

Apesar do emprego das mais variadas fontes de calor e da utilização de diferentes técnicas de trabalho, todos os processos de soldagem que você estudou até agora tinham uma coisa em comum: eram processos de soldagem com fusão.

Não, caro aluno, não queremos dizer que os processos são “confusos”. O que esperamos que você tenha aprendido, é que esses processos têm em comum o fato de que os metais de base sempre atingem a temperatura de fusão no local onde se realiza a soldagem. É importante que você tenha aprendido, também, quais são as conseqüências desse calor na estrutura do metal e, conseqüentemente, nas propriedades do material soldado.

Nesta aula, você vai estudar um conceito novo, mas ao mesmo tempo muito velho, de soldagem. Na verdade, antes do desenvolvimento da maioria dos processos de soldagem atuais, o processo que estudaremos foi um método de união amplamente empregado.

Que método é esse? Quais são suas características, vantagens, desvantagens, aplicações? Isso você só vai ficar sabendo se estudar esta aula com atenção. Vamos a ela.

Soldagem sem fusão

Acabou-se a “com fusão”. O processo de união, que estamos começando a estudar agora, tem como principal característica o fato de que a união dos metais é obtida com o uso de um metal

de adição que tem uma temperatura de fusão superior a 450°C, porém menor do que a temperatura de fusão do metal de base. Ele é chamado de **brasagem**.

Mas, esta não é a única característica da brasagem. Além de não haver fusão do metal de base, a união é formada pelo metal de adição que preenche a junta por **capilaridade**, ou seja, esse metal em estado líquido preenche os espaços vazios que existem entre as superfícies a serem soldadas.

A brasagem requer também, e na maioria dos casos, o uso de um **fluxo** cuja função é a remoção das impurezas da superfície do metal de base. Essa providência garante que o metal de adição fundido tenha contato direto com as superfícies das juntas. Como a fluidez do metal de adição é muito maior que do que a do fluxo, o material de adição desloca o fluxo e substitui-o na junta. Após o resfriamento, o metal de adição solidificado preenche a junta e o fluxo se distribui pela periferia da junta.

A ligação entre o metal de adição e o metal de base é sólida e resistente. Ela se dá por difusão por meio da formação de ligas intermetálicas na região de contato entre as duas superfícies. Para que isso aconteça, é necessário que o contato entre o metal de adição e o metal de base seja perfeito. Isso é conseguido se as superfícies estiverem completamente isentas de qualquer traço de sujeira, óxidos, graxa etc. A limpeza é feita por meios químicos ou mecânicos. Mesmo assim, os metais precisam ser protegidos durante o aquecimento por um fluxo ou uma atmosfera adequada.

A brasagem pode ser feita em atmosfera ativa, inerte ou sob vácuo. O uso de atmosferas protetoras elimina a necessidade de limpeza após a operação, para eliminar da junta as substâncias corrosivas provenientes dos fluxos.

Esse processo, também chamado de **brasagem forte**, tem múltiplas aplicações; de modo geral, é empregado na união de metais diferentes, de peças de pequena espessura, de metais tratados termicamente e em uniões de metal com cerâmica.

A brasagem forte apresenta algumas vantagens em relação aos processos de soldagem por fusão:

- requer menor calor de modo que a soldagem se realiza mais rapidamente;
- o metal de adição apresenta baixa tensão residual e sua ductilidade permite posterior usinagem;
- as uniões apresentam resistência mecânica adequada para várias aplicações;
- o equipamento usado é simples e de fácil manuseio;
- possibilidade de união de materiais frágeis, como o ferro fundido cinzento, sem pré-aquecimento em temperaturas altas.

Por outro lado, há algumas desvantagens, tais como:

- resistência da união limitada à resistência do metal de adição;
- temperatura de serviço limitada ao ponto de fusão do metal de adição;
- possibilidade de ocorrência de corrosão galvânica na junta;
- todo o conjunto a ser brasado deve ser aquecido.

O processo de brasagem tem variantes que são classificadas de acordo com a fonte de calor ou método de aquecimento usados.

O quadro a seguir ilustra essa classificação.

