



**Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa  
Catarina**  
**Unidade de Araranguá**  
**Curso Técnico em Eletroeletrônica**

**Módulo II:**  
**Soldagem Básica**  
**Prof. Suzy Pascoali**

Agradeço ao professor Hélio Hormeu por elaborar a apostila. Aos sites da internet que disponibilizam conteúdo didático.

**Julho  
2008**

# 1. INTRODUÇÃO

A soldagem é, hoje em dia, amplamente empregada na união de componentes de estruturas metálicas e de equipamentos para as finalidades mais diversificadas. As grandes vantagens da soldagem sobre os demais processos de união consistem em sua simplicidade e economia, uma vez que a execução das juntas soldadas requerem quantidades relativamente pequenas de material.

Os processos de soldagem tem um amplo campo de aplicação, incluindo, entre outros, construção naval, estruturas civis, vasos de pressão, tubulações, equipamentos diversos, usinas hidrelétricas, materiais metro e ferroviário e componentes nucleares.

A soldagem também encontra grande aplicação em serviços de reparos e manutenção, como o enchimento de falhas em fundidos, reparos de trilhos, depósitos superficiais de alta dureza na recuperação de ferramentas e outras aplicações. Deve-se alertar, porém, que a soldagem em si não constitui o objeto principal de uma obra estrutural; entretanto, como ela afeta diretamente a segurança e a economia da construção, seu estudo torna-se cada vez mais importante, sendo considerado um dos itens principais no processo global.

Apesar de sua aparente simplicidade, a soldagem envolve uma gama bastante grande de conhecimentos implicitamente empregados durante a execução de uma junta soldada. Assim, a soldagem é, na verdade, um somatório de conhecimentos que engloba as áreas elétrica, estrutural, mecânica, metalúrgica, química, física dentre outras.

## Definição de Soldagem:

Soldagem é o processo de união de duas ou mais partes, pela aplicação de calor, pressão ou ambos garantido-se na junta a **continuidade** das propriedades químicas, físicas e mecânicas.

## Definição de Solda

Solda é a zona de união das peças que foram submetidas a um processo de soldagem.

## 2. HISTÓRICO DAS TÉCNICAS DE SOLDAGEM

A arte de unir dois ou mais materiais metálicos já era conhecida desde as eras pré-históricas. Um exemplo típico é a brasagem que utiliza ligas de ouro e cobre, ou então de chumbo e estanho, empregada desde 3000 ou 4000 a.C. obviamente, as únicas fontes de energia conhecidas naquela época restringiam-se a lenha ou ao carvão vegetal, de modo que esta limitação não permitiu um progresso maior das técnicas de união de metais.

Foi somente após a descoberta da energia elétrica que a soldagem teve o impulso necessário para atingir o estágio que se encontra atualmente.

A Figura 2.1 apresenta uma retrospectiva do número acumulado de processos de soldagem desenvolvidos em função do tempo. Apesar do grande número de métodos existentes, é necessário frisar que nem todos já foram utilizados em toda sua potencialidade, esperando que isto aconteça à medida que novas técnicas, cada vez mais precisas e perfeitas, forem sendo requisitadas para construção de estruturas mais complexas.

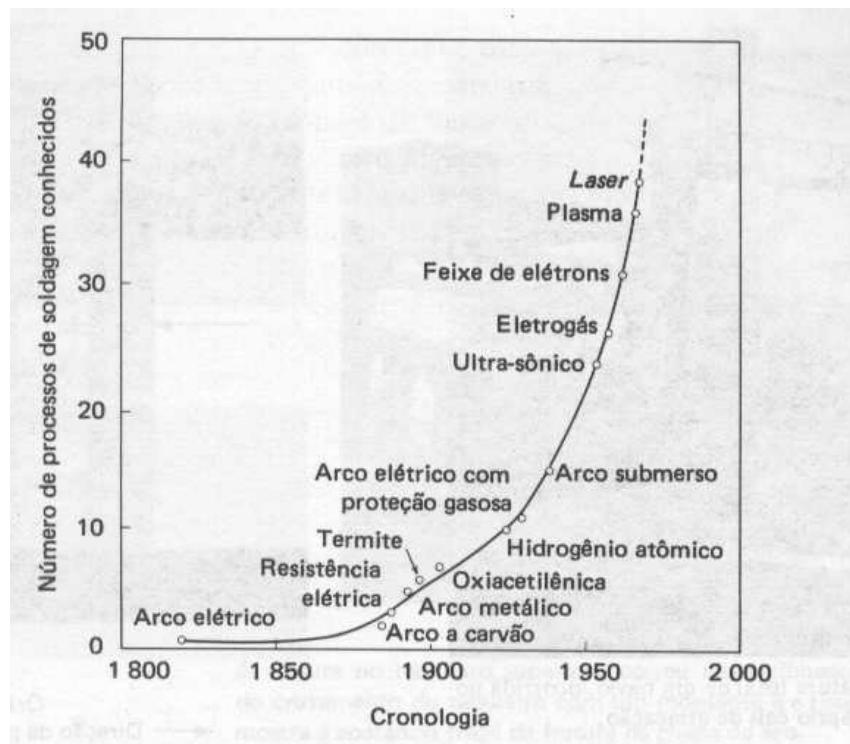


FIGURA 2.1 – Evolução dos processos de soldagem

É interessante notar que as construções, executadas nos anos 20, coincidiram com a denominada fase áurea da tecnologia de soldagem. Antes dela, os processos de soldagem eram somente aplicados a juntas de pouca responsabilidade e em serviços de reparos em estruturas em geral.

Se, por um lado, a soldagem trouxe inegáveis benefícios ao campo das construções metálicas, também é verdade que ela introduziu novos problemas, principalmente relacionados ao comportamento do material das uniões soldadas.

Por volta de 1940, época em que a soldagem passou a ser utilizada de maneira mais intensiva, tiveram lugar os primeiros casos registrados de fraturas frágil em juntas soldadas. Aliás, são bastante conhecidos os problemas que ocorreram com navios construídos durante a Segunda Guerra Mundial, muitos deles desativados por catastróficas falhas estruturais, acarretadas principalmente pelas juntas soldadas. Outros casos relatados referem-se a falhas em pontes metálicas, principalmente nas construídas com aços de alta resistência, em que os problemas de fragilização demonstravam ser bastante críticos.

A Figura 2.2, por exemplo, mostra um navio inteiramente seccionado, devido a uma fratura frágil.

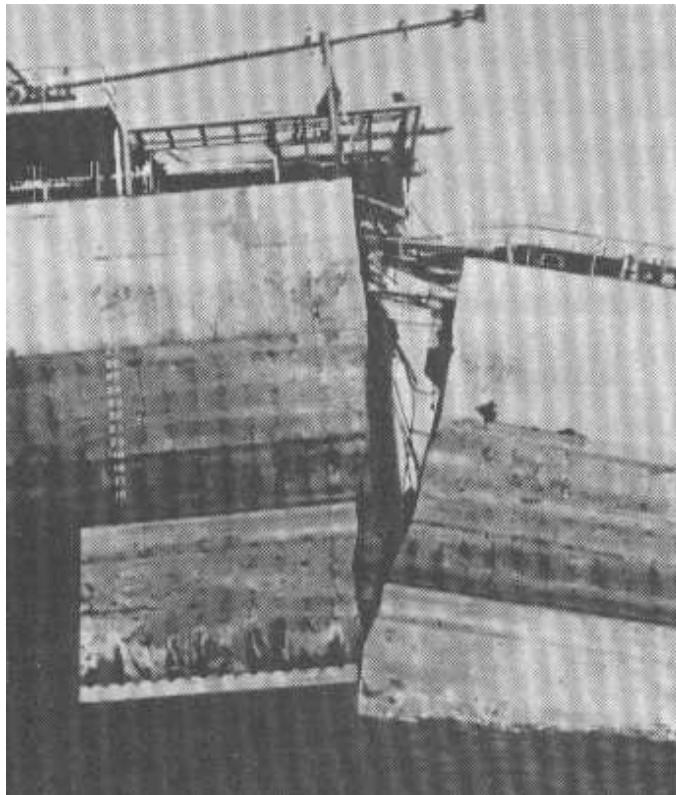


FIGURA 2.2 – Fratura total de um navio, ocorrida no próprio cais de atracação

Já a Figura 2.3 mostra a falha ocorrida na ponte Hasselt, na Bélgica, que havia sido inteiramente construída por soldagem.

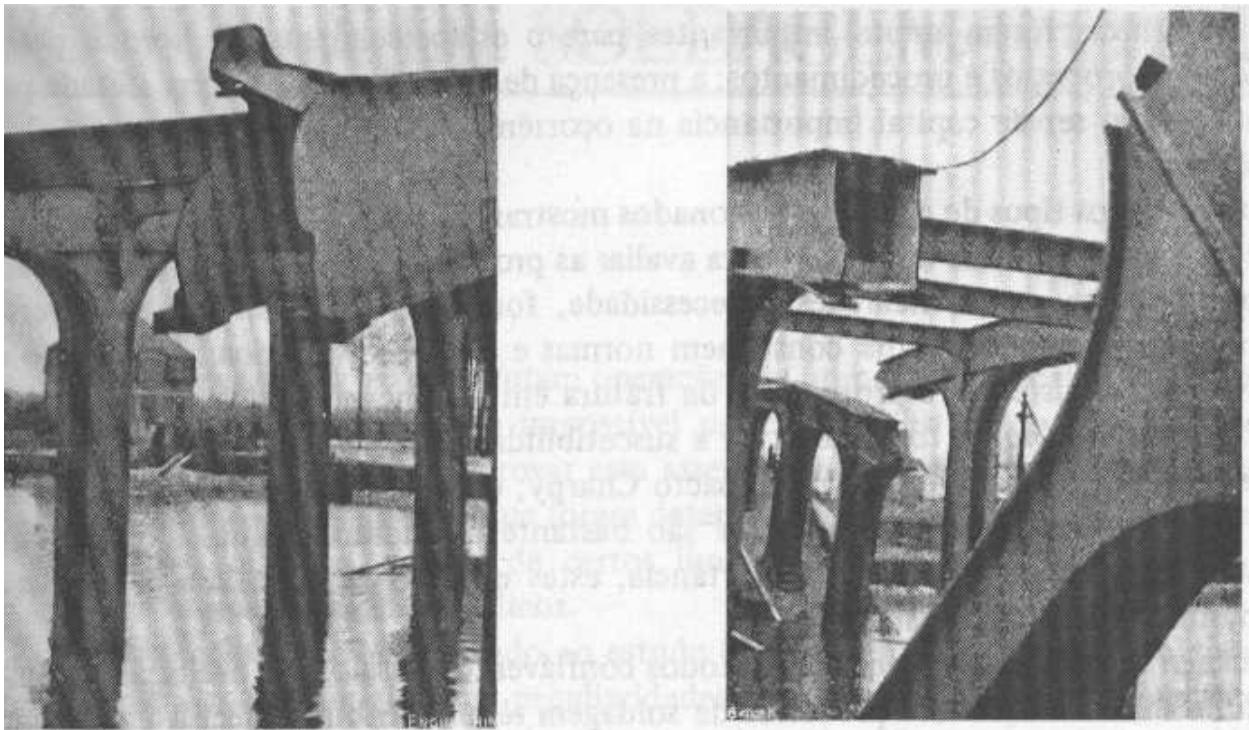


FIGURA 2.3 – Esquema ilustrativo da ponte de Hasselt

A bem da verdade, tais tipos de falhas não ocorrem em grande número e sua freqüência pode ser considerada bastante baixa, do ponto de vista estatístico. Entretanto, a ocorrência das mesmas abriu um novo campo de investigações, relacionados com os aspectos físicos e metalúrgicos envolvidos na análise de uma falha.

