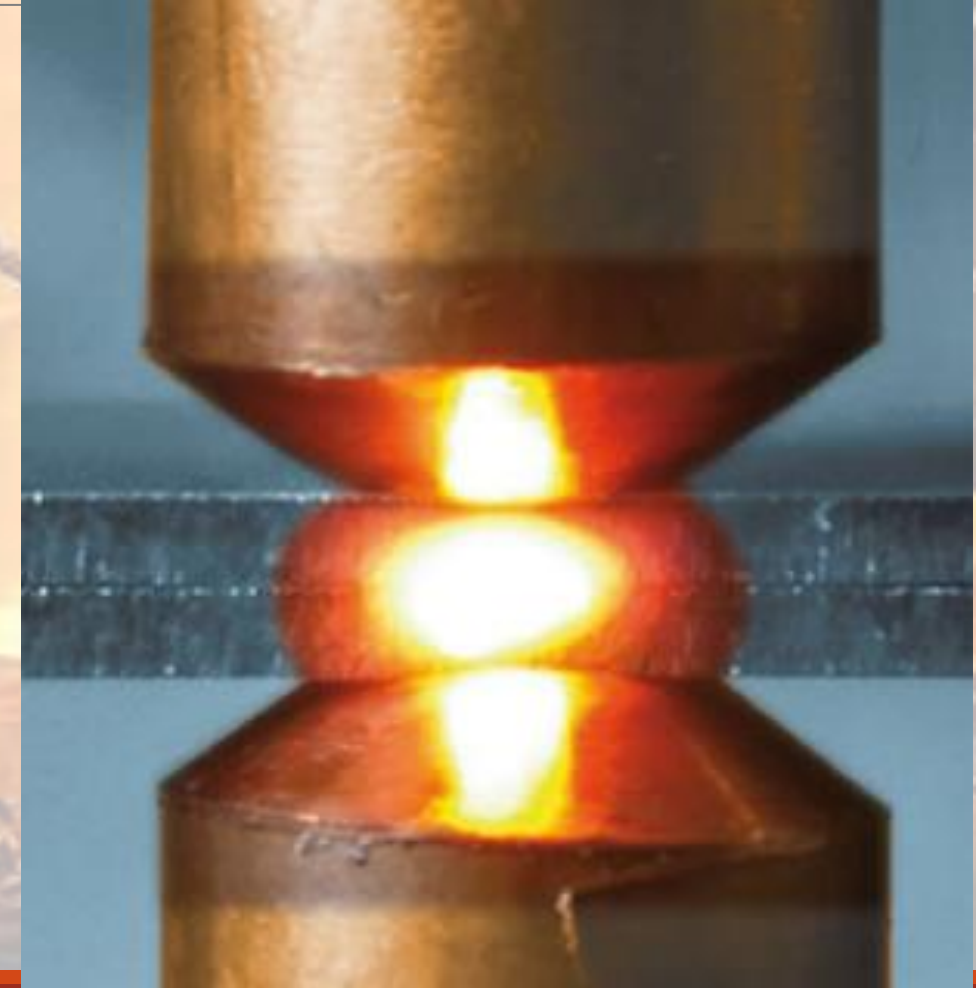
- O sucesso na soldagem por resistência depende da pressão, assim como do calor. As principais funções da pressão em processos RW são:
 - (1) forçar o contato entre os eletrodos e as peças de trabalho e entre as duas superfícies de trabalho em que a corrente é aplicada
 - (2) pressionar as superfícies de atrito em conjunto para realizar a coalescência quando a temperatura de soldagem adequada tenha sido atingida.



Soldagem Por Resistência

Fonte de Calor

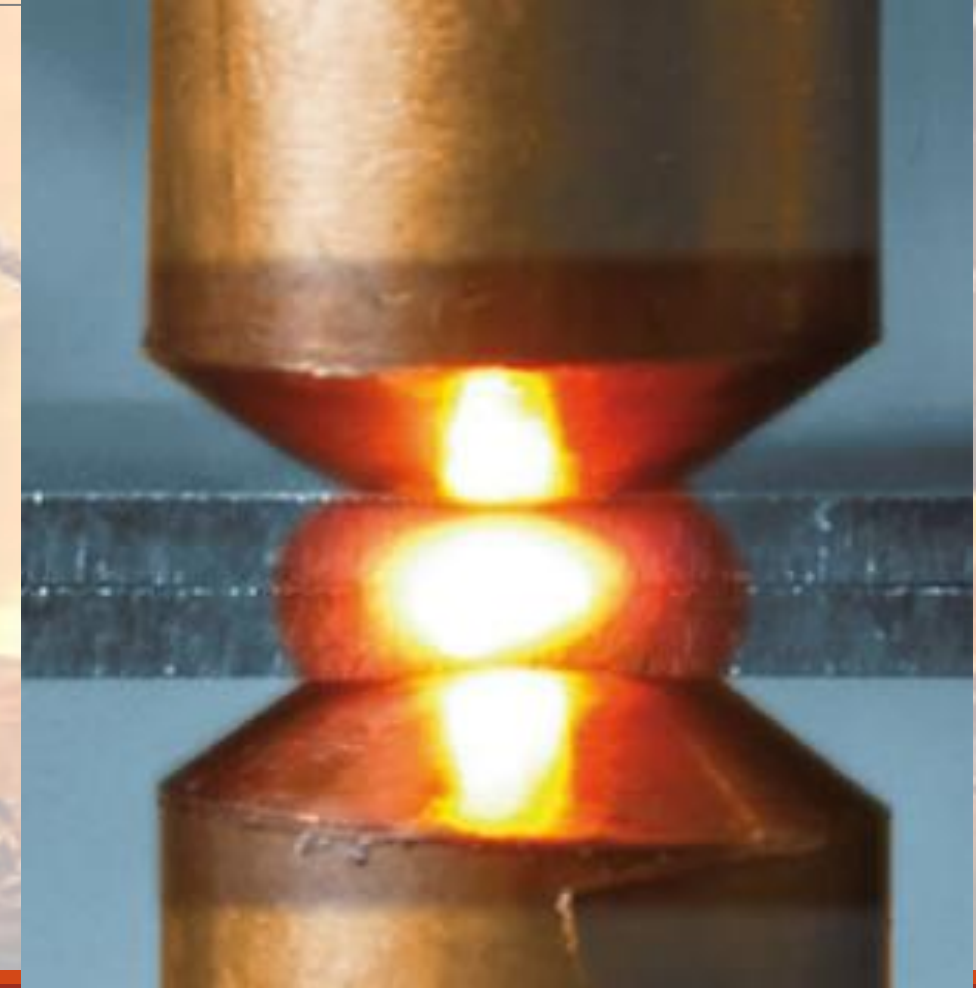
- As vantagens de soldagem por resistência incluem:
 - (1) não é necessário metal de adição;
 - (2) são possíveis taxas de produção elevadas;
 - (3) presta-se à mecanização e automação;
 - (4) o nível de habilidade do operador é menor que o requerido para soldagem a arco;
 - (5) boa reprodutibilidade e confiabilidade.



Soldagem Por Resistência

Fonte de Calor

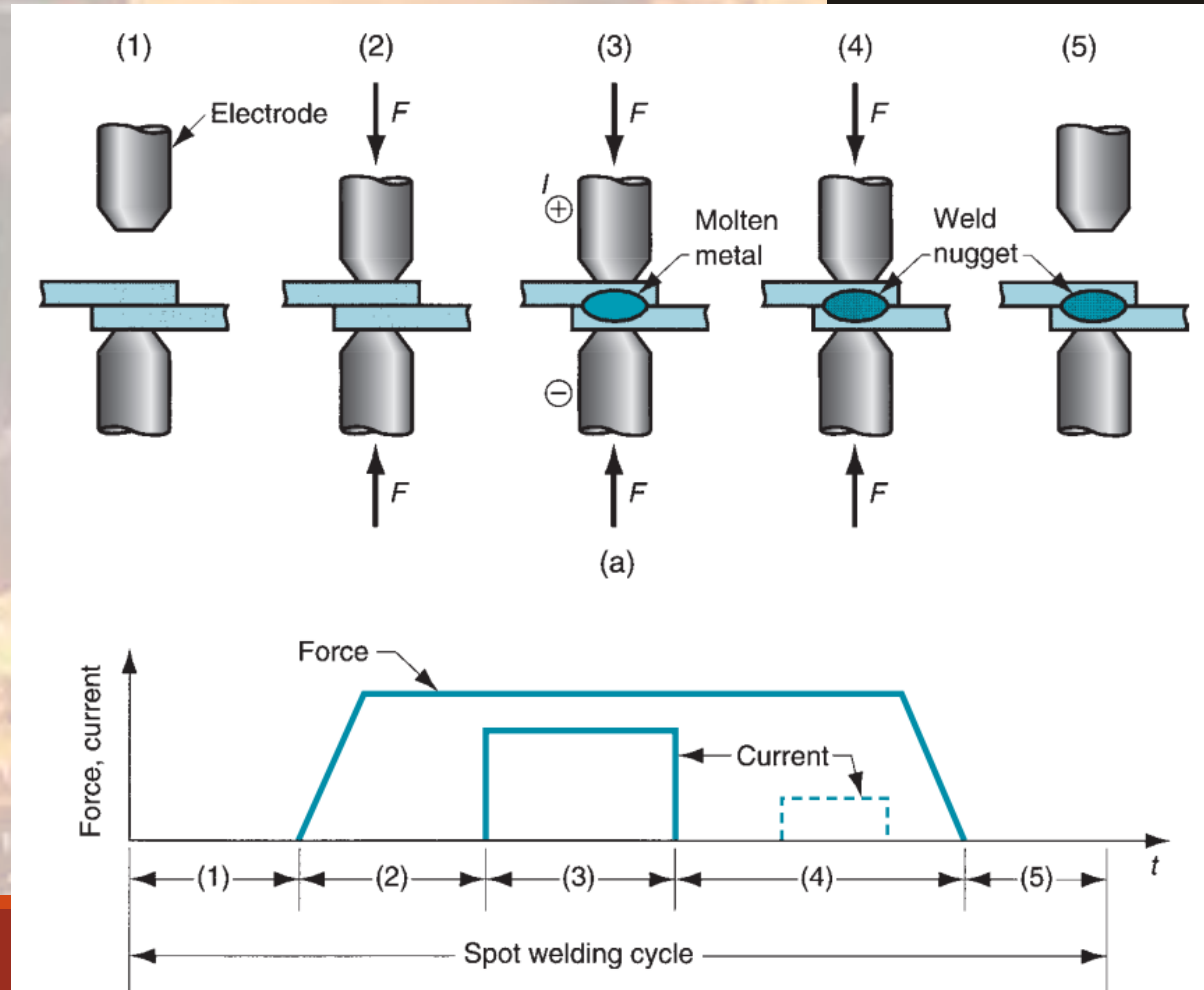
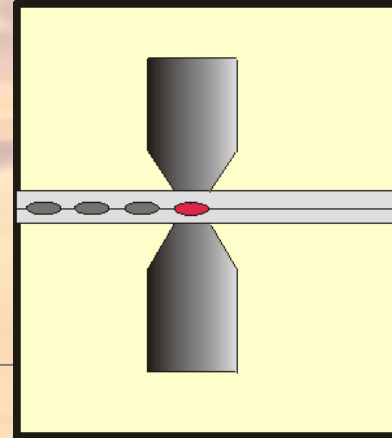
- As desvantagens são:
 - (1) custo do equipamento é geralmente muito mais alto que a maioria das operações de soldagem a arco;
 - (2) tipos de juntas que podem ser soldadas são limitadas a juntas sobrepostas e outros casos específicos.



Soldagem Por Resistência

Soldagem Por Pontos

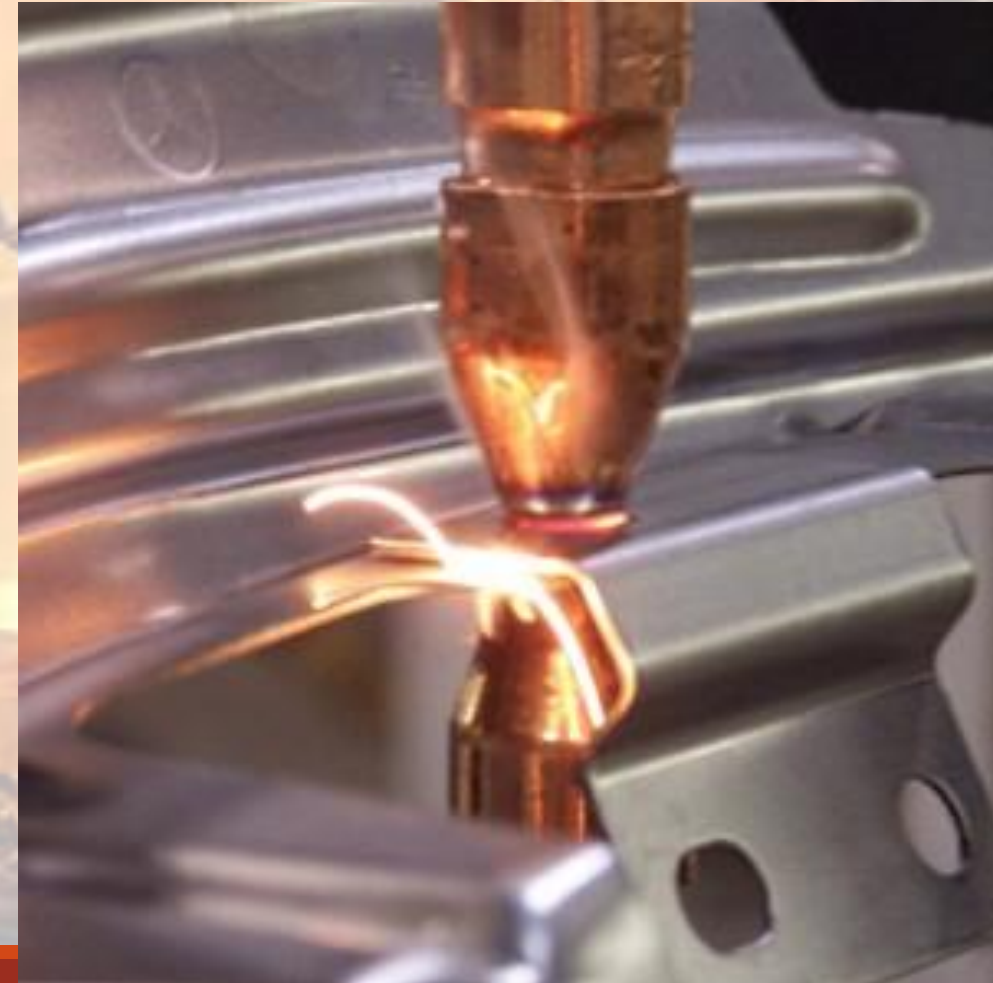
- A soldagem por pontos (resistance spot welding – RSW) é, de longe, o processo predominante neste grupo. É muito usado para produção em massa de automóveis, aparelhos eletrônicos, móveis metálicos e outros produtos feitos de chapa metálica.



Soldagem Por Resistência

Soldagem Por Pontos

- A soldagem por pontos (resistance spot welding – RSW) é, de longe, o processo predominante neste grupo. É muito usado para produção em massa de automóveis, aparelhos eletrônicos, móveis metálicos e outros produtos feitos de chapa metálica.
- O processo é usado para unir chapas metálicas de espessura de 3mm ou menos usado em série de soldas de ponto.



Soldagem Por Resistência

Soldagem Por Pontos

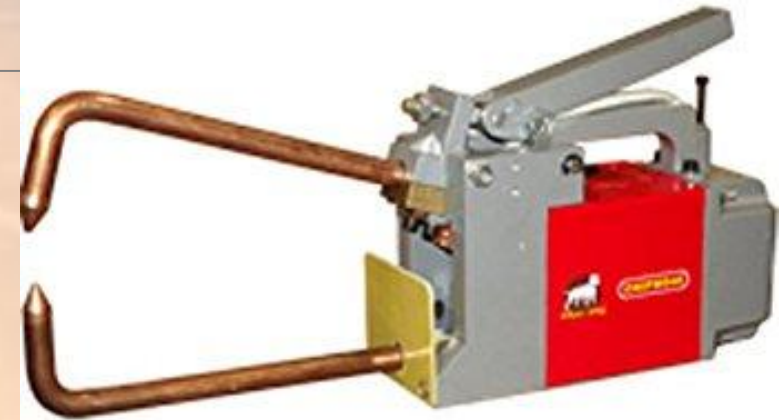
- A lente da solda resultante em geral tem diâmetro de 5mm a 10mm, com uma zona termicamente afetada se estendendo um pouco além da lente no metal base.
- Os materiais utilizados para os eletrodos do processo RSW consistem em dois grupos principais: (1) ligas à base de cobre e (2) composições de metais refratários, tais como ligas de tungstênio-cobre.
- O equipamento consiste em máquinas de soldagem por um braço oscilante, uma máquina de soldagem de pontos similar a uma prensa e uma pistola de soldagem de pontos portátil.