Vantagens	Fonte de calor	Metal de adição	Proteção
Por chama	Maçaricos de oxi-gás (acetileno, propano etc.)	Colocado previamente ou alimentado manualmente, em forma de fitas, varetas, pó.	Por fluxo
Em forno	Forno elétrico, a gás ou a óleo, contínuos ou intermitentes.	Colocado previamente.	Por fluxo, por atmosfera controlada e por vácuo.
Por indução	Fonte de energia + bobina de indução.	Colocado previamente.	Por fluxo.
Por resistência	Corrente passando por eletrodos metálicos ou de carvão (brasagem ao arco).	Colocado previamente.	Por fluxo ou por atmosfera controlada.
Por imersão em banho químico	Resistência elétrica ou maçarico a gás.	Colocado previamente.	Por fluxo ou pelo próprio banho.
Por imersão em metal fundido	Forno para pré-aquecimento das peças e cadinho.	Compõe o banho de metal fundido.	Pelo próprio banho.
Por raios infravermelhos	Fontes de radiação infravermelha: lâmpadas de quartzo de alta intensidade + refletores para concentrar a radiação.	Colocado previamente.	Por fluxo.

Um processo de união que utiliza o mesmo princípio da brasagem é a **soldabrasagem**. Nele, o metal de adição tem a temperatura de fusão também superior a 450°C, porém **não** preenche a junta por ação capilar. Tanto o desenho da junta quanto a forma de deposição do metal de adição se assemelham aos da soldagem por fusão. As fontes de calor para a soldabrasagem podem ser maçaricos de oxi-gás e arcos TIG ou plasma.

Pare! Estude! Responda!

Exercícios

1. Preencha as lacunas com a alternativa correta.
 - a) Quando a união de metais é obtida com o uso de metal de adição com uma temperatura de fusão superior a porém menor do que a temperatura de fusão do metal base, chamamos esse processo de
 1. () 480°C, soldagem
 2. () 450°C, caldeamento
 3. () 420°C, brasagem
 4. () 350°C, soldagem
 - b) Para que a ligação entre o e o sejam perfeitas é necessário que as superfícies estejam completamente isentas de sujeira.
 1. () metal ferroso, metal de adição
 2. () metal de adição, metal não-ferroso
 3. () metal de adição, metal de base
 4. () metal de base, metal ferroso
 - c) A brasagem pode ser feita em atmosfera., ou
 1. () neutra, ativa, sob vácuo
 2. () ativa, neutra, inerte
 3. () ativa, inerte, ou sob vácuo
 4. () ativa, neutra, sob vácuo

- d) Complete o quadro que classifica o processo de brasagem em função de suas variantes.

Vantagens	Fonte de calor	Proteção
1) Brasagem em forno		por fluxo
2) Brasagem por indução	colocados previamente	
3) Brasagem por resistência		por fluxo e atmosfera controlada
4) Brasagem por imersão em metal fundido	Compõe o banho de metal fundido	
5) Brasagem por raios infravermelhos		por fluxo

2. Cite pelo menos três vantagens e duas desvantagens da brasagem.

Consumíveis

Como já vimos na primeira parte desta aula, para a realização da brasagem, é imprescindível o uso de metal de adição e, na maioria dos casos, de fluxos protetores.

Para obter uma junta com características adequadas a sua aplicação, é importante a escolha certa do material de adição. Essa escolha é feita em função do metal de base, do método de aquecimento, do desenho da junta e do tipo de proteção escolhido.

Além disso, o metal de adição deve apresentar características como:

- temperatura de fusão adequada;
- boa molhabilidade, ou seja, capacidade de expansão espontânea da fase líquida de um metal sobre uma superfície sólida. Para isso é importante que exista afinidade entre o sólido e o líquido;
- boa fluidez;
- propriedades mecânicas compatíveis com a aplicação.

Os metais de adição para brasagem são normalizados pelas normas AWSA 5.7-77 e AWS A5.8-81. O quadro a seguir apre-

senta algumas das ligas de metais de adição mais comuns, juntamente com os metais de base aos quais se aplicam e respectivo método de aquecimento.