Desta maneira, o desenvolvimento de métodos confiáveis e ensaios para avaliação da junta soldada e a constante evolução dos processos de soldagem têm contribuído decisivamente para ampliar cada vez mais os horizonte de aplicação da soldagem, tornando a execução das uniões estruturais altamente confiável e econômica.

Em consequência, muitos engenheiros, técnicos e outros profissionais que atuam no campo das construções soldadas tem se conscientizado da importância e da necessidade de aprofundarem cada vez mais seus conhecimentos nesta área, para poderem desempenhar suas atribuições com destreza e confiança.

### 3. CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM

Embora seja difícil encontrar uma classificação universalmente aceita, pode-se estimar que existem atualmente em utilização cerca de cinqüenta processos de soldagem.

De acordo com a figura 3.1, os processos de soldagem são divididos em três grandes classes.

- Soldagem por fusão. Processo no qual as partes são fundidas por meio de energia elétrica ou química, sem aplicação de pressão.
- Soldagem por pressão. Processo no qual as partes são coalescidas e pressionadas uma contra a outra por a difusão atômica.
- Brasagem. Processo no qual as partes são unidas por meio de uma liga metálica de baixo ponto de fusão. Por este método, o metal base não é fundido.

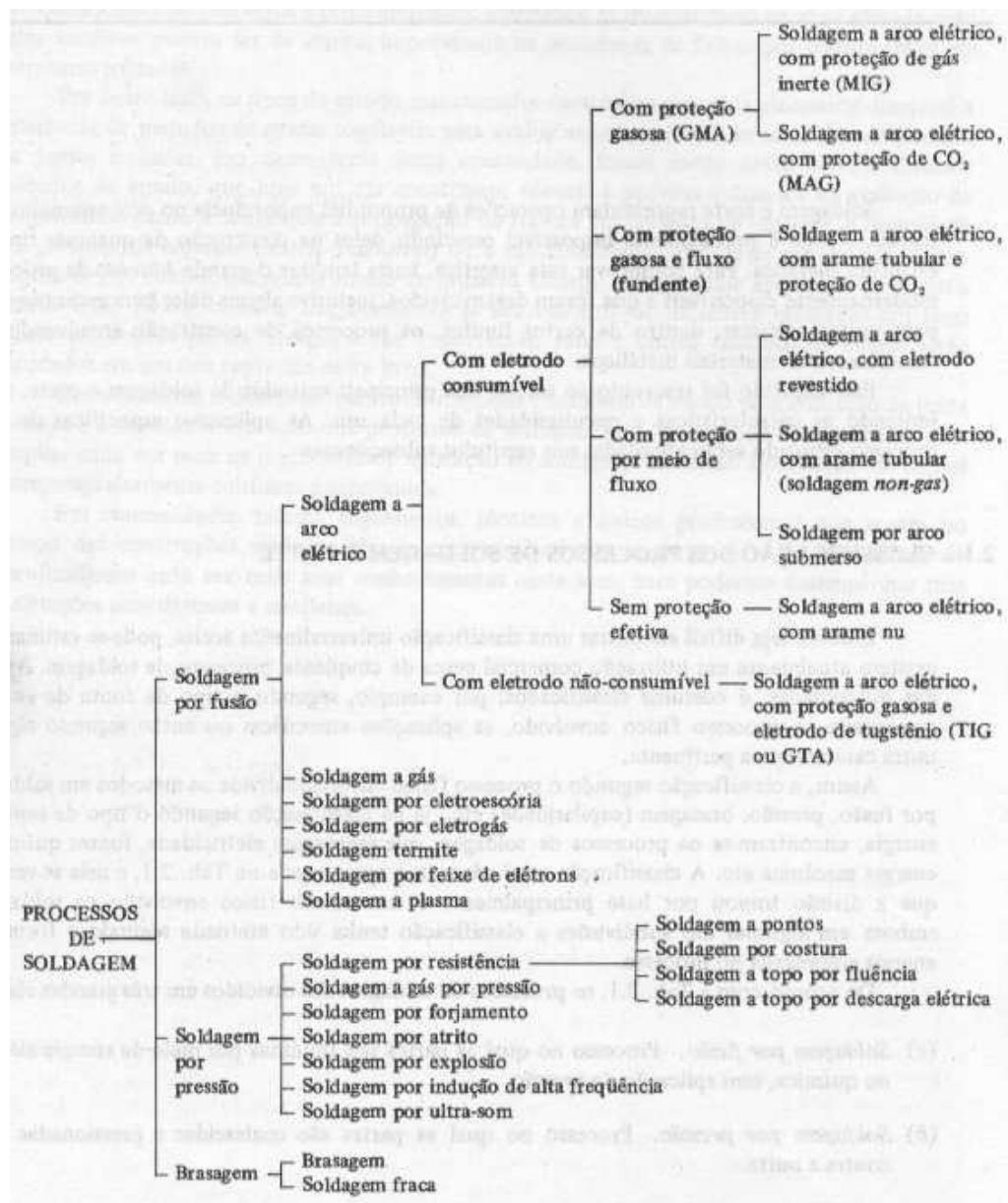


FIGURA 3.1- Classificação dos processos de soldagem

## 4. SOLDAGEM A GÁS (Soldagem Oxi-acetilênica)

A soldagem a gás, ou com fontes químicas, é um processo no qual um gás combustível é misturado ao oxigênio e, pela queima da mistura assim formada, consegue-se fundir o metal base e o de adição, executando-se a soldagem. Os gases mais empregados são acetileno, propano e hidrogênio, com nítida predominância do primeiro, sendo que, neste caso, o método é conhecido como **soldagem oxi-acetilênica**.

**Definição de soldagem oxi-acetilênica.** É uma soldagem por fusão, na qual o calor é obtido por meio de uma chama de alta temperatura produzida pela queima de uma mistura de oxigênio e acetileno.

### 4.1 ACETILENO

O acetileno, também chamado de etino, descoberto por Davis, químico inglês, em 1836, é um gás combustível, com cheiro característico a alho, fétido e desagradável, muito venenoso, instável e, quando liquefeito, mais leve que a água.

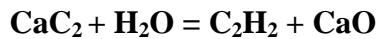
É o mais simples dos hidrocarbonetos, formado somente por dois elementos, carbono e hidrogênio, de formula química  $C_2H_2$ , o que indica que cada molécula de acetileno contém dois átomos de carbono, combinados com dois átomos de hidrogênio.

O acetileno queimado ao ar, por meio de um maçarico, produz uma chama altamente fumacenta. Porém, se for queimado misturado com o oxigênio em proporção adequada, produz uma chama azul com brilho branco, suave de alta temperatura.

Assim como outros gases combustíveis, o acetileno forma uma mistura com o ar ou oxigênio, altamente explosiva. Devido a este grande limite de explosividade, temos de tomar muito cuidado no uso do acetileno, a fim de impedir a formação da mistura explosiva.

Atualmente produzimos industrialmente o carboneto de cálcio ou carbide, da fórmula  $CaC_2$ , e obtemos o acetileno por ação simples da água, à temperatura ambiente, sobre o carboneto de cálcio.

A reação produzida pode ser expressa pela seguinte reação química:



ou em outros termos: Carboneto de cálcio + água = acetileno + cal.

Assim sendo quando a pedra ou pedaço de carboneto de cálcio cai na água (processo americano) ou quando gotas de água caem sobre pedaços de carboneto de cálcio (processo europeu) obtemos instantaneamente bolhas de gás que tendem a subir. Este gás é o gás acetilênico.

O carboneto de cálcio é uma substancia pedregosa de cor cinza, obtida pela redução de uma mistura de cal e carvão, num forno elétrico, operação esta conhecida como processo de Bullier.

A produção industrial do gás acetileno, para uso em soldagem, é obtida por meio de geradores construídos em diversos sistemas e tamanhos, variando a carga permissível de carbureto de 1 até 1000 quilos. O gás é obtido no gerador de acetileno (figura 4.1), pelo contato do carbureto de cálcio com a água. O acetileno bruto assim formado contem umidade proveniente de água do gerador, além de combinações de enxofre fósforo contido no carbureto.

Ao contrário do que se dá com os outros gases, o acetileno não pode ser comprimido sob alta pressão num recipiente comum, pois, sob certas circunstâncias, o gás poderá explodir com poucas atmosferas de pressão.