Soldagem Por Resistência

Soldagem Por Pontos

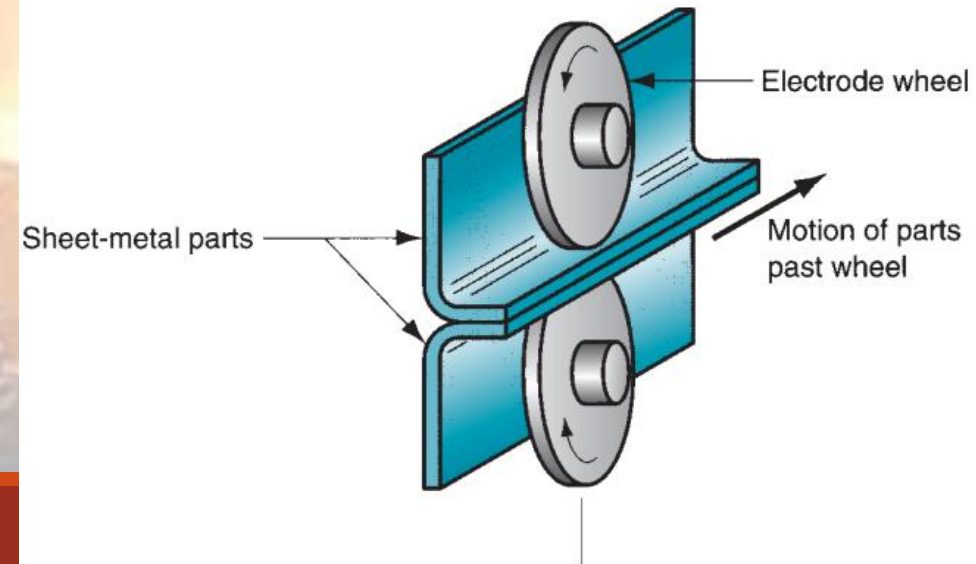
- Para trabalhos em larga escala e pesados é difícil mover e posicionar as peças em máquinas estacionárias.
- Para estes casos, as pistolas portáteis de soldagem por pontos estão disponíveis em vários tamanhos e configurações. Estes equipamentos consistem em eletrodos em posições opostas contendo mecanismo de pinça.
- Algumas dessas pistolas são operadas por pessoas, mas os robôs industriais tornaram-se a tecnologia preferida.



Soldagem Por Resistência

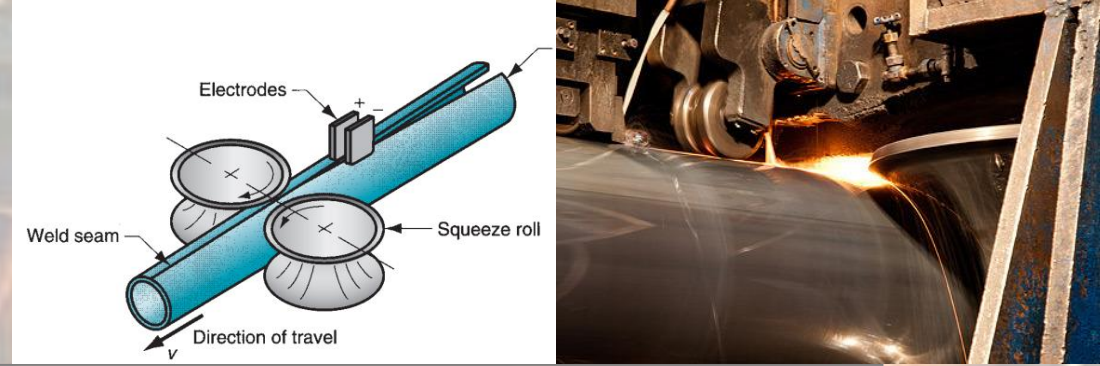
Soldagem Por Costura

- Na soldagem por costura (resistance seam welding RSEW), os eletrodos são substituídos por rodas e uma série de soldas por pontos sobrepostas são feitas ao longo da junta.
- O processo é capaz de produzir juntas herméticas, e suas aplicações industriais incluem a produção de tanques da gasolina, silenciadores de automóveis e vários outros, como contêineres de chapa metálica.

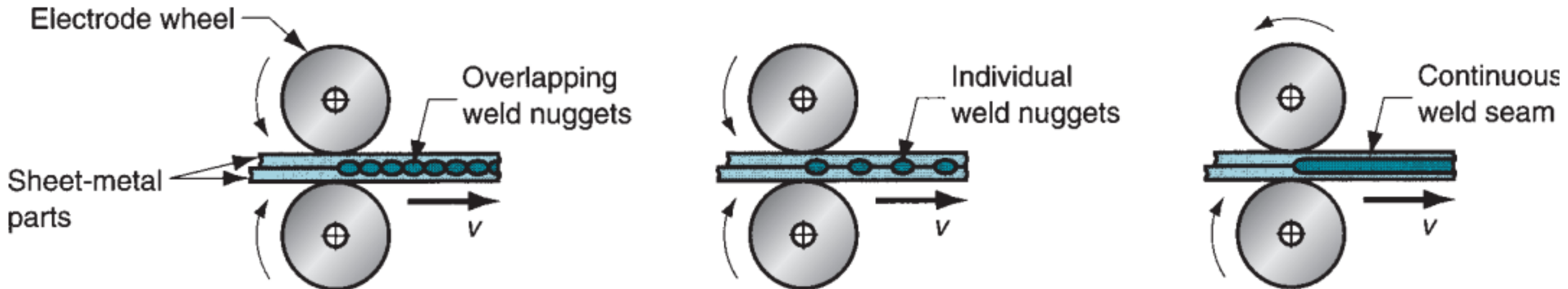


Soldagem Por Resistência

Soldagem Por Costura



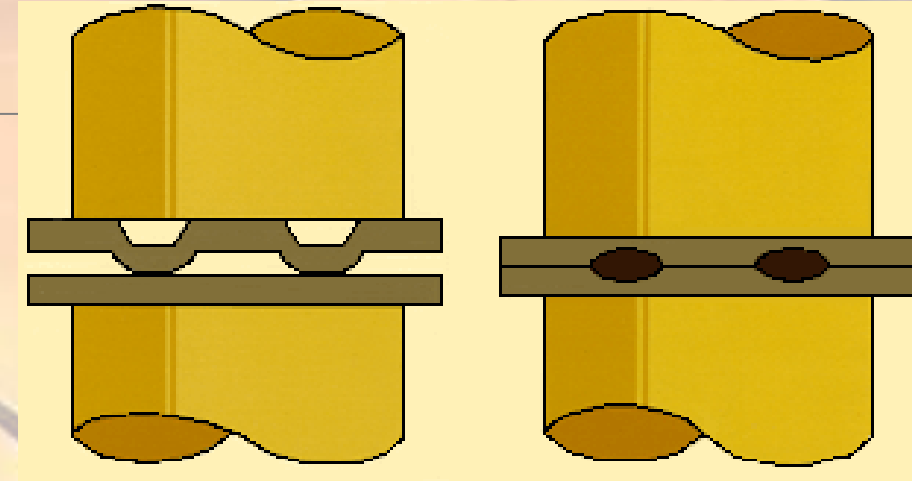
- O espaçamento entre as lentes da solda na soldagem por costura depende da movimentação dos eletrodos de rodas em relação à corrente de soldagem aplicada.
- No método de operação usual, chamado soldagem contínua, a roda é girada continuamente em velocidade constante, e a corrente é ativada em intervalos de tempo compatíveis com o espaçamento desejado entre as soldas por pontos ao longo da costura.
- A frequência de descargas de corrente é normalmente ajustada de modo que soldas por pontos sobrepostas sejam produzidas. Mas se a frequência é bastante reduzida, então haverá espaços entre as soldas por pontos, e este método é denominado soldagem por ponto (lente individual). Em outra variação, a corrente contínua de soldagem permanece em níveis constantes (em vez de ser pulsada) de modo que uma soldagem por costura é produzida.



Soldagem Por Resistência

Soldagem Por Projeção

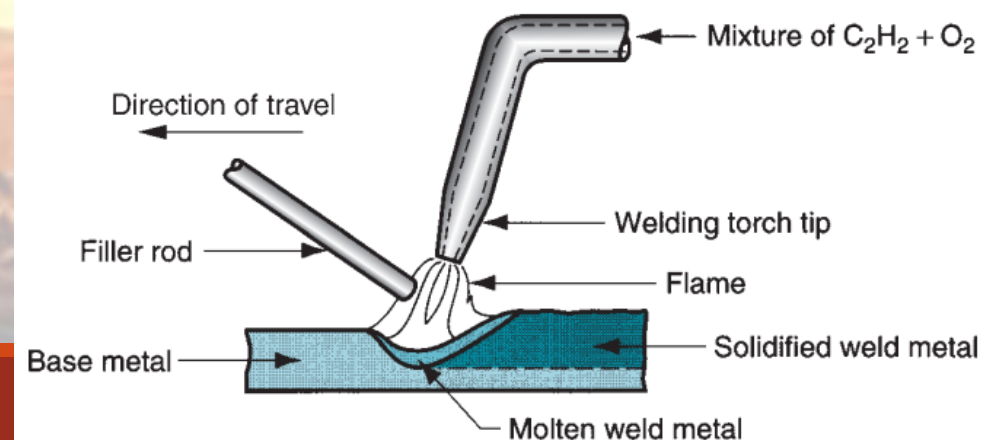
- A soldagem por projeção (resistance projection welding RPW) é um processo RW no qual o coalescimento ocorre em um ou mais pontos de contato nas peças. Estes pontos de contato são determinados pelo projeto das peças que serão unidas.
- Outra variação, chamada soldagem com arames cruzados, é usada para fabricar produtos de arames soldados, tais como arames para cercas, carrinhos de compras e grelhas de fogão. Neste processo, as superfícies de contato dos arames servem como projeções para concentrar a resistência de calor para soldagem.



Soldagem a Gás Oxicom bustível

Soldagem a Gás Oxiacetileno

- A soldagem oxiacetileno (oxyacetylene welding OAW) é um processo de soldagem por fusão, realizado por chama de temperatura elevada por meio da combustão de acetileno e oxigênio. A chama é direcionada por um maçarico.
- Quando um metal de adição é utilizado, ele é em geral usado na forma de varetas. A composição do metal de adição deve ser similar ao do metal de base. O metal de adição é normalmente revestido com um fluxo, que ajuda a limpar as superfícies e prevenir a oxidação, criando assim uma junta soldada de melhor qualidade.



Soldagem a Gás Oxicom bustível

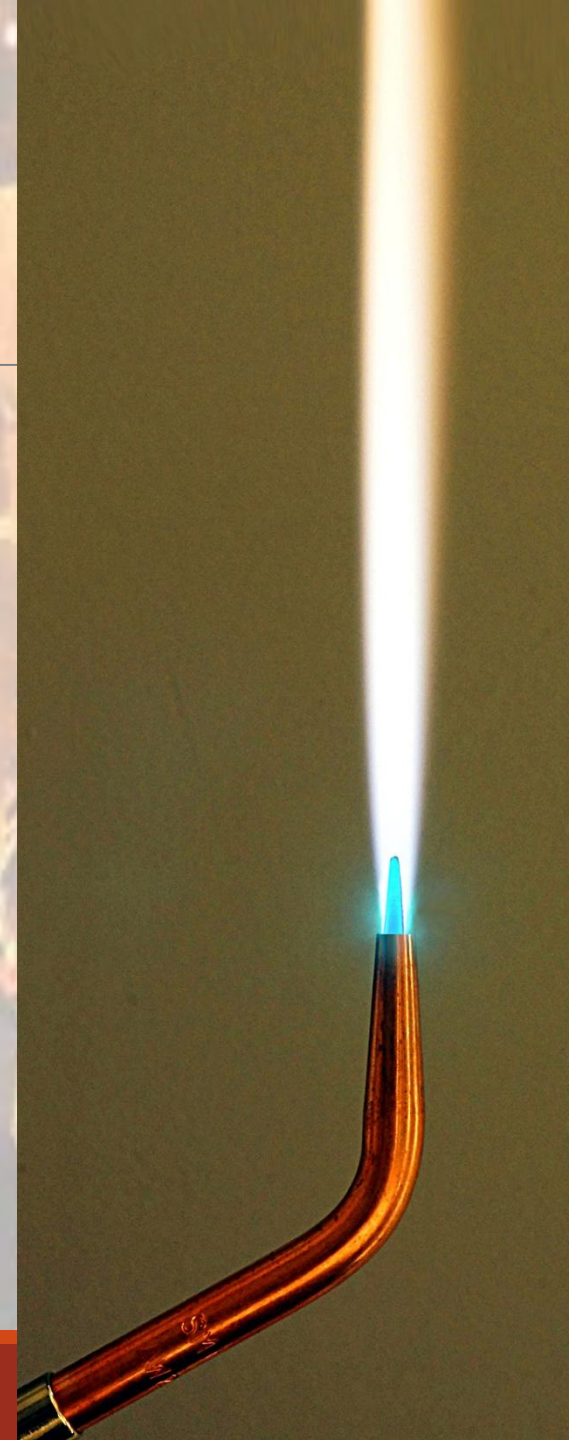
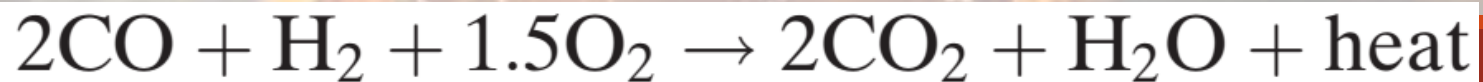
Soldagem a Gás Oxiacetileno

◦ O acetileno (C_2H_2) é o combustível mais popular entre os processos OFW porque é capaz de alcançar temperaturas acima de $3480^\circ C$. Em processo OAW, a chama é produzida pela reação química de acetileno e oxigênio em duas reações.

◦ A primeira reação, ou reação primária, é definida pela reação:



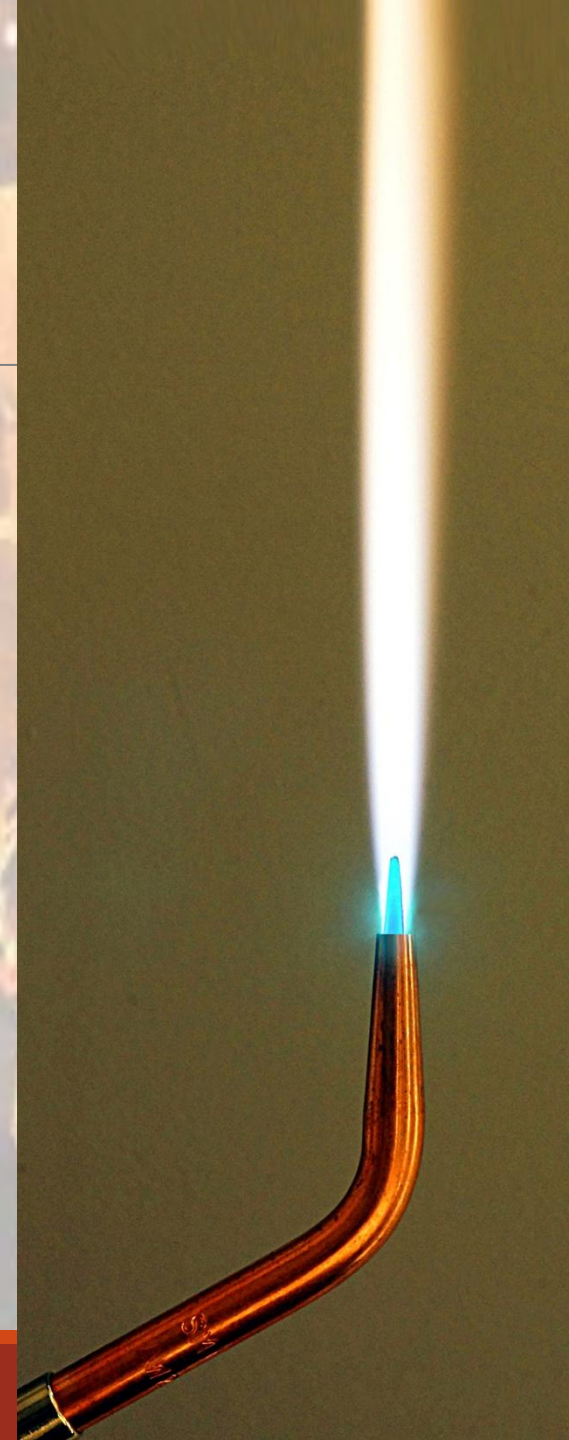
◦ Ambos os produtos são combustíveis, que levam à segunda reação, ou reação secundária:



Soldagem a Gás Oxicom bustível

Soldagem a Gás Oxia cetileno

- As duas reações de combustão são visíveis na chama de oxiacetileno. Quando a mistura de acetileno e oxigênio está na proporção de 1:1, como descrito na reação química, resulta em chama neutra.
- A reação primária é vista como um cone interno da chama (que é um branco brilhante), enquanto a reação secundária é exibida pelo envoltório externo (que é quase incolor, mas com tons variando do azul ao laranja)
- Durante a soldagem, envoltório externo se expande e cobre as superfícies de trabalho que serão unidas, protegendo-as assim da atmosfera circundante.



Soldagem a Gás Oxicom bustível

Gases Alternativos

- Vários OFW são baseados em outros gases que não o acetileno.
- Embora o oxiacetileno seja o combustível mais comum do processo OFW, cada um dos gases pode ser aplicado em determinadas aplicações, normalmente limitada à soldagem de chapas metálicas e metais com baixa temperatura de fusão e brasagem.

TABLE 30.2 Gases used in oxyfuel welding and/or cutting, with flame temperatures and heats of combustion.