Metal de adição	Metal de base	Método de aquecimento
Ligas à base de prata	Metais ferrosos e não-ferrosos exceto alumínio e magnésio.	Todos
Ligas de níquel	Aços inoxidáveis (série 300 e 400), aço carbono, aços de baixa ligas. Ligas de níquel e cobalto.	Variados
Ligas de cobalto	Metais à base de cobalto	Forno com atmosfera protetora.
Ligas alumínio-silício	Alumínio e suas ligas.	Em fornos e por imersão. Em certos casos, por chama.
Ligas de ouro	Ferro, ligas de níquel, ligas de cobalto.	Por forno em atmosfera redutora, a vácuo, por resistência.
Ligas de cobre e cobre-zinco	Metais ferrosos e não-ferrosos em juntas sobrepostas ou de topo.	Variados
Cobre puro	Metais ferrosos, níquel e ligas cobre-níquel.	Por forno
Liga de cobre-fósforo	Cobre e suas ligas.	Cobre e suas ligas.
Magnésio	Ligas de magnésio.	Por chama, por imersão.

Quando você estudou os materiais para a construção mecânica, aprendeu que os metais, uns mais, outros menos, **sempre** reagem com o ambiente. O grau de reação vai depender do metal e das condições do ambiente. A temperatura, por exemplo, pode levar à formação de óxidos, que são prejudiciais ao processo de brasagem e ao desempenho da junta.

Para impedir a formação de óxidos e facilitar a remoção de camadas já existentes, é necessário empregar os fluxos. Essa função protetora necessita que o fluxo apresente algumas características:

- viscosidade na temperatura de operação, a fim de que o metal de adição possa expulsar o fluxo para a periferia de junta e, então, preenchê-la;
- tensão superficial do fluxo, que deve facilitar a molhabilidade do metal de base e o deslocamento do metal de adição dentro da junta.

Em geral, os fluxos são constituídos de cloretos, fluoretos, fluoboratos, boratos, bórax, ácido bórico, agentes umectantes e água. A maioria deles é composta por uma combinação de alguns desses constituintes misturados em proporções adequadas à utilização.

Não existe um fluxo universal, ou seja, adequado a todas as situações. A especificação do fluxo depende do tipo de metal de base, do metal de adição e da temperatura de trabalho. A classificação normalizada pela AWS divide os fluxos em seis grupos. Veja tabela a da próxima página.

Classe AWS	Metal de base	Metal de adição	Temperatura de trabalho (°C)	Constituintes	Apresentação
1	Ligas de alumínio	Alumínio-silício	371 - 643	Cloretos e fluoretos	Pó
2	Ligas de magnésio	Magnésio	482 - 649	Cloretos e fluoretos	Pó
3A	Todas, exceto os listados em 1, 2 e 4	Cobre-fósforo Prata	566 - 871	Ácido bórico Boratos, fluoretos Fluorboratos	Pó Pasta Líquido
3B	Todos, exceto os listados em 1, 2 e 4	Cobre puro Cobre-fósforo Prata, ouro Cobre-zinco níquel	732 - 1149	Ácido bórico Boratos, fluoretos Fluorboratos	Pó Pasta Líquido
4	Bronze-alumínio Latão alumínio Ferro ou ligas de níquel com alumínio, titânio ou ambos	Prata Cobre-fósforo (apenas para ligas à base de cobre)	566 - 871	Cloretos Fluoretos Boratos	Pó Pasta
5	Todos, exceto os listados em 1, 2 e 4	Os mesmos que 3B, exceto Ag-1 e Ag-7	760 1204	Bórax Ácido bórico Boratos	Pó Pasta Líquido

Alguns metais de adição são autofluxantes, ou seja, desempenham também o papel do fluxo em certas ligas. É o caso, por exemplo, do constituinte Cu_3P do cobre-fósforo que funciona como fluxo quando usado em cobre e suas ligas.

Etapas do processo

Basicamente dois tipos de juntas são usados em brasagem: as sobrepostas e as de topo. Na formação da junta, o espaçamento entre as peças tem influência primordial sobre suas características mecânicas. É por meio do espaçamento que a ação da capilaridade se torna efetiva.

Assim, se o espaçamento entre as peças for muito pequeno, o preenchimento da junta fica muito lento e pode ser apenas parcial. Se ele for excessivo, o tempo de preenchimento também será longo, podendo acarretar a formação de bolhas de gás e as inclusões de fluxo e óxidos na solda.