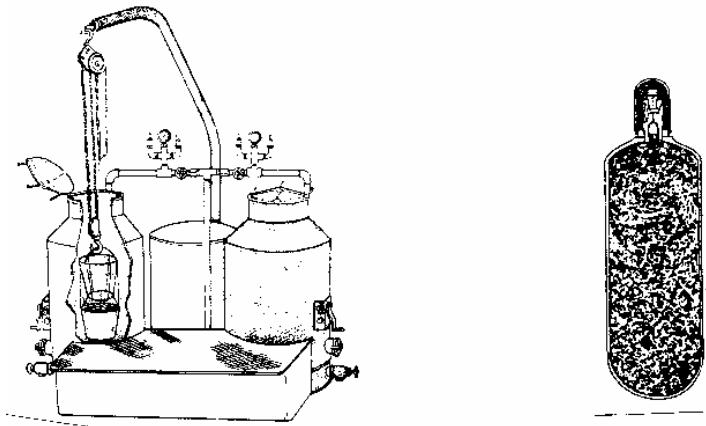


FIGURA 4.1 – Gerador de acetileno.

O acetileno pode vir também embalado no interior de garrafas de aço apropriadas, utilizando-se uma propriedade do gás, que consegue se dissolver na acetona a uma taxa de cerca de 25 vezes o seu volume para cada aumento de uma atmosfera de pressão no interior da garrafa. Assim, as garrafas contém, em seu interior, um material poroso embebido em acetona, que consegue dissolver uma grande quantidade de acetileno. A pressão interna das garrafas varia entre 10 e 20 kg/ cm<sup>2</sup>, o que permite transportar aproximadamente de 4 a 11 quilos de acetileno por garrafa.

## 4.2 OXIGÊNIO

O oxigênio é um gás abundante encontrado na natureza, incolor, inodoro, indistinguível ao tato.

Quando o oxigênio puro é usado em lugar de ar, todas as reações de combustão são intensificadas e a temperatura da chama é grandemente aumentada. Além desse fato, muitas substâncias que não queimam em contato com o ar, queimam facilmente na presença do oxigênio. Assim sendo, o oxigênio é agente responsável por toda e qualquer combustão que se processe no ar ambiente.

O oxigênio pode ser preparado no laboratório de maneiras diversas, como: aquecendo-se cloreto de cal e peróxido de cobalto, aquecendo-se cloreto de potássio ou separando-se a água nos seus dois elementos ( $H_2O$ ) hidrogênio e oxigênio, por meio da passagem de corrente elétrica (eletrólise).

Moderna e praticamente, todo o oxigênio usado para soldagem ou corte de metais, é obtido pela liquefação do ar ambiente.

O ar é composto de 20% de oxigênio mais nitrogênio e uma pequena percentagem de gases raros, tais como: argônio, neon e Hélio.

Por meio de um cuidadoso e controlado processo de compressão, resfriamento e expansão em baixas temperaturas, o ar pode ser transformado num gás composto de uma mistura de oxigênio líquido e nitrogênio ou azoto líquido.

A separação do nitrogênio do oxigênio é obtido pelo processo de destilação. Este equipamento destilador fornece oxigênio, em alto grau de pureza, a um tanque especial de armazenagem, do qual é retirado e comprimido em cilindros de aço, para futuro embarque e usos (Figura 4.2).

O oxigênio para fins comerciais é fornecido geralmente comprimidos em cilindros de aço, fabricados e testados de acordo com o regulamento e normas da “Interstate Commerce Commission”.

O cilindro de oxigênio é um tubo de aço sem costura, isto é, fundido inteiriço, com aproximadamente 6,6 mm de espessura. O tamanho mais comum dos cilindros com sua carga total de gás, possui 6,6 mm<sup>3</sup> de oxigênio a 150 atmosfera de pressão quando a temperatura for de 21°C.

Todos os cilindros de oxigênio são fornecidos com uma válvula de bronze, especialmente projetada para trabalhar a alta pressões. Estas válvulas são fabricadas com uma

rosca para fixação no cilindro, extensão par ligação do equipamento regulador de pressão, e uma derivação para a fixação da mangueira de tomada do oxigênio.



FIGURA 4.2 – Seção de um cilindro de gás de oxigênio, sem tampa, vendo-se a válvula de segurança

Com um aumento de temperatura do oxigênio causa um correspondente aumento de pressão no cilindro, como vimos anteriormente, as válvulas dos cilindros de oxigênio são equipadas com um dispositivo de segurança (Figura 4.3), as quais se abrem quando tivermos um aumento de pressão, permitindo o oxigênio escapar livremente. Por esta razão, os cilindros de oxigênio não devem ser guardados em lugares quentes.

Apesar de sua construção robusta, os cilindros de oxigênio devem ser manejados cuidadosamente, devendo ser transportados em carrinhos, evitando o uso de guinchos magnéticos, ou talhas com correntes, eliminando o perigo de uma queda, e a respectiva explosão.

Devemos lembrar que, mesmo a uma pressão ambiente, o oxigênio puro é uma substância de alta afinidade. Portanto o oxigênio, sob alta pressão, tem a sua afinidade química altamente aumentada, podendo combinar-se com certas substâncias como óleo e graxa, mesmo à temperatura ambiente, causando a explosão do cilindro.

Assim sendo graxa ou óleo ou outros combustíveis, não devem ser postos em contato com cilindros ou tubulações que transportem ou contenham oxigênio, não podendo serem armazenados num mesmo local, evitando desta maneira uma provável explosão.

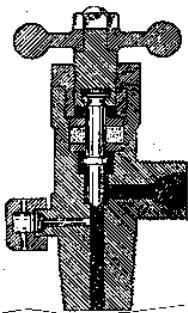


FIGURA 4.3 – Válvula de segurança para o cilindro de oxigênio

### 4.3 CHAMA OXI-ACETILÊNICA

As características da chama oxi-acetilênica variam com a relação da mistura oxigênio-acetileno, também conhecida como regulagem da chama, conforme é esquematizado na figura 4.4. Conforme esta relação, a chama pode ser classificada como:

carburizante, neutra, oxidante.

As características de cada tipo de chama são apresentadas a seguir.

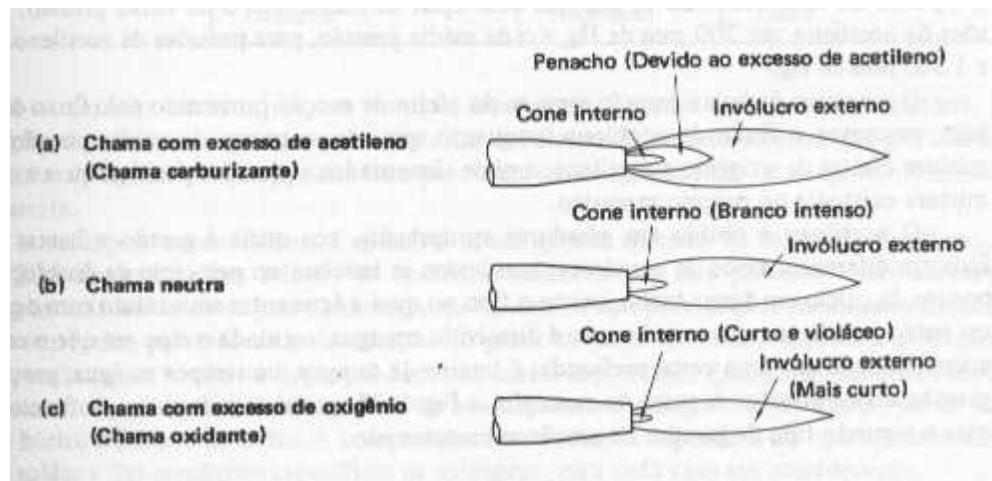


FIGURA 4.4 – Tipos de chamas

- Chama Neutra – É obtida com a regulagem da chama quando a relação oxigênio-acetileno é 1:1. A chama consiste em um cone interno, de um branco intenso, e um envoltório azul-violáceo. Devido a sua neutralidade, esta envoltória externa é empregada na soldagem como atmosfera de proteção.
- Chama Oxidante – este tipo de chama é obtido aumentando-se o fluxo de oxigênio. O comprimento total da chama é e o cone interno torna-se violáceo. A utilização da chama oxidante na soldagem de aços pode causar a descarbonetação ou a oxidação do metal fundido.
- Chama Carbonetante ou Carburizante - É o tipo de chama que se obtém quando apresenta um excesso de acetileno. Nestas condições, há a formação de um penacho entre o cone interno e o invólucro externo, devido justamente ao excesso de gás combustível. Esse excesso de acetileno irá provocar a carbonetação do metal em fusão, na soldagem dos aços.

Do exposto, depreende-se que, tanto a chama oxidante, como, a carbonetante, não são recomendáveis para a soldagem dos aços e suas ligas.

As regiões de maiores temperaturas ocorrem nas vizinhanças da ponta do cone interno, onde as temperaturas atingem cerca de 3000°C, e na zona central do invólucro externo, chega a 2500°C.

A soldagem oxi-acetilênica é aplicável a um grande número de materiais metálicos, e a Tabela 4.1 apresenta uma relação de materiais soldáveis por este processo.

TABELA 4.1 – Aplicação da soldagem oxi-acetilênica para vários materiais

<i>Materiais</i>	<i>Regulagem da chama</i>	<i>Fluxo fundente</i>	<i>Materiais de enchimento</i>
<i>Aço carbono</i>	<i>Neutra</i>	<i>Desnecessário</i>	<i>Aço de baixo carbono</i>
<i>Ferro Fundido Cinzento</i>	<i>Neutra</i>	<i>Necessário</i>	<i>Ferro fundido cinzento</i>
	<i>Ligeiramente oxidante</i>	<i>Necessário</i>	<i>Bronze</i>
<i>Ferro fundido maleável</i>	<i>Ligeiramente oxidante</i>	<i>Necessário</i>	<i>Bronze</i>
<i>Níquel</i>	<i>Carburizante</i>	<i>Desnecessário</i>	<i>Níquel</i>
<i>Ligas de cobre-níquel</i>	<i>Neutra ou ligeiramente carburizante</i>	<i>Desnecessário</i>	<i>Monel</i>
<i>Cobre</i>	<i>Neutra</i>	<i>Desnecessário</i>	<i>Cobre</i>
<i>Bronze</i>	<i>Neutra ou ligeiramente oxidante</i>	<i>Necessário</i>	<i>Bronze</i>
<i>Latão</i>	<i>oxidante</i>	<i>Necessário</i>	<i>Latão</i>

#### 4.4 O EQUIPAMENTO PARA A SOLDAGEM E CORTE

Um equipamento portátil par a soldagem oxi-acetilênica compõe-se de:

- a) Maçarico com bico de diversos tamanhos e câmara misturadora.
- b) Duas extensões de mangueira de cores diferentes, verde ou preta para o oxigênio, e vermelha para o acetileno.
- c) Regulador de pressão para o oxigênio e para o acetileno.
- d) Cilindro de oxigênio.
- e) Cilindro ou gasômetro para o acetileno.
- f) Óculos protetores.
- g) Acendedores de fricção.
- h) Roupa adequada.