Fuel	Temperature ^a		Heat of Combustion	
	°C	°F	MJ/m ³	Btu/ft ³
Acetylene (C ₂ H ₂)	3087	5589	54.8	1470
MAPP ^b (C ₃ H ₄)	2927	5301	91.7	2460
Hydrogen (H ₂)	2660	4820	12.1	325
Propylene ^c (C ₃ H ₆)	2900	5250	89.4	2400
Propane (C ₃ H ₈)	2526	4579	93.1	2498
Natural gas ^d	2538	4600	37.3	1000

Soldagem no Estado Sólido

- Na maioria dos processos no estado sólido, a ligação metalúrgica é criada com pouca ou nenhuma fusão do metal de base.
- Para a ligação metalúrgica de metais similares ou dissimilares, os dois metais devem estar em contato, de modo que suas forças atômicas de atração coesivas atuem entre si. Em contato físico normal entre duas superfícies, o contato completo não é possível pela presença de filmes químicos, gases, óleos, e assim por diante.

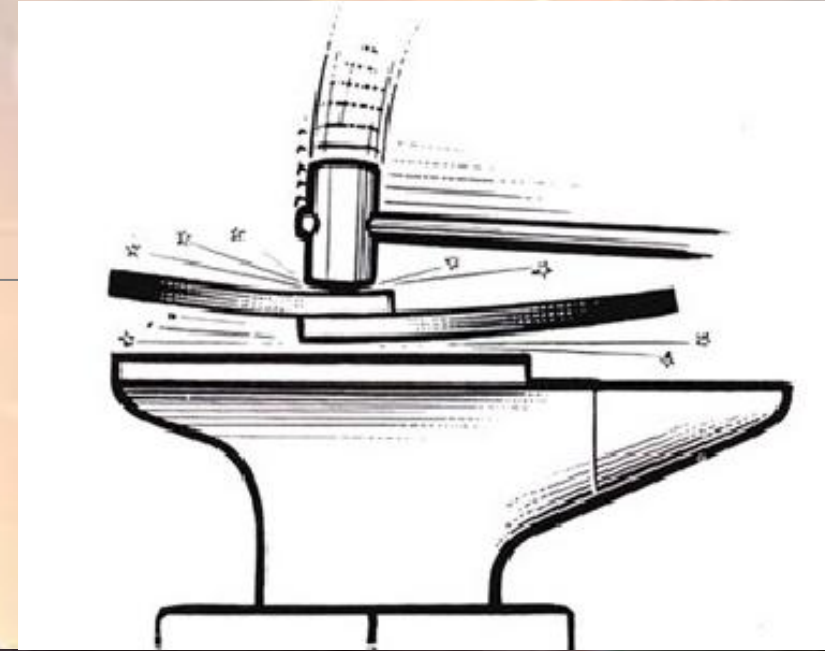
Soldagem no Estado Sólido

- Em soldagem no estado sólido, os filmes e outros contaminantes devem ser removidos por meios que permitam realizar a ligação metalúrgica.
- Os processos de soldagem que não envolvem fusão tem muitas vantagens sobre os processos de soldagem por fusão. Se não ocorre a fusão, então não existe zona termicamente afetada e o metal em torno da junta preserva suas propriedades.

Soldagem no Estado Sólido

Soldagem por Forjamento

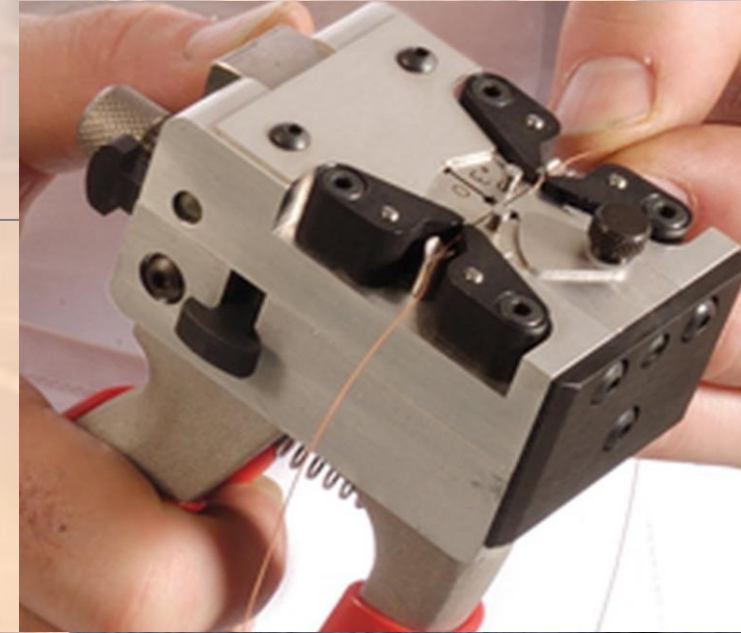
- A soldagem por forjamento é o processo de soldagem no qual os componentes que serão unidos são aquecidos em temperaturas de trabalho a quente e, em seguida, são forjados juntos por um martelo ou outros meios.
- O processo pode ser de interesse histórico entretanto, ele tem atualmente importância comercial menor, exceto por suas variações: soldagem por forjamento a frio e soldagem por laminação.



Soldagem no Estado Sólido

Soldagem por Forjamento a Frio

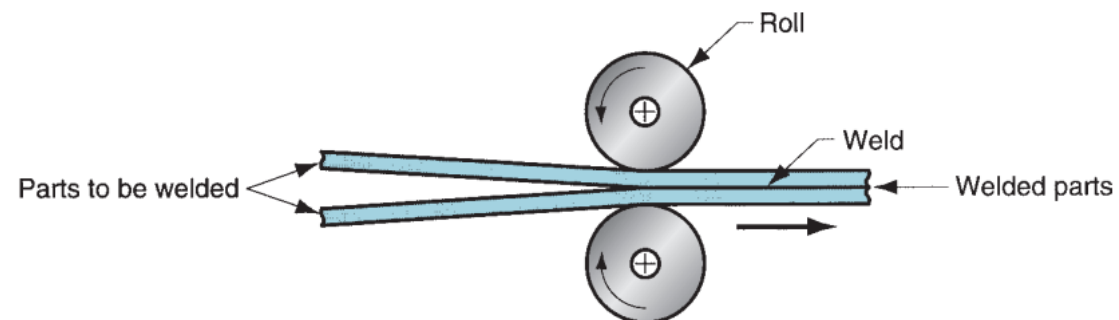
- A soldagem por forjamento a frio (cold welding - CW) é um processo de soldagem no estado sólido realizado pela aplicação de pressão elevada entre superfícies de contato limpas, em temperatura ambiente.
- As superfícies de atrito precisam ser excepcionalmente limpas para o processo ser realizado, e a limpeza é em geral feita pelo desengorduramento e escovação de imediato antes de unir.
- Também, pelo menos um dos metais a serem soldados, e de preferência ambos, deve ser muito dúctil e livre de encruamento. Metais como o alumínio macio e o cobre podem ser soldados a frio com facilidade.



Soldagem no Estado Sólido

Soldagem por Laminação

- A soldagem por laminação (roll welding – ROW) é um processo de soldagem no estado sólido, no qual a pressão suficiente para provocar o coalescimento é aplicada por meio de rolos, com ou sem aplicação externa de calor.
- As aplicações de soldagem por laminação incluem o revestimento de aço doce ou baixa liga, com aço inoxidável para resistência à corrosão, preparação de tiras bi metálicas para medir temperatura e produção de moedas do tipo “sanduiche”.



Soldagem no Estado Sólido

Soldagem por Difusão

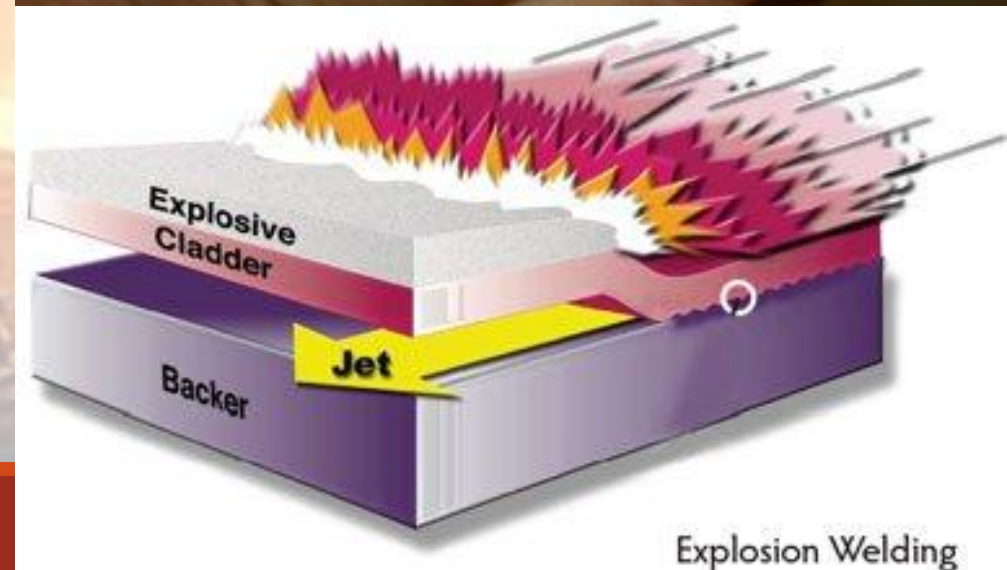
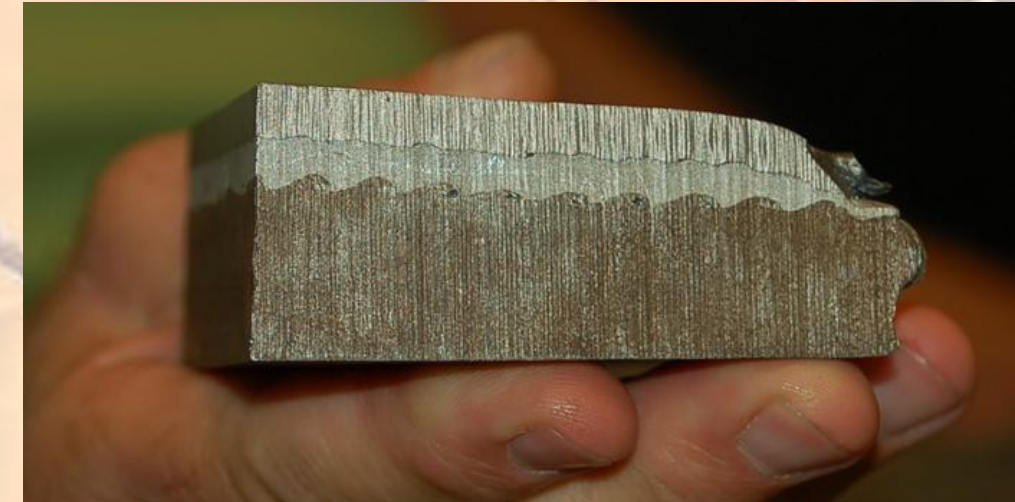
- A soldagem por difusão (Diffusion Welding DFW) é uma soldagem no estado sólido resultante da aplicação de calor e pressão, geralmente em atmosfera controlada, com um tempo suficiente para permitir que ocorra difusão e coalescimento.
- O principal mecanismo de coalescimento é a difusão no estado sólido, que envolve a migração de átomos através das interfaces entre as superfícies de contato. As aplicações do processo DFW incluem a união de elevada resistência e metais refratários nas indústrias aeroespacial e nuclear.
- O tempo para a difusão ocorrer entre as superfícies de atrito pode ser significativo exigindo mais que horas em algumas aplicações.



Soldagem no Estado Sólido

Soldagem por Explosão

- A soldagem por explosão (explosion welding EXW) ou cladeamento é um processo de soldagem no estado sólido, em que um coalescimento rápido de duas superfícies metálicas é gerado pela energia da detonação de um explosivo.
- Ele é normalmente usado para unir dois metais dissimilares, em particular para revestir a parte superior de um metal base, sobre áreas extensas. As aplicações incluem a produção de chapas resistentes à corrosão e placas para equipamentos de estocagem nas indústrias petrolífera e química.

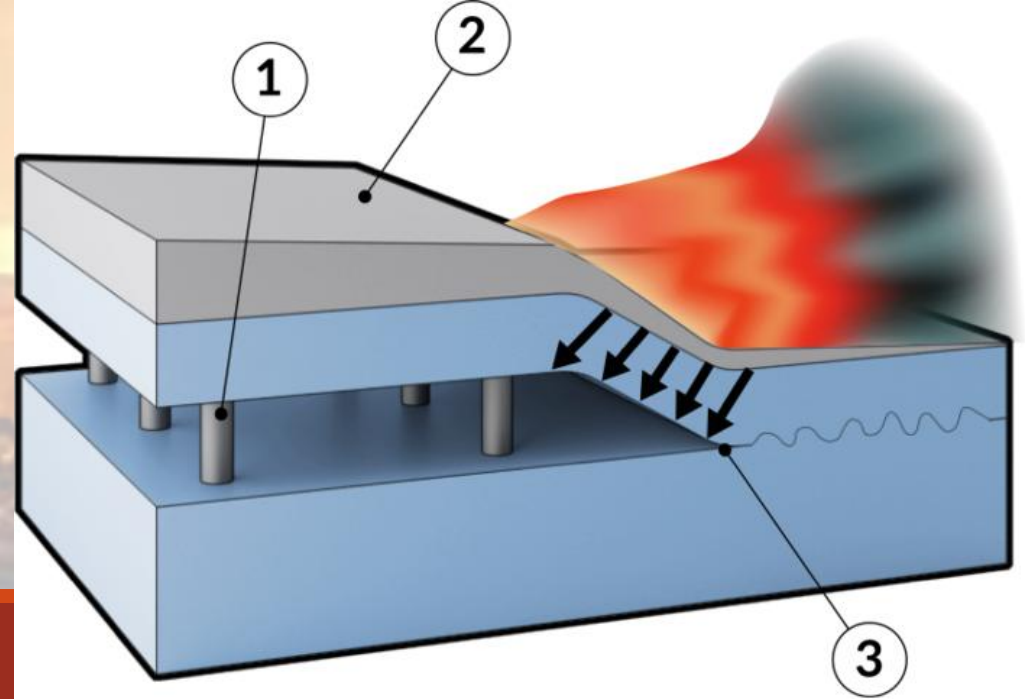


Explosion Welding

Soldagem no Estado Sólido

Soldagem por Explosão

- Um amortecedor (borracha ou plástico) é normalmente usado entre o explosivo e a placa de revestimento para proteger sua superfície.
- As variações na velocidade de colisão (8500m/s) e no ângulo de impacto durante processo podem ocasionar uma interface ondulada entre os dois metais. Este tipo de interface reforça a ligação porque aumenta a área de contato, levando interação mecânica entre as duas superfícies.



Soldagem no Estado Sólido

Soldagem por Fricção

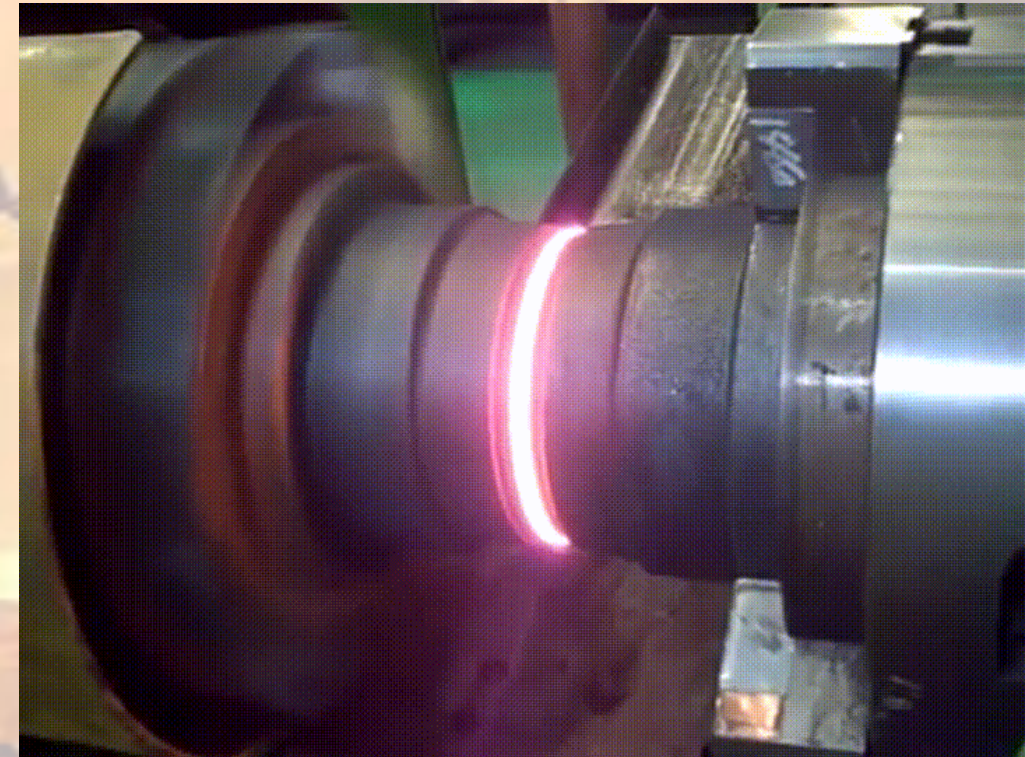
- A soldagem por fricção é um processo comercial largamente usado, propício a métodos automatizados de produção.
- A soldagem por fricção (friction welding FR) é um processo de soldagem no estado sólido, no qual a coalescência é alcançada pelo calor gerado pela fricção combinada com pressão.
- A fricção é induzida pelo atrito mecânico entre as duas superfícies, geralmente pela rotação de uma parte em relação à outra, para aumentar a temperatura na interface da junta e alcançar o intervalo de trabalho a quente dos metais envolvidos. Em seguida, as peças são movimentadas uma de encontro outra com força suficiente para formar uma ligação metalúrgica.



