



**CÉLULA**  
ENSINO A DISTÂNCIA

SOLDAGEM



**AeroTD**



<b>CNPJ</b>	72.443.914/0001-38
<b>Mantenedora</b>	AERO TD ESCOLA DE AVIAÇÃO CIVIL LTDA - ME
<b>Instituição</b>	AERO TD Escola de Aviação Civil
<b>Esfera Administrativa</b>	Privada
<b>Endereço (Rua, Nº.)</b>	Rua Marechal Guilherme nº 127.
<b>Cidade UF CEP</b>	Bairro: Centro - Florianópolis SC. CEP: 88.015-000
<b>Telefones</b>	0800 887 1555   (48) 3223 5191
<b>Eixo Tecnológico:</b>	Infraestrutura
<b>Curso:</b>	Profissionalizante em Manutenção de Aeronaves - Habilitação Célula
<b>Carga Horária Total:</b>	1200 horas

ES

## Sumário

Módulo I ..... 5 a 39

Módulo II ..... 41 a 77



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

## MÓDULO I

### SOLDAGEM DE AERONAVES

#### INTRODUÇÃO

Caro aluno,

Os metais podem ser unidos por meios mecânicos (parafusando ou rebitando, soldando ou colando). Todos esses métodos são usados na construção de aeronaves. Este módulo discutirá os métodos usados para unir metais através de soldagem.

Vamos juntos!

## **Soldagem (welding)**

Esse processo consiste na união de metais através da fusão enquanto eles se encontram em estado pastoso ou derretido. Há 3 tipos gerais: (1) gás, (2) arco voltaico, e (3) resistência elétrica. Cada um desses três apresenta diversas variações, utilizadas na construção de aeronaves.

A soldagem aplica-se extensivamente no reparo e fabricação de aeronaves. Algumas partes como o montante do motor e o trem de pouso são geralmente fabricados desta maneira, e muitas fuselagens, superfícies de controle, encaixes, tanques, etc., que são construídas usando este processo podem também ser reparadas mais economicamente através da soldagem. É de extrema importância um trabalho cuidadoso, tanto na preparação como na soldagem em si.

A soldagem é um dos métodos mais práticos de união de metais. A junta soldada oferece rigidez, simplicidade, baixo peso e alta resistência. Por essa razão, a soldagem foi adotada universalmente na fabricação e reparo de todos os tipos de aeronaves.

Muitas partes estruturais, bem como partes não estruturais, são unidas por alguma forma de soldagem, e o reparo de muitas dessas peças é uma parte indispensável da manutenção de aeronaves.

É igualmente importante reconhecer quando não se deve usar este tipo de soldagem, como quando se deve usá-la. Muitas peças de ligas de aço ou aço-carbono forte que receberam um tratamento térmico para endurecimento ou fortalecimento, não voltam a 100% de sua dureza ou resistência após este processo de soldagem.

### **Soldagem a Gás**

É realizada através do aquecimento das pontas ou bordas das peças de metal até o ponto de fusão com uma chama de alta temperatura. Essa chama é produzida por um maçarico queimando um gás especial, como o acetileno ou o hidrogênio, junto com oxigênio. Os metais, quando fundidos, fluem juntos para formar a união sem a aplicação de pressão mecânica ou sopro.

Partes de aeronaves fabricadas em aço-cromo-molibdênio ou aço-carbono fraco são geralmente soldadas a gás. Existem dois tipos de soldagem a gás, de uso comum: (1) oxiacetileno e (2) oxi-hidrogênio. Aproximadamente, toda a soldagem para a construção de

aviões é feita com chama de oxiacetileno, apesar de alguns fabricantes preferirem a chama de oxi-hidrogênio para soldar ligas de alumínio.

### **Soldagem por Arco Voltaico**

É usada extensivamente tanto na fabricação como no reparo de aeronaves, e pode ser usada satisfatoriamente na união de todos os metais soldáveis. O processo é baseado na utilização do calor gerado por um arco voltaico. São as seguintes as variações do processo: (1) soldagem por arco metálico, (2) soldagem por arco carbônico, (3) soldagem por hidrogênio atômico, (4) soldagem por gás inerte (hélio), e (5) soldagem multi-arco. As soldagens por arco metálico e por gás inerte são os processos mais largamente empregados na construção aeronáutica.

### **Soldagem por Resistência Elétrica**

É um processo, pelo qual, baixa voltagem e alta amperagem são aplicados aos metais a serem soldados através de um condutor pesado de cobre, de baixa resistência. Os materiais a serem soldados oferecem uma alta resistência ao fluxo de corrente, e o calor gerado por essa resistência funde as partes, unindo-as em seu ponto de contato.

Três tipos comumente usados de soldagem por resistência elétrica são: de extremidade, em ponto e em fenda. A soldagem de extremidade é usada para soldar terminais a hastes de controle. A soldagem em ponto é frequentemente usada na construção de fuselagens é o único método de soldagem usado para unir peças estruturais de aço resistente à corrosão. A soldagem em fenda é semelhante à soldagem em ponto, exceto quanto aos roletes a motor usados como eletrodos. Uma solda hermética contínua é obtida usando-se este processo.

## **1.1 EQUIPAMENTO PARA SOLDAGEM A OXIACETILENO**

Ele pode ser estacionário ou portátil. Um equipamento portátil consiste em:

- 1) Dois cilindros, um contendo oxigênio e outro contendo acetileno;
- 2) Reguladores de pressão de oxigênio e de acetileno, com manômetros e conexões;
- 3) Um maçarico de soldagem, com ajuste de mistura, pontas extras e conexões;
- 4) Duas mangueiras de cores diferentes com conexões para os reguladores e para o maçarico;

- 5) Uma ferramenta especial;
- 6) Óculos para soldagem;
- 7) Um isqueiro;
- 8) Um extintor de incêndio.

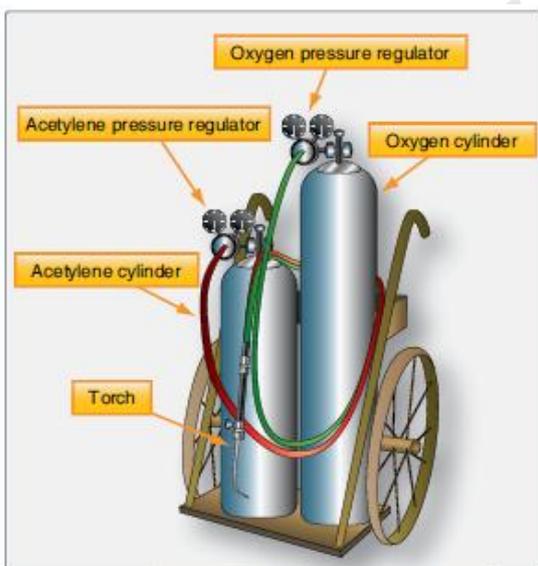
A Figura 6-1 mostra parte do equipamento em um típico carrinho portátil para soldagem com acetileno.

O equipamento estacionário é semelhante ao portátil, exceto pelo fato de que um único reservatório central supre o oxigênio e o acetileno para diversas estações de soldagem.

O reservatório central geralmente consiste em diversos cilindros conectados a uma tubulação comum. Um regulador mestre controla a pressão de cada tubulação para manter uma pressão constante no maçarico.

### Gás Acetileno

É um gás inflamável, incolor, que possui um odor desagradável, prontamente identificável, mesmo quando o gás está bem diluído em ar. Distintamente do oxigênio, o acetileno não existe livre na atmosfera, pois tem que ser fabricado. O processo não é difícil, nem dispendioso. O carbureto de cálcio reage com a água para produzir o acetileno. O acetileno é usado tanto diretamente em um sistema de tubulações, como também, pode ser armazenado em cilindros. Quando queimado, gera uma chama amarela e esfumaçada de baixa temperatura.



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-1 Equipamento portátil típico para soldagem com acetileno.

Quando misturado ao oxigênio nas proporções adequadas e, quando queimado, o resultado é uma chama branco-azulada com temperaturas que variam entre 5.700° e 6.300°F. Sob baixas pressões, em uma temperatura normal, o acetileno é um composto estável. Porém, quando comprimido em um cilindro, a pressões maiores que 15 p.s.i, ele se torna perigosamente instável. Por este motivo, os fabricantes enchem os cilindros de acetileno com uma substância porosa (geralmente uma mistura de amianto e carvão vegetal) e saturam essa substância com acetona. Uma vez que a acetona é capaz de absorver aproximadamente 25 vezes o seu volume em gás acetileno, um cilindro que contenha a quantidade correta de acetona pode ser pressurizado até 250 p.s.i.

### **Cilindros de Acetileno**

São geralmente reservatórios de aço inteiriços, com aproximadamente 12 polegadas de diâmetro e 36 pol. de comprimento. É geralmente pintado em uma cor característica, com o nome do gás impresso ou pintado nas laterais. Um cilindro com estas dimensões totalmente carregado, comporta aproximadamente 225 pés cúbicos de gás a pressões até 250 p.s.i. Em caso de fogo ou aumento excessivo de temperatura, há fusíveis instalados no cilindro que se derreterão permitindo o alívio da pressão, minimizando os riscos de uma explosão. Os furos desses fusíveis de segurança são bem pequenos para evitar que as chamas penetrem no cilindro. Os cilindros de acetileno nunca devem ser completamente esvaziados, ou poderá ocorrer perda do material de enchimento.

### **Cilindros de Oxigênio**

Os cilindros de oxigênio usados nas operações de soldagem são feitos em aço inteiriços e de diferentes tamanhos. O tamanho pequeno típico comporta 200 pés cúbicos de oxigênio a 1800 p.s.i de pressão. Um cilindro grande comporta 250 pés cúbicos de oxigênio a 2.265 p.s.i de pressão. Normalmente são pintados de verde para identificação. Ele possui uma válvula de alta pressão localizada no topo do cilindro. Essa válvula é protegida por uma cúpula metálica de segurança que deverá estar sempre no lugar quando o cilindro não estiver em uso.

O oxigênio jamais deverá entrar em contato com óleo ou graxa. Na presença de oxigênio puro, essas substâncias tornam-se altamente inflamáveis. Os encaixes de mangueiras e válvulas de oxigênio jamais deverão ser lubrificados com óleo ou graxa, ou manuseados

com as mãos sujas dos mesmos. Manchas de graxa na roupa podem inflamar-se ou explodir ao contato com um jato de oxigênio. Nos equipamentos e encaixes do sistema de oxigênio usa-se normalmente cera-de-abelhas como lubrificante.

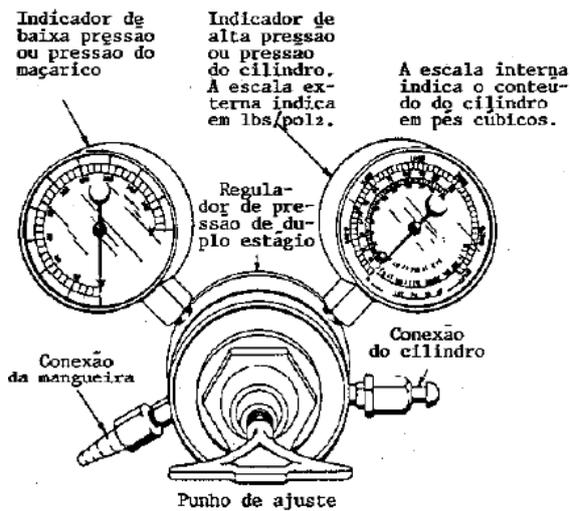
## **Reguladores de Pressão**

Os reguladores de acetileno e oxigênio reduzem as pressões e controlam o fluxo dos gases dos cilindros para o maçarico. Os reguladores de acetileno e oxigênio são do mesmo tipo geral, apesar daqueles desenhados para acetileno não suportarem pressões tão altas quanto os desenhados para oxigênio. Para evitar o intercâmbio entre as mangueiras dos gases, os reguladores são construídos com diferentes tipos de roscas nos encaixes de saída. O regulador de oxigênio possui rosca direita e o regulador de acetileno possui rosca esquerda.

Na maioria das unidades portáteis de soldagem, cada regulador é equipado com dois manômetros: um manômetro de alta pressão, que indica a pressão do cilindro, e um manômetro de baixa pressão que indica a pressão de trabalho na mangueira que leva ao maçarico.

Numa instalação fixa, onde os gases são encanados até as estações de soldagem, somente são requeridos um manômetro para o oxigênio e outro para o acetileno, uma vez que é necessário indicar apenas a pressão de trabalho dos gases fluindo através da mangueira até o maçarico.

Um regulador típico, completo com manômetros e conexões, é mostrado na Figura 6-2. O parafuso de ajuste que aparece na frente do regulador serve para ajustar a pressão de trabalho.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-2 Regulador da pressão de oxigênio.

Quando esse parafuso é girado para a esquerda, até não haver mais resistência, o mecanismo da válvula dentro do regulador é fechado. O gás para de fluir para o maçarico. À medida que a válvula é girada para a direita, o parafuso se opõe ao mecanismo regulador, a válvula abre e o gás flui para o maçarico na pressão ajustada no manômetro de pressão de trabalho. As mudanças na pressão de trabalho podem ser feitas ajustando-se o parafuso até que a pressão desejada seja mostrada no manômetro de trabalho.

Antes de abrir a válvula de alta pressão de um cilindro, o parafuso de ajuste do regulador deverá estar totalmente solto, girado para a esquerda. Isto fechará a válvula no interior do regulador, protegendo o mecanismo quanto a possíveis danos.

## **Maçarico para Soldagem**

O maçarico para soldagem é a unidade misturadora do oxigênio e do acetileno na proporção correta. Ele também possui meios de direcionar e controlar o tamanho e a qualidade da chama produzida.

Os maçaricos são projetados com duas válvulas de agulha, uma para o ajuste do fluxo de oxigênio e a outra para o acetileno. Os maçaricos são fabricados em diferentes tamanhos e estilos, havendo um tipo adequado para cada aplicação. Eles possuem também diferentes tamanhos de bicos intercambiáveis, para que uma quantidade adequada de calor possa ser obtida para a soldagem dos vários tipos e espessuras de metais.

Os maçaricos podem ser divididos em duas classes: (1) Tipo Injetor e (2) Tipo Pressão-Balanceada. O maçarico tipo injetor é desenhado para operar com uma pressão de acetileno bem mais baixa que a do oxigênio (ver Figura 6-3A).

Uma passagem estreita dentro do maçarico, chamada de injetor, através da qual o oxigênio passa, causa um aumento na velocidade do fluxo com uma correspondente queda de pressão. Essa queda de pressão no injetor cria um diferencial de pressão que age no sentido de conduzir a quantidade requerida de acetileno para a câmara de mistura na cabeça do maçarico.

No maçarico de pressão balanceada, o oxigênio e o acetileno são supridos ao maçarico na mesma pressão (Figura 6-3B). As passagens para a câmara de mistura são de mesmo calibre para ambos os gases, e o fluxo de cada gás é independentemente controlado. Este tipo de maçarico geralmente é mais adequado para soldagem de aeronaves devido à facilidade de ajuste.

### **Bicos de Maçarico**

O bico do maçarico fornece e controla o fluxo final dos gases. É importante que o bico correto seja selecionado e usado com as pressões adequadas de gás para que a soldagem seja bem feita. A natureza da soldagem, o material, a experiência do soldador e a posição na qual a soldagem será feita, determinam o tamanho correto do bico. Este determina a quantidade de calor (não de temperatura) aplicada ao trabalho. Se for usado um bico muito pequeno, o calor produzido será insuficiente para produzir penetração até a profundidade adequada. Se o bico for muito grande, o calor produzido será muito grande, e fará buracos no metal.



*Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe*

Os tamanhos dos bicos são designados por números, e cada fabricante tem seu próprio critério para classificá-los. Como exemplo, um bico número 2 possui um orifício com aproximadamente 0,040 da polegada de diâmetro. O diâmetro do orifício do bloco é relacionado com a quantidade de calor que ele gera.

Os bicos de maçarico são feitos de cobre ou liga de cobre, e são fabricados de forma a serem bem encaixados manualmente. Eles não devem ser friccionados em pedra de amolar ou usados como dedos para posicionar um trabalho.

Com o uso, os bicos ficam entupidos com depósitos de carbono, e se forem postos em contato com o material derretido, partículas de escória podem se alojar no furo. Uma chama partida ou distorcida é sinal de que o bico está entupido. O bico deve ser limpo com um limpador de bico de tamanho adequado, ou com um pedaço de arame de cobre ou latão macio. Esponja de aço fina pode ser usada para remover a oxidação exterior do bico. Essas oxidações atrapalham a dissipação de calor e causam o superaquecimento do bico.

Um isqueiro com pedra de fogo é usada para acender o maçarico. O isqueiro consiste de uma peça de aço em forma de copo, e um pedaço de pedra de fogo, que friccionado ao aço, produz as faixas necessárias para acender o maçarico. Nunca se deve usar fósforos para acender o maçarico, devido ao seu pequeno comprimento, os dedos ficam muito próximos da tocha. O gás acumulado antes da ignição pode envolver a mão e durante, provocar graves queimaduras.

## Óculos



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Óculos de soldagem, com lentes coloridas, são usados para proteger os olhos do calor, raios de luz, faíscas e metal derretido. Deve-se selecionar o sombriamente ou a densidade da cor das lentes em função do trabalho a ser executado. A lente mais escura que apresenta uma definição clara do trabalho sem obstruir a visão é a mais adequada. Os óculos devem ser bem ajustados aos olhos e devem ser usados sempre durante as soldagens e os cortes.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

## Varetas de Enchimento para Soldagem

O uso da vareta adequada é muito importante nas operações de soldagem com oxiacetileno. Esse material não apenas reforça a área de soldagem, mas também adiciona propriedades desejadas para o acabamento da solda. Selecionando-se uma vareta adequada, assegura-se a resistência à tração e a ductibilidade da solda. Semelhantemente, podem ser selecionadas varetas que aumentam a resistência à corrosão. Em alguns casos, uma vareta com ponto de fusão mais baixo elimina a possibilidade de rachaduras causadas pela expansão e contração.

As varetas de soldagem podem ser classificadas em ferrosas e não-ferrosas. As ferrosas incluem as varetas de carbono e liga de aço, bem como as de ferro fundido. As não ferrosas incluem as de solda forte "brazing" e bronze, alumínio e ligas de alumínio, magnésio e ligas de magnésio, cobre e prata.

Elas são fabricadas no comprimento padrão de 36 polegadas, e com diâmetros de 1/16 a 3/8 polegadas: O diâmetro da vareta a ser usada depende da espessura dos metais a serem unidos. Se a vareta for muito pequena, ela não conduzirá o calor instantaneamente, o que resultará numa solda queimada. Uma vareta grande demais esfriará a solda. Tal qual na seleção do tamanho de bico adequado, somente a experiência capacita o soldador à seleção do diâmetro adequado de vareta.

### **Ajuste do Equipamento de Soldagem de Acetileno**

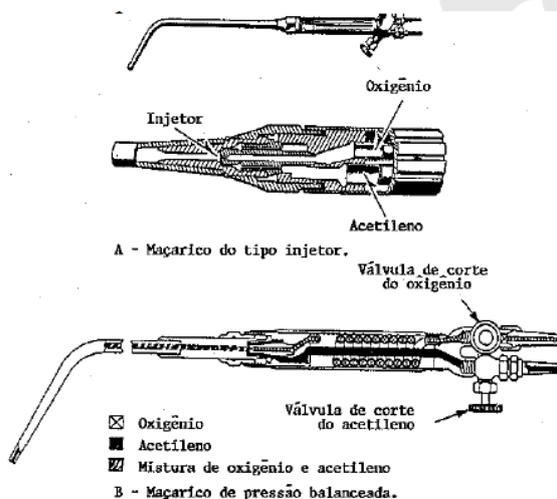
O ajuste do equipamento de soldagem a acetileno e a preparação para a soldagem, devem ser feitos sistematicamente e em uma ordem definida para evitar erros caros. Os seguintes procedimentos e instruções são típicas para assegurar a segurança de equipamento e pessoal:

- (1) Prenda os cilindros para que eles não tombem e remova as cúpulas de proteção dos cilindros;
- (2) Abra as válvulas de corte de cada cilindro por um instante para soprar qualquer sujidade que possa alojar-se na saída. Feche as válvulas e limpe as conexões com uma flanela limpa;
- (3) Conecte o regulador de pressão de acetileno ao cilindro de acetileno, e o regulador de pressão de oxigênio ao cilindro de oxigênio. Use uma chave para regulador e aperte as porcas da conexão o suficiente para prevenir vazamentos;
- (4) Conecte a mangueira vermelha (ou marrom) ao regulador de pressão de acetileno e a mangueira verde (ou preta) ao regulador de oxigênio. Aperte as porcas de conexão o bastante para evitar vazamentos. Não force essas conexões, uma vez que as roscas são de latão e são facilmente danificáveis;
- (5) Solte ambos os parafusos de ajuste dos reguladores de pressão, girando-os para a esquerda até que girem livremente. Assim, evita-se danos aos reguladores e manômetros quando as válvulas dos cilindros forem abertas;
- (6) Abra as válvulas dos cilindros devagar e leia os manômetros de cada cilindro para checar o conteúdo de cada um. A válvula de corte do cilindro de oxigênio deve ser totalmente aberta e a válvula de corte do cilindro de acetileno deve ser aberta aproximadamente uma volta e meia;
- (7) Sobre cada mangueira gire o parafuso de ajuste para a direita e volte para a esquerda de novo. A mangueira de acetileno deve ser soprada somente em um local bem ventilado, livre de faíscas, fogo ou outras fontes de ignição;

- (8) Conecte ambas as mangueiras ao maçarico e cheque as conexões quanto a vazamentos, girando os parafusos de ajuste para a direita, com a válvula de agulha do maçarico fechada. Quando a leitura do manômetro da pressão de trabalho de oxigênio for de 20 p.s.i e 5 p.s.i para o acetileno, feche as válvulas girando os parafusos para a esquerda. Uma queda de pressão no manômetro de trabalho indicará um vazamento entre o regulador e o bico do maçarico. Um aperto geral dos encaixes deverá remediar a situação. Se for necessário localizar um vazamento use o método das bolhas de sabão. Molhe os encaixes e conexões com uma solução de água e sabão. Nunca procure um vazamento de acetileno com uma chama! Isso poderá provocar uma grave explosão na mangueira ou no cilindro;
- (9) Ajuste a pressão de trabalho em ambos os reguladores, girando os parafusos de ajuste no sentido horário até que as pressões desejadas sejam obtidas.