### a) O Maçarico de Soldagem

Maçaricos e extensões de soldagem e aquecimentos ( figura 4.5 ) são equipamentos que misturam oxigênio e gás combustível em proporções corretas e em volume e velocidade apropriados para produzir chamas que iram aquecer, soldar ou cortar metais.

Quanto a forma de misturar os gases, classificam-se em:

1) Tipo misturador (média pressão) – Os gases são fornecidos a pressões aproximadamente iguais, misturando-se espontaneamente na câmara de mistura.

2) Tipo injetor (baixa pressão) – Os gases são fornecidos a pressão diferentes. O oxigênio, ao passar pelo injetor, expande-se e arrasta o acetileno (a baixa pressão) para dentro da câmara de mistura. Com isso, as variações de demanda de oxigênio resultarão em variações proporcionais de acetileno, mantendo constante a homogeneidade da mistura oxigênio-acetileno.

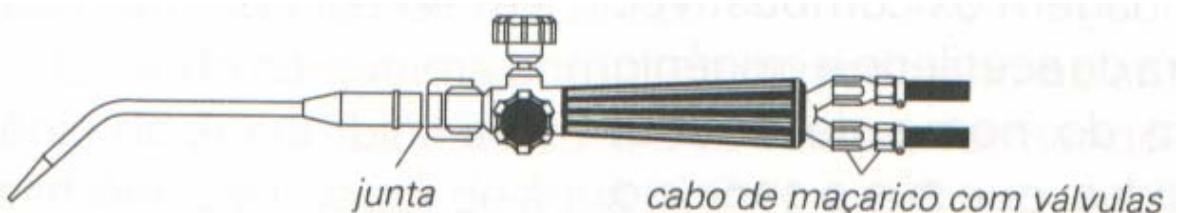


FIGURA 4.5- Maçarico de soldagem

#### Como escolher o bico adequado:

Cada maçarico de soldagem ou aquecimento possui uma linha própria de extensões, com capacidades variadas, e uma cabeça cortadora, cuja capacidade é definida pelo bico de corte utilizado.

Para que uma soldagem apresente perfeitas condições, é preciso, entre outras exigências, que o bico escolhido seja o certo. Para chapas finas, usam-se bicos pequenos; para espessuras médias, bicos médios e para soldas em grande espessuras, bicos grandes. O número exato do bico, dentro dessas categorias, pode ser determinado, ou pelas tabelas dos fabricantes ou mediante experiência própria.

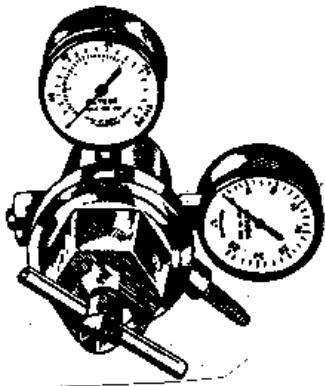
## Instruções para Uso Correto do Maçarico

- a) Observe a posição das mangueiras, pois uma é própria para oxigênio (verde ou preta) e outra para acetileno (vermelho).
- b) Ligue primeiramente as mangueiras aos reguladores de oxigênio e acetileno usando braçadeiras apropriada que garantem sólida junção sobre os nipes.
- c) Abra ligeiramente cada uma dos reguladores apertando os parafusos de regulagem. Espere que um leve fluxo de gás atravesse as mangueiras certificando-se assim de que estão desimpedidos e sem poeira anterior. Feche os reguladores, voltando os parafusos à posição primitiva.
- d) Faça a ligação da extremidade livres da mangueiras ao maçarico. Use também braçadeiras.
- e) Adapte a extensão conveniente ao trabalho a executar conforme os dados da tabela em função da espessura da parte a soldar.
- f) Abra ligeiramente (1/2 volta) as válvulas de oxigênio e acetileno do maçarico. Ajuste nos reguladores as pressões recomendadas nas tabelas para cada gás segundo a extensão em uso. Aperte os parafusos de regulagem dos reguladores até que o manômetro indique o valor desejado. Feche então as válvulas do maçarico.
- g) Teste todo o circuito de gás contra vazamentos.
- h) Para acender o maçarico abra ligeiramente a de acetileno e acenda-o se notar excesso de fumaça ou mesmo ferrugem, abra um pouco mais a válvula de acetileno.
- i) Abra ligeiramente a válvula de oxigênio.
- j) Abra um pouco mais a válvula de acetileno.
- k) Regule o maçarico para obter a chama desejada.
- l) Apague o maçarico na seguinte ordem:
  - 1) Feche a válvula de acetileno
  - 2) Feche a válvula de oxigênio

É recomendável o emprego de um acendedor de fricção em lugar de fósforos, isqueiros, etc., pela segurança que oferece e pela facilidade de operação.

### b) Os Reguladores de Pressão

Um regulador de pressão (figura 4.6) é um dispositivo mecânico para manter automaticamente uma pressão reduzida e determinada, mesmo que a pressão dos cilindros e consequente volume de gás diminuam. Compõem-se de cinco elementos principais, a saber:



- a) Um parafuso de ajuste da mola do diafragma de controle da pressão.
- b) Uma mola que transmite a pressão do parafuso.
- c) Um diafragma da válvula reguladora.
- d) Uma válvula com a sede e o respectivo disco.
- e) Dois manômetros que indicam, respectivamente, a pressão do cilindro e de serviço.

FIGURA 4.6 – Regulador de pressão

Os reguladores são atarraxados diretamente nos cilindros de oxigênio e acetileno, a fim de regular as respectivas pressões de serviço. Duas mangueiras de borracha, de cores diferentes, ligam-nos diretamente no maçarico de solda. A operação do regulador é feita apertando o parafuso de ajuste até obter-se a pressão desejada, que é então mantida, não importando o volume de gás existente no cilindro respectivo.

A leitura das pressões é feita nos respectivos manômetros, um indicando a pressão do gás existente no cilindro e outro a pressão do gás fornecido ao maçarico.

Para uma operação perfeita e para melhor conservação dos reguladores deve-se seguir duas regras principais:

- a) desapertar completamente o parafuso de regulagem de pressão antes de abrir a válvula de descarga súbita e violenta possa prejudicar o delicado mecanismo da válvula.
- b) Nunca usar óleo ou graxa em nenhuma junta do equipamento de soldagem.

### c) Mangueiras do Oxigênio e do Acetileno

As mangueiras usadas para soldagem e corte são especialmente fabricadas para este fim. Devem ter a resistência necessárias para suportar as pressões internas: devem ser

suficientemente flexível para não prejudicarem os movimentos dos maçaricos e não devem ser porosas.

Como já dissemos, a mangueira do oxigênio é verde ou preta e a do acetileno vermelha.

Suas extremidades são providas de conexões de borboletas, ou conexões auto atarraxantes de fixação aos cilindros e maçaricos.

#### **4.5 RETROCESSO E ENGOLIMENTO DE CHAMAS**

A capacidade da chama para aquecer e fundir um metal depende dos seguintes fatores:

- 1) Temperatura da chama (que é função dos gases utilizados).
- 2) Calor de combustão (que ainda é função dos gases utilizados).
- 3) Velocidade de saída dos gases (que é a velocidade que a mistura sai na extremidade da ponteira do maçarico).
- 4) Velocidade de combustão (que é a velocidade da queima da mistura gasosa combustível).

Três casos podem com relação a essas duas velocidades:

- a) A velocidade de saída dos gases é maior que a velocidade de combustão. Neste caso há um deslocamento da chama, isto é, a mistura gasosa queima a uma certa distância da ponteira.
- b) As duas velocidades são iguais. Neste caso representa o funcionamento normal e a mistura queima logo após a ponteira.
- c) A velocidade de saída dos gases é menor que a velocidade de combustão: a queima inicialmente se dará no interior da ponteira do maçarico. Haverá um aumento na temperatura interna da ponteira e consequente dilatação tornará cada vez menor a velocidade de saída dos gases (a velocidade de saída dos gases é inversamente proporcional ao quadrado do diâmetro da ponteira) e, como a velocidade de combustão permanece constante, pois só depende da mistura dos gases, a queima se dará cada vez mais para o interior do maçarico e chegará a um ponto que irá se localizar na ponta do injetor. Neste instante, o maçarico começará a emitir um ruído característico e se não fechar as válvulas, o injetor se fundirá. Este fenômeno é conhecido como engolimento. Se deixarmos que a queima da mistura prossiga cada vez mais no sentido inverso ao da saída dos gases, ela irá até a fonte supridora

de acetileno e se não houver um dispositivo de segurança (válvula hidráulica), haverá explosão. Este recuo de chama, ou melhor queima de mistura, desde a extremidade da ponteira até a fonte supridora de acetileno, é chamado de retrocesso de chama. Geralmente, o retrocesso de chama ocorre quando uma partícula de metal obstrui a ponteira ou quando esta toca na solda ou ainda quando a ponteira se aquece demasiadamente. Um maçarico bem cuidado e o emprego de pressões corretas reduzirá os retrocessos de chama ao mínimo.

## 4.6 DESOXIDANTE FLUXOS OU FUNDENTES

Desoxidantes são materiais empregados em metalurgia com a finalidade de associar-se aos elementos estranhos contidos no metal, facilitando a retirada dos mesmos, através da escória, bem como dos óxidos produzidos durante a fusão do metal.

Vê-se, portanto, que sua finalidade é a de acelerar a fluidez da escória, fazendo-a sobrenadar ao metal em fusão, juntamente com as impurezas.

Todo metal com a presença de calor sofre uma dilatação considerável e tende a formar óxidos metálicos, estes óxidos são formados devido a impurezas existentes no metal base e no metal de adição, gases provenientes dos poros invisíveis que se abrem devido a presença do calor, óxidos que se formam com a presença dos gases que compõem a atmosfera, todos estes fatores alteram o ponto de fusão do metal a ser soldado, dificultando a operação e trazendo fragilidade nas peças.