Soldagem no Estado Sólido

Soldagem por Fricção

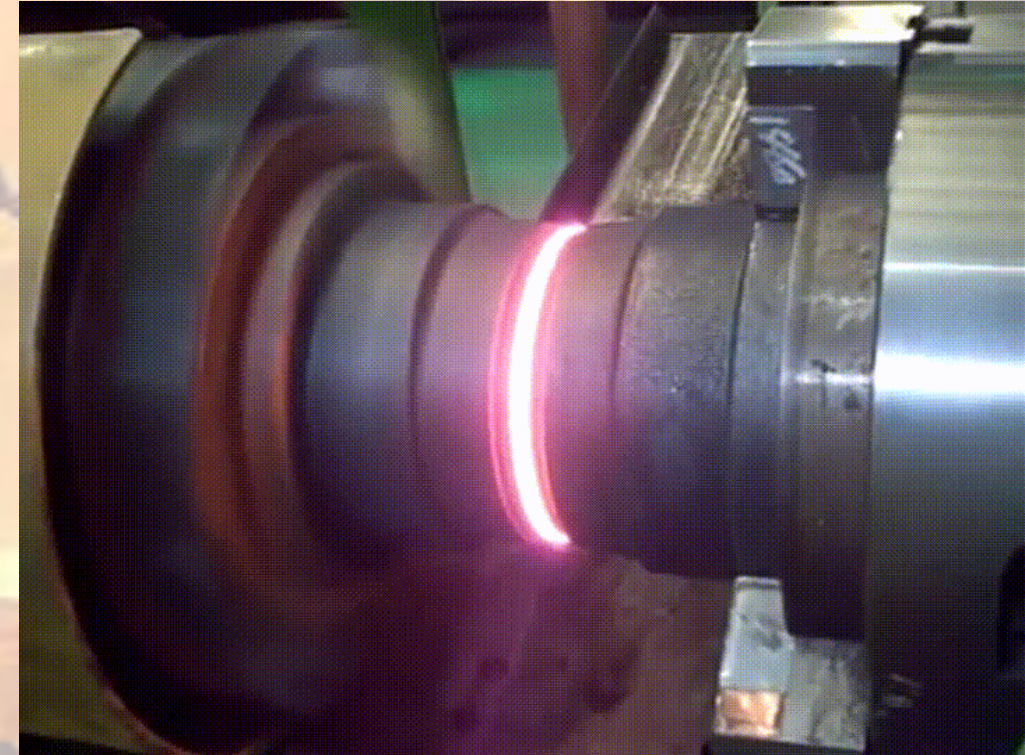
- Existem dois sistemas de movimentação principais, diferenciando os dois tipos de processo FRW:
 - (1) Soldagem por fricção por arraste contínuo: a peça é conduzida a uma velocidade rotacional constante e pressionada para ter contato com a peça estacionária, a certo nível de força, que gera calor de atrito na interface. Quando a temperatura de trabalho a quente é alcançado um travamento é aplicado para parar a rotação de forma abrupta, e, simultaneamente, as pesas são forçadas em conjunto por pressões de forjamento.



Soldagem no Estado Sólido

Soldagem por Fricção

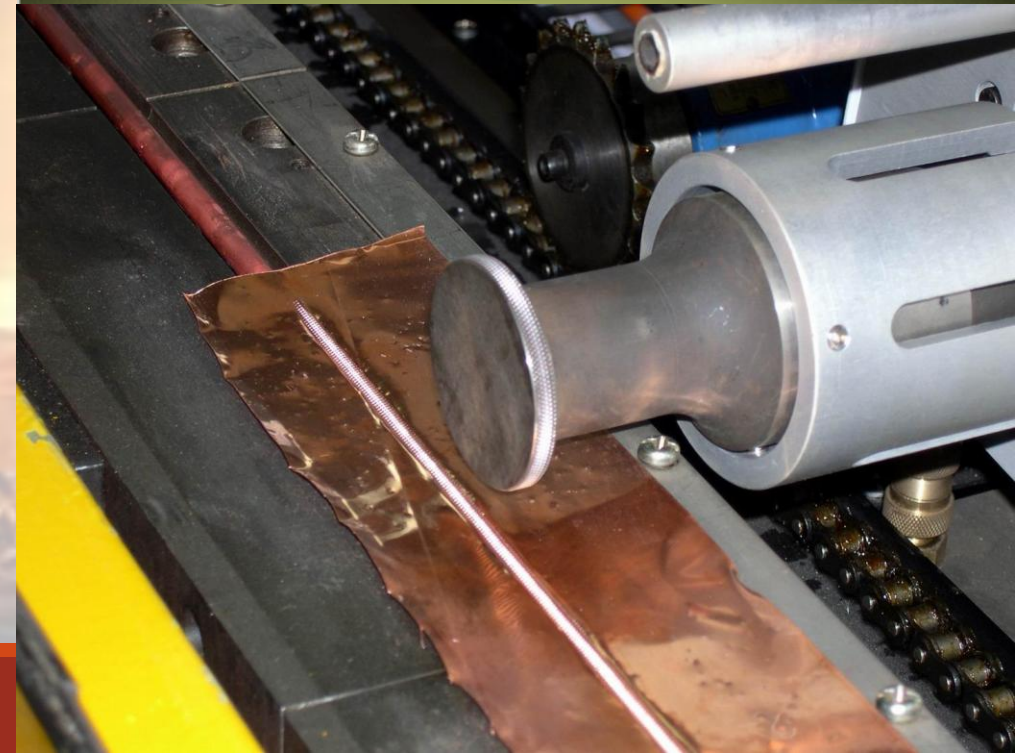
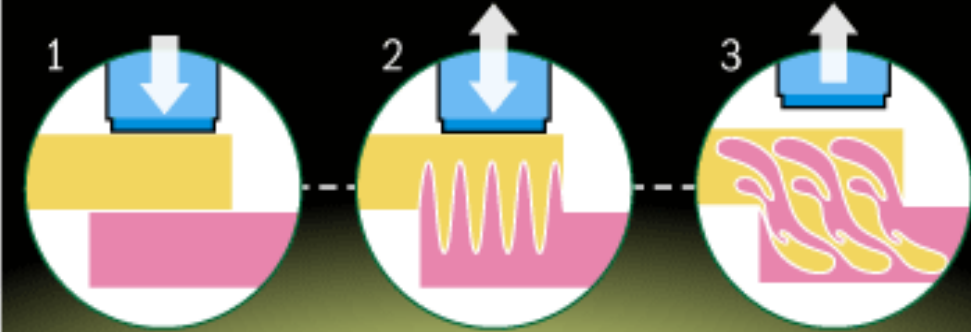
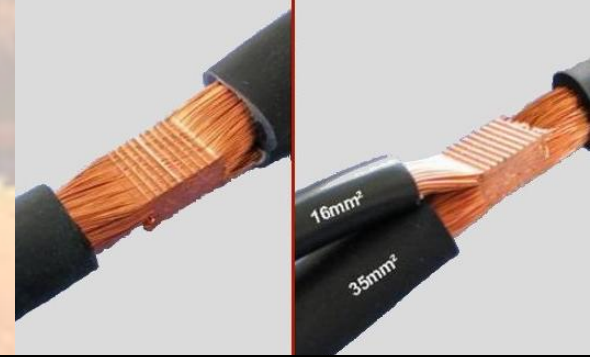
- Existem dois sistemas de movimentação principais, diferenciando os dois tipos de processo FRW:
 - (2) Soldagem por fricção inercial: a peça girando é conectada a um volante, que tem velocidade predeterminada. Em seguida, o volante é desacoplado do motor, e as partes são pressionadas em conjunto. A energia cinética armazenada no volante é dissipada na forma de calor de atrito para gerar a coalescência nas superfícies.
- Ele é aplicado em vários tipos de eixos e peças tubulares, indústrias tais como automotiva, aeronaves, equipamentos agrícolas, petróleo e gás natural.



Soldagem no Estado Sólido

Soldagem por Ultrassom

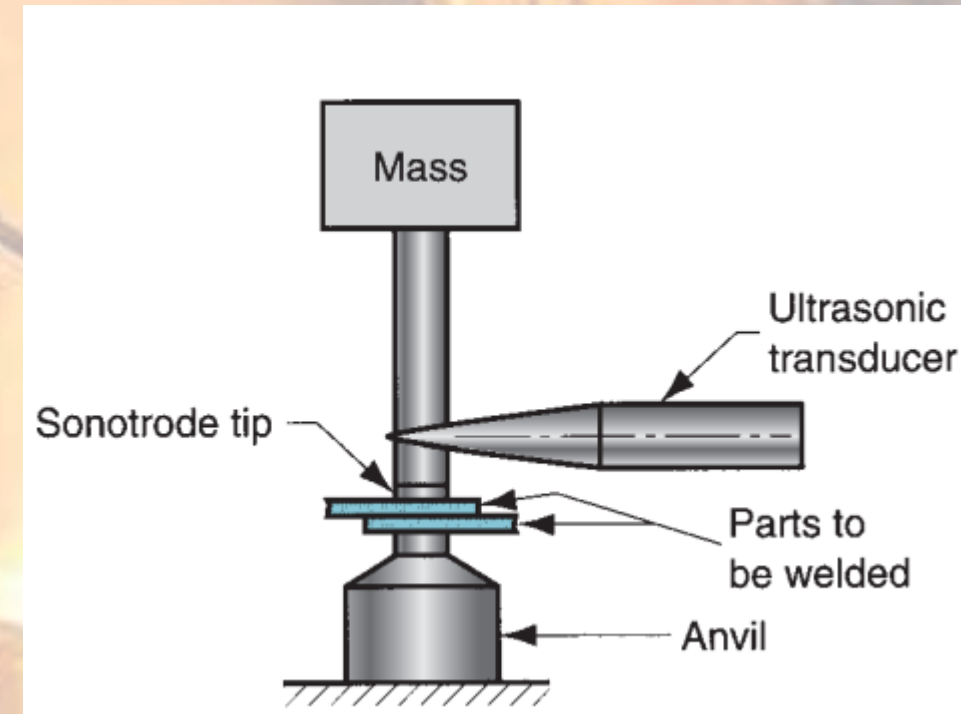
- A soldagem por Ultrassom (ultrasonic welding USW) é um processo de soldagem no estado sólido, no qual dois componentes são mantidos unidos sobre pressão de aperto modesta e tensões de cisalhamento oscilatórias de frequência ultrassônica são aplicadas para provocar o coalescimento.
- O movimento vibratório entre as duas peças rompe quaisquer filmes na superfície para permitir contato e forte ligação metalúrgica entre as superfícies.



Soldagem no Estado Sólido

Soldagem por Ultrassom

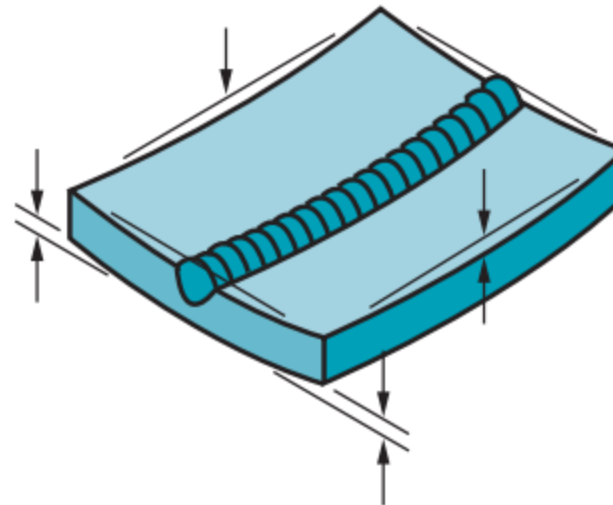
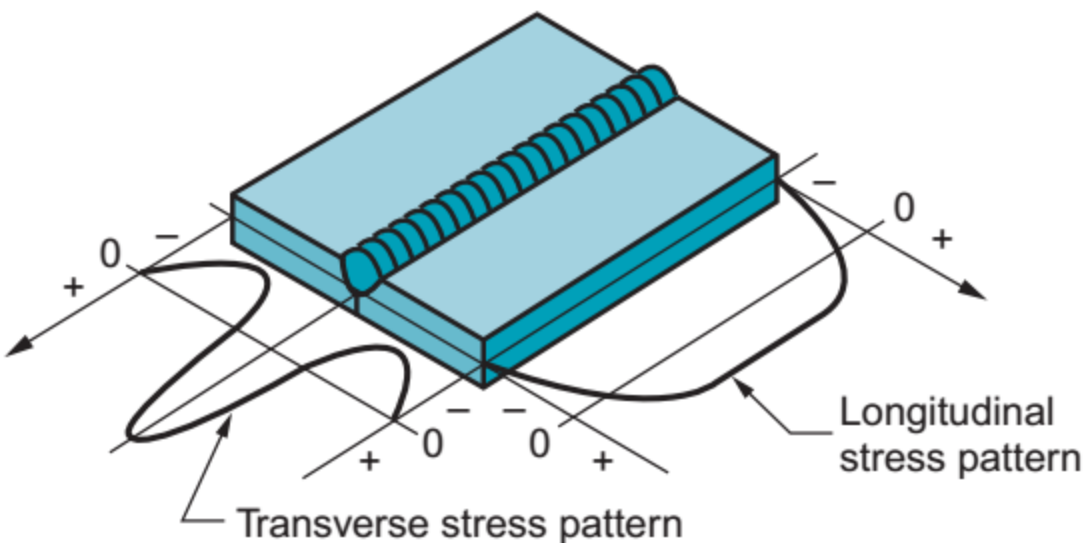
- O movimento oscilatório é transmitido para a peça de trabalho superior por meio de um sonotrodo, que é acoplado a um transdutor ultrassônico. Este dispositivo converte energia elétrica em movimento vibratório de alta frequência. As frequências usadas nos processos USW normalmente estão entre 15 e 75 kHz com amplitudes de 0,018 a 0,13 mm.
- As operações do processo USW são em geral limitadas a juntas sobrepostas em materiais macios, como o alumínio e cobre.



Qualidade da Solda

Tensões Residuais e Distorção

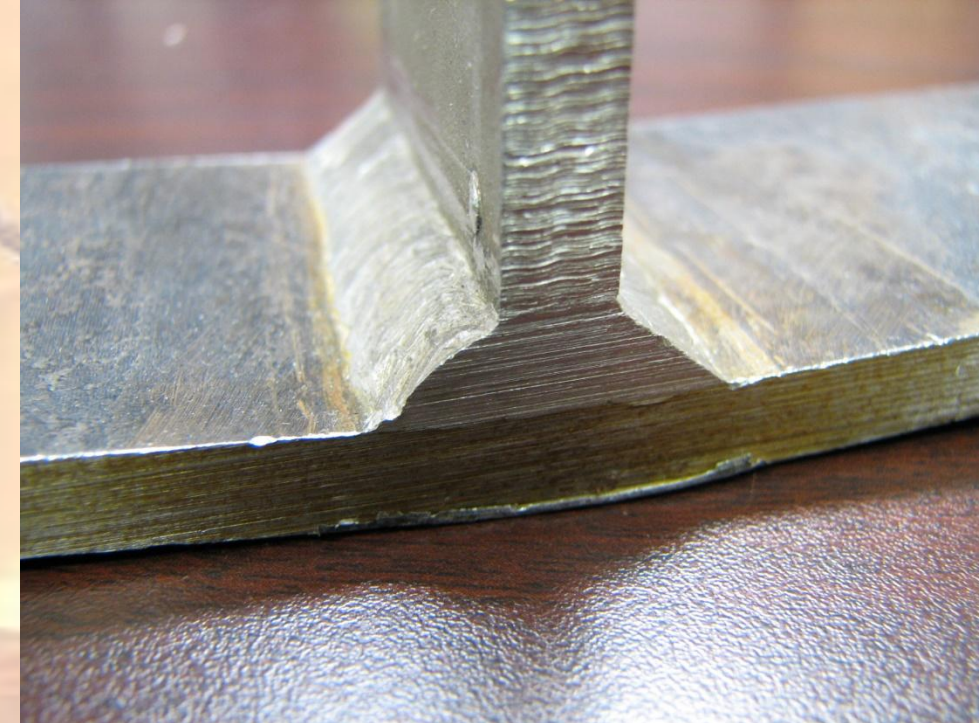
- O aquecimento e o resfriamento rápidos em regiões localizadas da peça de trabalho durante a soldagem por fusão, especialmente na soldagem a arco, resultam em expansão térmica e contração, que originam tensões residuais em conjuntos de peças soldadas. Estas tensões, por sua vez, podem causar distorção e empenamento do conjunto soldado.



Qualidade da Solda

Tensões Residuais e Distorção

- O que ocorre na soldagem é complexo porque:
 - (1) o aquecimento é muito localizado;
 - (2) a fusão dos metais base ocorre de forma localizada nestas regiões;
 - (3) há movimentação da região sob aquecimento e fusão.



Qualidade da Solda

Tensões Residuais e Distorção

- A tensão residual induzida termicamente e a distorção que a acompanha são problemas potenciais em quase todos os processos de soldagem por fusão e em certos processos de soldagem no estado sólido, no qual ocorra aquecimento significativo.
- A seguir são apresentadas algumas das técnicas para minimizar o empenamento do conjunto de peças soldadas:
 - (1) Fixadores de soldagem podem ser usados para restringir fisicamente o movimento das peças durante a soldagem.
 - (2) Dissipadores de calor podem ser usados para remover rápido o calor a partir das seções das peças soldadas para reduzir a distorção.
 - (3) Soldagem de ponteamento de vários pontos ao longo da junta pode criar uma estrutura rígida antes da soldagem de costura contínua.