### Ajuste de Chama de Oxiacetileno

Para acender o maçarico, abrimos a válvula de acetileno do maçarico de 1/4 a 1/2 volta. Colocamos a ponta do maçarico para longe do corpo e acendemos o maçarico com um isqueiro. A chama de acetileno puro é longa e espessa, e possui coloração amarelada. Continuamos abrindo a válvula de acetileno até que a ponta da chama diste aproximadamente 1/16 pol. do bico. Abra a válvula de oxigênio do maçarico. Quando a válvula de oxigênio é aberta, a chama de acetileno diminui e os gases misturados queimam em contato com a face do bico. A cor da chama muda para branco-azulado e forma um cone interno brilhante envolto por um envelope de chama externo.



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook - Airframe

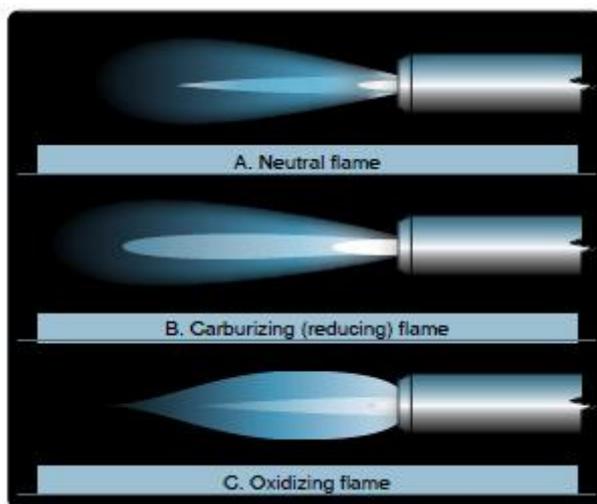
Figura 6-3 Maçaricos de soldagem.

## Processo de Soldagem (welding) com Oxiacetileno

É um método no qual os gases são usados para produzir a chama de soldagem. A temperatura dessa chama fica em torno de 6.300°F, o que é suficiente para derreter qualquer metal comercial envolvido em soldagem. Quando a chama de oxiacetileno é aplicada às extremidades ou bordas das partes metálicas, elas são rapidamente elevadas ao ponto de fusão, e fluem juntas para formar uma peça sólida. Geralmente adiciona-se algum metal à soldagem, em forma de fio ou vareta, para melhorar a junção da solda a uma espessura maior que a do metal base.

Há 3 tipos de chamas geralmente usadas nas soldagens. Elas são conhecidas como: neutra, redutora ou carburante, e oxidante. As características destas chamas são mostradas na Figura 6-4.

A chama neutra é produzida utilizando-se proporções de acetileno e oxigênio de forma a queimar todas as partículas de carbono e hidrogênio do acetileno. Esta chama é bem arredondada, suave, com um cone central branco bem definido na ponta do bico. O envelope ou chama externa é azul com tons purpúreos nas bordas e ponta. A chama neutra é geralmente usada para soldagem e provê uma fusão minuciosa, sem metal queimado ou pontos duros.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-4 Características da chama do acetileno.

Para obtermos uma chama neutra, abrimos gradualmente a válvula de oxigênio. Isso nos faz encontrar a chama de acetileno e faz com que o envelope da chama assemelhe-se a uma "pena de ave". Aumentamos gradualmente a quantidade de oxigênio até que a "pena" desapareça dentro de um cone luminoso interno claramente definido.

A chama redutora ou carburante é mostrada na Figura 6-4B. Uma vez que o oxigênio fornecido através do maçarico não é suficiente para completar a combustão do acetileno, o carbono escapa sem ser queimado. Essa chama possui um cone secundário em forma de pincel branco-esverdeado, à frente do primeiro cone. A chama externa é fracamente iluminada e tem aproximadamente a mesma aparência de uma chama de acetileno pura. Esse tipo de chama introduz carbono no aço.

Para conseguirmos uma chama redutora, primeiramente ajustamos a chama até a condição neutra, depois abrimos devagar a válvula do acetileno, para produzir uma "pena" branca de acetileno na ponta do cone interno.

Uma chama oxidante (Figura 6-4C) contém excesso de oxigênio, que resulta do excesso de oxigênio passando pelo maçarico. O oxigênio que não participa da combustão, escapa e combina-se ao metal. Esta chama pode ser reconhecida pelo cone central, curto, pontudo e de cor branco-azulado. O envelope, ou chama externa, é também mais curto e de um azul mais brilhante que o da chama neutra. É acompanhada de um som agudo, semelhante ao produzido por ar à alta pressão, escapando por um furo pequeno. Esta chama oxida ou queima a maioria dos metais, e resulta em uma solda porosa. Somente é usada para soldagem de latão ou bronze. Para obtermos a chama oxidante, também, primeiramente, ajustamos a chama até a condição neutra, depois aumentamos o fluxo de oxigênio até que o cone interno seja reduzido a 1/10 de seu comprimento. A chama oxidante tem um cone interno pontudo.

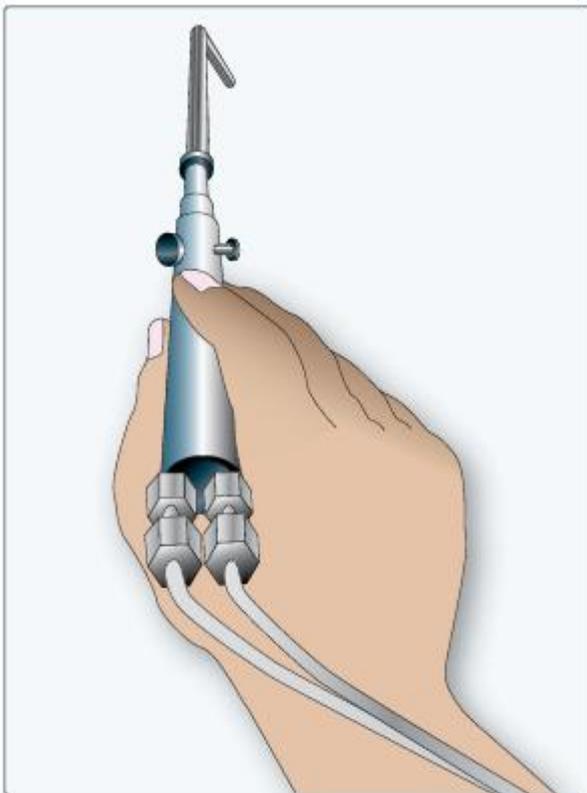
Os diversos tipos de chamas podem ser produzidos com os diferentes tipos de bicos. Também é possível obter uma chama forte ou fraca, aumentando ou diminuindo as pressões de ambos os gases.

Para ajustes mais regulares, os gases devem ser expelidos pelo bico do maçarico a uma velocidade relativamente alta, e a chama é denominada "forte" (harsh). Para alguns trabalhos deseja-se uma chama "suave"(soft) ou de baixa velocidade, sem uma redução na saída de calor. Isto pode ser conseguido usando-se um bico maior e, fechando as válvulas de agulha do gás, até formar uma chama quieta e constante. É especialmente desejável usarmos uma chama suave ao se soldar alumínio, para evitar a criação de buracos no metal quando a poça da solda é formada.

Um ajuste ou manuseio inadequado do maçarico pode fazer a chama retornar para o sistema ou, em casos muito raros, causar retorno de chama. No primeiro caso, trata-se de uma redução momentânea do fluxo dos gases no bico do maçarico, o que faz com que a chama apague. Isto pode ser causado, tocando a solda com a ponta do maçarico,

superaquecendo o bico, operando o maçarico com pressões diferentes das recomendadas, por um bico solto ou por sujeira, ou escória na ponta do bico. Este caso dificilmente é perigoso, porém o metal derretido pode ser espalhado quando a chama falhar.

O retorno de chama é a queima dos gases dentro do maçarico, o que é perigoso. É geralmente causado por conexões soltas, pressões inadequadas ou superaquecimento do maçarico. Um assovio ou um ruído agudo acompanham o retorno de chama e, a menos que os gases sejam desligados imediatamente, a chama poderá queimar por dentro das mangueiras e reguladores e causar um grande estrago. A causa do retorno de chama deve ser sempre determinada, e o problema remediado antes de reacender o maçarico.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-5 Posição do maçarico para soldar metais de pouca espessura com acetileno.

### **Como Apagar o Maçarico**

O maçarico pode ser apagado simplesmente fechando-se as duas válvulas de agulha, porém, é melhor desligar primeiro o acetileno e deixar que o gás residual seja queimado. Só então, a válvula de agulha do oxigênio poderá ser fechada. Caso o maçarico não vá ser usado por um longo tempo, a pressão deverá ser fechada no cilindro. As mangueiras deverão ter suas pressões aliviadas pela abertura das válvulas de agulha do maçarico e do regulador de

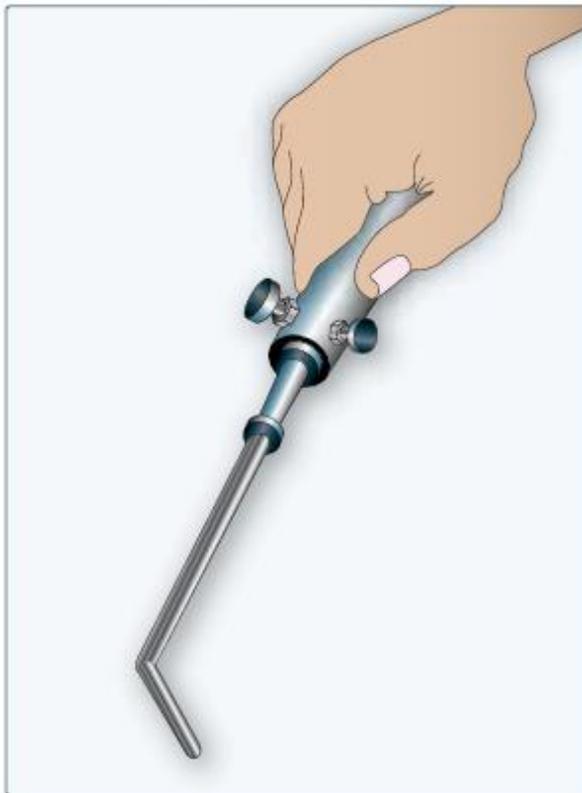
pressão de trabalho, permitindo que o gás escape. Lembrando que é sempre bom aliviar a pressão do acetileno e depois a pressão do oxigênio. A mangueira deverá ser enrolada ou pendurada cuidadosamente para evitar danos ou dobras.

### **Técnicas Fundamentais para Soldagem (welding) a Oxiacetileno**

A posição correta do maçarico dependerá da espessura do metal a ser soldado. Quando for soldar metais de pouca espessura, o maçarico é geralmente segurado como ilustrado na Figura 6-5, com a mangueira apoiada no pulso.

A Figura 6-6 mostra a maneira de segurar o maçarico durante a soldagem de metais pesados.

O maçarico deverá ser seguro de forma que o bico fique alinhado com a junta a ser soldada, e inclinado em ângulo de 30° a 60° a partir do plano perpendicular.



*Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-6 Posição do maçarico para soldar metais pesados com acetileno.

O melhor ângulo depende do tipo de soldagem a ser feita, da quantidade de pré-aquecimento necessário e da espessura e tipo do metal.

Quanto mais grosso o metal, mais vertical o maçarico deverá ficar para que haja uma penetração adequada de calor.

O cone branco da chama deve ser mantido a 1/8 de polegada da superfície do metal base.

Se o maçarico for seguro na posição correta, uma pequena poça de metal derretido se formará.

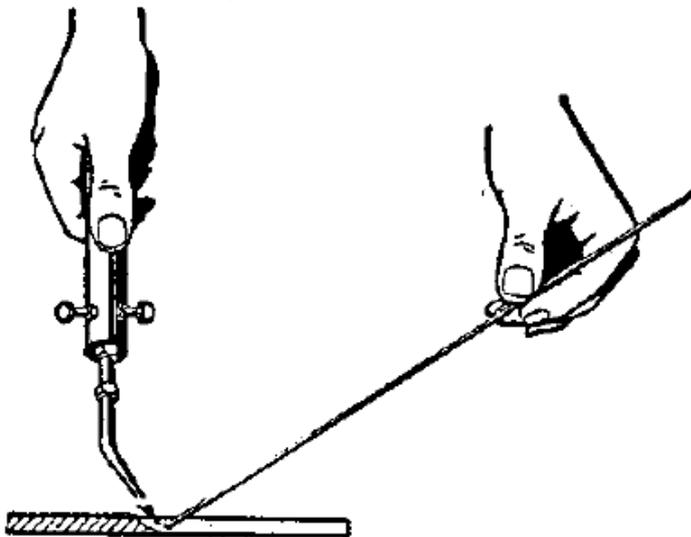
A poça deverá ser composta de partes iguais dos metais a serem soldados.

Após o surgimento da poça, deve-se iniciar um movimento semicircular ou circular com o bico do maçarico. Esse movimento garante uma distribuição igual de calor em ambas as peças de metal.

A velocidade e o movimento ideal do maçarico só são conseguidos através da prática e da experiência.

Soldagem para a frente é a técnica em que a chama do maçarico é direcionada para a frente, na direção em que a soldagem irá progredir, como ilustrado na Figura 6-7.

A vareta de enchimento é adicionada à poça, à medida em que as bordas da junta vão derretendo à frente da chama. Esse método é usado na soldagem da maioria dos tubos leves e das folhas de metal.

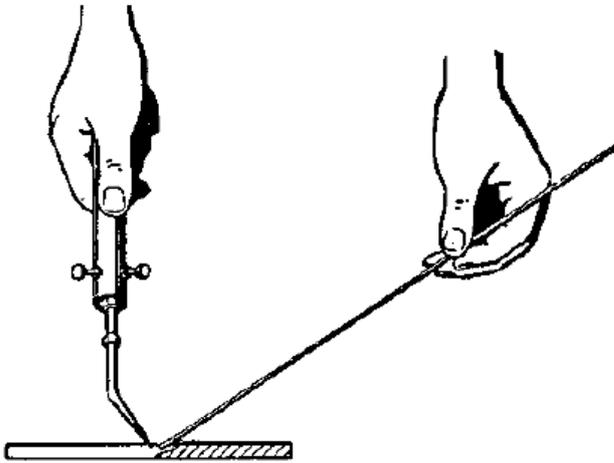


Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-7 Soldagem para a frente.

A soldagem para trás é a técnica em que a chama do maçarico é direcionada contra a solda já feita, e se move na direção da área não soldada, derretendo as bordas da junta à medida que se move (Figura 6-8). A vareta de solda é adicionada à poça entre a chama e a

solda acabada. Essa técnica é raramente usada em folhas de metal, devido ao aumento do calor gerado, que poderá causar superaquecimento e queima. É usada em metais espessos.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-8 Soldagem para trás.

A larga poça de metal derretido requerida por tais soldagens é mais facilmente controlada na soldagem para trás, e é possível examinar o progresso da soldagem e determinar se a penetração está completa.

## 1.2 POSIÇÕES DE SOLDAGEM

Há 4 posições gerais nas quais a soldagem é efetuada. Essas posições são mostradas na Figura 6-9, e são denominadas: chata ou plana, horizontal, vertical e sobre-cabeça.

Posições de soldagem				
	Chata	Horizontal	Vertical	Sobre a cabeça
Topo				
Quina				
"T"				
Sobreposta				

Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-9 Quatro posições básicas de soldagem.

Sempre que possível a soldagem será feita na posição chata, uma vez que a poça é muito mais fácil de ser controlada nesta posição.

Algumas vezes, contudo, é necessário realizar soldagens sobre cabeça, verticais ou horizontais em reparos de aeronaves.

A posição chata é usada quando o material pode ser deitado em local plano, ou inclinado em ângulo menor que  $45^\circ$ , e soldado pela face superior. Esta soldagem tanto pode ser feita para a frente como para trás, dependendo da espessura do metal a ser soldado.

A posição horizontal é usada quando a linha de solda corre através de uma peça e a chama é direcionada para o material numa posição horizontal ou quase. A soldagem será feita da direita para a esquerda através da chapa (para o soldador destro). A chama é inclinada para cima em um ângulo de  $45^\circ$  a  $60^\circ$ . A soldagem tanto pode ser feita para frente como para trás. Adicionando a vareta de enchimento ao topo da poça, ajudará a prevenir que o metal derretido escorra para a parte mais baixa dela.

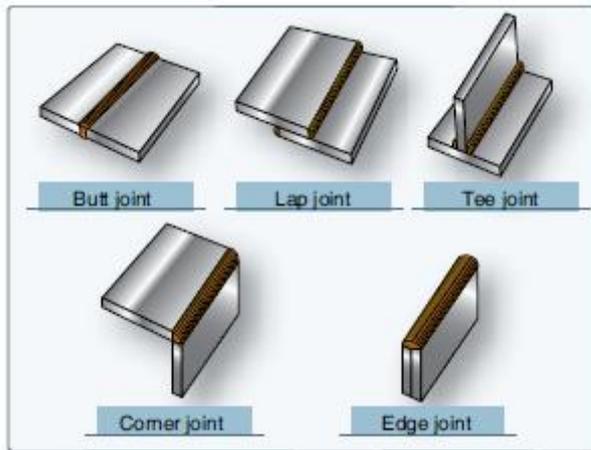
A soldagem sobre cabeça é usada quando o material deve ser soldado pela face inferior com a junção correndo na horizontal, ou em um plano, em que a chama tenha que ser apontada para cima, sob o trabalho. Na soldagem aérea, deve-se evitar grandes poças de metal derretido, pois ele pode pingar ou correr para fora da junta. A vareta é usada para controlar o tamanho de poça de fusão.

O volume da chama usada não deve exceder o requerido para obter uma boa fusão do metal base com a vareta de enchimento. A quantidade de calor necessária para fazer a soldagem será melhor controlada se for selecionado o bico adequado para a espessura do metal a ser soldado.

Quando as partes a serem unidas estão incluídas em ângulo de mais de  $45^\circ$ , com junta correndo verticalmente, é chamada de soldagem vertical. Numa soldagem vertical, a pressão exercida pela chama do maçarico é muito importante no suporte da poça.

Devemos evitar que a poça superaqueça para que o metal não escorra para fora da poça, por cima da solda já terminada. As soldagens verticais são iniciadas na parte mais baixa, e a poça é movida para cima, usando a soldagem para a frente.

O bico deve ser inclinado de  $45^\circ$  a  $60^\circ$ , sendo que o ângulo exato dependerá do balanço desejado entre a penetração correta e o controle da poça. A vareta é adicionada por cima e em frente à chama.



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-10 Soldagem básica de juntas.

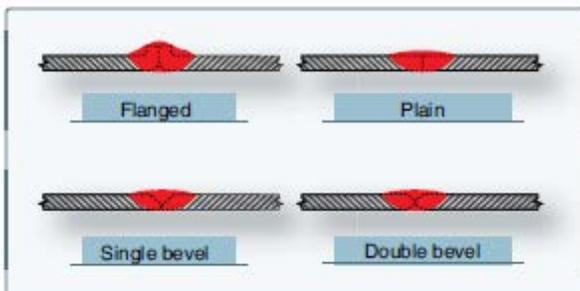
### 1.3 JUNTAS SOLDADAS

Os 5 tipos fundamentais de juntas soldadas são: a junta de topo, a de ângulo em "T", a junta sobreposta, a de ângulo em "Quina", e a junta de aresta.

#### Juntas de Topo

Uma junta de topo é feita posicionando-se duas peças de material, borda a borda, de forma que não se sobreponham, e soldando-as. Alguns dos vários tipos de juntas de topo são apresentados na Figura 6-11. A junta de topo com flange pode ser usada na soldagem de folhas finas, 1/16 da polegada ou menos.