Os fundentes ou fluxos na metalurgia da soldagem podem apresentar-se em diversas formas ou estados:

1. Em estado líquido
2. Em estado pastoso
3. Em forma de pó
4. Revestindo uma vareta
5. Revestindo um eletrodo
6. Granulado “empregado no arco submerso”
7. Internamente em arame tubular
8. Gasoso nos processos ”MIG/ MAG, TIG”

Todos os fluxos, independente do estado que se apresenta ao se fundir na superfície do metal base, formam um gás que se combina ao que compõem a atmosfera, formando uma cortina protetora não permitindo a contaminação do ar, ao mesmo tempo penetra nos pequenos

poros abertos devido ao calor, retirando as impurezas dando um lacre que impede a saída de gases e assim facilitando a penetração do metal líquido no pequeno poro aberto devido a dilatação por causa do calor e indicando pelo próprio ponto de fluidez a temperatura para a aplicação das ligas correspondentes.

Para um melhor desempenho dos fluxos deve-se sempre transmitir o calor indireto observando se realmente o fundente está fundido com o calor da peça e não com o calor da chama.

Os fundentes são produtos auto químicos devendo permanecer em recipientes fechados evitando o operador ingerir fumaça e o contato com a pele e principalmente com os olhos.

O uso demasiado não traz benefício à operação de solda, pelo contrário, dificulta criando resíduos com excesso; após a solda, estes devem ser totalmente removidos com água morna ou produtos químicos para evitar os ataques corrosivos.

Funções principais dos fundentes:

1. impedir a formação de óxidos, gases impuros nos depósitos de solda
2. facilitar uma liga de baixa temperatura entre o metal base e o metal de adição
3. proteger a costura contra a oxidação durante a soldagem e o resfriamento
4. indicar pelo próprio ponto de fluidez e temperatura aproximada para aplicações das ligas correspondentes.

## 4.7 VARETAS DE SOLDA

São metais ou ligas especialmente preparadas para serem depositadas fundidas na zona de soldagem com um dos seguintes objetivos:

- unir duas ou mais peças;
- preenchimento das peças (falha de fundição, etc.);
- revestimento (peça com desgaste, etc.).

Na soldagem pelo processo oxi-acetilênico o metal a ser soldado pode ser ferroso ou não ferroso. Entre os metais férreos podem incluir o ferro fundido, aço laminado, aço fundido, aço cromo, aço manganês, aço de construção, aço inoxidável, etc. Entre os metais não ferrosos podem citar: cobre, bronze, latão, duralumínio, etc.

Ao serem submetido ao calor da chama, alguns metais se dilatam mais que os outros, como o coeficiente de dilatação da peça a ser soldada é diferente do material a ser depositado,

podem surgir os esforços prejudiciais, e em alguns casos, trinca no próprio cordão de solda. É muito importante que as características das varetas de material adicional sejam tais, que contrabalancem esta tendência.

Como já dissemos, a qualidade de uma boa solda, sua resistência a tração e aos choques, seu alongamento, sua elasticidade, sua trabalhabilidade e seu aspecto, dependem essencialmente da qualidade e das características do arame de solda que usarmos. Boas soldas nunca poderão ser obtidas com arames de qualidade inferior, por mais hábil que seja o soldador e por melhor que seja o equipamento de que dispõe. Um bom arame de solda deverá ter a composição exata e cuidadosamente controlada durante a fabricação e de acordo com as especificações do metal a ser soldado. Sem dúvida, um bom arame de solda custa mais que um arame de qualidade inferior. Porém, tal fato não exerce influência sobre o custo final do trabalho concluído, pois, o arame de solda representa uma pequena parcela e seu maior custo é amplamente compensado, pelas inúmeras vantagens advindas de seu emprego. Para a escolha do metal de adição (arame) adequado deve-se consultar manuais específicos.

Os arames de solda geralmente são fornecidos nos diâmetros de 1,2 – 1,6 – 2 – 2,5 – 3,2 – 4 – 5 e 6,3 mm e no comprimento de 90 cm.

A tabela 4.2 relaciona o metal de base. Metal de adição (arame), tipo de chama e fluxo indicados para se obter uma boa qualidade da solda oxi-acetilênica.

TABELA 4.2 – Metal base x Arame de Solda x Tipo de chama x Fluxo

METAL BÁSICO	ARAME DE SOLDA	CHAMA	FLUXO
Aço carbono	Baixo teor de carbono	Neutra	Não
Aços ligas	Liga de Aço baixa	Levemente redutora	Não
Aço e ferro inoxidável	Similar ao metal base	Levemente redutora	Não
Aço manganês	Similar ao metal base	Neutra	Sim
Ferro fundido	Similar ao metal base	Neutra ou Levemente redutora	Não
Ferro maleável	Ferro fundido branco	Neutra	Sim
Níquel	Mesmo de metal base	Redutora	Não
Ligas cobre-níquel	Mesmo de metal base	Neutra ou Levemente redutora	Sim
Cobre	Monel silício	Neutra ou Levemente redutora	Não
Bronze silício	Cobre de oxidante	Neutra	Não
Latão vermelho	Similar ao metal base	Neutra ou levemente oxidante	Sim
Latão amarelo	Latão com alto teor de zinco	Neutra	Sim
Alumínio	Similar ao metal base	Oxidante	Sim
Ligas de alumínio	Mesmo de metal base	Levemente redutora a neutra	Sim
Alumínio fundido	Mesmo de metal base	Levemente redutora a neutra	Sim
Chumbo	Liga de alumínio-silício	Levemente redutora a neutra	Sim
	Mesmo de metal base	Neutra	Não

## 4.8 MÉTODOS DE OPERAÇÃO NA SOLDAGEM

### a) Técnicas de soldagem

Na soldagem oxicombustível, é possível utilizar duas técnicas diferentes quanto ao sentido de avanço do maçarico: solda adiante ou à esquerda e solda atrás ou à direita.

A solda adiante ou à esquerda é aquela que estando o maçarico na mão direita e a vareta na mão esquerda do soldador, a solda progride da direita do soldador para sua esquerda, ou seja consiste em colocar a chama seguindo a vareta de solda em relação ao movimento segundo o qual se desenvolve a costura. Este método é atualmente o mais utilizado, principalmente na soldagem de chapas de aço com uma espessura máxima de 6,36mm, e na soldagem de chapas finas de até 2,5 mm de metais não forrosos. Este método não é recomendado para a soldagem de aços de alta resistência.

O bico do maçarico deve fazer um ângulo que varia de  $45^\circ$  a  $50^\circ$  em relação à chapa e a vareta de solda deve ser segura em um ângulo de  $40^\circ$ . O ângulo formado entre a vareta de solda e o bico do maçarico deverá ser de aproximadamente  $90^\circ$ . (Figura 4.7)

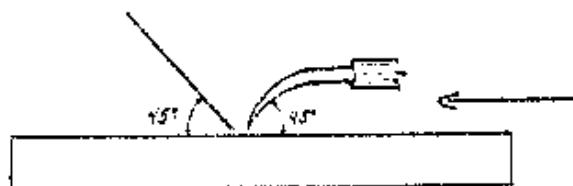


FIGURA 4.7- Esquema de Soldagem a esquerda

A solda atrás ou à direita (figura 4.8) consiste em colocar a vareta de solda seguindo a chama, no movimento segundo o qual se desenvolve a costura. Se o maçarico é seguro com a mão direita e a vareta com a mão esquerda, desenvolvendo-se o cordão de solda da esquerda para a direita, a vareta segue a chama e fica à esquerda. Atingem maiores velocidades de soldagem porque a chama vai na frente e funde mais rapidamente.

Este método foi aperfeiçoado durante a segunda guerra mundial a fim de poder competir com a soldagem elétrica de chapas com espessuras superiores a 12,7mm. O ângulo entre o bico do maçarico e a chapa a ser soldada será de  $40^\circ$  a  $50^\circ$ , o ângulo entre a vareta e a chapa, de  $30^\circ$  a  $40^\circ$  e finalmente o ângulo entre o bico do macarico o a vareta de solda, de  $100^\circ$  a  $110^\circ$



FIGURA 4.8 – Esquema de Soldagem a Direita

### b) posição de soldagem

Outro fator importante a observar é a posição de soldagem. Em uma obra, quanto mais se aproxima a fase final, com mais freqüência acontece que os conjuntos soldados tenham de ser montados em posições desfavoráveis.

As posições de soldagem se classificam em:

- A) Posição plana
- B) Posição vertical ascendente
- C) Posição vertical descendente
- D) Posição horizontal
- E) Posição sobre-cabeça

### c) Juntas e chanfros

Juntas é a posição relativa de uma chapa em relação a outra. por exemplo podemos ter juntas de topo; sobreposta; em T; em quina ( figura 4.9).

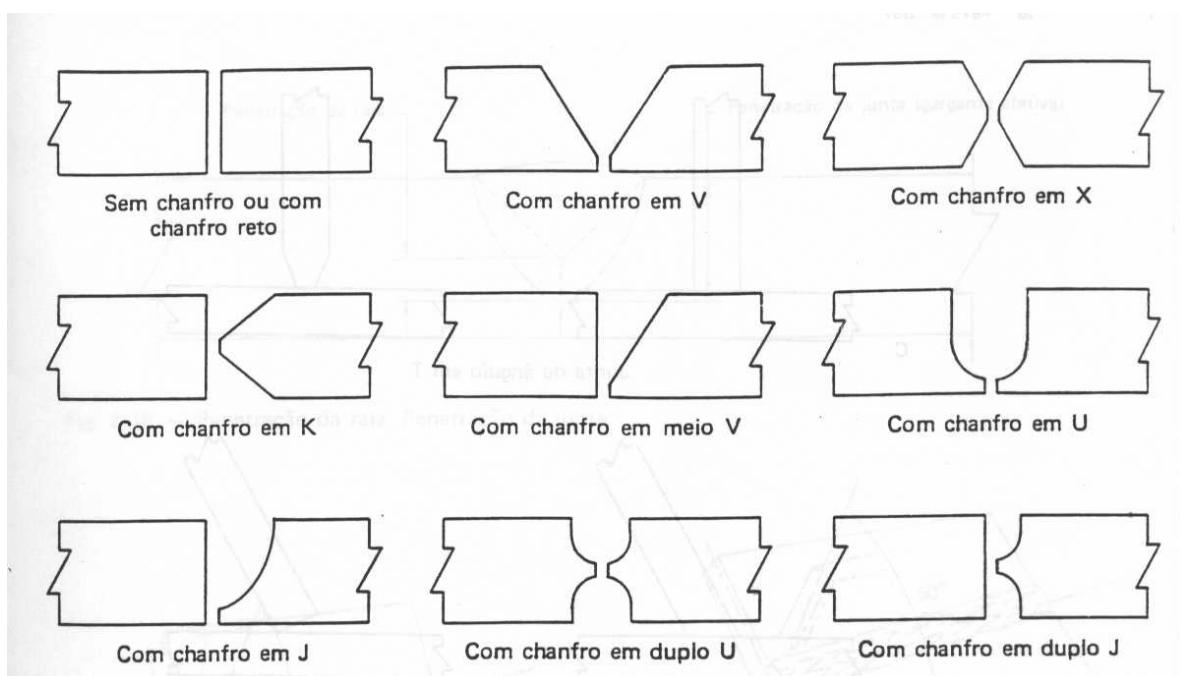


FIGURA 4.9 - Chanfros de soldagem

Chanfros é o formato geométrico do local da solda. Exemplos: chanfro em X, K , V, duplo V, J, duplo X, etc ( figura 410).