Qualidade da Solda

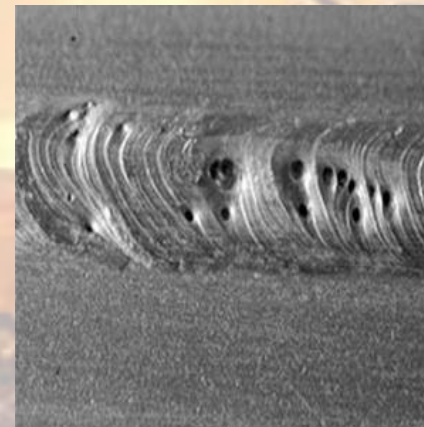
Tensões Residuais e Distorção

- A seguir são apresentadas algumas das técnicas para minimizar o empenamento do conjunto de peças soldadas:
 - (4) Condições de soldagem: velocidade, quantidade de metal de adição usado etc.
 - (5) Peças de base podem ser preaquecidas para reduzir o nível de tensões térmicas experimentadas pelas peças.
 - (6) Tratamento térmico de alívio de tensão pode ser realizado no conjunto soldado.
 - (7) Um projeto adequado do conjunto de peças soldadas pode, por si só, reduzir o grau de empenamento.

Qualidade da Solda

Defeitos em Soldagem

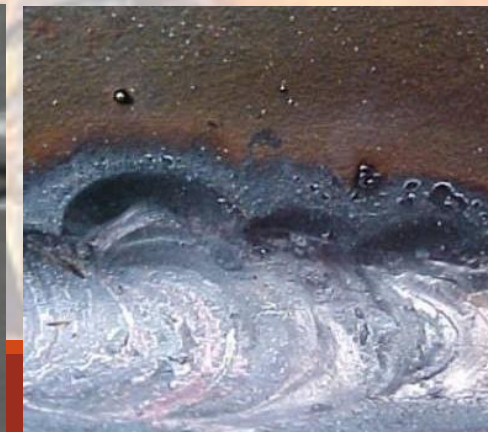
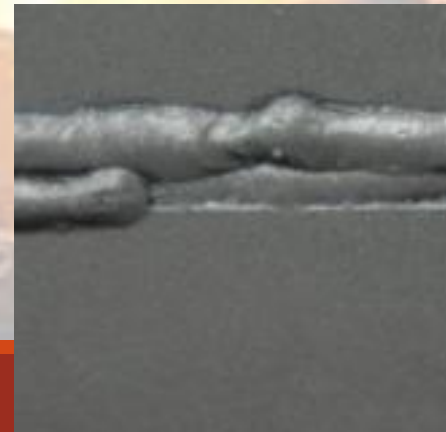
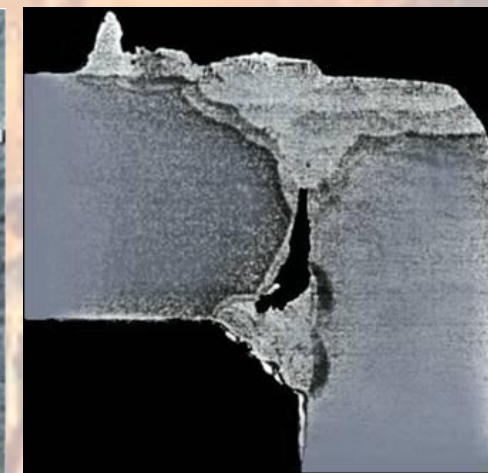
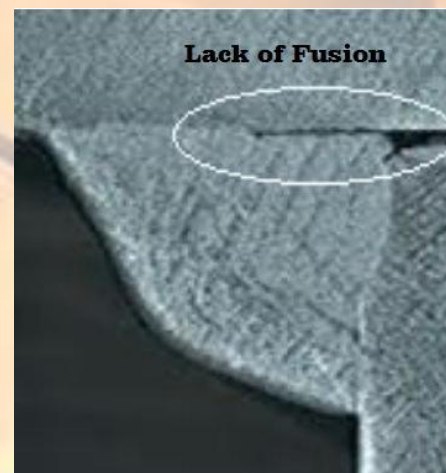
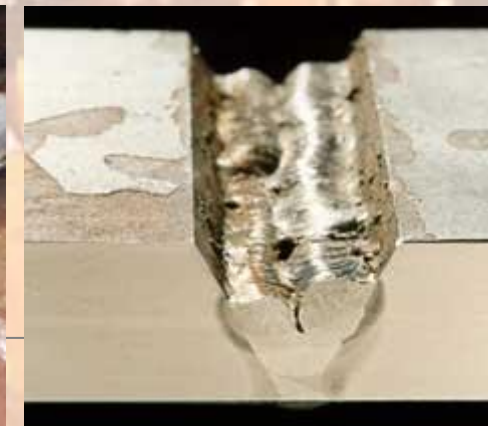
- Trincas: As trincas de soldagem podem ser originadas da fragilização ou baixa ductilidade da solda e/ou o metal base, combinado com a restrição elevada durante a contração.
- Vazios ou cavidades: A porosidade consiste em pequenos vazios no metal de solda, formados por gases retidos durante a solidificação. Os vazios de contração são cavidades formadas pela contração durante a solidificação.



Qualidade da Solda

Defeitos em Soldagem

- **Inclusões sólidas:** Estes são materiais sólidos não metálicos aprisionados no interior do metal de solda. A forma mais comum é a de inclusões de escoria geradas durante os processos de soldagem a arco e que utilizam fluxo.
- **Fusão incompleta:** Também conhecido como falta de fusão, este defeito é simplesmente um cordão de solda no qual a fusão não ocorreu ao longo de toda a seção transversal da junta.
- **Forma imperfeita ou contorno inaceitável:** A solda precisa ter certo perfil desejável para obter resistência máxima.



Qualidade da Solda

Inspeção e Métodos de Ensaio

- As inspeções e procedimentos podem ser divididos em três categorias:
 - (1) visual;
 - (2) não destrutivos;
 - (3) destrutivos.

Qualidade da Solda

Inspeção e Métodos de Ensaio

- Inspeção visual é sem dúvidas o método de inspeção mais amplamente usado. Um inspetor examina visualmente o conjunto de peças soldadas em relação as conformidades com as especificações dimensionais dos desenhos da peça, empenamento, trincas, cavidades, fusão incompleta e outros defeitos visíveis.



Qualidade da Solda

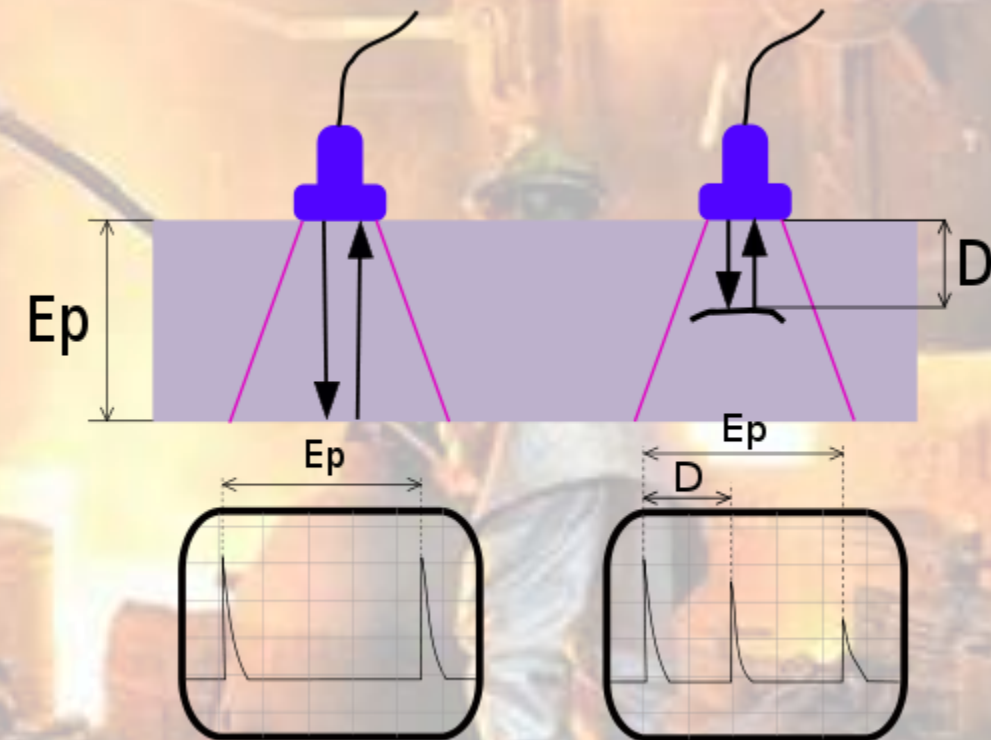
Inspeção e Métodos de Ensaio

- Ensaios não destrutivos (END) incluem vários métodos que não danificam as amostras a serem inspecionadas.
- Ensaios por líquido penetrante são métodos para detectar defeitos pequenos, tais como trincas e cavidades que se propagam na superfície.
- O ensaio de partícula magnética é limitado para materiais ferro magnéticos. Um campo magnético é aplicado na peça e partículas magnéticas (por exemplo, limalha de aço) são espalhadas na superfície. Os defeitos abaixo da superfície, tais como trincas e inclusões, revelam-se pela distorção do campo magnético, fazendo com que as partículas se concentrem em certas regiões na superfície.



Qualidade da Solda Inspeção e Métodos de Ensaio

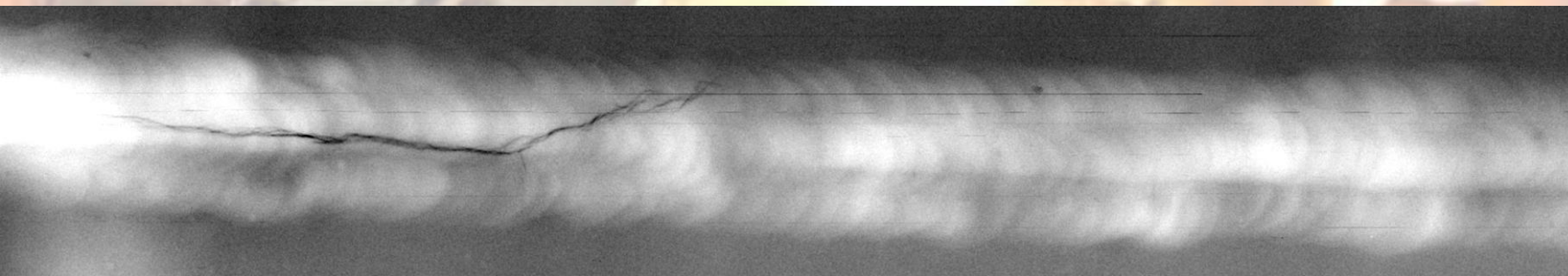
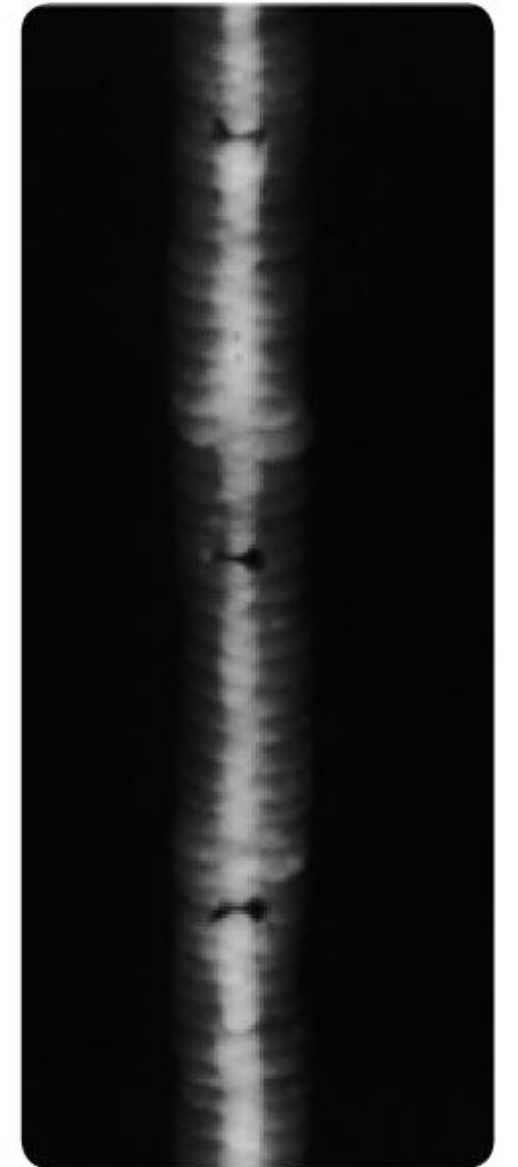
- Ensaio de ultrasom envolve ondas sonoras de alta frequência (>20 KHz) direcionadas através das amostras. As discontinuidades (por exemplo, trincas, inclusões, porosidade) são detectadas pelas perdas de transmissão de som.



Qualidade da Solda

Inspeção e Métodos de Ensaio

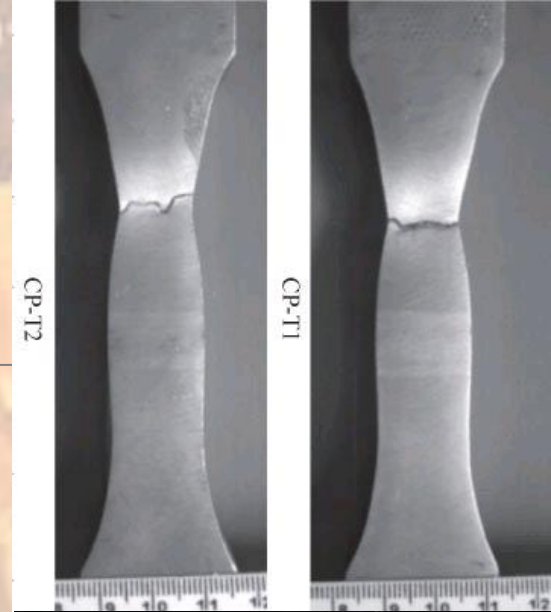
- O ensaio radiográfico usa raios X ou radiação gama para detectar falhas internas no metal de solda. Ele fornece o registro de quaisquer defeitos em filme fotográfico.



Qualidade da Solda

Inspeção e Métodos de Ensaio

- Os métodos de ensaios destrutivos são aqueles em que a solda é destruída, seja durante o teste ou na preparação da amostra. Eles incluem ensaios metalúrgicos e mecânicos.
- Os ensaios mecânicos tem propósitos similares aos métodos de ensaio convencionais, tais como ensaios de tração e cisalhamento.
- Os ensaios metalúrgicos envolvem a preparação de amostras metalúrgicas do conjunto de peças soldada para examinar características, tais como estrutura metálica, defeitos, extensão e condição da zona termicamente afetada, presença de outros elementos e fenômenos similares.



Considerações de Projetos em Soldagem

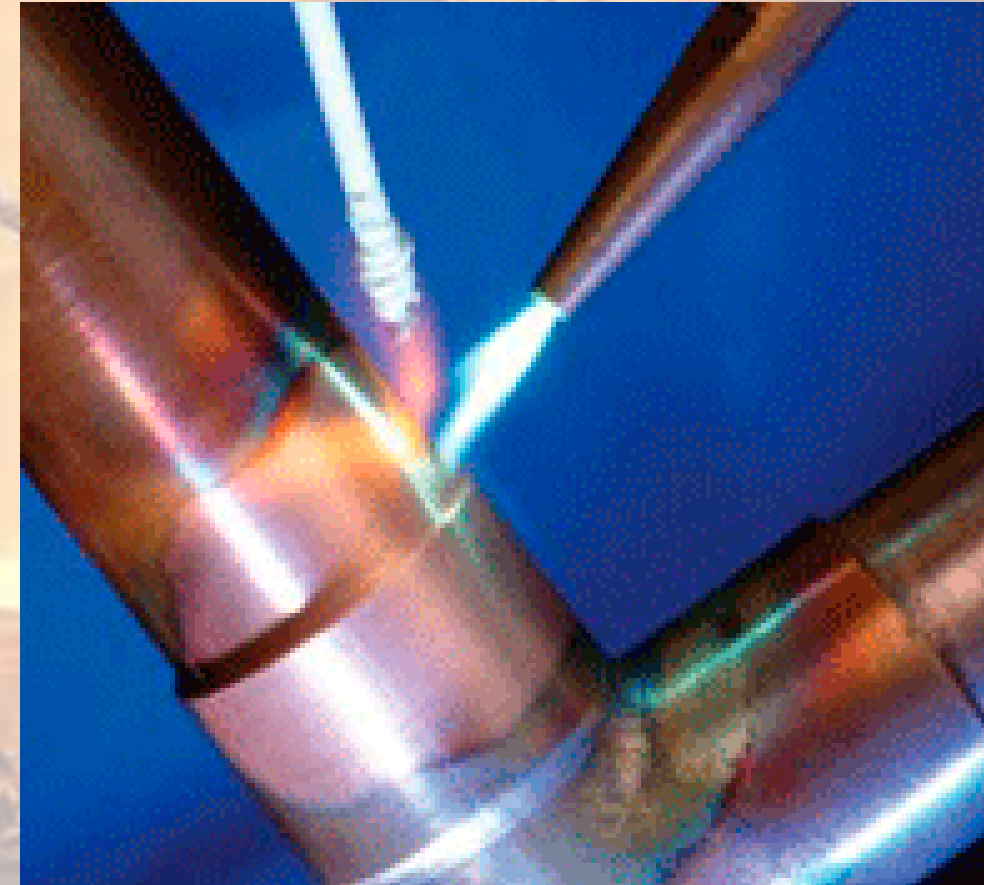
- Se uma montagem deve ser soldada permanentemente, o projetista deve seguir algumas orientações:
 - Projeto de soldagem: a peça deve ser projetada levando-se em consideração que irá ser soldada.
 - Mínimo de peças;
 - Bom ajuste das peças;
 - A montagem precisa fornecer acesso que permita a pistola de soldagem alcançar a área de soldagem;
 - Sempre que possível, o projeto do conjunto deve permitir que a soldagem plana seja realizada;

Considerações de Projetos em Soldagem

- Se uma montagem deve ser soldada permanentemente, o projetista deve seguir algumas orientações:
- A chapa de aço baixo carbono até 3,2 mm é a ideal para soldagem por pontos.
- Uma sobreposição suficiente de peças de chapas metálicas é necessária para que a ponta do eletrodo faça o contato adequado em soldagem por pontos.