As bordas são preparadas torcendo para cima um flange igual à espessura do metal. Este tipo de junta é geralmente feito sem vareta de enchimento.



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-11 Tipos de juntas de topo.

A junta de topo plana é usada para metais de 1/16 a 1/18 da polegada de espessura. Para obter uma solda forte usamos uma vareta de enchimento.

Caso o metal seja mais grosso que 1/8 da polegada, é necessário chanfrar as bordas para que o calor da chama possa penetrar completamente no metal. Esses chanfros podem ser em "V" ou em "X" (ou "V" duplo).

Usa-se uma vareta de enchimento para adicionar resistência e reforçar a solda.

## Rachaduras

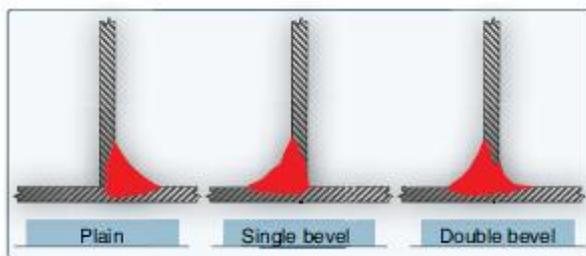
O reparo de rachaduras por soldagem pode ser considerado como uma junta de topo. São feitos furos de alívio nas extremidades da rachadura. Depois, as duas bordas são unidas. Faz-se necessário o uso de uma vareta de enchimento.

## Junta de Ângulo em "T"

Essa junta é formada quando a borda ou extremidade de uma peça é soldada à superfície de outra, como mostrado na Figura 6-12.

Essas juntas são muito comuns em trabalhos em aeronaves, particularmente em estruturas tubulares.

A junta em "T" plana é aplicável à maioria das espessuras das chapas de aeronaves, porém grandes espessuras requerem que o membro vertical possua um ou dois chanfros para permitir a penetração do calor. As áreas escuras da Figura 6-12 mostram a profundidade da penetração do calor e da fusão requeridas.

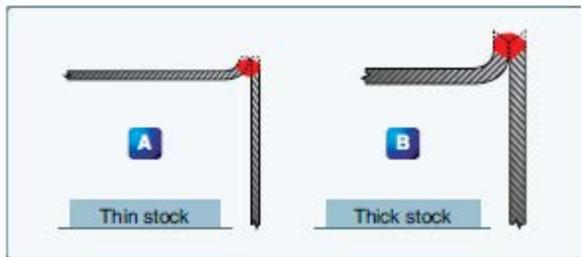


Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-12 Tipos de juntas em "T".

## Juntas de Aresta

Uma junta de aresta pode ser usada quando duas peças de chapa de metal precisam ser unidas, e onde as cargas de estresse são desprezíveis. Essas juntas são normalmente feitas dobrando as bordas de uma ou de ambas as partes para cima, colocando-se as duas bordas dobradas lado a lado, e soldando ao longo da face externa da emenda formada pelas duas bordas. A Figura 6-13 mostra dois tipos de juntas de aresta. O tipo apresentado na Figura 6-13A não requer o uso da vareta de enchimento, uma vez que as bordas podem ser derretidas para preencher a emenda. O tipo apresentado na Figura 6-13B, devido à grande espessura do material, deve ser chanfrado para a penetração do calor, e a vareta de enchimento deve ser adicionada para reforço.



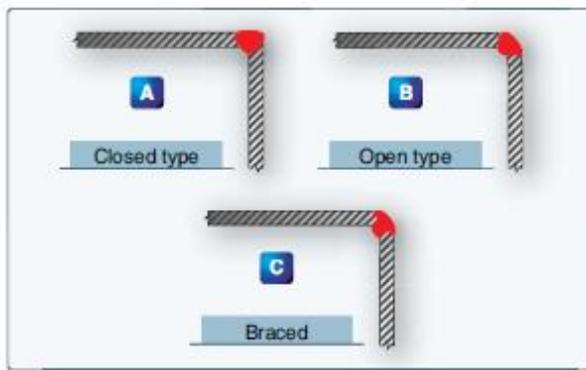
Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-13 Juntas de aresta.

## Juntas de Ângulo em "Quina"

Essa junta é feita quando duas peças de metal são unidas, de forma que suas bordas formem uma quina de uma caixa ou cerco, como mostrado na Figura 6-14. A junta em quina, mostrada na Figura 6-14A requer pouca ou nenhuma vareta de enchimento, uma vez que as bordas se fundem para fazer a solda. É usada onde cargas de estresse são desprezíveis.

A junta apresentada na Figura 6-14B é usada em metais mais pesados, e adiciona-se vareta de enchimento para acabamento e reforço. Caso a quina vá sofrer muito esforço, o lado interno deve ser reforçado, como mostrado na Figura 6-14C.



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-14 Juntas de "quina".

### Juntas Sobrepostas

Essa junta é raramente usada em estruturas de aeronaves soldadas com oxiacetileno, porém é comumente usada em soldagem em ponto. A junta sobreposta com um cordão de solda (Figura 6-15) possui muito pouca resistência à dobragem, e não resiste a esforços de cisalhamento aos quais a solda pode ser submetida sob cargas de tensão e compressão. A junta sobreposta com dois cordões de solda (Figura 6-15) oferece mais resistência, porém requer duas vezes a quantidade de solda requerida na junta de topo, que é mais simples e mais eficiente.



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-15 Juntas superpostas simples e dupla.

## 1.4 EXPANSÃO E CONTRAÇÃO DOS METAIS

O calor provoca dilatação (expansão) nos metais. O resfriamento faz com que eles se contraíam. Um aquecimento desigual, portanto, causará uma expansão desigual, ou um resfriamento desigual causará uma contração desigual. Sob tais condições, cria-se estresse dentro do metal. Essas forças devem ser aliviadas, e a menos que sejam tomadas precauções, ocorrerá deformação ou empenamento do metal. Como no resfriamento, se nada for feito para anular o estresse gerado pelas forças de contração, poderá ocorrer empenamento ou,

caso o metal seja muito pesado para permitir essa deformação, o estresse permanece dentro do metal.

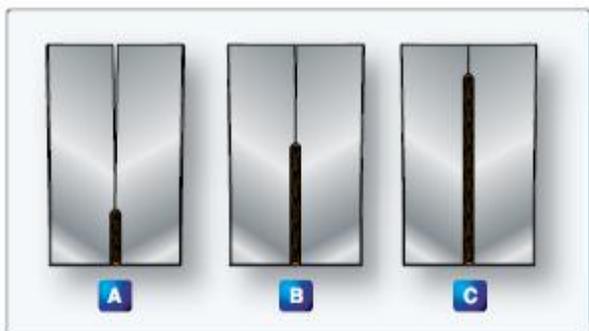
O coeficiente de expansão linear de um metal é a quantidade, em polegadas, que um pedaço de metal de 1 polegada irá dilatar-se quando sua temperatura é aumentada de 1°F. A quantidade que um pedaço de metal irá dilatar-se quando o calor é aplicado, é encontrada multiplicando-se o coeficiente de dilatação linear pelo aumento de temperatura, e esse produto é multiplicado pelo comprimento do metal em polegadas.

Por exemplo, se uma vareta de alumínio medindo 10 pés tiver sua temperatura elevada a 1200°F a partir da temperatura ambiente de 60°F, a vareta irá expandir-se 1,75 da polegada  $-0,00001280$  (coef. de dilatação linear de alumínio) X 120 (comprimento em polegada.) X 1140 (aumento de temperatura).

A expansão e a contração têm uma tendência a provocar deformação e empenamento em chapas de metal com 1/8 da polegada de espessura ou mais finas. Isto ocorre por haver uma ampla superfície que espalha o calor rapidamente e dissipa-o logo que a fonte de calor é removida.

O modo mais eficaz de aliviar essa situação é a remoção do calor do metal, próximo à solda, evitando assim que ele se espalhe através de toda a superfície. Isto pode ser feito pondo peças pesadas de metal, conhecidas como barras de resfriamento, em ambas as faces da soldagem. Elas absorvem o calor e evitam que ele se espalhe. As barras de resfriamento são normalmente de cobre, devido à sua habilidade em absorver calor rapidamente. Algumas vezes as bancadas de soldagem usam este mesmo princípio para remover o calor do metal base. A expansão também pode ser controlada através da solda pontuada em intervalos ao longo da junta.

À medida que se solda uma emenda longa (maior que 10 ou 12 polegadas) as bordas mais afastadas do ponto de soldagem tendem a se unir. Se essas bordas forem postas em contato ao longo de toda a extensão da emenda, antes do início da soldagem, as extremidades mais distantes irão se sobrepor antes do final da soldagem. Isto pode ser evitado deixando as peças, a serem soldadas, corretamente afastadas na extremidade de início da soldagem e, aumentando esse espaçamento à medida em que se afasta do ponto inicial, como mostrado na Figura 6-16. A quantidade de espaço dependerá do tipo de material, da espessura do material, do processo de soldagem usado e do formato e tamanho das peças a serem soldadas.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-16 Tolerância para a soldagem de topo em chapas de aço.

A soldagem é iniciada na ponta corretamente espaçada e prossegue em direção à ponta com maior espaçamento. À medida que a emenda vai sendo soldada, o espaço entre as bordas irá diminuindo e dará a folga correta no ponto da soldagem. Folhas de metal com menos de 1/16 da polegada podem ser soldadas flangeando-se as bordas, fazendo solda ponteadada e depois soldando entre os pontos.

A tendência a empenamento e deformação é menor em chapas de mais de 1/8 da polegada, porque a maior espessura limita o calor a uma área estreita e dissipa-o antes que ele se espalhe por uma área maior.

O pré-aquecimento antes da soldagem é outro método de controle da expansão e da contração. O pré-aquecimento é especialmente importante quando se trata de soldagem de tubulações e de fundições. Um grande estresse pode ser gerado em soldas tubulares, por contração. Quando dois membros de uma conexão em "T" são soldados, um dos tubos tende a puxar para cima devido à contração desigual. Se o metal for pré-aquecido antes da soldagem, ainda assim haverá contração, porém a contração do resto da estrutura será aproximadamente igual, o que reduzirá o estresse interno.

## 1.5 A CORRETA FORMAÇÃO DE UMA SOLDA

A formação de uma solda metálica possui considerável influência quanto à força e à resistência à fadiga de uma junta. A força de uma solda inadequadamente feita é geralmente menor que a força para a qual ela foi projetada. Soldas com baixa resistência são geralmente devidas a penetração insuficiente, rebaixamento do metal base na raiz da solda, fusão incorreta do metal de soldagem com o metal de base, óxidos presos, escória ou bolhas de gás na solda, sobreposição do metal soldado no metal de base, reforço de mais ou menos, e superaquecimento da solda.

## **Características de uma Boa Solda**

Uma solda completa deve ter as seguintes características:

- 1) A junta deve ficar lisa, as oscilações da camada de solda devem estar igualmente espaçadas, e devem ter uma espessura uniforme;
- 2) A altura da solda deve ser maior que o nível da superfície soldada, aumentando assim a espessura da junta;
- 3) A solda deve ir afilando suavemente em direção ao metal base;
- 4) Não deve haver formação de óxido no metal base, junto à solda;
- 5) A solda não deve apresentar sinais de furos por bolhas, porosidade ou glóbulos;
- 6) O metal base não deve apresentar sinais de queima, furos, rachaduras ou distorções.

Apesar do ideal ser uma solda limpa e suave, esta característica não significa necessariamente que a solda está boa. Ela poderá estar perigosamente fraca em seu interior. Contudo, quando uma solda está áspera, desigual e cheia de furos, ela quase sempre estará fraca por dentro. A solda nunca deve ser limada para melhorar a aparência, pois isto reduz sua resistência. Nunca se deve aplicar um enchimento que não seja o adequado.

Quando for necessário refazer a solda de uma junta, todo o material anterior deverá ser removido antes de recomeçar a operação. Contudo, deve ser lembrado que o reaquecimento da área, pode causar ao metal base, a perda de alguma de suas resistências, enfraquecendo-o.

## **Soldagem com Oxiacetileno de Metais Ferrosos**

### **Aço**

Aço com baixo carbono, aço de baixa liga, aço fundido e ferro forjado são facilmente soldados com uma chama de oxiacetileno. O aço com baixo carbono é o material ferroso mais frequentemente soldado a gás. À medida que a quantidade de carbono no aço aumenta, ele apenas poderá ser soldado sob certas condições. Os fatores envolvidos são o conteúdo de carbono e a ductibilidade. Para aços níquelcromo, resistentes à corrosão e ao calor, a soldabilidade dependerá da estabilidade, do conteúdo de carbono ou do tratamento térmico.

Para fazer uma boa soldagem, o conteúdo de carbono do aço não deve ser alterado, nem pode-se adicionar constituintes químicos ou subtraí-los do metal base sem alterar

seriamente as propriedades do metal. O aço derretido possui uma grande afinidade com o carbono, e o oxigênio e o nitrogênio se combinam com a poça de fusão para formar óxidos e nitratos, e ambos reduzem a resistência do aço. Durante a soldagem com oxiacetileno pode-se reduzir a inclusão de impurezas tendo as seguintes precauções:

- 1) Manter uma chama exatamente neutra para a maioria dos aços, e um pequeno excesso de acetileno para ligas com alto teor de níquel ou cromo, tal como o aço inoxidável;
- 2) Manter uma chama suave, e controlar a poça;
- 3) Manter uma chama suficiente para penetrar no metal, e manipulá-lo de forma que a poça de fusão seja protegida do ar pelo envelope externo da chama;
- 4) Manter a ponta quente da vareta de enchimento dentro da poça de fusão ou dentro do envelope da chama.

A preparação adequada é um fator importante em toda operação de soldagem. As bordas das peças devem estar preparadas de acordo com o tipo de junta escolhida. O método escolhido (chanfro, ranhura, etc.) deve permitir uma penetração completa da chama no metal base. As bordas devem estar limpas. Deve-se fazer os preparativos para o pré-aquecimento, se for necessário.

Quando for preparar uma peça de aeronave para a soldagem, remova toda a sujeira, graxa ou óleo, e qualquer revestimento protetor, tal como o cádmio, esmalte (enamel), pintura ou verniz. Tais revestimentos não apenas dificultam a soldagem, mas também mesclam-se com a solda e atrapalham a fusão.

O banho de cádmio pode ser quimicamente removido, mergulhando-se as bordas em uma mistura de 1 libra de nitrato de amônia e 1 galão de água.

O esmalte, a pintura ou o verniz podem ser removidos das partes de aço de diversas formas, como por exemplo com uma escova de cerdas de aço ou uma lixa, com jateamento de areia, usando removedor ou tratando as peças com uma solução quente de 10% de soda cáustica, seguida de uma lavagem com água quente para remover os resíduos de solvente. O jateamento com areia é o método mais efetivo para remover ferrugem ou escamas das peças de aço. Graxa e óleo podem ser removidos com um bom solvente.

Esmalte, pintura e verniz ou oxidações pesadas em ligas de alumínio podem ser removidas usando-se uma solução a 10% de soda-cáustica ou fosfato tri-sódico. Após o tratamento, as partes podem ser imersas em uma solução a 10% de ácido nítrico, seguido de um enxágue com água quente para remover os produtos químicos. A pintura e o verniz podem também ser removidos usando-se removedor.

A ponta da vareta de enchimento deve ser mergulhada abaixo da superfície da poça de fusão com movimento exatamente oposto ao movimento do maçarico. Caso a vareta de enchimento seja mantida acima da superfície, ela irá derreter e pingar na poça de fusão gota a gota, estragando a solda.

O metal de enchimento deve ser adicionado até que a superfície da junta fique ligeiramente mais alta que as bordas das peças. A poça de metal fundido deve ser gradualmente movida ao longo da junta até a extremidade final.

À medida que o final da junção se aproxima, o maçarico deve ser ligeiramente erguido, resfriando o metal derretido para prevenir que ele derrame além da junção.

### **Cromo Molibdênio**

A técnica de soldagem em cromo molibdênio é praticamente a mesma usada para aço carbono, exceto quanto à área ao redor da soldagem, que deverá ser pré-aquecida a uma temperatura entre 300° e 400°F antes do início da soldagem. Caso isto não seja feito, a aplicação súbita de calor causará a formação de rachaduras na área aquecida.

Uma chama neutra suave deve ser usada na soldagem. Uma chama oxidante pode causar rachaduras na solda após o resfriamento, e uma chama carburante fará com que o metal fique quebradiço. O volume da chama deve ser suficiente para derreter o metal base, porém não tão forte que vá enfraquecer a estrutura da área ao redor e criar tensões no metal. A vareta de enchimento deverá ser do mesmo metal que a base. Caso a solda requeira alta resistência, usa-se uma vareta especial de aço cromo molibdênio e a peça sofrerá tratamento térmico após a soldagem.

Chapas de cromo molibdênio mais finas que 0.093 polegadas são geralmente soldadas por arco-voltaico, uma vez que para esta espessura de metal, a solda a arco-voltaico produz uma zona estreita de calor. Desenvolve-se assim menos tensão interna no metal, e obtém-se uma soldagem melhor, particularmente quando a parte soldada não pode sofrer tratamento térmico após a soldagem.

### **Aço Inoxidável**

O processo de soldagem de aço inoxidável é basicamente o mesmo, aplicado ao aço carbono. Há, contudo, algumas precauções especiais que devem ser tomadas para se obter melhores resultados.

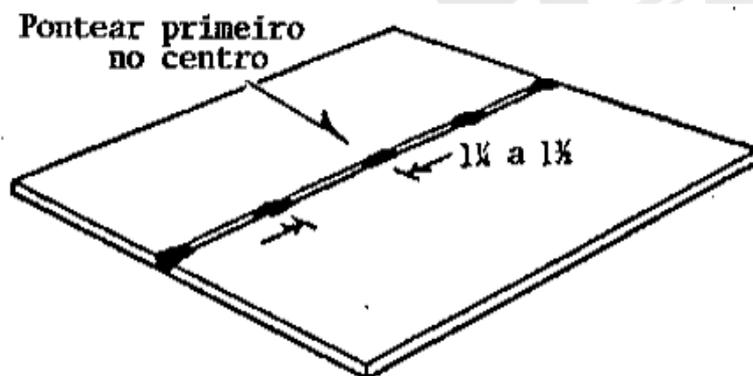
Somente o aço inoxidável que não for usado em membros estruturais de aeronaves pode ser soldado satisfatoriamente. Sendo ele, utilizado em membros estruturais, é trabalhado a frio ou laminado a frio e, se aquecido, perde parte da sua resistência. Aço inoxidável não estrutural é obtido em forma de tubos ou folhas, e geralmente é aplicado em coletores de exaustão, chaminés ou tubulações. O oxigênio se combina muito rapidamente com este material, quando derretido, e deve-se ter muito cuidado para que isto não ocorra.

Uma chama ligeiramente carburante é recomendada para a soldagem de aço inoxidável. A chama deve ser ajustada de forma que "pena" do excesso de acetileno, aproximadamente 1/16 da polegada de comprimento, forme-se ao redor do cone interno.

Contudo, acetileno demais adicionará carbono ao metal, e causará o enfraquecimento da resistência a corrosão do aço. O tamanho do bico do maçarico deve ser uma ou duas medidas abaixo do tamanho especificado para uma soldagem em aço carbono de mesma espessura. O bico menor reduz as chances de superaquecimento e perda subsequente das qualidades antioxidantes do metal.

Para evitar a formação de óxido de cromo, deverá haver fluxo na superfície inferior da junta, e sobre a vareta de enchimento. Uma vez evitando a oxidação tanto quanto possível, deve-se adicionar um fluxo suficiente. Outro método para manter o oxigênio afastado do metal é envolver a solda com uma camada de gás hidrogênio. Esse método é discutido posteriormente. A vareta de enchimento a ser usada deverá ser do mesmo metal da base.

Uma vez que o coeficiente de dilatação linear do aço inoxidável é alto, chapas finas onde se vá fazer uma junta de topo devem ser ponteadas a intervalos de 1 1/4 a 1 1/2 polegadas, como mostrado na Figura 6-17. Esta é uma das maneiras de evitar empenamento e deformação durante o processo de soldagem.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-17 Método de soldagem de chapas de aço inoxidável.

Durante a soldagem, devemos manter a vareta de enchimento dentro do envelope da chama, de forma a derretê-la ao mesmo tempo que o metal base. Adicionamos a vareta de enchimento de forma que ela flua para dentro da poça de fusão. Se a poça de fusão for mexida, o ar penetrará na solda aumentando a oxidação. Devemos evitar ressoldar qualquer peça ou soldagem pelo lado oposto à solda.

Tal prática resulta em empenamento e superaquecimento do metal.