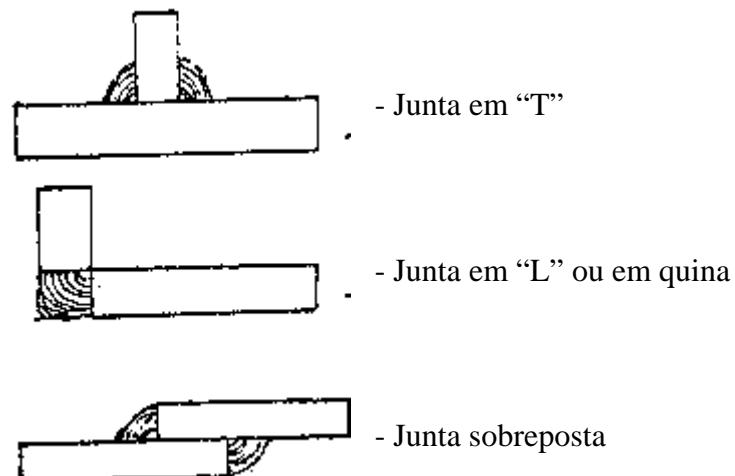


FIGURA 4.10 - Juntas de soldagem

#### d) Elementos de uma Solda

A figura 4.11 apresenta os principais elementos de uma solda.

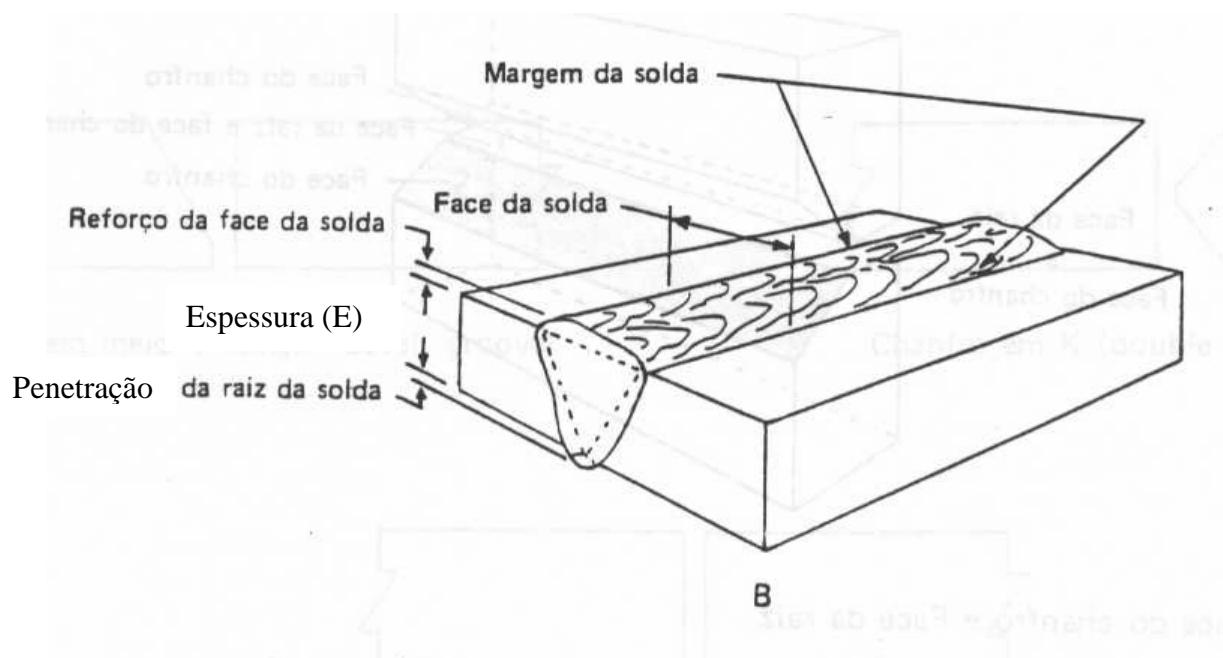


FIGURA 4.11 – Elementos de uma solda

R = Reforço da solda

E = Espessura do material a soldar

P = Penetração da solda

Cordão: é o resultado de adição da vareta de solda.

Penetração: É a profundidade que o cordão atinge , isto é, vai da superfície da chapa.

Reforço: É o excesso de solda que aparece na parte superior da superfície da chapa.

Raiz da solda: É a parte inferior do cordão.

Vazamento: É a parte da solda que fica abaixo da superfície inferior da chapa. É a parte da chapa fundida que desceu. A solda vazada é uma solda bem feita.

## 4.9 MEDIDAS DE SEGURANÇA

A primeira impressão que temos aos primeiros contatos com equipamentos oxi-acetilênicos, é de ser tudo altamente perigoso por explosões devastadoras. Realmente, temos vistos ou lido algumas dezenas de acidentes fatais, particularmente em solda oxi-acetilênica. A um leigo, isso é alarmante, porém nós, que já temos experiência no setor, sabemos ser em quase sua totalidade acidentes originados por imprudências, por desconhecerem os soldadores desastrosos as principais medidas de segurança.

Com isso é muito importante, vamos ver quais são estas medidas de segurança:

- 1) Conservar o equipamento em boas condições.
- 2) Usar óculos para proteger as vistas contra fagulhas e os raios luminosos.
- 3) Usar máscara protetoras com lentes especiais.
- 4) Usar luvas, aventais de couro recomendados.
- 5) Evitar que bolsos na calça ou paletó fiquem abertos e expostos.
- 6) Dobrar a bainha da calça para dentro
- 7) Se usar fósforos não os deixe nos bolsos quando estiver soldando
- 8) Usar acendedor próprio para ascender maçarico
- 9) Manter materiais inflamáveis fora da secção de soldagem
- 10) Evitar a chama na direção dos cilindros, geradores ou mangueiras
- 11) Manter as oficinas bem ventiladas

- 12) Manter os cilindros, cheios ou vazios, longe de qualquer fonte de calor, cabos condutores de energia elétrica; mante-los em posição vertical e ao abrigo das intempéries.
- 13) Nunca levantar os cilindros para transportá-los; gira-los em posição quase vertical.
- 14) Ao esgotar-se o cilindro fechar bem a válvula do mesmo e marcar bem visivelmente “vazios”.
- 15) Nunca tentar recarregar as garrafas
- 16) Dizer sempre “Acetileno” e não “gás”, dizer sempre “oxigênio” e nunca “ar”.
- 17) Conservar a graxa ou óleo, distantes do cilindros
- 18) Proteger especialmente as válvulas do cilindro contra choques, quedas, etc.
- 19) Manter os cilindros sempre amarrados e fora das passagens
- 20) Não abrir a válvula dos cilindros de acetileno mais de  $\frac{1}{4}$  de volta.
- 21) Caso o retrocesso queime a mangueira, inutiliza-la ou cortar a parte queimada. O retrocesso queima as paredes internas da mangueira, não mais oferecendo segurança
- 22) Ao colocar as mangueiras, estar atento para não inverter as conexões. Nas porcas de adaptação geralmente vem gravado um “O” e “A”, respectivamente para oxigênio e acetileno.
- 23) Não apertar as porcas com qualquer ferramenta. Usar chave apropriada.
- 24) Observar as fagulhas que saem da soldagem ou corte, pois essas atingem uma distância até 10m e chegam a cair quentes, muitas das quais vermelhas.
- 25) Sendo necessário soldar ou cortar contra as paredes ou assoalho de madeira, proteja-os com amianto umedecido e chapa de aço.
- 26) Nunca use cavaletes ou mesa de madeira para soldar ou cortar.
- 27) Limpe pelo menos uma área de 10m de diâmetro, tirando os materiais inflamáveis. Não facilite, especialmente em se tratando de gasolina, querosene, gases, óleos, borracha, papel, etc.
- 28) Tenha em lugar bem acessível, extintores de incêndio, cobertores para abafar chamas e baldes com areia.
- 29) Não solde tanques, tambores a não ser havendo absoluta segurança de não haver perigo de combustão ou explosão.