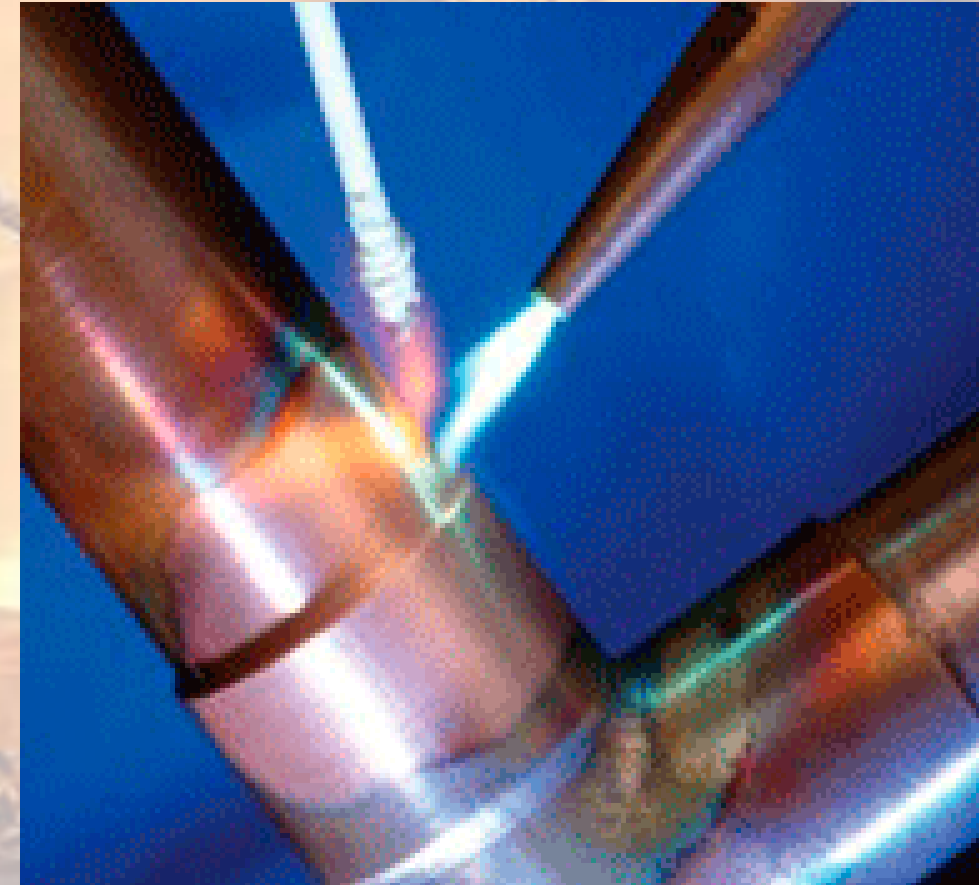
Brasagem

- Brasagem é um processo de união no qual o metal de adição é fundido e distribuído por ação capilar entre as superfícies de contato e as peças metálicas a serem unidas. Não ocorre a fusão dos metais de base; somente os metais de adição fundem. Na brasagem, o metal de adição (também chamado metal de brasagem) tem temperatura de fusão acima de 450°C , mas abaixo do ponto de fusão do metal (ou metais) de base que será unido.



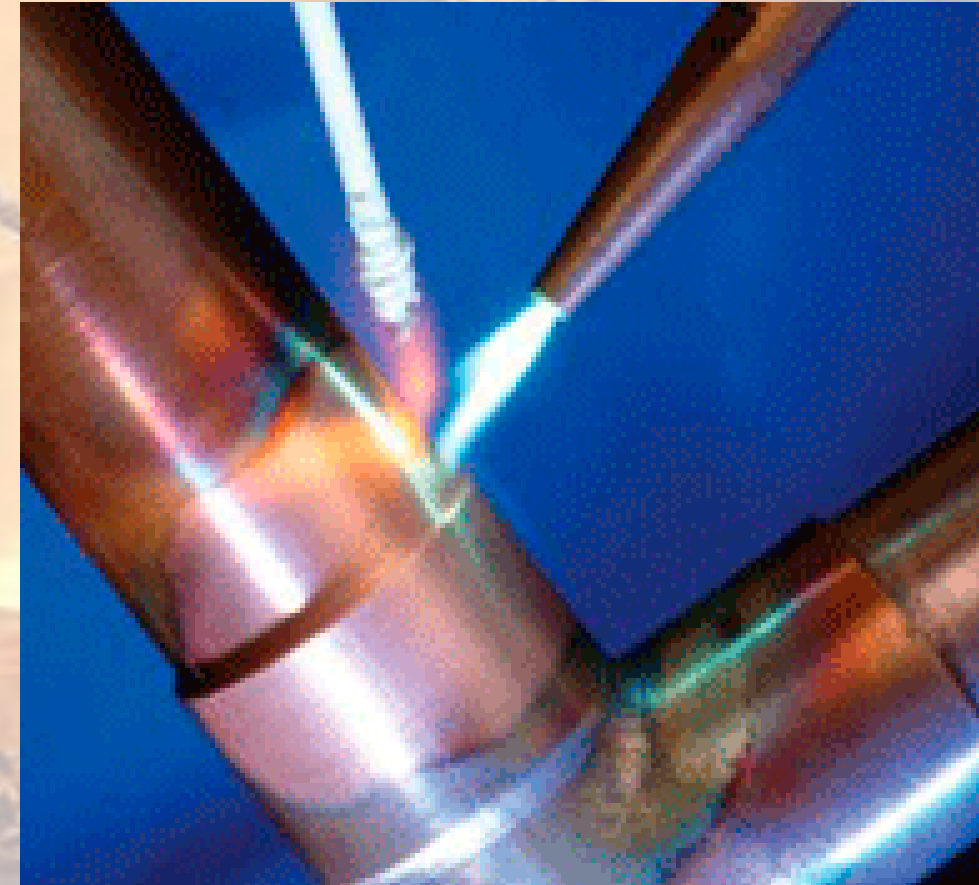
Brasagem

- A brasagem tem várias vantagens na comparação com a soldagem:
 - (1) quaisquer metais podem ser unidos, incluindo metais dissimilares;
 - (2) certos métodos de brasagem são rápidos e consistentemente e, deste modo, possibilitam a produção automatizada e taxas de ciclo elevadas;
 - (3) alguns métodos permitem que múltiplas juntas sejam braçadas de forma simultânea;
 - (4) brasagem pode ser aplicada para unir peças com espessuras finas que não podem ser soldadas;



Brasagem

- A brasagem tem várias vantagens na comparação com a soldagem:
 - (5) em geral, necessitam de menos calor e energia que em soldagem por fusão;
 - (6) problemas com a zona termicamente afetada (ZTA), próxima ao metal base da junta, são reduzidos;
 - (7) áreas da junta que são inacessíveis em muitos processos de soldagem podem ser brasadas, porque a ação de capilaridade molda o metal de adição fundido na Junta.



Brasagem

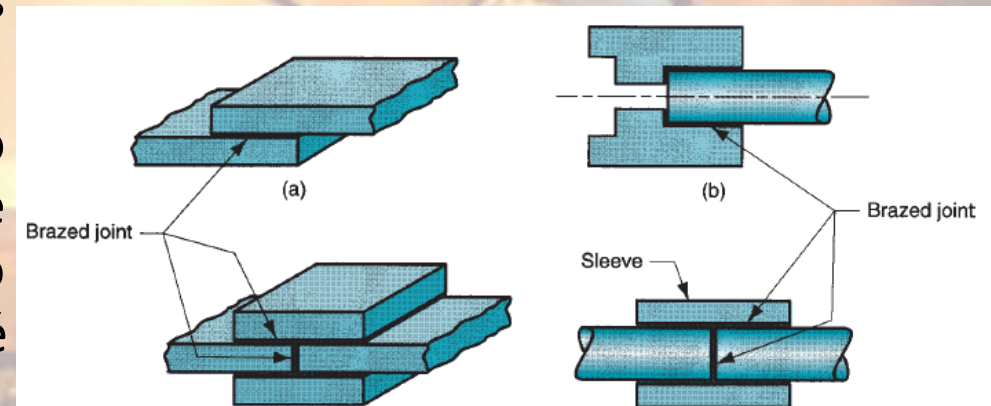
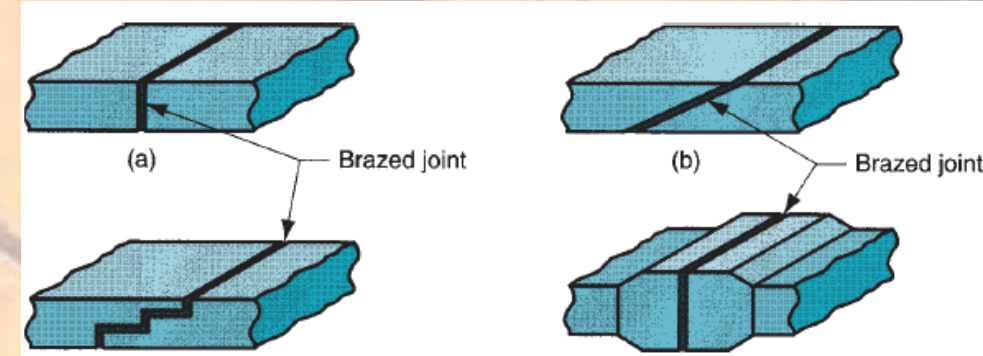
- As desvantagens e limitações da brasagem incluem:
 - (1) a resistência da junta é geralmente menor que em uma junta soldada;
 - (2) embora a resistência de uma boa junta brasada seja maior que a do metal de adição, é provável que seja menor que a dos metais base;
 - (3) temperaturas de serviço elevadas podem fragilizar a junta brasada;
 - (4) a cor do metal em junta brasada pode não ser compatível com a cor das peças do metal base, uma possível desvantagem estética.
- A brasagem, como um processo de produção, é largamente usada em várias indústrias, incluindo a automotiva, equipamento elétrico, ferramentas de corte e produção de joias.



Brasagem

Juntas Brasadas

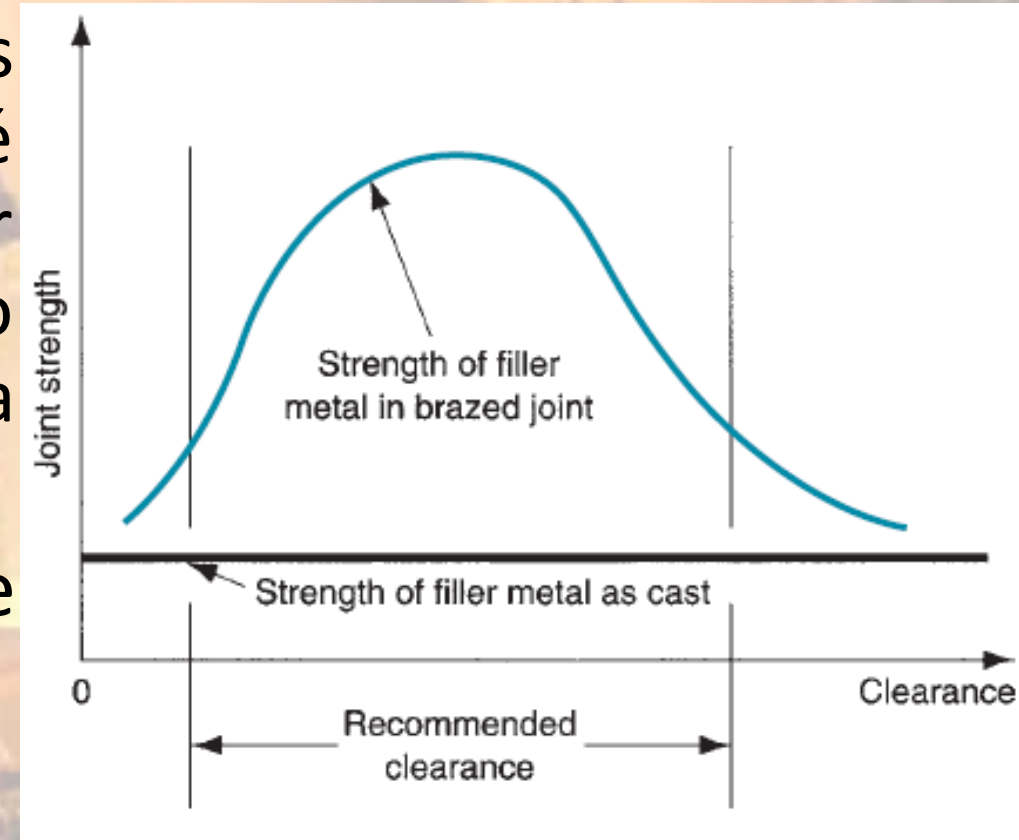
- Juntas brasadas são normalmente de dois tipos:
 - Topo: A junta de topo convencional proporciona uma área limitada para a brasagem, comprometendo assim a resistência da junta. Para aumentar as áreas de atrito em juntas brasadas, as peças de encaixe são em geral biseladas ou escalonadas;
 - Sobreposta: São as mais utilizadas na brasagem em razão de poderem proporcionar uma área de interface relativamente extensa entre as peças. Uma sobreposição de pelo menos três vezes a espessura da peça mais fina é em geral considerada uma prática de projeto desejável.



Brasagem

Juntas Brasadas

- A folga, ou espaçamento, entre as superfícies de união das peças base é importante na brasagem. A folga precisa ser grande o bastante para não restringir o fluxo do metal de adição fundido em toda a interface.
- As folgas de brasagem típicas são de 0,025 a 0,25 mm.



Brasagem

Juntas Brasadas

- A limpeza das superfícies da junta a serem brasadas também é importante. As superfícies precisam estar livres de óxidos, óleos e outros contaminantes para promover molhamento e atração por capilaridade durante o processo.
- Após a limpeza e durante a brasagem, fluxos são usados para manter a limpeza da superfície e promover molhamento para ação capilar na folga e entre as superfícies de atrito.



Brasagem

Metais de adição e Fluxos

- Os metais de adição mais usados na brasagem estão listados na Tabela, além dos metais de base em que eles são tipicamente usados.

TABLE 31.1 Common filler metals used in brazing and the base metals on which they are used.

Filler Metal	Typical Composition	Approximate Brazing Temperature		Base Metals
		°C	°F	
Aluminum and silicon	90 Al, 10 Si	600	1100	Aluminum
Copper	99.9 Cu	1120	2050	Nickel copper
Copper and phosphorous	95 Cu, 5 P	850	1550	Copper
Copper and zinc	60 Cu, 40 Zn	925	1700	Steels, cast irons, nickel
Gold and silver	80 Au, 20 Ag	950	1750	Stainless steel, nickel alloys
Nickel alloys	Ni, Cr, others	1120	2050	Stainless steel, nickel alloys
Silver alloys	Ag, Cu, Zn, Cd	730	1350	Titanium, Monel, Inconel, tool steel, nickel

Brasagem

Metais de adição e Fluxos

- Para qualificar como metal de brasagem, as seguintes características são necessárias:
 - (1) temperatura de fusão precisa ser compatível com o metal base;
 - (2) tensão superficial na fase líquida precisa ser baixa para boa molhabilidade;
 - (3) o metal fundido precisa de elevada fluidez para penetração na superfície;
 - (4) o metal deve ter a capacidade de ser brasado a uma junta de resistência adequada para resistir a uma aplicação;
 - (5) interações físicas e químicas com o metal base (por exemplo, reação galvânica) precisam ser evitadas.