## **1.6 SOLDAGEM DE METAIS NÃO FERROSOS USANDO OXIACETILENO**

Metais não ferrosos são aqueles que não contêm ferro em sua composição. Exemplos de metais não-ferrosos são o chumbo, o cobre, a prata, o magnésio, e o mais importante na construção aeronáutica - o alumínio. Alguns destes metais são mais leves que os metais ferrosos, porém, na maioria dos casos, são menos resistentes. Os fabricantes de alumínio compensaram a falta de resistência do alumínio puro, ligando-o a outros metais ou trabalhando-o a frio. Para aumentar ainda mais a resistência, algumas ligas de alumínio recebem tratamento térmico.

### **Soldagem em Alumínio**

As ligas de alumínio soldáveis usadas na construção aeronáutica são o 1100, o 3003, o 4043, e o 5052. As ligas 6053, 6061 e 6151 também podem ser soldadas, porém, uma vez que essas ligas recebem tratamento térmico, a soldagem somente será permitida se a peça puder sofrer novo tratamento térmico.

O equipamento e a técnica usados para a soldagem de alumínio diferem apenas um pouco dos métodos discutidos anteriormente. Como em todas as soldagens, o primeiro passo é limpar a superfície a ser soldada - uma palha de aço ou escova metálica podem ser usadas, ou um solvente, no caso de tinta ou graxa. O soldador deverá ter o cuidado de não arranhar a superfície do metal além da área a ser soldada. Esses arranhões geram pontos de entrada de corrosão. A peça deve, então, ser pré-aquecida para reduzir as tensões causadas pelo alto coeficiente de dilatação linear do alumínio.

Nunca devemos pré-aquecer o alumínio a uma temperatura maior que 800°F, porque o calor pode derreter parte do alumínio e queimar o metal. Para chapas finas de alumínio, a simples passagem da chama do maçarico sobre a chapa três ou quatro vezes é suficiente. Podem ser usados dois tipos de varetas de enchimento. Essa escolha é importante.

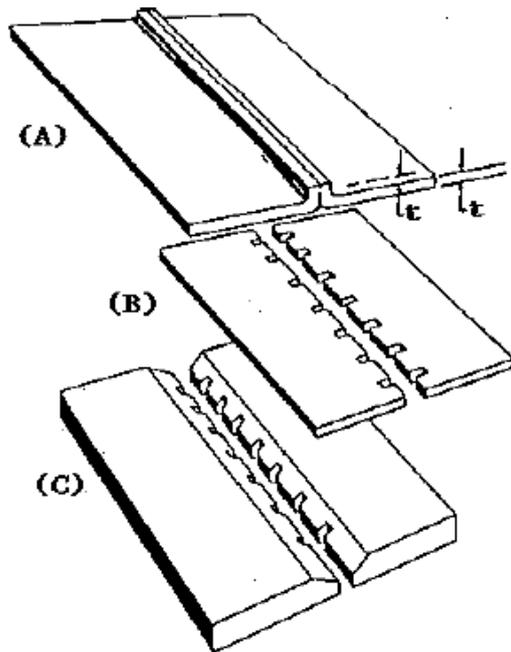
O alumínio e suas ligas combinam-se com o ar e formam óxidos muito rapidamente. Os óxidos formam-se duas vezes mais rápido caso o metal esteja quente. Por esta razão é importante usar um fluxo que minimize ou evite a formação de óxidos.

A utilização do fluxo adequado na soldagem de alumínio é extremamente importante. O fluxo da soldagem do alumínio é projetado para remover o óxido de alumínio através de combinação química. Fluxos de alumínio dissolvem-se abaixo da superfície da poça de fusão e fazem com que os óxidos flutuem pela superfície da solda de onde eles possam ser retirados. O fluxo pode ser pintado diretamente sobre o topo e o fundo da junta, caso não seja requerido o uso de vareta de enchimento. Caso seja usada vareta de enchimento, ela pode ser revestida, e caso as peças a serem soldadas sejam finas, tanto o metal como a vareta devem ser revestidos com fluxo.

Após a soldagem ser terminada, é importante que todos os resíduos sejam movidos usando uma escova ou água quente. Caso o fluxo de alumínio permaneça na solda ele provocará corrosão. Uma solução diluída a 10% de ácido sulfúrico pode ser usada caso não seja possível usar água quente. A solução ácida deverá ser enxaguada com água fria.

A espessura da chapa de liga de alumínio determina o tipo de borda a ser usada. Em chapas até 0,062 polegadas as bordas são geralmente flangeadas a 90° a aproximadamente uma altura igual à espessura da chapa (Figura 6-18A). Os flanges devem ser retos e quadrados. Não é necessário adicionar vareta de enchimento neste caso.

Juntas de topo não chanfradas são geralmente usadas em liga de alumínio com espessura entre 0,062 e 0,188 polegadas. Pode ser necessário também fazer dentes nas bordas com uma lima ou um formão de maneira semelhante à apresentada na Figura 6-18B. Esses dentes no alumínio são recomendados pois ajudam a realizar uma penetração total e também evitam deformações locais. Todas as juntas de topo em materiais com espessura acima de 0,125 polegadas geralmente recebem "dentes" em suas bordas.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-18 Preparação das bordas para a soldagem de alumínio.

Na soldagem de alumínio acima de 0,188 polegadas de espessura, as bordas são geralmente chanfradas e recebem dentes como mostrado na Figura 6-18C. O ângulo do chanfro deverá ser de 90° a 120°.

Uma chama neutra deve ser geralmente usada para soldar ligas de alumínio. Em alguns casos uma chama ligeiramente carburante pode ser usada. Contudo, o excesso de acetileno não deve ser demasiado, pois ele será absorvido pelo metal fundido, resultando em uma junta enfraquecida.

O maçarico deve ser ajustado para fornecer a chama mais branda possível sem estourar. O uso de uma chama forte, torna difícil controlar o metal fundido, o que ocasiona a formação de furos através do metal.

Quando estiver iniciando a soldagem, as duas bordas da junta devem começar a derreter antes de adicionar a vareta de enchimento. O trabalho deve ser observado cuidadosamente quanto a sinais de derretimento. O ponto de fusão do alumínio é baixo e o calor é conduzido rapidamente através do metal. Há uma mudança muito pequena quanto ao formato e à coloração para indicar quando chega ao ponto de fusão. Quando se atinge o ponto de fusão, o metal subitamente entra em colapso e escorre, deixando um buraco no alumínio.

Uma vareta de enchimento pode ser usada para testar as condições do metal. O alumínio começa a parecer macio e plástico logo antes de chegar ao ponto de fusão.

Qualquer tendência ao colapso do metal pode ser retificada, afastando-se rapidamente a chama do metal. Com a prática é possível desenvolver habilidade suficiente para derreter a superfície do metal sem formar um buraco.

A chama deve ser neutra e inclinada a um ângulo aproximado de 45° do metal. O cone interno deve distar aproximadamente 1/8 da polegada do metal. É necessário um movimento constante e uniforme da chama para evitar a queima do metal, formando um buraco.

A integração correta entre maçarico e vareta é importante durante a soldagem de alumínio. Após aquecer o metal, quando o derretimento começa, a vareta de enchimento é mergulhada na poça de fusão e derretida.

A vareta é erguida e o movimento do maçarico continua à medida em que a soldagem progride. A vareta nunca é retirada do envelope externo da chama. Ela é mantida aí até quase derreter e, depois, é adicionada à poça de fusão.

### **Soldagem de Magnésio**

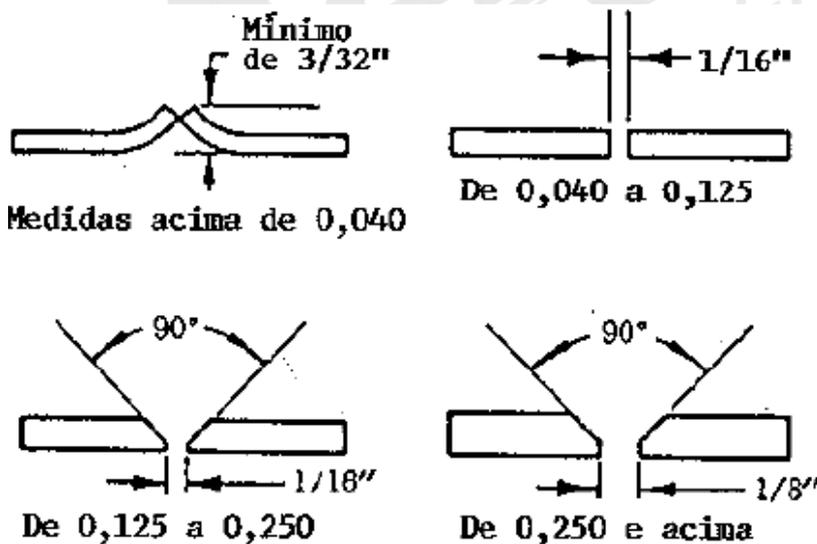
Muitas partes de aeronaves são construídas em magnésio devido à sua leveza, resistência e excelente facilidade de trabalho. Este metal pesa apenas 2/3 do peso do alumínio e, como o alumínio, quando puro, é muito macio. Por essa razão, ele é geralmente ligado ao zinco, manganês, estanho, alumínio ou combinações desses metais. O reparo do magnésio por soldagem é limitado por dois fatores:

- 1) Se o magnésio é usado como membro estrutural, ele geralmente sofre tratamento térmico e, como o alumínio, a seção soldada nunca fica com a mesma resistência do metal original (como regra, as falhas não ocorrem na área soldada, mas em áreas adjacentes à solda, porque o calor aplicado ao metal enfraquece a estrutura granular naquelas áreas).
- 2) É necessário usar fluxo em todas as soldagens de magnésio, e removê-lo do metal após a soldagem, ou ele provocará corrosão.

O tipo de junta fica limitado àqueles tipos que não prendem o fluxo - por isso, somente juntas de topo podem ser feitas. O magnésio não pode ser soldado a outros metais, e ligas fundidas de magnésio não são consideradas adequadas para soldas que sofrem estresse. Se for necessário soldar magnésio de várias espessuras, a parte mais grossa deve ser preaquecida. A vareta de enchimento deve possuir a mesma composição do metal base e produzida pelo fabricante para fundir-se a sua liga. A vareta de enchimento vem com uma proteção que deve ser retirada antes do uso.

O método de preparação da junta de topo depende da espessura do metal. Folhas de liga de magnésio até 0,040 polegadas de espessura devem ser flangeadas em ângulo até 3/32 da polegada como mostrado na Figura 6-19. Juntas de topo em metal de 0,040 a 0,125 polegadas não são nem flangeadas, nem chanfradas, mas deve-se manter um espaçamento de 1/16 da polegada entre as bordas da junta.

Para juntas de topo em metal mais espesso que 0,125 polegadas, cada uma das bordas deve ser chanfrada a 45°, para formar um "V" de 90°. Deve-se manter um espaçamento de 1/16 da polegada entre as bordas da junta, para metal de 0,125 a 0,250 polegada de espessura, e 1/8 da polegadas de espaço para metal mais grosso que 0,250 polegadas (Figura 6-19). Removemos o óleo ou a graxa com um solvente adequado, e então usamos uma escova metálica ou uma lixa para polir o metal até uma distância de 3/4 da polegada da área soldada.



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-19 Preparação das bordas para a soldagem de chapas de magnésio.

Uma vareta de enchimento do mesmo material que a base deve ser selecionada. Tanto a vareta como ambos os lados da junta devem ser cobertos com fluxo. Usamos uma chama neutra ou levemente carburante, a seguramos em um ângulo chato com a peça, para evitar a queima do metal.

Recomenda-se duas técnicas no uso da vareta. Um método requer que a vareta seja mantida na poça de fusão todo o tempo, o outro método é o mesmo usado para soldagem de alumínio.

É preferível fazer a soldagem de uma só vez, mas se ocorrer oxidação, a soldagem deve ser interrompida, e a solda raspada antes de continuar. As bordas da junta devem ser

ponteadas nas extremidades em intervalos de 1/2 a 3 polegadas, dependendo do formato e espessura do metal.

A soldagem deve ser efetuada tão rápido e com pouco calor quanto possível. Qualquer deformação ou empenamento pode ser consertado enquanto o metal estiver quente, batendo com um macete macio. O metal deve esfriar devagar. Quando a solda estiver fria o bastante para ser manuseada, as partes acessíveis devem ser suavemente esfregadas com uma escova de cerdas e água quente, para remover o fluxo. A peça deverá ser mergulhada em água quente (160° a 200°F) para que o fluxo que não foi removido pela escova se solte na água e boie. Quando o banho terminar, a peça deve ser mergulhada em uma solução de ácido cítrico a 1% por aproximadamente 10 minutos.

Após o banho de ácido cítrico, a peça deve ser bem drenada e enxaguada em água fresca. A peça deve ser seca rapidamente para evitar oxidação.

## **1.7 TITÂNIO**

A soldagem de titânio não tem uma aplicação tão ampla quanto o aço, por isso este manual não se aprofundará no tratamento do titânio.

### **Soldagem de Titânio**

O titânio pode ser soldado por fusão com 100% de eficiência utilizando a técnica de soldagem por arco voltaico, que em muitos aspectos, são bem semelhantes às usadas para outros metais.

Para que a soldagem de titânio seja bem feita é necessário que certas características sejam entendidas:

1. O titânio e suas ligas estão sujeitos a severa fragilização com relativamente baixos teores de certas impurezas. O oxigênio e o nitrogênio, mesmo em quantidades tão baixas quanto 0.5% enfraquecem tanto uma solda que ela se torna imprestável. À medida em que o titânio é aquecido até seu ponto de fusão, ele absorve oxigênio e nitrogênio da atmosfera. Para conseguir soldar o titânio, a área da soldagem deve ser coberta com um gás inerte, tal como o argônio ou o hélio.
2. A limpeza é muito importante, uma vez que o titânio reage muito facilmente com a maioria dos materiais. O metal e a área da soldagem devem estar limpos e livres de poeira, graxa e outros contaminantes. O contato com blocos cerâmicos e outros materiais estranhos deve

ser evitado durante a soldagem. Eletrodos revestidos para soldagem por arco voltaico e outros componentes para fluxo causam contaminação e enfraquecimento.

3. O titânio, quando ligado excessivamente com outros metais estruturais, reduz sua ductibilidade e sua resistência ao impacto, devido à formação de compostos intermetálicos frágeis e excessivos endurecedores de solução sólida.

4. Qualquer ciclo de soldagem por fusão, resulta em uma zona de solda contendo material fundido. Adicionalmente, o alto calor terá reduzido a ductibilidade de certas ligas de titânio que recebem alto tratamento térmico, gerando uma condição inaceitável.

## Equipamento

Tanto o eletrodo não consumível como o consumível, usados em equipamento para arco voltaico, podem ser usados na soldagem a fusão do titânio. Qualquer que seja o tipo usado, a solda deve ser protegida por uma cobertura de gás inerte, tal como o argônio ou o hélio.

O titânio pode ser ponteadado com qualquer máquina que tenha um controle preciso sobre os 4 parâmetros principais da solda ponteadada: a amperagem da corrente de soldagem, a duração da corrente de soldagem (a 60 ciclos por segundo), a força aplicada aos eletrodos (libras por polegada quadrada), e a geometria do eletrodo.

A complexidade do processo de soldagem do titânio, e sua limitada aplicação, fora das oficinas de fabricação especializadas em titânio, não justificam um tratamento detalhado neste manual.

A discussão precedente sobre a soldagem de titânio foi extraída do "Titanium Welding Techniques", publicado pela "Titanium Metals Corporation of America".



## Referência Bibliográfica

BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.





Fonte: [ecom.training.dupont.com](http://ecom.training.dupont.com)

## MÓDULO II

### SOLDAGEM DE AERONAVES (Continuação)

#### INTRODUÇÃO

Caro aluno,

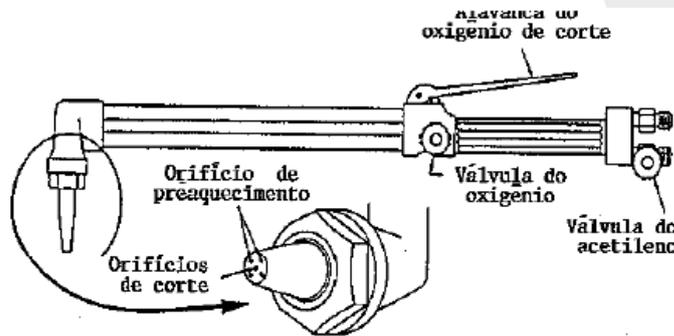
Continuemos juntos no estudo dos processos de soldagem em aeronaves.

#### 2.1 CORTE DE METAIS UTILIZANDO O OXIACETILENO

Este processo consiste fundamentalmente na queima ou oxidação rápida do metal em uma área localizada. O metal é aquecido ao rubro (1400° a 1600°F), que é a temperatura de ignição, e um jato de oxigênio em alta pressão é direcionado contra ele. Esse jato de oxigênio combina-se com o metal quente e forma um óxido intensamente quente. O óxido derretido é soprado para baixo pelos lados do corte, aquecendo o metal em seu trajeto até a temperatura de ignição. O metal, assim aquecido, também queima-se formando um óxido que é soprado para fora, pelo lado inferior da peça. A ação é precisamente aquela que o

maçarico realiza quando o bico misturador é substituído por um bico de corte, ou quando um maçarico especial para corte é utilizado.

A Figura 6-20 mostra um exemplo de um maçarico de corte. Ele possui as válvulas de agulha, para oxigênio e acetileno, que controlam o fluxo dos dois gases. Muitos maçaricos de corte possuem duas válvulas de agulha para o oxigênio, para que possa ser feito um ajuste mais fino de chama neutra.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-20 Maçarico de corte.

## 2.2 MÉTODOS DE BRASAGEM

O termo "brasagem" refere-se a um grupo de processos de junção de metais, nos quais o material adesivo é um metal não-ferroso ou uma liga, com ponto de fusão maior que 800°F, porém menor que o ponto de fusão do metal a ser soldado. A brasagem inclui a solda de prata, também chamada soldagem dura, brasagem de cobre e brasagem de alumínio.

A brasagem requer menos calor que a soldagem por fusão, e pode ser usada para unir metais que seriam danificados por altas temperaturas. Contudo, devido à baixa resistência das juntas brasadas, esse processo não é empregado em reparos estruturais de aeronave. Durante a decisão quanto a utilização da brasagem, deve-se lembrar que um metal que será submetido a altas temperaturas em condições normais de uso, não deve ser brasado.

Como a definição de brasagem pede, as partes dos metais da base não são fundidas. O metal de brasagem adere aos metais base por atração molecular e penetração intergranular, ele não se fundirá, se amalgamará com eles.

Na brasagem, as bordas das peças a serem unidas são geralmente chanfradas como na soldagem (por fusão) de aço. As superfícies adjacentes devem ser limpas de sujeira ou poeira. As partes a serem brasadas devem ser unidas bem presas, para evitar qualquer movimento relativo. A junta brasada mais forte é aquela em que o metal de enchimento derretido é absorvido por capilaridade, sendo assim as bordas devem estar bem encaixadas.

Um fluxo de brasagem é necessário para obter uma boa união entre o metal base e o metal de enchimento. Um bom fluxo para brasagem de aço é uma mistura contendo duas partes de bórax e uma parte de ácido bórico. A aplicação do fluxo pode ser em forma de pó ou dissolvido em água quente em uma solução muito saturada. Uma chama neutra deve ser usada, movida suavemente em um sentido semicircular.

O metal base deve ser pré-aquecido vagarosamente com uma chama fraca. Quando ele atinge uma coloração vermelho-escura (no caso do aço), a vareta deve ser aquecida até uma cor escura ou púrpura, e mergulhada no fluxo. Uma vez que o fluxo adere bastante à vareta, não é necessário espalhá-lo sobre a superfície do metal.

Uma chama neutra é usada para a maioria das aplicações da brasagem. Contudo, uma chama ligeiramente oxidante deve ser usada quando se usam varetas de ligas zinco/cobre, cobre/zinco/silício, ou cobre/zinco/níquel/silício. Quando brasamos alumínio, ou suas ligas, preferimos uma chama neutra, porém se fica difícil, utilizamos uma chama ligeiramente redutora, ao invés de uma chama oxidante.

A vareta de enchimento pode, agora, ser aproximada da chama do maçarico, fazendo com que o bronze derretido flua sobre uma pequena área da junta. O metal de base deve estar na temperatura de fusão do metal de enchimento antes que ele flua pela junta. O metal de brassagem derrete quando aplicado ao aço, e escorre entre a junta por atração capilar. A vareta deve continuar a ser adicionada à medida que a brassagem prossegue, com uma ação rítmica de introdução, de forma que o cordão fique com uma largura e uma altura uniformes.

O serviço deve ser completado rapidamente, e com poucos passes, se possível, da vareta e do maçarico.

Quando o serviço termina a solda esfria vagarosamente. Depois de esfriar, removemos o fluxo das peças, imergindo-as por 30 minutos em uma solução alcalina.