- 30) Não confie em seus olhos e nariz para decidir se há ou não segurança para soldar tanques ou tambores. Investigue o que foi guardado nesses recipientes, pois uma quantidade mínima de gás ou líquido pode provocar séria explosão. Caso o recipiente tenha contido material inflamável, lave-o com água muitas vezes, antes de soldar; encha o recipiente com água o mais possível para então soldar.
- 31) Não se recomenda pendurar o maçarico ou as mangueiras na válvula de redução ou do cilindro
- 32) Certificar-se de que todas as conexões estejam seguras; nunca testar vazamento com chama. Use uma solução de água com sabão
- 33) Nunca usar agulhas de aço ou qualquer ferramenta aguçada, para limpar bicos. Há para isso limpadores especiais ou, em caso de necessidade, fazer agulhas de cobre ou latão
- 34) Abrir as válvulas dos cilindros vagarosamente
- 35) Ao abrir a válvula do cilindro não ficar em frente aos manômetros, fique de lado.
- 36) Nunca usar arame comum nas conexões das mangueiras, use braçadeiras especiais para oxigênio e acetileno
- 37) Usar, obrigatoriamente, mangueiras especiais para oxigênio e acetileno. Será imprudência usar mangueiras comuns.
- 38) Observar as cores das mangueiras. Preta para oxigênio e vermelha para acetileno
- 39) Proteger as mangueiras contra o fogo direto, escórias quentes, arestas aguçadas e não as deixe em passagens para evitar constantes pisões e tropeções.
- 40) Resguardar as mangueiras de graxa, óleo, etc.
- 41) Toda mangueira nova contém talco internamente; deixar passar uma certa quantidade de gás antes de usá-la.
- 42) Nunca reparar mangueiras usando esparadrapo, fita isolante ou outro processo. Substitua-as.
- 43) Verificar periodicamente as mangueiras. Um vazamento de acetileno pode ser o início de incêndio, explosão ou sérias queimaduras.
- 44) Evitar o dobramento das mangueiras e mantenha-as livres de obstrução e de comprimentos exagerados.
- 45) Afastar a chama do maçarico das mangueiras, cilindros e reguladores. Afaste também as mangueiras de qualquer metal aquecido.

46) Manter as válvulas ou registros dos cilindros fechados, quando não estiverem em uso.

47) Não atarraxar o parafuso do regulador até o fim para esvaziar o cilindro

48) Desapertar o parafuso do regulador quando não estiver em uso

49) Verificar os manômetros periodicamente para se certificar de sua exatidão.

50) Para a proteção dos olhos contra os raios ultravioleta e infravermelhos e contra faíscas ou salpicos de metal, usar óculos com proteção lateral.

Os óculos devem ser ajustados individualmente e devem possuir a coloração indicada para o tipo de serviço a ser executado.

Um teste simples, para verificar se o grau da coloração dos óculos está certo, consiste em usá-los durante algum tempo no serviço e depois retirá-los dos olhos. Se notar que alguns pontos brancos parecem dançar em frente dos olhos, isto significa que os óculos mais escuros devem ser empregados.

Se, por outro lado, o soldador não puder distinguir claramente o tipo de chama que está usando, ou a poça de fusão, os óculos estarão excessivamente escuros.

51) Não tentar reparar as válvulas de cilindro; chame um especialista.

52) Antes de transportar os cilindros, tirar a válvula de redução.

53) Lembrar-se, a pressão suportada pelo tubo é enorme; observe as normas de segurança.

## 5. BRASAGEM

### 5.1 INTRODUÇÃO

É um tipo de união em que o material de adição é diferente do material de base.

A brasagem é feita com um material de adição que tem sempre a temperatura de fusão menor que a temperatura de fusão do material de base.

Não é uma união com continuidade de suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, portanto não está incluído na definição de soldagem. A união se dá apenas por um processo de aderência em que o material de adição vai se amoldar a todas as irregularidades da superfície do material de base. Por esta razão os materiais de adição devem ter baixa tensão superficial.

### 5.2. RAZÕES DA UTILIZAÇÃO DA BRASAGEM

- Possui um ponto de fusão mais baixo, potência de chama mais baixa e consequentemente maior economia (em relação à soldagem).
- Com exceção da solda brasagem, não necessita de mão de obra especializada.
- As tensões são menores devido ao pequeno aquecimento.
- Em casos em que não interessa muito uma grande resistência, mas apenas o contato elétrico (caso geral de equipamentos elétricos).
- Em casos onde a soldagem é muito difícil (ferro fundido).
- A brasagem pode ser facilmente desmontada, aquecendo a solda.
- Na união de materiais diferentes.

#### 5.2.1 CLASSIFICAÇÃO

A brasagem se classifica em brasagem fraca e brasagem forte.

##### A) Brasagem fraca.

Na brasagem fraca, a temperatura de fusão do material de adição é menor que  $600^{\circ}\text{C}$ . É utilizado o ferro de soldar como fonte de aquecimento. São conhecidos no comércio três tipos de brasagem fraca:

- a) Solda de bombeiro → se caracteriza pelo fato de o material de adição ter uma grande diferença entre a linha líquidus e a linha sólidus, em outras palavras, o intervalo de solidificação é grande.
- b) Solda de rádio → tem um intervalo de solidificação igual a zero. Está líquida e de uma hora para outra, já está sólida.
- c) Solda de funileiro → tem características intermediárias,

## **B) Brasagem Forte.**

Na brasagem forte a temperatura de fusão do material de adição é superior a  $600^0$ . É usado um maçarico para a fonte de calor, já que é uma brasagem que necessita de maior temperatura. A brasagem forte se divide em:

### **B1) Brasagem Forte por Capilaridade (Solda Prata).**

É um processo de unirão duas partes metálicas sem fundir o material de base, utilizando uma vareta de liga de prata, que funde entre  $618^0$  C a  $870^0$ C. Esse processo recebe o nome de solda prata uma vez que a liga de prata é uma liga ternária de prata, cobre e zinco. A quantidade de prata varia entre 10 e 80% conforme a especificação que se deseja para a liga.

Campo de aplicação:

1. Fixação de pastilhas de metal duro;
2. Equipamentos de ar condicionado;
3. Equipamentos para a industria aeronáutica;
4. Equipamentos para a industria química;
5. Utensílios domésticos;
6. Equipamentos elétricos, etc.

### **B2) Soldabrasagem – (Solda de Bronze)**

Usou-se pela primeira vez nos Estados Unidos em 1922 para solucionar o problema das emendas em tubos de ferro fundido que transportavam petróleo, dado o fato de a solda oxiacetilênica causar trincas durante a após a soldagem.

A soldabrasagem é feita com material de adição sob a forma de varetas com liga de cobre e zinco. Estas varetas possuem usualmente a seguinte combinação: Cobre - 60% e Zinco - 40%.

Além disso podem conter ainda adição de estanho, ferro, manganês e silício em proporções menores, e que provocam um escoamento livre, desoxidam o material e aumentam a dureza do metal depositado.

Apresenta certa semelhança com a solda prata. Ela também realiza junção sem que haja fusão do material de base. Apenas tem a diferença de que as uniões não são feitas de chapas sobrepostas mas de topo. O material não é espalhado de uma só vez, mas lente e progressivamente, como na soldagem oxi-acetilênica.

Os cordões brasados não são finos, mas de uma espessura grande, conforme as necessidades.

## 6 OXICORTE

### 6.1 INTRODUÇÃO

É uma operação utilizada na maioria das oficinas, servindo não só para construir, como também para demolir. O corte oxiacetilênico é um processo usado para metais ferrosos baseado na reação química rápida entre o ferro fortemente aquecido e o oxigênio.

Quando o ferro aquecido ao rubro é exposto a um fluxo de oxigênio de alta pureza, uma intensa reação ocorre, com o desprendimento de calor suficiente para oxidar o ferro; o óxido de ferro é fundido e arrastado pela corrente de oxigênio, exposto assim mais à ação oxidante do oxigênio.

O equipamento para corte oxiacetilênico só varia no tipo de maçarico. É um trabalho de rápida execução e de consumo baixo de gases, tornando-se o processo bastante econômico e versátil, uma vez que o mesmo maçarico permite, com a mesma eficiência, substituindo-se os bicos, cortar seções desde 3 mm até 300 mm. As vantagens enumeradas justificam que qualquer oficina esteja equipada com maçarico para corte manual ou mesmo uma pequena máquina automática, uma vez que o seu uso permite a execução de cortes tão perfeitos que dispensa qualquer acabamento.

### 6.2 FATORES QUE INFLUENCIAM NO CORTE:

1. Pureza do oxigênio de corte;
2. Distância da ponta do cone da chama de aquecimento à chapa → deve ser em torno de 3 mm, uma vez que a distância a mais pode ser prejudicial, devido à ação do ar circulante, provocando a contaminação do fluxo de oxigênio de corte ;
3. Velocidade de corte → com baixa velocidade a chapa apresenta rebarbas (bordas fundidas), com uma alta velocidade, não teremos aquecimento necessário, e consequentemente não teremos o corte;
4. Pressão de oxigênio → deve ser suficiente para formação de óxido e expulsão do mesmo. Uma pressão elevada poderá impedir uma oxidação completa;

5. Intensidade da chama de aquecimento → deve-se evitar uma chama demasiadamente forte, pois provocaria a fusão dos bordos superiores. Uma chama fraca também não convém, pois ocasiona cortes grosseiros;

6. Estado da chapa → é importante que a chapa esteja sem óleo, sem ferrugem, sem pintura, etc., pois estes fatores prejudicam o acabamento e, consequentemente, o corte;

7. Estado de conservação do bico → é necessário que o bico esteja com a furação perfeita, isto é, cilíndrica, pois o corte tem a forma do jato de oxigênio;

8. Firmeza do operador → o deslocamento do maçarico deve ser feito com velocidade uniforme e a distância entre a chapa e a chama deve ser a mesma durante toda a operação. Isto requer firmeza e controle por parte do operador. Já a máquina de corte elimina todos esses inconvenientes.

### **6.3 ASPECTO DAS ESTRIAS:**

As estrias, que o corte oxiacetilênico deixa na seção depois de cortada, são um índice muito seguro para corrigir o soldador. Com efeito, os cortes obtidos com as estrias encurvadas para trás, indicam que a velocidade foi a mais econômica. Se as estrias forem verticais, estão a indicar que a velocidade poderia ser aumentada. Se elas terminam no ponto inferior do corte por zonas alargadas e irregulares, indica que a velocidade foi muito baixa ou que a chama de aquecimento foi insuficiente.

### **6.4 OPERAÇÃO CORTE:**

A operação de corte utiliza um maçarico de corte com montagem diferente do usado para solda. O oxigênio e o acetileno são misturados e fornecidos para formar a chama de aquecimento, através de orifícios concêntricos que circundam o bico de corte. Na parte central do bico, através de um orifício de diâmetro maior do que os que alimentam a chama de aquecimento, é fornecido o jato de oxigênio necessário para efetuar o corte de metal, quando este estiver no ponto de ignição (rubro). O fluxo de oxigênio de corte é controlado por válvula independente, a válvula de corte. A operação só oferece bom rendimento para materiais em que o óxido formado tenha fusão inferior ao ponto de fusão da chapa a ser cortada.