O espaçamento entre as peças varia em função da temperatura de trabalho. Essa informação é encontrada em livros especializados.

Para a realização da brasagem, o operador deve seguir as seguintes etapas:

1. Limpeza adequada da superfície a ser brasada.
2. Aplicação do fluxo.
3. Posicionamento das peças antes que o fluxo “seque”.
4. Brasagem.
5. Remoção do fluxo, geralmente com água quente ou com agentes químicos ou mecânicos.

Pare! Estude! Responda!

Exercícios

3. Preencha as lacunas com a alternativa que complete corretamente a sentença abaixo.

a) A escolha do material de adição para realização de brasagem é feita em função do metal de base do de do da e do tipo de proteção escolhida.

1. () método resfriamento, desenho junta
2. () processo fusão, método fusão
3. () método aquecimento, processo aplicação
4. () método aquecimento, desenho junta

4. Assinale **F** ou **V** conforme sejam falsas ou verdadeiras as afirmativas abaixo:

O material de adição para realização da brasagem deve apresentar as seguintes características.

- a) () boa fluidez
- b) () capacidade de expansão da fase sólida de um metal sobre uma superfície aquecida
- c) () temperatura de fusão adequada
- d) () propriedades mecânicas compatíveis com a aplicação
- e) () boa molhabilidade
- f) () boa afinidade sobre o sólido e o líquido
- g) () capacidade de fusão compatível com o sólido e o líquido para soldagem

5. Complete o quadro indicando os metais de base e seus respectivos métodos de aquecimento em função dos metais de adição apresentados abaixo:

Metais de adição	Metais de base	Métodos de aquecimento
a) Ligas a base de prata		todos
b) Ligas de níquel	aços inox (série 300 e 400), aços carbono, aços de baixa liga, ligas de metal e cobalto	
c) Ligas de cobalto		fornos com atmosfera protetora
d) Ligas de alumínio-silício	Alumínio - suas ligas	1
e) Cobre puro		por forno
f) Ligas de cobre e cobre-zinco		variados
g) Magnésio	Ligas de magnésio	

6. Preencha as lacunas com a alternativa que complete corretamente as questões a seguir.

- a) Para que o metal de adição possa expulsar o fluxo para a periferia a na de operação é fundamental.

1. () densidade, temperatura
2. () viscosidade, velocidade
3. () viscosidade, temperatura
4. () temperatura, velocidade

- b) Para facilitar a molhabilidade do metal de base e o deslocamento do metal de adição é importante considerar a superficial do

1. () temperatura, metal
() tensão, fluxo
3. () resistência, fluxo
4. () tensão, metal

7. Ordene numerando as etapas para realização da brasagem:

- a) () posicionamento das peças antes que o fluxo seque.
- b) () limpeza adequada da superfície a ser brasada.
- c) () brasagem.
- d) () aplicação do fluxo.
- e) () remoção do fluxo.

Gabarito

1. a) (2) b) (3) c) (3) d) 1. Forno elétrico, a gás ou a óleo; 2. por fluxo; 3. corrente passando por eletrodos metálicos ou de carvão; 4. pelo próprio banho; 5. fontes de radiação infravermelha: lâmpadas de quartzo de alta intensidade mais refletores para concentrar a radiação.
2. **Vantagens:** requer menor calor; o metal de adição apresenta baixa tensão residual e sua quantidade permite posterior usinagem; o equipamento usado é simples e de fácil manuseio.
Desvantagens: resistência da solda limitada à resistência do metal de adição; possibilidade de ocorrências de corrosão galvânica na junta
3. a) (4)
4. a) (V) b) (F) c) (V) d) (V)
e) (V) f) (V) g) (F)
5. a) Metais ferrosos e não-ferrosos.
b) Metais à base de cobalto.
c) Em fornos e por imersão e em certos casos por chama.
d) Metais ferrosos, níquel, ligas, cobre-níquel.
e) Metais ferrosos e não ferrosos em juntas sobrepostas ou de topo.
f) Por chama, por imersão.
6. a) (3) b) (2)
7. 1) (b) 2) (d) 3) (a)
4) (c) 5) (e)