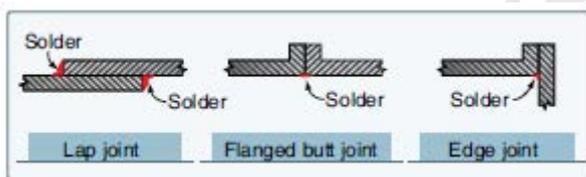
## Solda de Prata

O principal uso da solda de prata em aviação é na fabricação de linhas de oxigênio de alta pressão, e outras partes que devem suportar vibração e altas temperaturas. A solda de prata é usada extensivamente para unir cobre e suas ligas, níquel e prata, bem como várias combinações desses metais, e peças finas de aço. A solda de prata produz juntas mais fortes que as produzidas por outros processos de brasagem.

É necessário usar fluxo em todas as soldas de prata devido à necessidade de ter um metal base quimicamente limpo, sem o menor vestígio de óxido que possa evitar que a solda de prata entre em contato íntimo com o metal base.

A junta deve estar fisicamente limpa, o que quer dizer que ela deve estar livre de toda sujeira, graxa, óleo e/ou tinta, e também quimicamente limpa. Depois de remover a sujeira, graxa, e/ou tinta, qualquer óxido deve ser removido, esmerilhando ou limando a peça até que o metal brilhe. Durante a soldagem, o fluxo continua o processo de manter o óxido afastado do metal, e ajuda no ritmo da soldagem.

Na Figura 6-21, três tipos de juntas para solda de prata são mostradas: Juntas flangeadas, juntas sobrepostas e juntas de aresta, nas quais o metal pode formar uma junta mais grossa que o metal base. Elas formam o tipo de junta que suportará todos os tipos de esforços. Se for usada uma junta sobreposta, a largura da sobreposição dependerá da resistência desejada na junta. Para uma resistência igual à do metal base na zona aquecida, a quantidade de sobreposição deverá ser de 4 a 6 vezes a espessura do metal, para chapas e tubos de pequeno diâmetro.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-21 Soldagem de juntas com prata.

A chama de oxiacetileno para solda de prata deve ser neutra, porém pode conter um leve excesso de acetileno, e deve ser suave. Durante tanto o pré-aquecimento como a aplicação da solda, a ponta do cone interno da chama deve ser mantida a 1/2 polegada do serviço. A chama deve ser mantida em movimento, de forma que o metal não fique superaquecido.

Quando ambas as partes do metal base estão na temperatura certa (indicada pelo fluxo), a solda pode ser aplicada à superfície da junção. É necessário direcionar simultaneamente a chama sobre a junta, e mantê-la em movimento, de forma que o metal base mantenha a temperatura por igual.

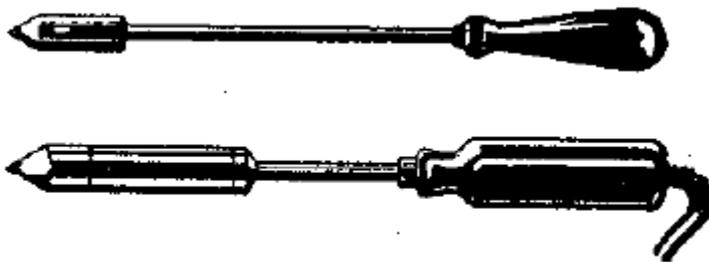
### 2.3 SOLDAGEM MACIA

É usada principalmente para cobre, latão e ferro revestido, em combinação com junções mecânicas, ou seja, juntas rebitadas, parafusadas ou dobradas. É também usada onde se deseja uma junta à prova de vazamentos, e algumas vezes em juntas de encaixe para promover rigidez e evitar corrosão.

A soldagem macia é geralmente usada em serviços de reparo bem menores. Esse processo também é usado para unir condutores elétricos. Ele forma uma forte união com baixa resistência elétrica.

A solda macia cede gradualmente sob a aplicação de uma carga constante e, não deve ser usada, a menos que as cargas transmitidas sejam muito pequenas. Ela nunca deve ser usada como meio de união entre membros estruturais.

Usa-se um ferro de soldar. Ele age como uma fonte de calor para a operação de soldagem. A ponta é feita de cobre, uma vez que esse metal absorve e transmite o calor rapidamente. A Figura 6-22 mostra exemplos de ferros de soldar e suas pontas.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-22 Ferros de soldar com bico de cobre e elétrico.

Para estanhar o cobre ele é primeiramente aquecido ao rubro brilhante, depois a ponta é limpa com uma lima até ficar lisa e brilhante. Não deve haver sujeira ou pontos em sua superfície. Depois disto, ele deve ser suficientemente reaquecido para derreter a solda, e ser quimicamente limpo, esfregando-o em um bloco de cloreto de amônia. A seguir, aplica-se solda à ponta e limpa-se com um pano limpo.

As duas últimas operações podem ser combinadas derretendo-se algumas gotas de solda sobre um bloco de cloreto de amônia (composto de limpeza) e, depois, esfregando o ferro de soldar sobre o bloco até que a ponta fique bem revestida com a solda. Um ferro estanhado possui um filme ininterrupto de solda sobre toda a superfície de sua ponta.

As soldas macias são principalmente ligas de estanho e chumbo. As percentagens de estanho e chumbo variam consideravelmente, com uma correspondente mudança em seus pontos de fusão, variando entre 293° e 592°F. Solda "meio-a-meio" (50-50) é uma solda de uso geral e mais frequentemente usada. Ela contém proporções iguais de estanho e chumbo e derrete a aproximadamente 360°F.

A aplicação da solda derretida requer mais cuidados do que aparenta. As partes devem ser travadas juntas, ou seguras mecanicamente ou manualmente, durante a fixação. Para fixar a junta, o ferro quente é tocado em uma barra de solda, então, as gotas de solda aderidas ao ferro são usadas para fixar a junta em alguns pontos. O filme de solda entre as superfícies de uma junta deve ser mantido fino para que a junta fique mais forte.

Um ferro de soldar, quente e bem estanhado deve ser segurado de forma que sua ponta encoste na junta do metal, enquanto o verso da ponta faz ângulo de 45° com a superfície, e uma barra de solda encosta na ponta do ferro. À medida que a solda derrete, o ferro é movido devagar ao longo da junta. Tanta solda quanto necessário é adicionada sem remover o ferro de soldar da junta.

A solda derretida deve escorrer entre as superfícies das duas chapas e cobrir toda a largura da junta. O serviço deve progredir ao longo da junta, tão rápido quanto a solda que fluirá para dentro dela.

## **2.4 SOLDAGEM POR ARCO VOLTAICO**

É um processo de fusão baseado no princípio de geração de calor através de um arco elétrico, saltando através do ar para completar um circuito elétrico. Esse processo desenvolve um calor consideravelmente maior que a chama de oxiacetileno.

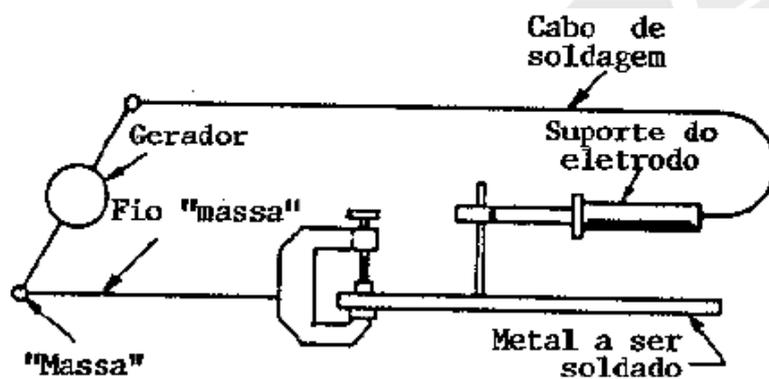
Em algumas aplicações, ele alcança a temperatura de aproximadamente 10.000°F. Como variantes do processo, existem: a soldagem por arco metálico, a soldagem por gás inerte (hélio) e a soldagem multi-arco.

Os processos por arco metálico e hélio possuem a mais larga aplicação na manutenção de aeronaves.

O circuito de soldagem (Figura 6-23) consiste em: uma máquina de solda, dois cabos condutores, uma garra para eletrodo, um eletrodo e a peça a ser soldada.

O eletrodo, que é segurado pela garra, é conectado a um dos cabos, a peça a ser soldada é conectada ao outro cabo. Quando o eletrodo é tocado na peça a ser soldada, o circuito elétrico é completado e a corrente flui.

Quando o eletrodo é afastado do metal, forma-se um intervalo de ar entre o metal e o eletrodo. Se esse intervalo tiver o tamanho adequado, a corrente elétrica irá saltar esse intervalo formando uma centelha elétrica constante, chamada arco voltaico.



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-23 Circuito típico de soldagem por arco metálico.

## Soldagem por Arco Metálico

Esse processo é usado principalmente para soldagem de aços de baixa liga ou baixo carbono. Contudo, muitos metais não-ferrosos, tais como as ligas de alumínio e níquel, podem ser soldados usando-se este método.

Para formar um arco entre o eletrodo e o metal, o eletrodo é aplicado ao metal e imediatamente afastado. Isso inicia um arco de calor intenso.

Para manter o arco entre o eletrodo e o metal, o eletrodo deve ser consumido numa razão uniforme ou mantendo uma distância constante do metal à medida em que derrete. A soldagem por arco metálico é um processo de soldagem por fusão sem pressão, que desenvolve o calor da soldagem através de um arco produzido entre um eletrodo metálico e a peça a ser soldada. Sob o intenso calor desenvolvido pelo arco, uma pequena parte do metal base, ou peça a ser soldada é elevada ao ponto de fusão instantaneamente. Ao mesmo tempo, a ponta do eletrodo metálico é também derretida, e pequenos glóbulos de gotas do metal derretido passam através do arco para o metal base.

A força do arco carrega os glóbulos do metal derretido diretamente para a poça formada no metal base e, assim, o metal de enchimento é adicionado à peça que está sendo soldada.

Movendo-se o eletrodo ao longo da junta e em direção à peça, uma quantidade controlada de metal de enchimento pode ser depositada no metal base para formar um cordão de solda.

No instante em que o arco é formado, a temperatura da peça no ponto de soldagem chega a aproximadamente 6.500°F. Esse enorme calor é concentrado em um ponto da soldagem e na ponta do eletrodo, e derrete simultaneamente a ponta do eletrodo e uma pequena parte da peça, formando uma poça de metal fundido, comumente chamada de cratera.

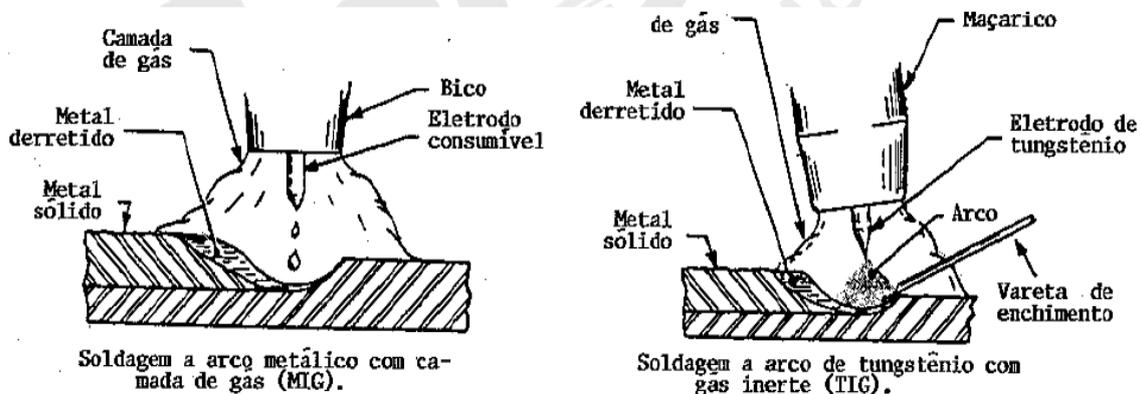
O calor gerado é concentrado, e causa menos deformações e empenamentos que a soldagem a gás. Essa localização do calor é vantajosa quando se solda rachaduras em peças com tratamento térmico, e quando se solda em locais muito próximos.

### Soldagem a Arco com Camada de Gás

Uma boa solda possui as mesmas qualidades do metal base. Tal solda é feita sem que a poça de fusão seja contaminada pelo oxigênio e pelo nitrogênio da atmosfera.

Na soldagem a arco com camada de gás, usa-se um gás como escudo protetor ao redor do arco, evitando que a atmosfera contamine a solda.

O objetivo original desse tipo de soldagem é a aplicação em metais resistentes à corrosão, e a outros, difíceis de soldar. Hoje os diversos tipos deste processo estão sendo aplicados a todos os tipos de metais. Veja a Figura 6-24 quanto a aplicações típicas.



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-24 (A) Processos de soldagem a arco com camada de gás.

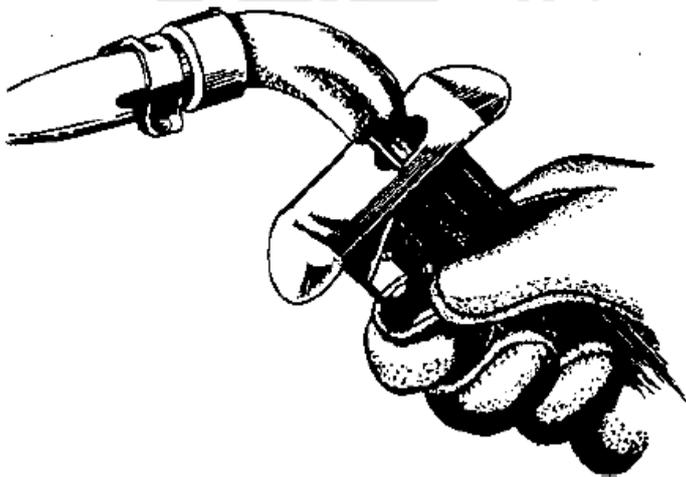
A facilidade de operação, a maior velocidade de soldagem e a superioridade da solda, levarão à substituição da soldagem por oxiacetileno e por arco-voltaico, pela soldagem a arco com camada de gás.

## Vantagens

O gás protetor exclui a atmosfera da poça de fusão. A solda resultante é mais forte, mais dúctil e mais resistente à corrosão.

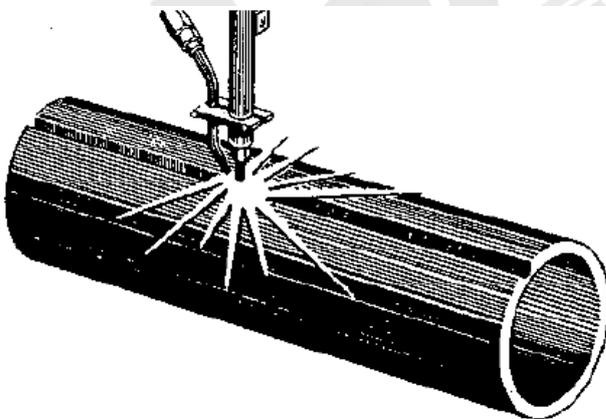
A soldagem de metais não-ferrosos não requer o uso de fluxo. Isso elimina a remoção do fluxo, ou a formação de bolhas de gás ou a inclusão da escória

Uma outra vantagem, é que pode-se fazer uma solda mais limpa e perfeita, porque há menor liberação de fumaça e, também, há menos centelhas a controlar. A solda pode ser observada todo o tempo.



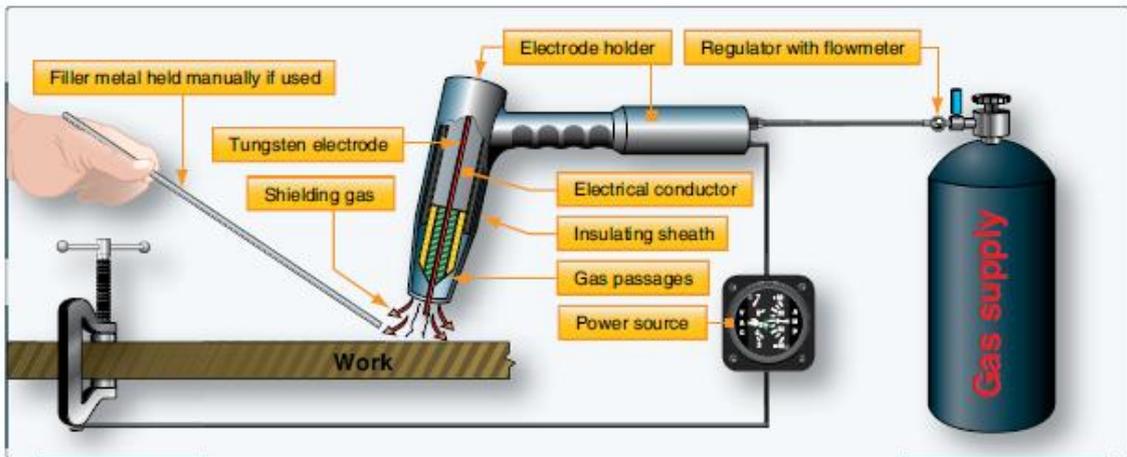
Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-24 (B) Soldagem semiautomática.



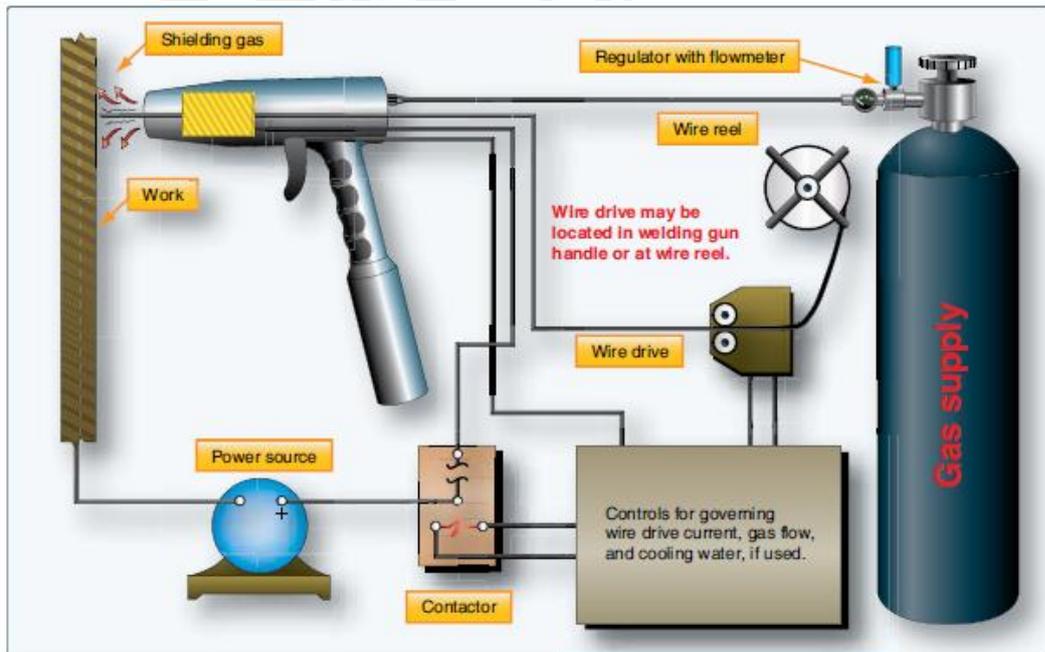
Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-24 (C) Um dos muitos tipos de soldagens automáticas.



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-25 Equipamento típico de soldagem TIG.



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-26 Equipamento típico de soldagem MIG.

A interferência na solda é mínima, por isso o acabamento requerido é mínimo ou nenhum. Esse processo não distorce o metal base próximo à solda. Uma soldagem completa é limpa e livre das complicações, geralmente encontradas em outras formas de soldagem a gás ou por arco metálico.

## **Soldagem de Tungstênio a Gás Inerte (TIG)**

Nesse tipo de soldagem usa-se um eletrodo quase não-consumível de tungstênio (Figura 6-25) para provocar o arco voltaico. Durante o ciclo de soldagem, uma camada de gás inerte expelle o ar da área de soldagem, e evita a oxidação do eletrodo, da poça e da zona aquecida ao redor. Na soldagem TIG, o eletrodo é usado apenas para criar o arco. Se for preciso um metal adicional, usa-se uma vareta de enchimento do mesmo modo que na soldagem a oxiacetileno.

O tipo de gás usado na soldagem TIG depende do metal a ser soldado. Usa-se argônio, hélio, ou uma mistura destes dois gases. O argônio é mais usado que o hélio por ser mais barato. Além do custo, o argônio é preferido por outros motivos. Por ser mais pesado provê uma proteção melhor. Proporciona uma ação de limpeza melhor durante a soldagem de alumínio e magnésio.

O arco voltaico é mais constante e suave. Arcos de soldagem vertical ou sobre cabeça são mais facilmente controlados. Arco voltaico é mais fácil para o inici e para uma determinada soldagem, pois a solda produzida é mais fina, com uma menor zona aquecida.

O hélio é usado primariamente em máquinas de soldagem TIG, ou durante a soldagem de peças pesadas com alta condutividade térmica. O arco voltaico é maior com o uso do hélio, por isso um menor fluxo de corrente gera a mesma potência de arco.