Brasagem

Metais de adição e Fluxos

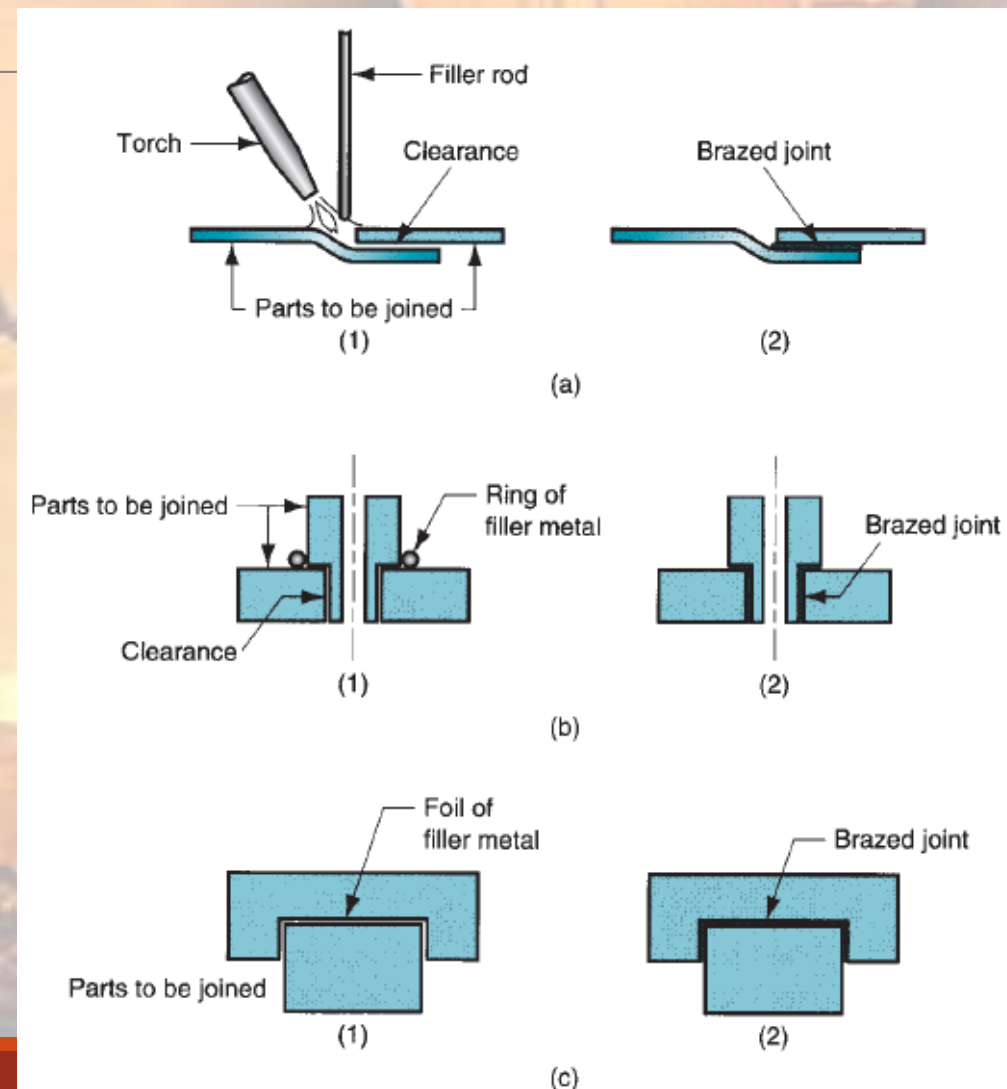
- Os metais de adição são aplicados para operação de brasagem de várias formas incluindo arame, vareta, chapas, tiras, pós, peças pré-conformadas de metal de brasagem feitas para se adaptarem a uma configuração específica da junta e ao revestimento em uma das superfícies a serem brasadas.



Brasagem

Metais de adição e Fluxos

- Os fluxos de brasagem tem proposito similar aos empregados na soldagem: eles dissolvem, combinam com, e, caso contrário, inibem a formação de óxidos e outros subprodutos indesejáveis no processo de brasagem.
- Os componentes mais comuns para os fluxos de brasagem incluem borato, boretos, fluoretos e cloretos.
- Os tipos de fluxo incluem pos, pastas e lamas.



Brasagem

Métodos de Brasagem

- Vários métodos são usados na brasagem. Referenciados como processos de brasagem, eles são diferenciados pelas fontes de aquecimento:
 - Brasagem por chama;
 - Brasagem por forno;
 - Brasagem por indução;
 - Brasagem por resistência;
 - Brasagem por Imersão;
 - Brasagem por infravermelho.

Brasagem

Métodos de Brasagem

- Brasagem por chama: Neste processo, o fluxo é aplicado nas superfícies das peças, e uma tocha é usada para direcionar a chama contra a peça nas vizinhanças da junta. Uma chama redutora é normalmente usada para inibir a oxidação. Os combustíveis usados na tocha incluem acetileno, propano e outros gases, como ar ou oxigênio.



Brasagem

Métodos de Brasagem

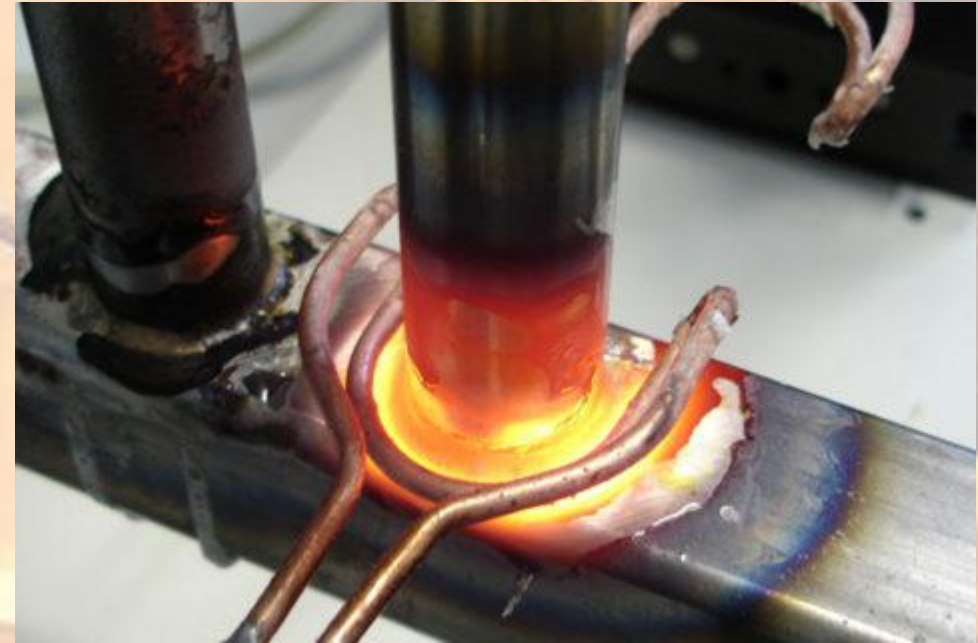
- Brasagem por forno: Este método utiliza um forno que fornece o calor para brasagem, que é a mais indicada para altas ou médias produções. As operações da alta produção utilizam fornos de fluxo contínuo, em que as peças são colocadas em uma esteira transportadora e passam por várias seções de resfriamento e aquecimento.



Brasagem

Métodos de Brasagem

- Brasagem por indução: Este processo utiliza o calor resultante da resistência elétrica a uma corrente de alta frequência induzida na peça de trabalho.



Brasagem

Métodos de Brasagem

- Brasagem por resistência: O calor para fundir o metal de adição neste processo é obtido pela resistência ao fluxo de corrente elétrica através das peças. Diferente da brasagem por indução, na brasagem por resistência, as peças são conectadas diretamente ao circuito elétrico.



Brasagem

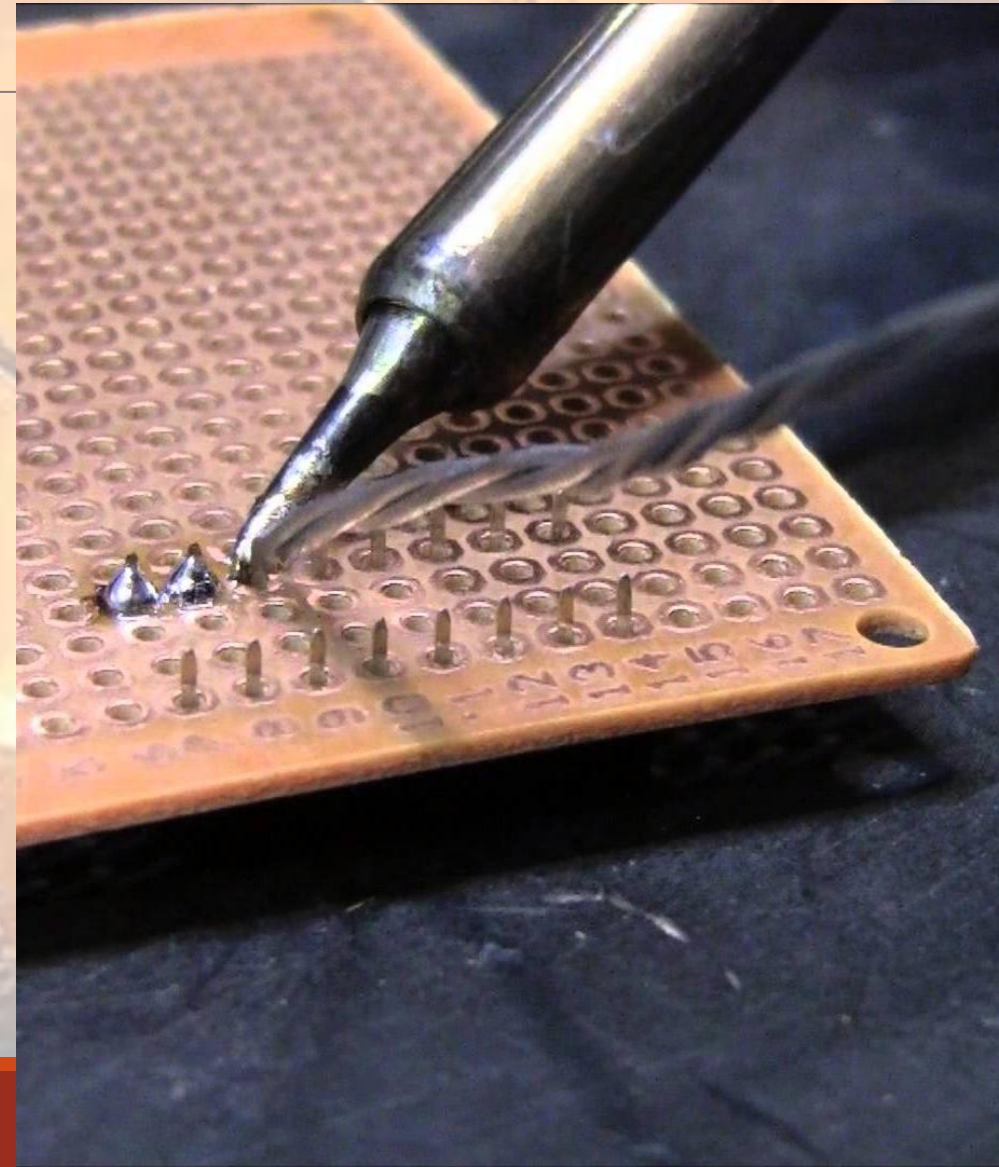
Métodos de Brasagem

- Brasagem por Imersão: Neste método, o aquecimento é realizado por um banho de sal fundido ou banho de metal fundido. Em ambos os métodos, as peças montadas são imersas em banhos que ficam em um cadinho aquecido.
- Brasagem por infravermelho: Este método usa o calor de uma lâmpada infravermelho de alta intensidade para aquecimento.



Solda Fraca

- Solda fraca é similar brasagem e pode ser definida como um processo de união no qual o metal de adição, com ponto de fusão que não exceda a 450°C , é fundido e distribuído pela ação da capilaridade entre as superfícies de atrito das peças metálicas que serão unidas.
- O metal de adição, chamado solda, é adicionado a junta, que se distribui de forma uniforme entre as peças.
- As folgas típicas para solda fraca variam de 0,075 mm a 0,125 mm.
- Como processo industrial, a solda fraca é mais frequentemente associada com montagem eletrônica.



Solda Fraca

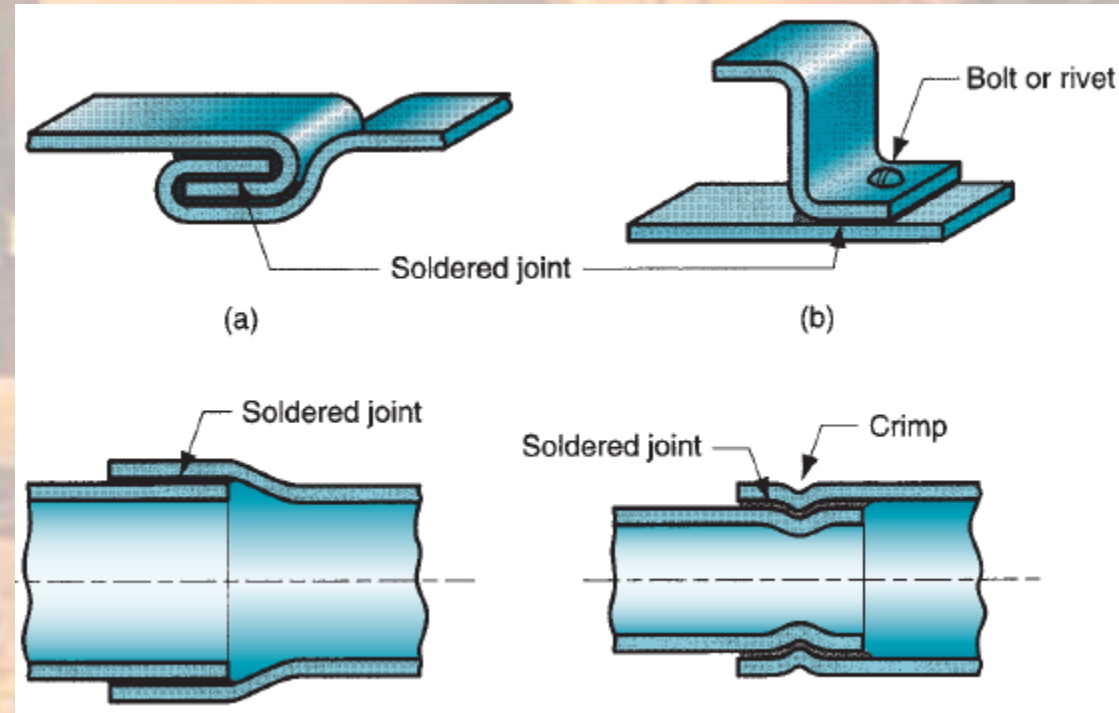
- As vantagens atribuídas à solda fraca incluem:
 - (1) aporte baixo de energia em relação à brasagem e soldagem por fusão;
 - (2) variedade de métodos de aquecimento disponíveis;
 - (3) boas condutividade térmica e elétrica na junta;
 - (4) capacidade para executar costuras estanques a líquidos e ar em contêineres;
 - (5) de fácil reparo e retrabalho.
- As maiores desvantagens da solda fraca são:
 - (1) baixa resistência da junta, a menos que seja reforçada por meios mecânicos;
 - (2) possível enfraquecimento ou fusão a Junta em serviços a temperaturas elevadas.



Solda Fraca

Projetos da Junta em Solda Fraca

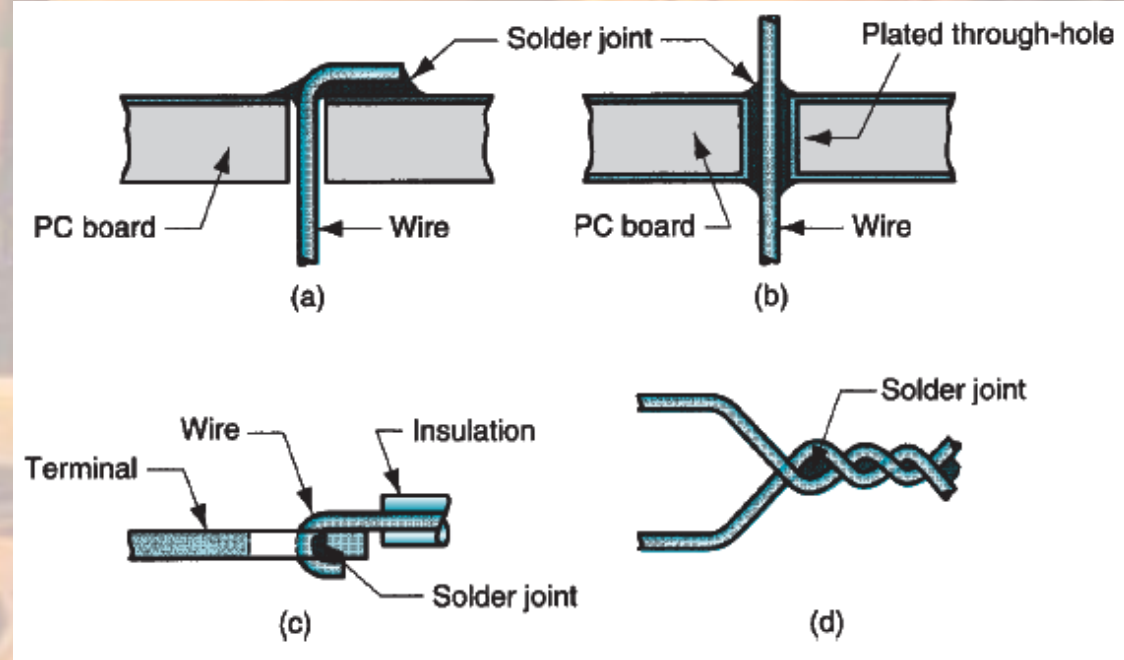
- Tal como em brasagem, as juntas de solda fraca são limitadas aos tipos topo e sobreposta, embora as juntas de topo não devam ser usadas em aplicações sujeitas a cargas mecânicas.



Solda Fraca

Projetos da Junta em Solda Fraca

- Para aplicações eletrônicas, a principal função da solda fraca é fornecer um contato eletricamente condutor entre duas peças a serem unidas.