## **Soldagem a Arco Metálico com Gás Inerte (MIG)**

Com a substituição do eletrodo de tungstênio usado na TIG por um eletrodo metálico consumível de alimentação contínua, o processo de soldagem se transforma em soldagem a arco metálico com gás inerte. (Figura 6-26). O fio de eletrodo é alimentado continuamente através do centro do maçarico, em uma velocidade pré-ajustada. O gás de proteção é alimentado através do maçarico, cobrindo completamente a poça da solda com um escudo de gás. Isto tende a completar a automação do processo de soldagem. Quando se utiliza uma máquina de solda a energia, o fluxo de gás, a alimentação do fio de eletrodo e o deslocamento sobre a peça são pré-ajustados. Na soldagem semiautomática, o operador controla apenas o deslocamento sobre a peça.

O argônio é o gás mais comumente usado. Alguns metais utilizam pequenas quantidades de hélio ou oxigênio. O aço com baixo carbono utiliza dióxido de carbono ou argônio, mais 2% de oxigênio.

## Soldagem a Arco de Plasma

A soldagem a arco de plasma é um processo que utiliza um núcleo central a altíssimas temperaturas, cercado por um revestimento de gás de carvão. O calor requerido para a fusão é gerado por um arco elétrico, que foi altamente amplificado pela injeção de um gás no fluxo do arco.

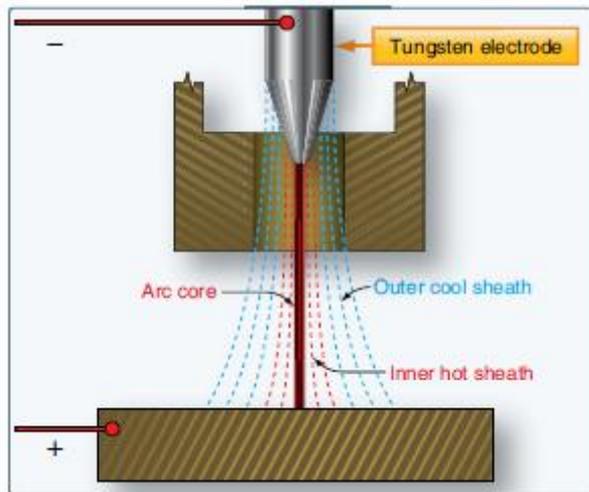
O arco superaquecido, em forma de coluna, é concentrado em um feixe estreito e, quando direcionado para o metal, torna possíveis soldas de topo de até 1/2 polegada de espessura ou mais, de uma só passada, sem preparação das bordas ou o uso de varetas de enchimento.

Em muitos aspectos a soldagem por plasma pode ser considerada uma extensão da soldagem TIG convencional. Na soldagem por arco de plasma a coluna de arco é contraída, e é essa contração que produz a altíssima razão de transferência de calor.

O arco de plasma realmente se transforma em um jato de alta densidade de corrente. O gás do arco ao chocar-se com o metal corta-o, produzindo um pequeno furo que é carregado ao longo da junta soldada. Durante esta ação de corte, o metal derretido em frente ao arco flui ao redor da coluna do arco, e então se junta imediatamente atrás do furo através de forças de tensão na superfície e da formação do cordão de solda.

O plasma é geralmente considerado o quarto estado da matéria. Os outros 3 são: sólido, líquido e gasoso. O plasma é gerado quando um gás é aquecido a alta temperatura e transforma átomos neutros e elétrons negativos em íons positivos. Quando a matéria passa de um estado para outro gera calor latente.

Em um maçarico de plasma o eletrodo fica localizado dentro do bico. O bico possui um orifício relativamente pequeno que contrai o arco. O gás a alta pressão flui através do arco onde é aquecido à faixa de temperatura do plasma. Uma vez que o gás não consegue expandir-se devido a construção do bico, ele é forçado através do orifício, e emerge em forma de jato supersônico. Esse calor derrete qualquer metal conhecido, e sua velocidade sopra o metal derretido para dentro da rachadura (Figura 6-27).



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-27 Soldagem a arco de plasma.

## 2.5 TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DE SOLDAGEM

O primeiro passo na preparação para uma soldagem a arco voltaico é certificar-se que o equipamento necessário está disponível, e que a máquina de solda está corretamente conectada e em boas condições. Deve-se ter especial atenção quanto ao aterramento, uma vez que um aterramento deficiente vai gerar um arco flutuante, que é difícil de controlar.

O eletrodo deve ser fixado à sua garra em ângulo reto com a boca. Eletrodos revestidos têm uma ponta sem revestimento para prover um bom contato elétrico. A garra do eletrodo deve ser segurada com cuidado para evitar o contato acidental com a bancada ou a peça, uma vez que tal contato pode gerar um ponto de solda.

Antes de começar a soldagem, deve-se checar a seguinte lista de itens:

- 1) A máquina de solda está em ordem?
- 2) Todas as conexões foram adequadamente feitas? O aterramento foi adequadamente feito?
- 3) O tamanho e o tipo correto de eletrodo foi escolhido?
- 4) O eletrodo está bem encaixado na garra?
- 5) Você está usando roupas protetoras adequadas e em boas condições?
- 6) A peça metálica está limpa?
- 7) A polaridade da máquina coincide com a do eletrodo?
- 8) A máquina está ajustada para fornecer a corrente necessária à formação do arco?

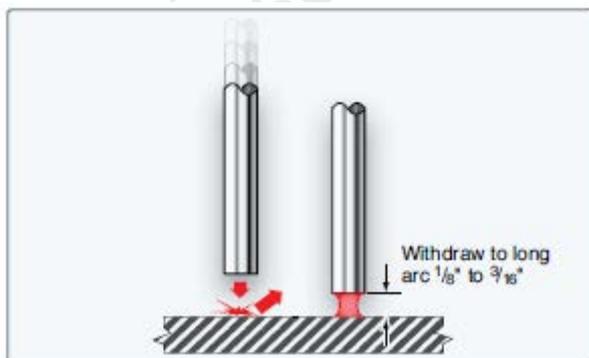
O arco de soldagem é iniciado tocando-se a chapa com o eletrodo e afastando-o imediatamente para uma pequena distância. No momento em que o eletrodo tocar a placa,

uma corrente de elétrons flui através do ponto de contato. Quando o eletrodo é afastado, forma-se um arco elétrico, derretendo um ponto no metal base e na ponta do eletrodo.

A principal dificuldade encontrada pelo principiante na formação do arco é o congelamento, ou seja, o eletrodo fica preso à peça. Se o eletrodo não é afastado rapidamente após o contato com o metal, a alta amperagem flui através do eletrodo e, praticamente, há um curto-circuito na máquina de solda. A alta corrente derrete o eletrodo ao tocar na chapa antes que ele possa ser afastado.

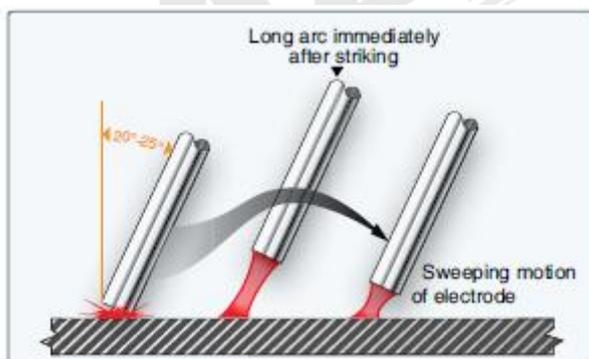
Há dois métodos semelhantes de formar o arco. O primeiro é através do toque, ilustrado na Figura 6-28, e o segundo é através de um risco, mostrado na Figura 6-29.

Quando usar o método de toque, o eletrodo deve ser segurado na posição vertical, e baixado, até que fique a uma polegada acima do ponto onde o arco deve ser iniciado. Então o eletrodo é tocado muito gentilmente e ligeiramente na peça, usando um movimento para baixo do punho, seguido imediatamente pelo afastamento do eletrodo para formar um arco longo (aproximadamente 1/8 a 3/16 da polegada de comprimento). Para formar o arco através de um risco, o eletrodo é movido para baixo até ficar bem próximo do metal, formando um ângulo de 20° a 25°, como ilustrado na Figura 6-29.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-28 Início do arco no método de toque.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-29 Início do arco no método do risco.

O arco deve ser formado, como um risco rápido, arranhando o metal com a ponta do eletrodo em um movimento do punho. O eletrodo é imediatamente afastado para formar um arco longo. O motivo de formar um arco excessivamente longo, imediatamente após o toque, é prevenir as grandes gotas de metal, passando através do arco neste momento, curto-circuitando o arco e causando o congelamento.

Para formar um cordão uniforme, o eletrodo deve ser movido ao longo da chapa a uma velocidade constante, em adição ao movimento para baixo à medida que o eletrodo é consumido. A razão de avanço, se muito pequena, formará um cordão largo resultando em sobreposição, sem fusão nas bordas. Se a razão de avanço for muito grande, o cordão será muito fino com pouca ou nenhuma fusão na chapa. Quando o avanço correto é feito, não ocorre sobreposição, e assegura-se uma boa fusão.

Durante o avanço do eletrodo ele deve ser mantido a um ângulo de aproximadamente 20° a 25° na direção do percurso, como ilustrado na Figura 6-30.



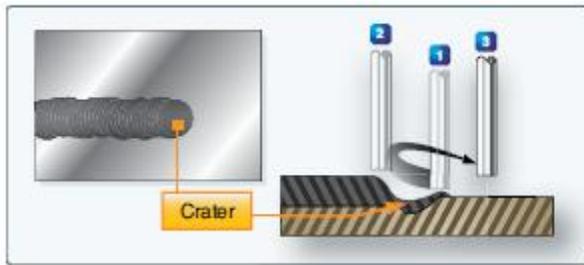
Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-30 Ângulo do eletrodo.

Se o arco for interrompido durante a soldagem, forma-se uma cratera no ponto onde o arco terminou. O arco pode ser interrompido, alimentando-se o eletrodo muito devagar ou rapidamente, ou quando o eletrodo deve ser substituído.

O arco não deve ser reiniciado na cratera do cordão interrompido, mas logo após a cratera, na peça. Então, o eletrodo deve ser movido para cima da cratera. A partir daí a soldagem pode ser continuada, soldando-se através da cratera e pela linha de solda, como originalmente planejado. A Figura 6-31 ilustra o procedimento para reiniciar o arco.

Todas as partículas de escória devem ser removidas das vizinhanças da cratera antes de reiniciar o arco. Isto evita que a escória fique aprisionada na solda.



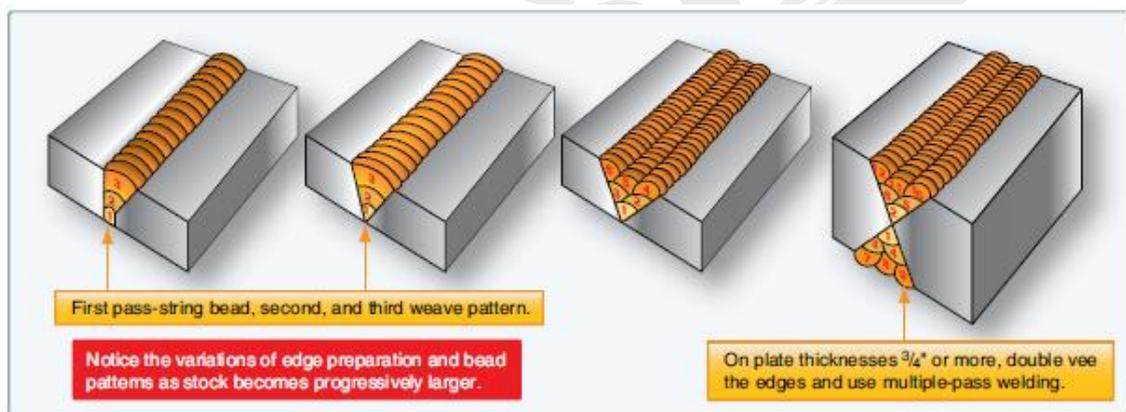
Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-31 Recomeçando o arco.

## 2.6 SOLDAGEM COM PASSE MÚLTIPLO

A soldagem de sulcos e frisos em peças pesadas, geralmente requer o depósito de um certo número de camadas para completá-la. É importante que as camadas sejam depositadas em uma pré-determinada sequência para produzir a melhor solda, com as melhores proporções. O número de camadas ou cordões é, logicamente, determinado pela profundidade da peça a ser soldada.

A sequência de deposição dos cordões é determinada pelo tipo de junta e pela posição do metal. Toda a escória deve ser removida de cada cordão, antes que o próximo cordão seja depositado. Uma soldagem típica de um sulco por passe múltiplo em uma junta de topo é mostrada na Figura 6-32.



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-32 Múltiplos passes de solda em junta de topo chanfrada.

## **Técnicas de Posicionamento da Soldagem**

Cada vez que a posição de uma junta sendo soldada, ou que o tipo da junta mudar, pode ser necessário mudar um ou uma combinação dos seguintes itens: (1) Valor da corrente, (2) eletrodo, (3) polaridade, (4) comprimento do arco, ou (5) técnica de soldagem.

O valor da corrente é determinado pelo tamanho do eletrodo e pela posição da soldagem. O tamanho do eletrodo dependerá da espessura do metal e da preparação da junta e o tipo do eletrodo dependerá da posição da soldagem. Os fabricantes especificam a polaridade a ser usada em cada eletrodo. O tamanho do arco é controlado pela combinação do tamanho do eletrodo, da posição da soldagem e da amperagem.

Uma vez que seria pouco prático citar todas as variações possíveis ocasionadas pelas diferentes condições de soldagem, somente as informações necessárias para as posições e soldas mais comumente usadas serão discutidas aqui.

### **Soldagem na Posição Chata ou Plana**

Há 4 tipos de soldas comumente usadas em soldagens na posição chata. São conhecidos como rebordo, ranhura, filete e sobreposta. Cada tipo é discutido separadamente nos parágrafos a seguir.

#### **Solda de Rebordo - Posição Plana**

A soldagem de uma junta de topo quadrada através de rebordo, envolve as mesmas técnicas utilizadas na aplicação de um cordão de solda em uma chapa plana. Juntas de topo quadradas podem ser soldadas em um, dois ou três passes. Se a junta for soldada com a deposição de um cordão, consegue-se uma fusão completa, soldando-se por um dos lados. Se a espessura do metal impede uma fusão total, soldando-se apenas por um lado, a junta terá que ser soldada por ambos os lados.

Quando os metais a serem unidos formam uma junta de topo sem chanfro, são necessários dois passes. Caso haja um espaçamento entre as peças, são necessários três passes para completar a solda. No último caso, o terceiro passe é feito diretamente sobre o primeiro, cobrindo-o completamente.

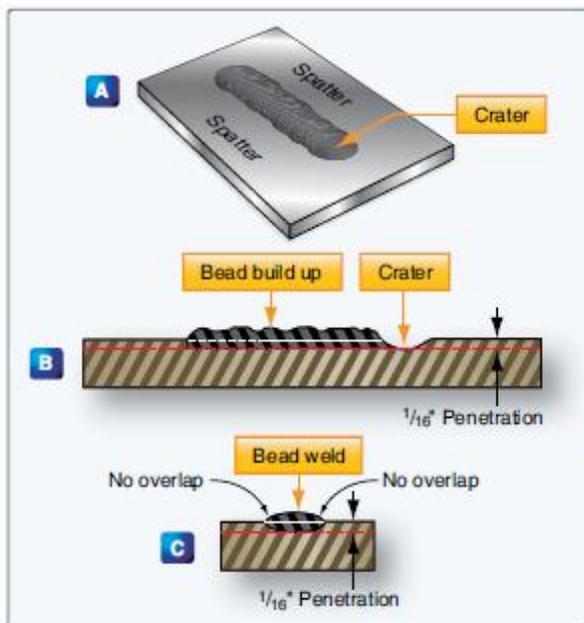
É preciso ter em mente que, cordões de solda, tanto do tipo longarina como do tipo onda, são usados em todos os tipos de juntas soldadas. Mesmo que o cordão não possa ser

depositado no mesmo tipo de superfície, sua ação nas diferentes posições de soldagem e juntas, é basicamente a mesma que em uma superfície metálica plana. As mesmas regras fundamentais aplicam-se quanto ao tamanho do eletrodo e sua manipulação, valores de corrente, polaridade e comprimento do arco.

Soldas de rebordo podem ser feitas mantendo-se um arco curto, e soldando em linha reta a uma velocidade constante, com o eletrodo inclinado de 5° a 15° na direção da soldagem. O arco adequado pode ser melhor avaliado através de um som agudo de quebra, que é ouvido durante todo o tempo em que o eletrodo está sendo movido para e sobre a superfície da chapa. Algumas das características de uma boa solda de rebordo são as seguintes:

- 1) Ela deve deixar pouca rebarba sobre a superfície da chapa;
- 2) A cratera do arco, ou depressão, no cordão, quando o arco é rompido deve ter aproximadamente 1/16 da polegada de profundidade;
- 3) A profundidade da cratera no final do cordão pode ser usada como medida da penetração no metal base;
- 4) A solda de rebordo deve ser enchida suavemente, sem sobreposições na superfície da solda, que indicariam uma fusão deficiente.

A Figura 6-33 ilustra uma solda de rebordo bem executada.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-33 Solda de rebordo bem feita.

## Solda de Ranhura (junta de topo) - Posição Plana

A soldagem de ranhura pode ser executada tanto em uma junta de topo como em uma junta de canto externo. Uma junta de canto externo corresponde a uma junta de topo em "V" simples, e usa a mesma técnica de soldagem para ambas. Por este motivo, esses dois tipos de juntas são classificadas como soldas de ranhuras. Há certos fundamentos que se aplicam às soldas de ranhuras, independentemente da posição da junta.

Soldas de ranhuras são feitas em juntas de topo, onde o metal a ser soldado tenha 1/4 da polegada ou mais de espessura. Juntas de topo com espessura menor que 1/4 da polegada não requerem uma preparação especial das bordas, e podem ser unidas com um cordão de solda em um ou ambos os lados.

As soldas de ranhura podem ser classificadas em ranhura simples ou ranhura dupla, mesmo que o formato da ranhura seja em V, U, J ou outro qualquer.

Independentemente da posição na qual uma solda de ranhura simples seja feita, ela pode ser soldada com ou sem uma contracapa. Caso seja usada uma contra chapa, a junta pode ser soldada por apenas um lado.

Quando se faz uma solda de ranhura simples sem contracapa, se necessário a soldagem pode ser feita apenas por um lado, apesar de que uma soldagem dupla assegura uma melhor fusão.

O primeiro passe da solda pode ser de qualquer um dos lados da ranhura. O primeiro cordão deve ser depositado para estabelecer a distância entre as duas chapas, e para soldar a raiz da junta. Esse cordão, ou camada de metal soldado deve ser bem limpo para remover toda a escória, antes que a segunda camada de metal seja depositada.

Após a limpeza da primeira camada, cada camada adicional deverá ser aplicada com um movimento ondulatório, e cada uma deve ser limpa antes que a próxima seja aplicada.

O número de passes requerido para completar a soldagem dependerá da espessura do metal a ser soldado, e do tamanho do eletrodo a ser usado. Como na solda de rebordo, a ponta do eletrodo deve ser inclinada entre 5° e 15° na direção da soldagem.

Soldas de ranhura dupla, são soldadas por ambos os lados. Esse tipo de solda é usada primeiramente em metais pesados para minimizar as distorções. Isto é melhor realizado alternando o lado da soldagem, ou seja, depositando um cordão em um lado, e depois no outro. Contudo, isto faz com que a peça seja virada diversas vezes (seis vezes para chapas de 3/4 da polegada).

A distorção pode ser efetivamente controlada se a peça for virada duas vezes, como segue: (1) Solde a metade dos passes em um dos lados; (2) vire a peça e solde todos os passes do outro lado; e (3) vire novamente a peça e complete os passes no primeiro lado.

A raiz de uma solda de ranhura dupla deve ser feita com um cordão estreito, assegurando-se que o cordão está uniformemente fundido em cada uma das faces. Quando alguns passes tenham sido aplicados em um dos lados, a raiz no lado oposto deve ser desbastada até o metal para preparar a ranhura e então deve-se aplicar um único cordão de solda.

Qualquer solda de ranhura feita em mais de um passe deve ter a escória, os salpicos e o óxido cuidadosamente removidos de todas as camadas de solda anteriores, antes de soldar sobre elas.

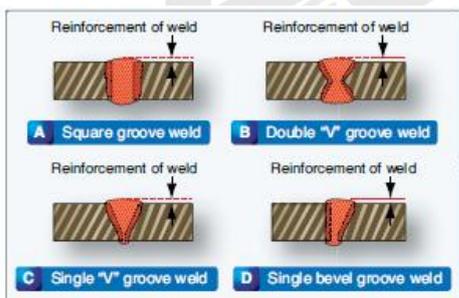
A Figura 6-34 mostra alguns dos tipos mais comuns de soldas de ranhura realizadas em juntas de topo na posição plana.

### Soldas em Filete - Posição Plana

As soldas em filete são usadas em juntas "T" e em juntas sobrepostas. Na soldagem de juntas em "T" na posição plana, as duas chapas são posicionadas formando um ângulo de 90° entre as superfícies, como mostrado na Figura 6-35. O eletrodo deve ser mantido a um ângulo de 45° com a superfície da chapa.

O topo do eletrodo deve ser inclinado em um ângulo de aproximadamente 15° na direção da soldagem. Chapas leves devem ser soldadas com pouco ou nenhum movimento do eletrodo, e a soldagem é feita em um passe.

A soldagem de filete de chapas pesadas pode requerer dois ou mais passes. Nesse caso, o segundo passe, ou camada, é feito com um movimento ondulatório semicircular. Na realização do cordão ondulado deve haver uma pequena pausa ao fim de cada movimento ondulatório, para obter-se uma boa fusão nas bordas das duas chapas sem rebaixá-las.

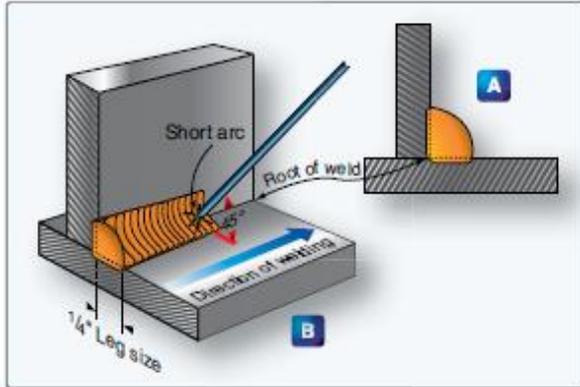


Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-34 Soldas em chanfros de juntas de topo na posição plana.

O procedimento para a realização de uma junta sobreposta com solda de filete é semelhante ao usado na junta em "T". O eletrodo deve ser mantido em um ângulo de 30° com a vertical.

O topo do eletrodo deve ser inclinado em um ângulo de 15° na direção da soldagem.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-35 Filete de solda de uma junção em "T".

A Figura 6-36 ilustra uma típica junta sobreposta. O movimento ondulatório é o mesmo que o usado nas juntas em "T", exceto que a demora na borda da chapa superior é prolongada para obter uma boa fusão sem rebaixamento. Quando da soldagem de chapas de diferentes espessuras, o eletrodo será mantido a um ângulo de 20° com a vertical. Deve-se tomar cuidado para não superaquecer e rebaixar a borda da chapa mais fina. O arco deve ser controlado para arrastar o metal derretido em direção a borda dessa chapa.

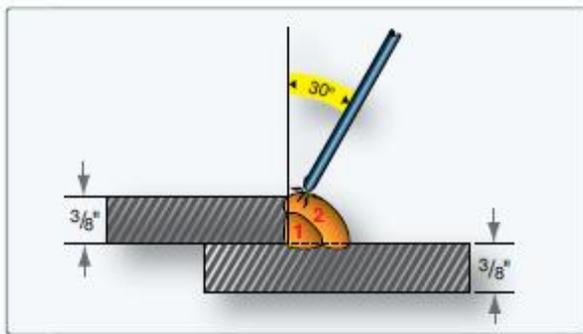
### Soldagem na Posição Sobre Cabeça

A posição sobre cabeça é uma das mais difíceis, uma vez que deve-se manter um arco bem curto, para manter-se um controle completo da poça de fusão.

A força da gravidade tende a fazer com que o metal derretido pingue ou escorra na chapa. Se for usado um arco longo, a dificuldade em transferir metal do eletrodo para o metal base é acrescentada, e cairão grandes glóbulos de metal derretido do eletrodo e do metal base. A transferência de metal é acrescentada pelo encurtamento e, depois, alongamento do arco. Contudo, deve-se ter o cuidado de não formar uma poça de fusão muito grande. Os procedimentos para realização de soldas de rebordo, ranhura e filete na posição sobre cabeça são discutidos nos próximos parágrafos.

## Soldas de Rebordo - Posição Vertical

Para soldas de rebordo, o eletrodo deve ser mantido em um ângulo de  $90^\circ$  com relação ao metal base. Em alguns casos, contudo, onde se deseja observar o arco e a cratera da solda, o eletrodo pode ser mantido em ângulo de  $15^\circ$  na direção da soldagem. Cordões ondulados podem ser feitos usando movimento ondulatório. Um movimento um pouco mais rápido é necessário ao fim de cada onda semicircular para controlar a deposição do metal derretido. Deve-se tomar cuidado para evitar a ondulação excessiva. Isso causará superaquecimento da solda e formará uma grande poça de fusão, difícil de controlar.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-36 Típica justaposição dos filetes da solda de uma junta.

## Soldas de Ranhura (juntas de topo) - Posição Sobre-cabeça

Pode-se obter melhores soldas de ranhura sobre cabeça utilizando uma contracapa. As chapas devem ser preparadas de forma semelhante ao preparo de juntas de topo na posição plana. Se não for usada uma contra chapa e as chapas forem chanfradas em losango, haverá uma queima repetida da solda, a menos que o operador seja extremamente cuidadoso.

## Soldas de Filete - Posição Sobre Cabeça

Na realização de soldas de filete em juntas "T" ou sobrepostas sobre cabeça, deve-se manter um arco curto, e não deve haver movimento ondulatório do eletrodo. O eletrodo deve ser mantido em ângulo de aproximadamente  $30^\circ$  em relação a chapa vertical, e movido uniformemente na direção da soldagem.

O movimento do arco deve ser controlado para assegurar uma boa penetração da raiz da solda, e uma boa fusão com as paredes laterais das chapas verticais e horizontais. Se o metal fundido se tornar muito fluido, e escorrer, o eletrodo deve ser afastado rapidamente

da cratera à frente da solda para alongar o arco, e permitir que o metal se solidifique. O eletrodo deve, então, ser retornado imediatamente à cratera de solda, e a soldagem deve ser continuada.

A soldagem de chapas pesadas requer muitos passes para fazer a junta. O primeiro passe é um cordão sem ondulação do eletrodo. Os segundo, terceiro e quarto passes são feitos com um suave movimento circular da ponta do eletrodo, enquanto o topo do eletrodo é mantido inclinado em ângulo de aproximadamente 15°.

### **Soldagem na Posição Vertical**

A posição vertical, como a posição sobre cabeça, já discutida, é também mais difícil que a soldagem na posição plana. Devido à força da gravidade, o metal derretido terá sempre a tendência de escorrer para baixo. Para controlar o fluxo do metal derretido, é necessário um arco curto e um ajuste cuidadoso da voltagem e da amperagem.

Na soldagem por arco metálico, os ajustes de corrente para soldagens realizadas na posição vertical deverão ser menores que aqueles usados para o mesmo tamanho e tipo de eletrodo em soldagens planas. As correntes usadas na soldagem para cima na chapa vertical são ligeiramente inferiores às usadas na soldagem vertical para baixo. O procedimento para realização da solda de rebordo, ranhura e filete na posição vertical são discutidos nos parágrafos a seguir.

### **Soldas de Rebordo - Posição Sobre Cabeça**

Quando da realização de soldas de rebordo na posição vertical, é necessário manter o ângulo adequado entre o eletrodo e o metal base, para depositar um bom cordão. Na soldagem para cima, o eletrodo deve ser mantido a um ângulo de 90° com a vertical.

Quando houver necessidade de ondulação, o eletrodo deve ser oscilado com um movimento em forma de batidas para cima. Na soldagem para baixo, as soldas devem ser feitas mantendo-se o topo do eletrodo em um ângulo de aproximadamente 15° abaixo da horizontal com a placa, com o arco apontado para cima contra o metal derretido.

Quando for necessário um cordão ondulado, na soldagem para baixo, um movimento suavemente semicircular do eletrodo será necessário.

Durante a deposição de uma solda de rebordo no plano horizontal sobre uma chapa vertical, o eletrodo deve ser mantido em ângulo reto com a vertical. O topo do eletrodo deve

ser inclinado em ângulo de aproximadamente  $15^\circ$  na direção da soldagem para obter uma visão melhor do arco e da cratera. As correntes de soldagem usadas devem ser ligeiramente menores que aquelas requeridas para o mesmo tipo e tamanho de eletrodo na soldagem na posição plana.

### **Soldas de Ranhuras (juntas de topo) Posição Vertical**

Juntas de topo na posição vertical são soldadas de maneira semelhante a soldagem de juntas de topo planas. Para obter boa fusão sem rebaixamento, deve-se usar um arco curto, e o movimento do eletrodo deve ser cuidadosamente controlado.

Juntas de topo em chapas chanfradas com  $1/4$  da polegada de espessura podem ser soldadas, usando um movimento ondulado triangular.

Na soldagem de ranhura de juntas de topo na posição horizontal em chapas idênticas, é necessário um arco curto todo o tempo. O primeiro passe é feito da esquerda para a direita ou vice-versa, com o eletrodo a  $90^\circ$  da chapa vertical. O segundo, o terceiro, e se necessário, quaisquer passes adicionais, são feitos com movimentos alternados, com o eletrodo aproximadamente paralelo à borda chanfrada, oposta àquela que está sendo soldada.

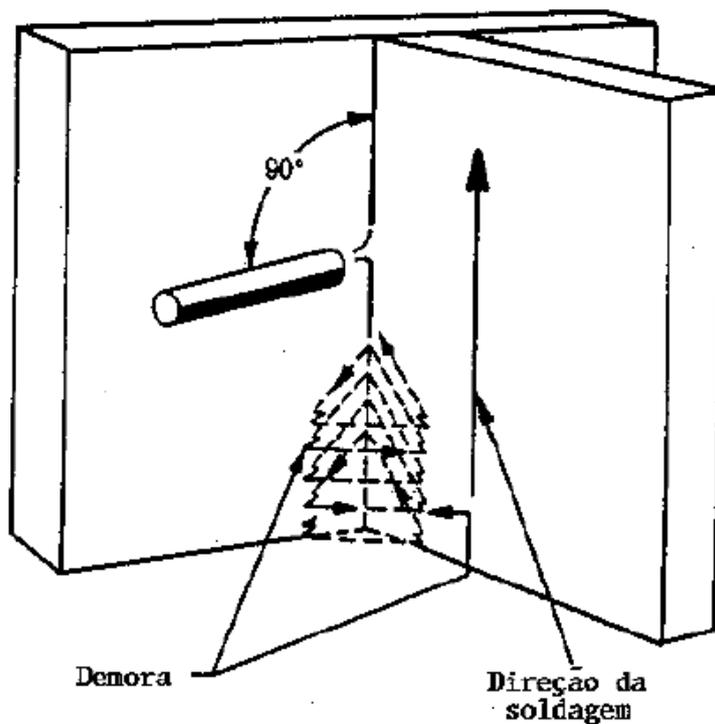
### **Soldas em Filete - Posição Vertical**

Na confecção de soldas em filete, tanto em juntas em "T" como em sobrepostas, na posição vertical, o eletrodo deve ser mantido a um ângulo de  $90^\circ$  com as chapas, ou a um ângulo de até  $15^\circ$  abaixo do plano horizontal, para um melhor controle da poça de fusão. O arco também deve ser curto para obter-se boa penetração, fusão e controle do metal derretido.

Na soldagem de juntas em "T" na posição vertical, o eletrodo deve ser movido num triângulo ondulatório. A junta deve ser iniciada na parte mais baixa e a soldagem deve progredir para cima. Uma pequena demora na ondulação, como demonstrado na Figura 6-37, melhorará a penetração nas paredes laterais e permitirá uma boa fusão na raiz da junta. Se o metal da solda superaquecer, o eletrodo deve ser afastado rapidamente, a intervalos curtos e rápidos, sem interromper o arco. Isso permitirá que o metal derretido se solidifique sem escorrer. O eletrodo deve ser retornado imediatamente à cratera da solda para manter o tamanho desejado de solda.

Quando for necessário mais de uma camada para realizar uma soldagem em "T" vertical, podem ser usados movimentos ondulatórios diferentes. Uma pequena demora ao fim das ondulações resultará em uma boa fusão sem rebaixamento da chapa nas bordas da solda.

Durante soldagem de juntas sobrepostas na posição vertical, o mesmo procedimento usado na soldagem de juntas em "T" verticais será seguido, exceto quanto ao eletrodo, que é direcionado mais em direção a chapa vertical. Deve-se ter cuidado para não rebaixar nenhuma chapa, ou permitir que o metal derretido se sobreponha às bordas da ondulação. Em chapas pesadas, as juntas sobrepostas requerem mais de uma camada de metal.



Para filetes de 1/4", 3/8" e 1/2"

Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-37 Filete de solda de junta vertical em "T".

## 2.7 SOLDAGEM DE ESTRUTURAS DE AÇO

Pode-se usar soldagem por oxiacetileno ou por arco voltaico para o reparo de algumas estruturas de aeronaves, uma vez que, a maioria das estruturas de aeronave são fabricadas de uma das ligas soldáveis, contudo deve-se considerar a liga a ser soldada, pois nem todas são prontamente soldáveis. Além disso, certas partes estruturais podem ter recebido tratamento térmico e por isso, requerem cuidados especiais.

Em geral, quanto mais suscetível uma liga de aço for ao tratamento térmico, menos adequada à soldagem ela será, devido à sua tendência a se tornar quebradiça e perder sua ductibilidade na área soldada. Os seguintes aços são prontamente soldáveis: (1) Carbono simples da série 1000, (2) aço níquel da série SAE 2300, (3) ligas níquel/cromo da série SAE 31000, (4) aços cromo/molibdênio da série SAE 4100, e (5) aço baixo-cromo/molibdênio da série SAE 8600.

### **Partes de Aço que não podem ser Soldadas**

Reparos de soldagem não devem ser feitos em partes de aeronaves, cujo desempenho adequado dependa das propriedades de resistência, desenvolvidas através de trabalho a temperatura normal, tais como cabos e fios com formato aerodinâmico.

Peças braçadas ou soldadas com estanho (solda fraca) jamais deverão ser reparadas por soldagem forte (WELDING), uma vez que os metais usados naqueles tipos de soldagem podem misturar-se ao aço derretido, enfraquecendo-o.

Certas peças de aeronave, como esticadores e parafusos, que sofrem tratamento térmico para melhorar suas propriedades mecânicas, não devem ser soldados.

### **Reparo de Membros Tubulares**

Tubos de aço soldados podem, geralmente, ser emendados ou reparados em qualquer junta ao longo do seu comprimento, porém deve-se dar particular atenção ao encaixe e alinhamento corretos para evitar distorções. Algumas das muitas práticas aceitáveis são descritas nos próximos parágrafos.

Mossas em um dos tubos de aço de uma junta de vários tubos podem ser reparadas, soldando-se um reparo de aço especialmente feito sobre a área amassada e nos tubos adjacentes, como mostrado na Figura 6-38.

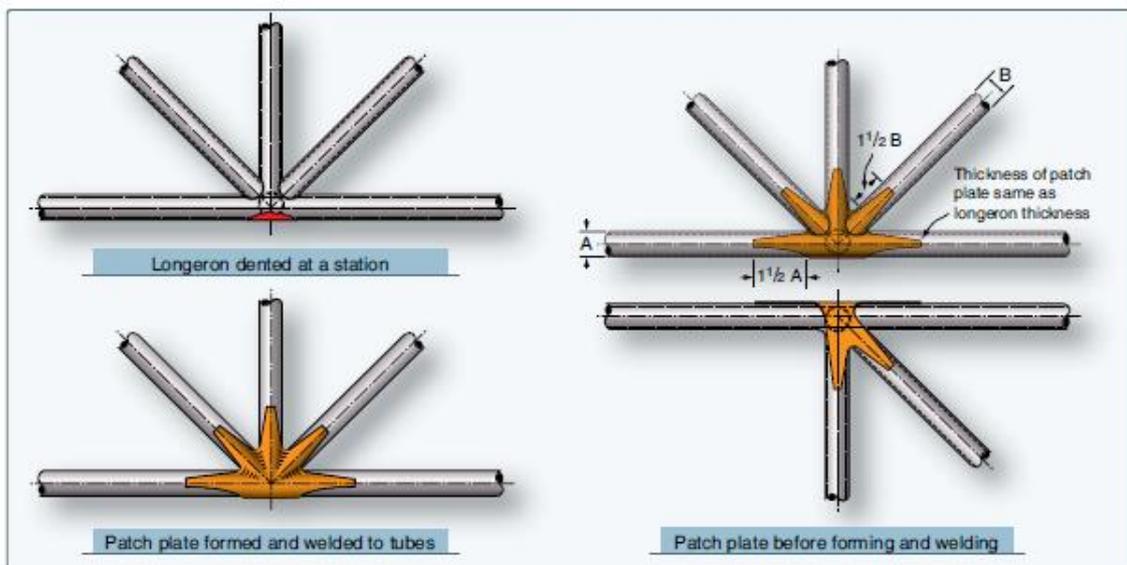
Para preparar a chapa de reparo, uma secção de folha de aço é cortada do mesmo material e espessura do tubo mais pesado e danificado. A chapa de reforço é aparada de forma que os "dedos" se estendam sobre os tubos pelo menos **uma** o diâmetro e meio do tubo respectivo (Figura 6-38).

A chapa de reforço pode ser formatada antes de se tentar qualquer soldagem, ou ela pode ser cortada e ponteadada a um ou mais tubos da junta, depois aquecida e formatada ao

redor da junta para produzir contornos suaves. Deve-se aplicar calor suficiente à chapa durante o processo de formação para que não existam folgas.

Se houver uma folga ela não deverá exceder 1/16 da polegada medida do contorno da junta à chapa.

Depois da formatação e do ponteamto, todas as bordas da chapa de reforço são soldadas à junta.



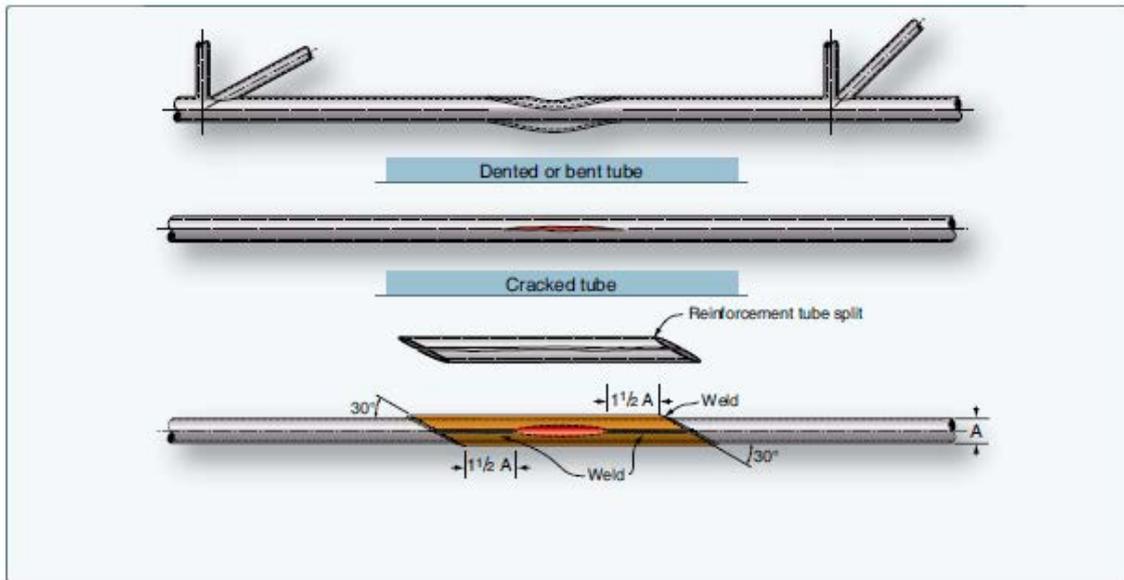
Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-38 Reparo de mossa em membros tubulares de uma junta.

### Reparo Através de Luva Soldada

Este tipo de reparo para tubos amassados ou dobrados é ilustrado na Figura 6-39. O material de reparo selecionado deve ser um pedaço de tubo de aço com diâmetro interno aproximadamente igual ao diâmetro externo do tubo danificado, e do mesmo material e espessura da parede. Essa luva de reforço deve ser cortada com ângulo de 30° em ambas as extremidades de forma que a distância mínima entre a luva e a extremidade da rachadura ou mossa, não seja menor que um diâmetro e meio do tubo danificado.

Após os cortes em ângulo das extremidades do tubo ele deve ser cortado, no sentido do seu comprimento, em duas metades iguais (Figura 6-39). As duas metades são presas na posição correta nas áreas afetadas do tubo original. A luva é então soldada ao longo do comprimento das duas metades, e ambas as extremidades são soldadas ao tubo danificado, como mostrado na Figura 6-39.



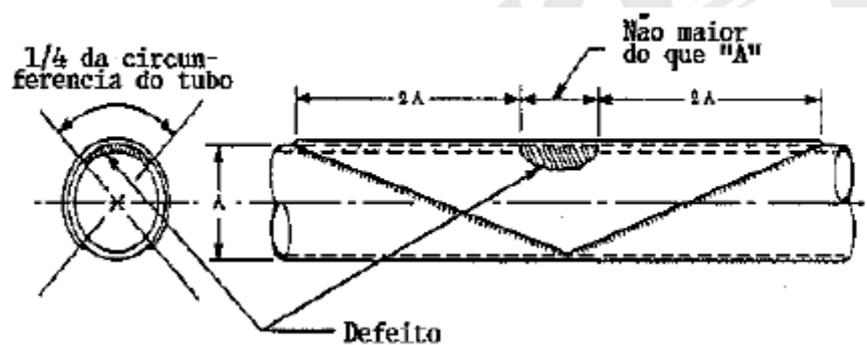
Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-39 Reparo por luva soldada.