Solda Fraca

Solda

- Muitas soldas são de ligas de estanho e chumbo, porque ambos os metais tem pontos de fusão baixos.
- O chumbo é tóxico e seu percentual é minimizado na maioria das composições das soldas.
- O estanho é quimicamente ativo em temperaturas de solda e promove a ação de molhamento, necessária para união bem-sucedida.



Solda Fraca Soldas

◦ A Tabela lista várias composições de ligas de solda, indicando suas temperaturas de solda fraca aproximadas e as aplicações principais.

TABLE 31.2 Some common solder alloy compositions with their melting temperatures and applications.

Filler Metal	Approximate Composition	Approximate Melting Temperature		Principal Applications
		°C	°F	
Lead–silver	96 Pb, 4 Ag	305	580	Elevated temperature joints
Tin–antimony	95 Sn, 5 Sb	238	460	Plumbing and heating
Tin–lead	63 Sn, 37 Pb	183 ^a	361 ^a	Electrical/electronics
	60 Sn, 40 Pb	188	370	Electrical/electronics
	50 Sn, 50 Pb	199	390	General purpose
	40 Sn, 60 Pb	207	405	Automobile radiators
Tin–silver	96 Sn, 4 Ag	221	430	Food containers
Tin–zinc	91 Sn, 9 Zn	199	390	Aluminum joining
Tin–silver–copper	95.5 Sn, 3.9 Ag, 0.6 Cu	217	423	Electronics: surface mount technology

Solda Fraca

Fluxos

- Um fluxo para solda fraca deverá ter as seguintes características:
 - (1) ser fundido a temperaturas de solda fraca;
 - (2) remover camadas de óxidos e manchas das superfícies da peça base;
 - (3) prevenir oxidação durante o aquecimento;
 - (4) promover o molhamento das superfícies de atrito;
 - (5) deixar um resíduo que não seja corrosivo e nem condutor.



Solda Fraca

Fluxos

- Os fluxos de solda fraca podem ser classificados como orgânicos ou inorgânicos.
- Fluxos orgânicos são feitos de resina (por exemplo, resina natural, que não é solúvel em água) ou componentes solúveis em água (por exemplo, álcoois, ácidos orgânicos e sais halogenados).
- Fluxos inorgânicos consistem em ácidos inorgânicos (por exemplo ácido muriático e são usados para alcançar rápida fluidez, em que os filmes de óxido são um problema).



Solda Fraca

Método de Solda Fraca

- Muitos dos métodos usados na solda fraca são os mesmos utilizados na brasagem.
- Existem outros métodos de solda fraca que não são utilizados na brasagem, são estes:
 - Solda Manual;
 - Solda por Ondas.

Solda Fraca

Método de Solda Fraca – Solda Manual

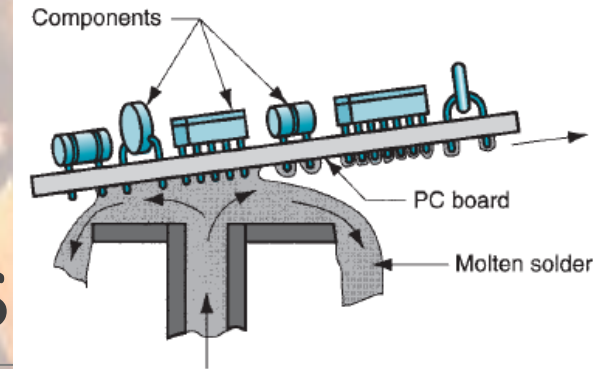
- Este método é realizado manualmente usando ferro de solda quente. Uma ponta de solda feita de cobre é a extremidade de trabalho do ferro de solda. Suas funções são:
 - (1) fornece calor as peças que serão soldadas;
 - (2) fundir a solda;
 - (3) transmitir a solda fundida a junta;
 - (4) retirar o excesso de solda.



Solda Fraca

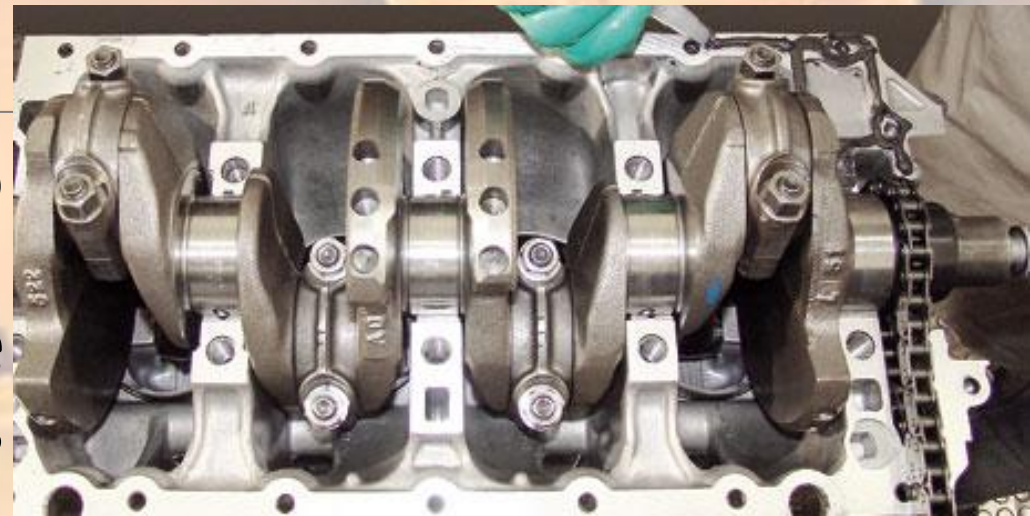
Método de Solda Fraca – Solda por Ondas

- Esta técnica mecanizada permite soldar múltiplos fios de chumbo a uma placa de circuito impresso (PCI), que atravessa uma onda de solda fundida.
- A configuração típica é aquela na qual a PCI, onde os componentes eletrônicos foram fixados por meio de seus fios de chumbo nos furos da placa mãe, é movimentada por uma esteira através de equipamento de solda por ondas.



União Adesiva

- A união adesiva é um processo de união no qual o material de adição é usado para manter unidas por ligação da superfície duas (ou mais) peças pouco espaçadas entre si.
- Os adesivos são utilizados em grande variedade de aplicações de união e de vedação para unir materiais similares ou dissimilares, tais como metais, plásticos, cerâmicos, madeira, papel e papelão.



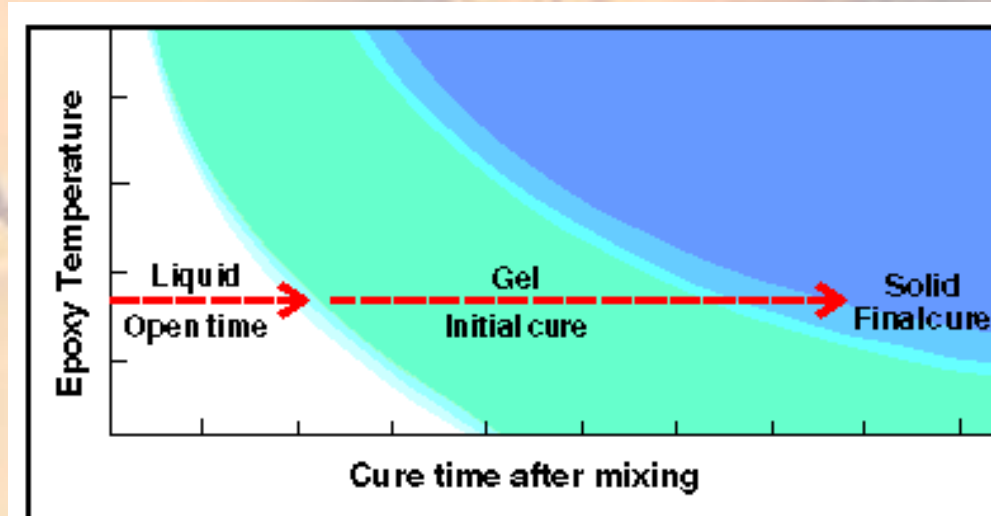
União Adesiva

- O material de adição que liga as peças é o adesivo. É um elemento não metálico, geralmente um polímero.
- As peças a serem unidas são chamadas substratos (aderentes). Os adesivos de maior interesse na engenharia são os adesivos estruturais, que são capazes de produzir juntas permanentes e fortes entre substratos rígidos.



União Adesiva

- Cura refere-se ao processo pelo qual as propriedades físicas do adesivo são modificadas do estado líquido para o sólido, normalmente por reação química, para realizar a ligação da superfície das peças.
- A cura é em geral motivada pelo calor e/ou um catalisador, e a pressão é muitas vezes aplicada entre as duas peças para ativar a ligação.
- A cura ou endurecimento do adesivo necessita de tempo, chamado tempo de cura ou tempo de preparo.



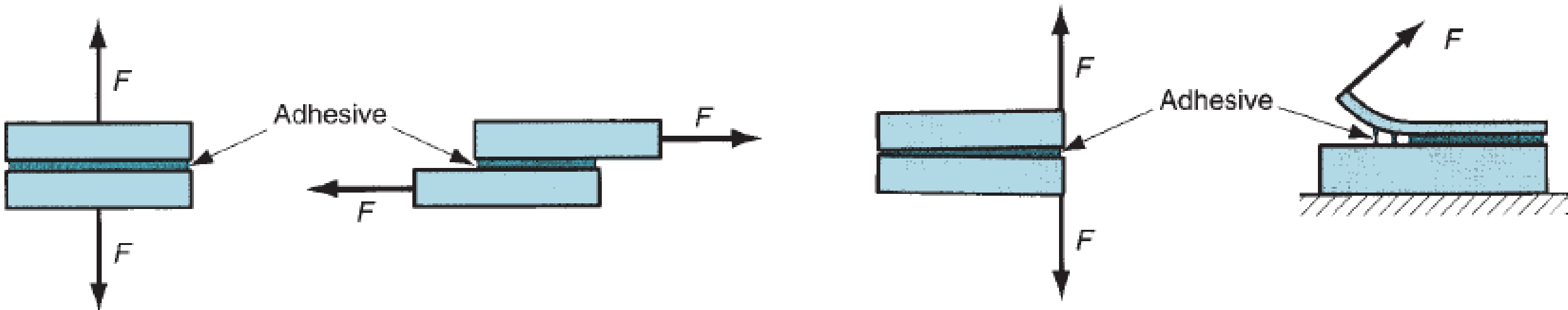
União Adesiva

- Para estes mecanismos de adesão proporcionarem resultados melhores, as seguintes condições devem prevalecer:
 - (1) as superfícies do substrato devem estar limpas, livres de sujeiras, filmes de óxidos que possam interferir com a realização do contato entre o adesivo e o substrato;
 - (2) o adesivo na forma líquida inicial precisa atingir molhamento completo da superfície do substrato;
 - (3) em geral é útil que as superfícies não sejam perfeitamente lisas.

União Adesiva

Projeto de Juntas

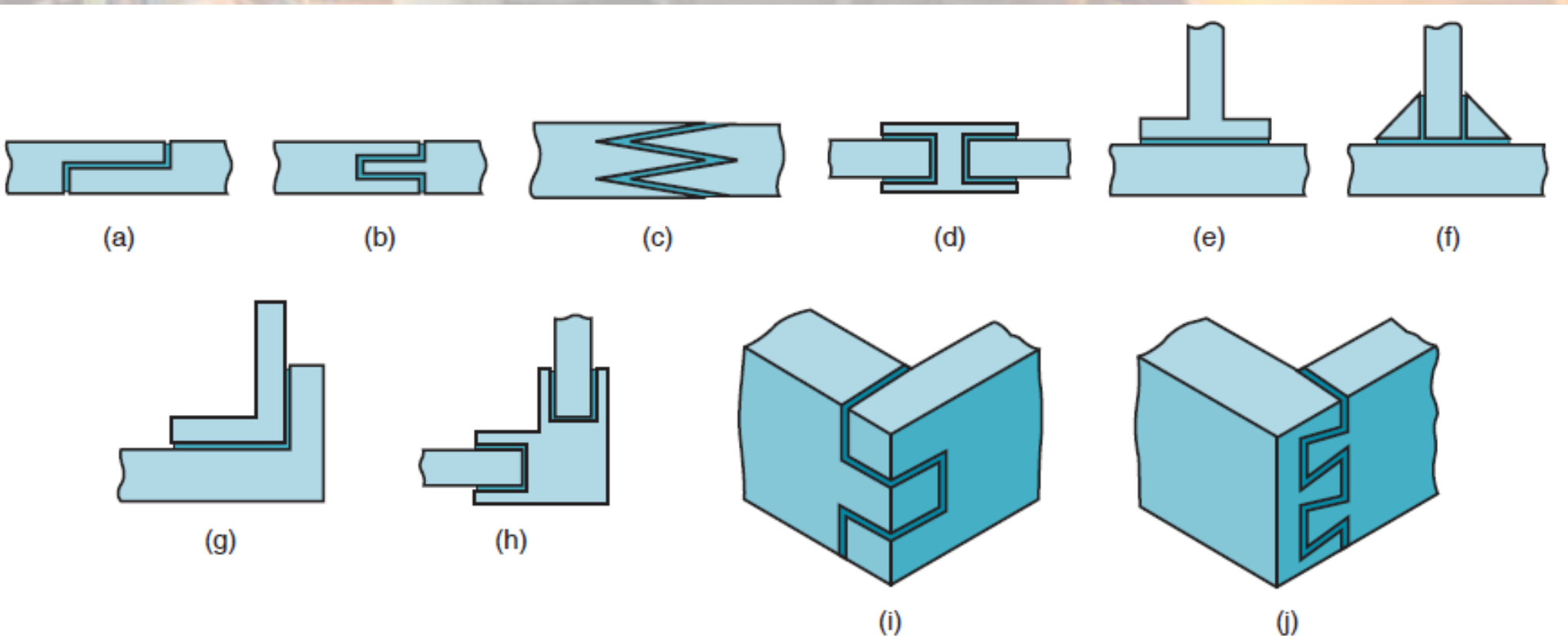
- Os seguintes princípios de projetos são aplicáveis:
 - (1) área de contato comum deverá ser maximizada;
 - (2) juntas adesivas são mais fortes sob tensão e cisalhamento;
 - (3) uniões adesivas são mais frágeis na clivagem ou descascamento.



União Adesiva

Projeto de Juntas

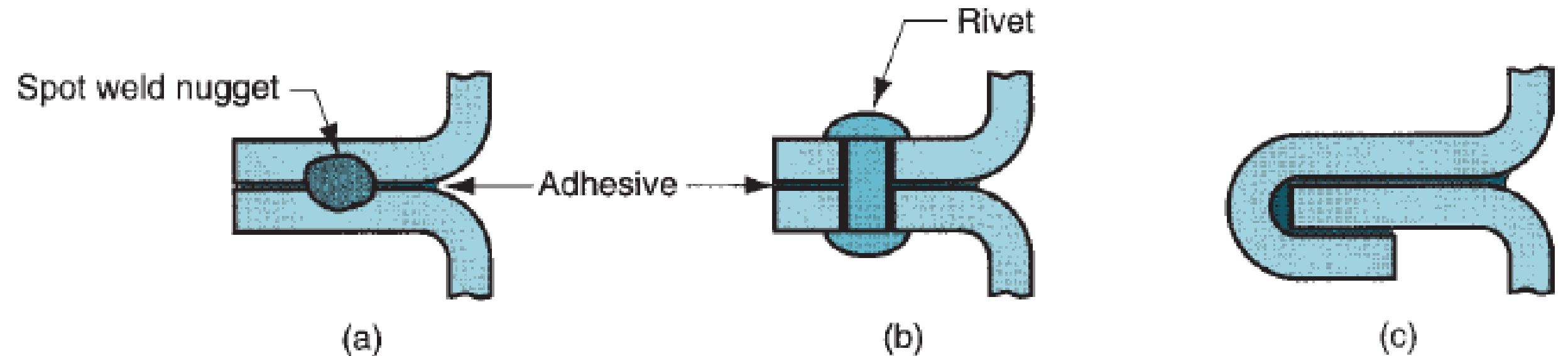
- Projetos de juntas típicas para união adesiva que ilustram estes princípios de projeto.



União Adesiva

Projeto de Juntas

- Alguns projetos de junta combinam a união adesiva com outros métodos de união para aumentar a resistência e/ou proporcionar vedação entre os dois componentes.



União Adesiva

Tipos de Adesivos

- Grande quantidade de adesivos comerciais está disponível. Eles podem ser classificados em três categorias:
 - (1) natural: são derivados de fontes naturais (por exemplo, plantas e animais) incluindo as gomas, o amido, a dextrina, a farinha de soja e o colágeno. Esta categoria de adesivo geralmente limitada à aplicação de tensões baixas, tais como caixas de papelão, moveis e encadernação ou onde grandes áreas de superfície estão envolvidas (por exemplo madeira compensada).
 - (2) inorgânico: Adesivos inorgânicos são constituídos de basicamente silicato de sódio e oxiclreto de magnésio. Apesar de um pouco baratos, eles são também de resistência baixa.
 - (3) sintético: constituem a categoria mais importante na fabricação. Eles incluem uma variedade de polímeros termorrígidos e termoplásticos. Eles são curados por diversos mecanismos, tais como:
 - (1) mistura de um catalisador, ou um componente reativo, com o polímero imediatamente antes da aplicação;
 - (2) aquecimento para iniciar a reação química;
 - (3) radiação por cura, tais como luz ultravioleta;
 - (4) cura por evaporação e água do líquido ou pasta adesiva.