### Reparo por Remendo Soldado

Mossas ou furos em tubos podem ser reparados com segurança através de um remendo do mesmo material, mas uma medida de espessura acima. Como ilustrado na Figura 6-40, tem as seguintes exceções:

- (1) Não use este tipo de reparo em mossas fundas mais que  $1/10$  do diâmetro do tubo, mossas que envolvam mais de  $1/4$  da circunferência do tubo, ou aquelas mais longas que o diâmetro do tubo;



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-40 reparo com reforço soldado

- (2) Só use este tipo de reparo se não houver rachaduras associadas às mossas, ou abrasões e cantos vivos;

- (3) Só use este tipo de reparo quando o tubo amassado puder ser substancialmente reformado sem rachar, antes da aplicação do remendo;
- (4) No caso de tubos perfurados, use este tipo de reparo se os furos não forem maiores que o diâmetro do tubo, e se não envolverem mais que 1/4 da circunferência do tubo.

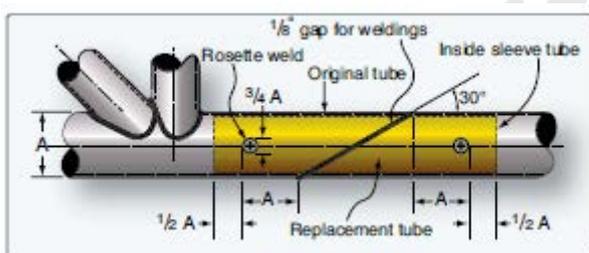
### Reparo por Luva Parafusada

Reparos por luva parafusada na estrutura tubular de aço não são recomendados, a menos que especificamente autorizados pelo fabricante ou pela Autoridade Aeronáutica. O material removido na furação deste tipo de reparo poderá enfraquecer criticamente a estrutura tubular.

### Emenda de Tubulações através de Luva Interna

Se o dano a um tubo estrutural for tal que uma substituição parcial do tubo seja necessária, a luva interna mostrada na Figura 6-41 é recomendada, especialmente onde se deseja que a superfície do tubo permaneça lisa.

Faz-se um corte diagonal para remover a parte danificada do tubo. As rebarbas das arestas dos tubos são removidas com uma lima ou algo semelhante. Um tubo de aço do mesmo material e mesmo diâmetro, e pelo menos a mesma espessura de parede, é cortado para encaixar-se no tamanho da parte removida. Em cada uma das extremidades do tubo substituto deve-se deixar uma folga de 1/8 da polegada até o tubo original.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-41 Emenda de tubo através de luva interna.

Deve-se selecionar agora, um pedaço de tubo de aço com a mesma espessura de parede e com diâmetro externo igual ao diâmetro interno do tubo danificado. Esse tubo interno deve ficar encaixado no tubo original. Cortamos duas seções desse tubo interno, de

tal forma, que seus comprimentos sejam no mínimo um diâmetro e meio do tubo em distância, entre a extremidade da luva e a parte mais próxima do corte diagonal.

Caso a luva interna seja difícil de encaixar no tubo ela pode ser congelada em gelo-seco ou em água gelada. Caso este procedimento não seja adequado, o diâmetro da luva pode ser desbastado com uma lixa.

A luva interna pode ser soldada às extremidades dos tubos externos através da folga de 1/8 da polegada, formando-se um cordão de solda sobre a folga.

### **Reparos em Berços de Motor**

Todas as soldagens em um berço de motor devem ser da melhor qualidade, uma vez que a vibração tende a acentuar qualquer pequeno defeito.

Os membros do berço do motor devem, preferivelmente, ser reparados usando-se um tubo de diâmetro maior sobre o membro original, usando soldas boca de peixe ("fishmonth") e roseta ("rosette"). Contudo a solda chanfrada a 30° em lugar da "fishmonth" é geralmente considerada aceitável para o reparo de berços de motor.

Berços reparados devem ser checados quanto ao seu alinhamento correto. Quando forem usados tubos para substituir os tubos amassados ou danificados, o alinhamento original da estrutura deve ser mantido. Isto pode ser feito medindo-se a distância entre os pontos dos membros correspondentes que não tenham sido danificados, e usando como referência os desenhos do fabricante.

Se todos os membros estiverem desalinhados, o berço deve ser substituído por outro original, ou deve-se construir um, de acordo com os desenhos do fabricante.

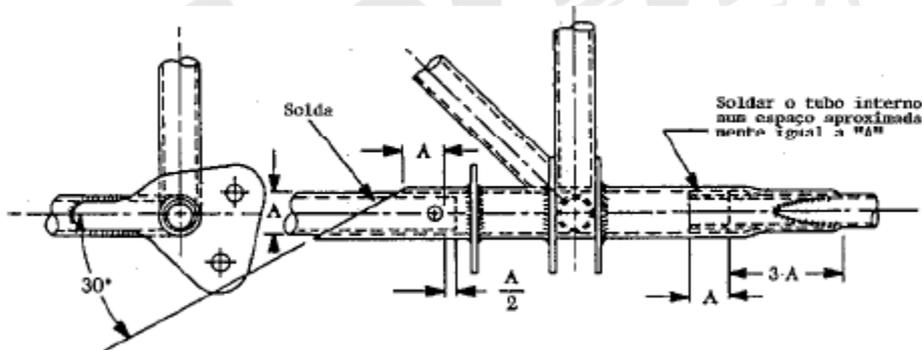
O método de cheque do alinhamento dos pontos da fuselagem ou nacele pode ser solicitado ao fabricante.

Danos menores, tais como uma rachadura adjacente a um olhal de fixação do motor, pode ser reparado por ressoldarem do anel, e estendendo uma cantoneira de reforço até a área danificada.

Os anéis do berço do motor que são extensivamente danificados não devem ser reparados, a menos que o método de reparo seja especificamente aprovado por um representante autorizado da Autoridade Aeronáutica, ou que seja realizado de acordo com instruções fornecidas pelo fabricante da aeronave.

## Reparo de Encaixes Embutidos na Fuselagem

A Figura 6-42 mostra um exemplo do que deve ser feito. Há diversos métodos aceitáveis para fazer esse tipo de reparo. O método da Figura 6-42 utiliza uma luva de maior diâmetro que o tubo original. Isto requer que os furos da longarina sejam alargados. A junta dianteira é um chanfro de 30°. A longarina traseira é cortada aproximadamente 4 polegadas da linha central da junta, e um espaçador de 1 polegada é encaixado sobre a longarina. O espaçador e a longarina têm suas bordas soldadas. Um corte cônico em "V" de aproximadamente 2 polegadas de comprimento é feito na extremidade traseira da luva externa, e a extremidade da luva externa é encaixada à longarina e, então, soldada.

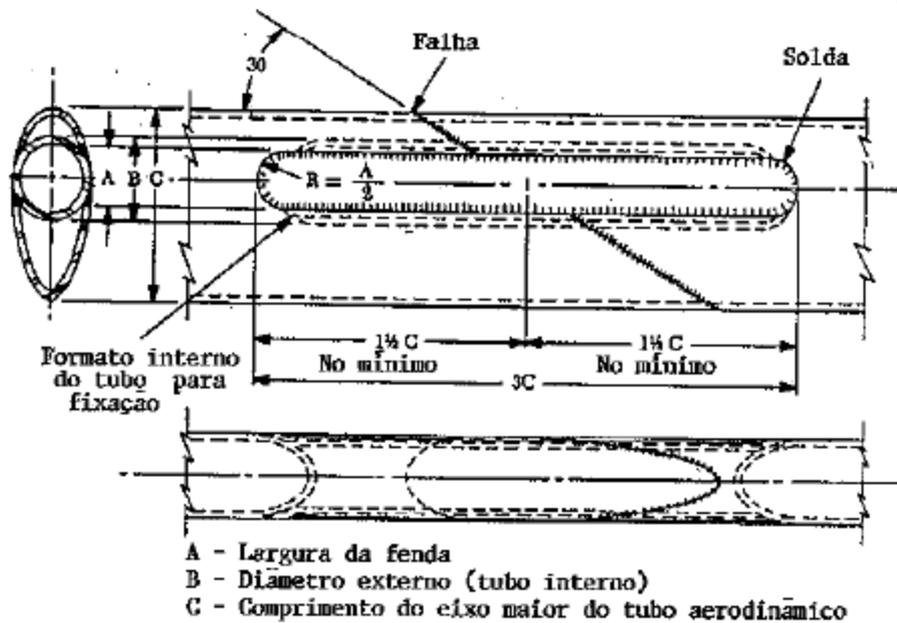


Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

Figura 6-42 Reparo em estrutura da fuselagem de encaixes embutidos.

## Reparo de Trem de Pouso

Trens de pouso fabricados de tubos redondos, são geralmente reparados, usando remendos e reforços (ilustrados nas Figura 6-39 e 6-42). Um método de reparo de trem de pouso fabricado com tubos aerodinâmicos é mostrado na Figura 6-43.



Fonte: FAA - Mechanic Training Handbook-Airframe

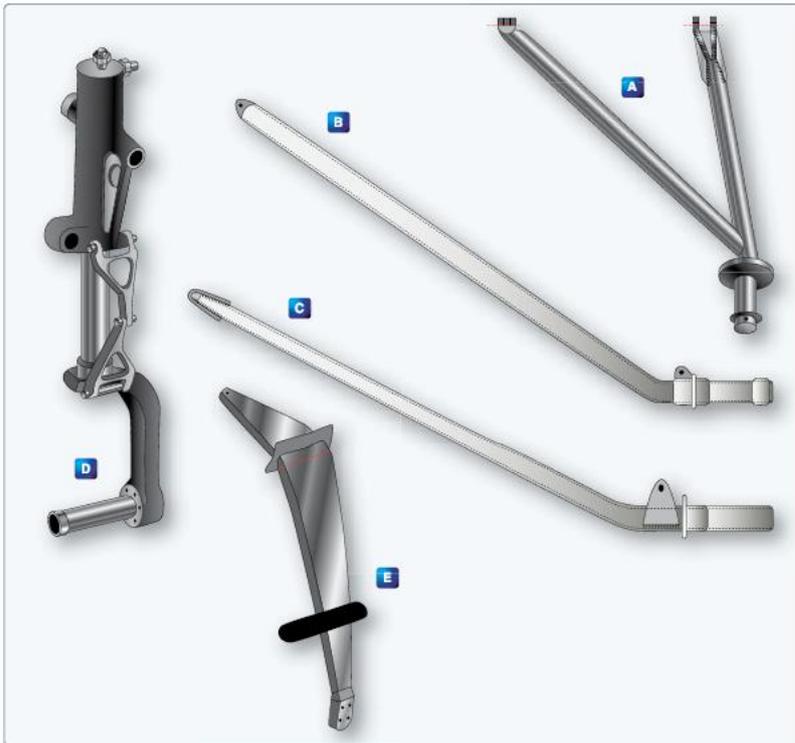
Figura 6-43 Reparos em tubos aerodinâmicos, do trem de pouso, usando tubo redondo.

A Figura 6-44 mostra alguns exemplos de eixos de trem de pouso reparáveis e não reparáveis. Os tipos mostrados em A, B e C são formados por tubos de aço e podem ser reparados através de qualquer dos métodos descritos nesta seção. Contudo, sempre será necessário certificar-se se um membro sofreu ou não tratamento térmico. Os conjuntos que receberam esse tratamento devem sofrê-lo novamente após a soldagem.

O eixo mostrado em "D" é, em geral, não-reparável pelas seguintes razões:

- 1) O eixo geralmente é de uma liga de aço-níquel altamente tratada termicamente, e cuidadosamente trabalhada com medidas precisas. Geralmente são substituídos quando danificados;
- 2) A perna hidráulica geralmente recebe tratamento térmico após a soldagem e é perfeitamente fabricada para assegurar o funcionamento correto do amortecedor. Essas peças podem ser danificadas pela soldagem.

A mola de aço mostrada em "E" suporta a roda do trem principal na maioria das aeronaves leves. Em geral, não são reparáveis e devem ser substituídas quando se tornarem excessivamente abertas ou, se danificadas.



Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-44 Apresentação dos tipos de conjuntos reparáveis e não reparáveis.

### **Reparo em Tubos de Asas ou Longarinas da Superfície da Cauda**

Podem ser reparados através de qualquer um dos métodos descritos na soldagem de estruturas de aeronave em aço, desde que as longarinas não tenham sofrido tratamento térmico. Neste caso toda a longarina deverá receber novo tratamento, de acordo com o fabricante após o reparo.

### **Montantes das Asas e Cauda**

Em geral é mais vantajoso substituí-los, sejam de seção circular ou aerodinâmicos. Contudo, geralmente não há objeção, do ponto de vista da aeronavegabilidade, quanto ao reparo desses montantes. Os montantes de seção circular com encaixe padrão podem ser reparados como nas Figuras 6-39 ou 6-41.

Os montantes de aço podem ser reparados em qualquer ponto ao longo de seu comprimento, desde que o reparo não se sobreponha ao encaixe da ponta. O encaixe do montante secundário não é considerado um encaixe de ponta, por isso, pode-se fazer um reforço nesse ponto. Deve-se evitar ao máximo distorções geradas pela soldagem. O

montante reparado deve ser observado durante os primeiros voos, para assegurar que as características de vibração do montante e os componentes de fixação não foram adversamente afetados pelo reparo. Deve-se cobrir uma ampla gama de ajustes de potência e velocidades durante esta verificação.

## **2.8 NOVOS PROCESSOS DE SOLDAGEM**

Na soldagem por ultrassom as peças são submetidas a pressão e a vibração de alta frequência, responsável pela fusão das superfícies.

A aparência das máquinas de soldagem por ultrassom lembra as de soldagem a ponto por resistência. Trabalham na faixa de 5 a 100KHz. A pressão mecânica é da ordem de dezenas ou centenas de quilogramas. O tempo de soldagem é de 0,5 a 1,5 segundos. O sistema de produção das ondas ultrassônicas - por magnetoestrição e por piezoelectricidade - está em franco aperfeiçoamento, permitindo soldagem de ligas altamente refratárias em espessuras de 2,5 mm, e alumínio até 6mm.

A explicação metalúrgica para o que se passa é variada:

- a) Fusão interface muito localizada e seguida de ressolidificação;
- b) Deformação e destruição da superfície por ter ultrapassado limite elástico e consequente interligação mecânica;
- c) Ligação interface em nível atômico;
- d) Reação química interface com difusão em estado sólido.

O fato é que com esse processo, solda-se hoje metais e ligas dissimilares tais como Molibdênio, Titânio, Zircônio, Inoxidável, aços ao carbono.

## **2.9 SOLDAGEM POR BOMBARDEAMENTO ELETRÔNICO ("ELECTRON BEAM")**

Concentra-se um feixe de elétrons de alta energia sobre a junta a soldar, realizando a fusão localizada com características inusitadas de penetração.

Costuma-se classificar os equipamentos de bombardeamento eletrônico sob vácuo como "de alta tensão" (75 a 150 Kv). A tensão é a responsável direta pela penetração.

O maior sucesso tem sido soldagem de ligas de berílio, titânio, molibdênio e tungstênio.

A aplicação tem-se estendido a ligas menos sofisticadas, em atmosfera gasosa de ar, hélio e mistura hélio-argônio, conforme os exemplos da Figura 6-45.

A excepcional performance de penetração, em relação à largura do cordão de velocidade e de características mecânicas, tem aguçado o interesse dos pesquisadores, que procuram agora soldar juntas espessas fugindo da limitação da câmara de vácuo.

Liga de Base	Espessura mm	Tensão Kv	Corrente m. ampère	Velocidade cm/min	Atmosfera
Aço Calmado	3,2	175	30	210	Ar
Aço SAE 1010	0,25	150	2,5	360	Ar
Aço SAE 4620	10,0	175	40	66	Ar
Aço AISI 304	10,0	170	35	25	Ar
Inconel X	3,2	150	25	46	Ar
Cobre	0,2	150	8	360	Ar
Liga de Alumínio 2219	9,5	175	40	140	He

Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-45 Soldagem por bombardeamento eletrônico.

## 2.10 SOLDAGEM POR FRICÇÃO

A velha experiência do homem da caverna com a produção de calor por atrito, foi retomada em 1957 pelo Instituto Central de Pesquisa sobre soldagem Elétrica de Leningrado com interessantes resultados para ligas dissimilares, alumínio e cobre, cobre e bronze, níquel e aço, sendo soldadas em barras redondas de até 100 mm de diâmetro.

A fricção entre duas superfícies pode ser obtida por deslizamento, rolamento ou rotação. A soldagem por fricção utiliza esta última: se mantiver uma superfície estacionária e a outra em revolução, o contato das duas criará uma elevação de temperatura que associada a uma pressão promoverá a solda topo das duas superfícies. A conservação de energia cinética é obtida com ajuda de volantes.

O processo é particularmente adaptado a corpos com eixo de rotação (tubos, eixos, barras, etc.) e a produções em série. Têm sido soldados aços ao carbono, inoxidável, aços ferramenta e liga, cobre, alumínio, titânio, (mesmo em juntas dissimilares).

É extremamente atraente pela simplicidade do equipamento, adaptabilidade a automatização e baixo custo operacional (inclusive energético). Ver a Figura 6-45.

As máquinas atuais estão na faixa de 1800 a 5000 rpm, carga axial até 275 toneladas, consumo: 10 HP por polegada quadrada a soldar.

Solda-se hoje superfícies de 1/8" a 6" de diâmetro.

Há crescente interesse pelo processo nas indústrias automobilística, elétrica e de ferramentas.

<b>POT ÊNCIA NOMINAL</b>	<b>- 10 Kw</b>	<b>20 Kw</b>	<b>2,5 Kw</b>
<b>Rotação r.p.m.</b>	<b>1430</b>	<b>930</b>	<b>4000</b>
<b>pressão de ar (4,5 Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>pneumáti ca</b>	<b>hidro- pneumática</b>	<b>pneumá tica</b>
<b>carga axial Kg</b>	<b>500 a 4500</b>	<b>1000 a 10000</b>	<b>50 a 400</b>

Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-46 Alguns dados das máquinas originais:

## 2.11 SOLDAGEM POR LASER

"Laser" significa "Light amplification through stimulated emission of radiation", ou ainda, uma emissão de raios de frequência constante e de alta concentração.

Pode-se obter o laser, por exemplo, incidindo uma luz brilhante de lâmpada de xenônio, de queima de magnésio ou alumínio sobre um rubi sintético. Os elétrons da estrutura cristalina serão estimulados e ao voltarem ao seu nível energético normal, emitirão radiações correntes, de pequena dispersão (um raio laser disparado em direção à Lua - a quase 400.000 Km de distância - cobrirá apenas uma área de 5 Km de diâmetro na superfície lunar), e cuja energia independe do meio material intermediário. O feixe laser e o eletrônico constituem emissões de alta intensidade energética por superfície específica, e daí seu interesse na soldagem.

Pode-se soldar "pontualmente" com o laser, a relação penetração - diâmetro do ponto, atingindo valores 200/1.

Sua melhor aplicação tem sido nas soldagens de metais e ligas para fins aeroespaciais (titânio, columbio, molibdênio).

<b>FONTE DE ENERGIA</b>	<b>INTENSIDADE watt/cm<sup>2</sup></b>
<b>Chama Oxiacetilênica</b>	<b>1 x 10<sup>3</sup></b>
<b>Arco Elétrico (argônio - 200 A)</b>	<b>1,5 x 10<sup>4</sup></b>
<b>Bombardeamento Eletrônico</b>	<b>maior que 10<sup>9</sup></b>
<b>Laser</b>	<b>maior que 10<sup>9</sup></b>
<b>Radiação Corpo Negro a 6500<sup>0</sup> K</b>	<b>10<sup>4</sup></b>
<b>Radiação Corpo Negro a 11500<sup>0</sup> K</b>	<b>10<sup>5</sup></b>
<b>Radiação Corpo Negro a 20500<sup>0</sup> K</b>	<b>10<sup>6</sup></b>
<b>Radiação Corpo Negro a 36500<sup>0</sup> K</b>	<b>10<sup>7</sup></b>
<b>Radiação Corpo Negro a 65000<sup>0</sup> K</b>	<b>10<sup>8</sup></b>
<b>Radiação Corpo Negro a 11500<sup>0</sup> K</b>	<b>10<sup>9</sup></b>

Fonte: FAA - *Mechanic Training Handbook-Airframe*

Figura 6-47 Comparação dos tipos de soldagem.



## Referência Bibliográfica

BRASIL. IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional Matérias Básicas, tradução do AC 65-9A do FAA (Airframe & Powerplant Mechanics-General Handbook). Edição Revisada 2002.