Baseados neste fato, até sabemos que:

1. Podemos cortar → aço, alguns aços especiais, ferro fundido (que necessita de um aquecimento maior, havendo para isso um maçarico especial);
2. Não podemos cortar → cromo, bronze, latão, alumínio, etc. Nestes casos usamos para corte ferramentas mecânicas, ou outros processos especiais. Isto porque a fusão da chapa dar-se-ia antes da fusão dos óxidos correspondentes.

## **6.5 CLASSIFICAÇÃO DOS CORTES:**

1. Quanto ao tipo de equipamento:

- a) Manuais;
- b) Automáticos.

- A) O equipamento manual utiliza cabeças cortadas ou maçaricos de corte, tendo ainda como peças auxiliares: cintol – para cortes de discos; carrinhos – para cortes retos; régua – para cortes retos;
- B) O equipamento automático consiste num maçarico cortador especial, fixado a um carro que se desloca acionado por um motor elétrico, de velocidade regulável, geralmente por meio de um reostato com um velocímetro.

### **Vantagens do Corte Automático:**

1. Maior perfeição e exatidão do corte, independente da habilidade do soldador/cortador;
2. Maior economia de gases e tempo;
3. Permite a reprodução de peças na fabricação em série;
4. Cortes com precisão e rapidez. Principalmente para algumas figuras geométricas simples, tais como: quadrados; circunferências; etc... sem a necessidade de traçado.

**TABELA PARA DETERMINAÇÃO DAS 4 VARIÁVEIS EM FUNÇÃO DA ESPESSURA A CORTAR**

As 4 variáveis são: N<sup>º</sup> do Bico; Pressão do Oxigênio; Pressão do Acetileno e Velocidade de Corte

ESPESSURA A CORTAR	Nº DO BICO	PRESSÃO DE OXIGÊNIO		PRESSÃO DE ACETILENO		VELOCIDADE MÉDIA DE CORTE	CONSUMO DE GASES (m <sup>3</sup> /h)					
		Polegadas	Milímetro	Série 1502	lb/pol <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	lb/pol <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	m/h	cm/min	oxigênio	acetileno
1/8	3,2			32	2,2				45	70	0,98	
1/4	6,4	3	35	35	2,4				37	57	1,14	0,23
3/8	9,5		35	35	2,4				35	52	1,53	
1/2	12,7	4	34	34	2,3	7	0,5		32	48	1,97	
5/8	15,9		37	37	2,5				30	45	2,20	0,34
3/4	19,1		40	40	2,7				27	40	3,55	
1	25,4	6	44	44	3				24	35	3,81	0,45
1 1/2	38,1		50	50	3,4				21	30	4,76	0,48
2	50,8		53	53	3,6				16	21	5,80	0,55
3	76,2	8	57	57	3,9	9	0,6		11	15	6,55	
4	101,6		62	62	4,2				6,5	8	7,50	0,62
5	127		66	66	4,5				5	7	8,56	
6	152,4	10	75	5	10	0,7			4	6	10,23	0,78

## 7. SOLDAGEM COM ELETRODO REVESTIDO

### 7.1. Fundamentos do processo

**“Soldagem com eletrodo revestido é a união de metais pelo aquecimento oriundo de um arco elétrico entre um eletrodo revestido e o metal de base, na junta a ser soldada.”**

Este processo de soldagem a arco é o mais usado, devido a sua versatilidade, principalmente para a soldagem de aços. Tradicionalmente, nenhum aço é lançado no mercado sem que antes existam eletrodos revestidos aptos a soldá-lo. É por isto que existe uma variedade enorme de eletrodos revestidos à disposição dos usuários, fato que não ocorre com os outros processos de soldagem a arco com eletrodos consumíveis.

Os ingredientes que formam o revestimento, são triturados, dosados e misturados até se obter uma massa homogênea. Esta massa é conformada contra as varetas metálicas, tendo a maioria delas 350mm de comprimento. O eletrodo, assim produzido, passa por um dispositivo que remove o revestimento de uma das extremidades para permitir contato elétrico com o porta-eletrodo. Assim, a tomada de corrente é feita numa extremidade e o arco arde na outra.

Escolhendo-se convenientemente os ingredientes do revestimento, conseguem-se efeitos especiais. Assim, tem-se, por exemplo, eletrodos básicos, rutílicos, celulósicos, etc.

A soldagem elétrica a arco, é o processo no qual a fusão se origina da ação direta e localizada de um arco voltaico. Existem grandes **vantagens em se utilizar um arco voltaico** como fonte de calor: uma delas é a alta temperatura do arco que permite concentrar uma notável quantidade de calor em um pequeno espaço, de tal forma que a zona de influência calorífica fica muito limitada, e outra é que não contém nenhum elemento que penetre no banho de fusão e possa influir desfavoravelmente na junta, como ocorre, por exemplo, com a chama oxi-acetilênica. Finalmente, o arco pode subsidiar em atmosferas artificiais, como hidrogênio, argônio, hélio, dióxido de carbono, por meio das quais pode-se conseguir determinados efeitos favoráveis, soldagem TIG, MIG/MAG.

O metal fundido do eletrodo é transferido através do arco até a poça de fusão do metal de base, formando assim o metal de solda depositado.

Uma escória, que é formada do revestimento do eletrodo e das impurezas do metal de base, flutua para a superfície e cobre o depósito, protegendo esse depósito da contaminação atmosférica e também controlando a taxa de resfriamento. O metal de adição vem da alma de arame do eletrodo e do revestimento que contém pó de ferro e elementos de liga.

A soldagem com eletrodo revestido é o processo de soldagem é o mais usado devido à simplicidade do equipamento, à resistência e qualidade das soldas, e do baixo custo. Ele tem grande flexibilidade e solda a maioria dos metais numa faixa grande de espessuras. A soldagem com este processo pode ser feita em quase todos os lugares e em condições extremas.

A soldagem com eletrodo revestido é o processo de soldagem mais usados de todos que falaremos, devido a simplicidade do equipamento, à resistência e a qualidade da solda, e do baixo custo. Ele tem grande flexibilidade e solda a maioria dos metais numa faixa grande de espessuras.

A soldagem com eletrodo revestido (figura 7.1), é usada extensivamente em fabricação industrial, edifícios, navios, carros, caminhões, portas e outros conjuntos soldados e pode ser feita em quase todos os lugares e em condições extremas.

OBS: O arco voltaico gerado pela passagem da corrente de soldagem através do intervalo que separa o eletrodo revestido da peça é acompanhada de um desenvolvimento intenso de luz e de calor. A temperatura chega a ser da ordem dos 6000°C.

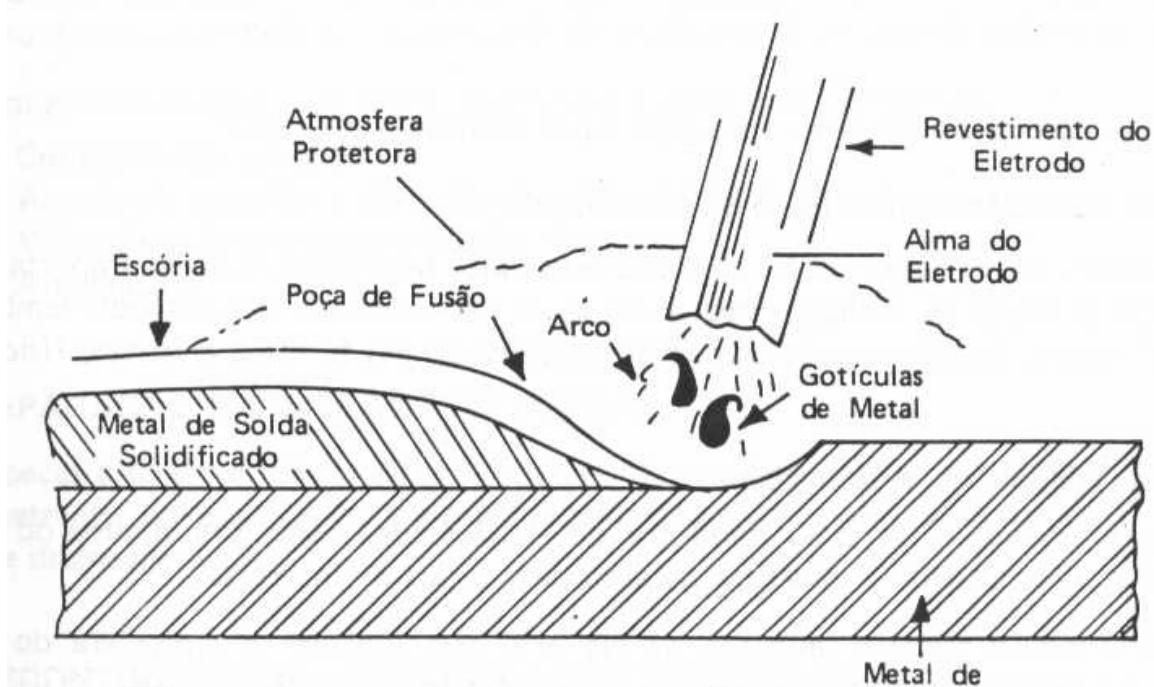


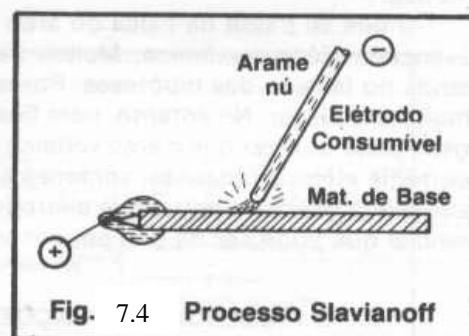
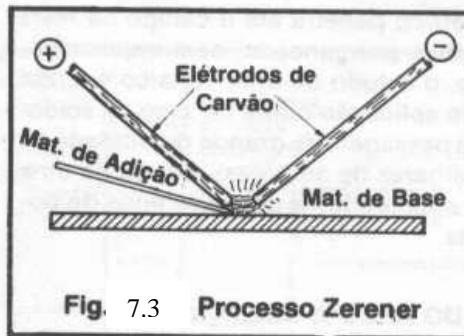
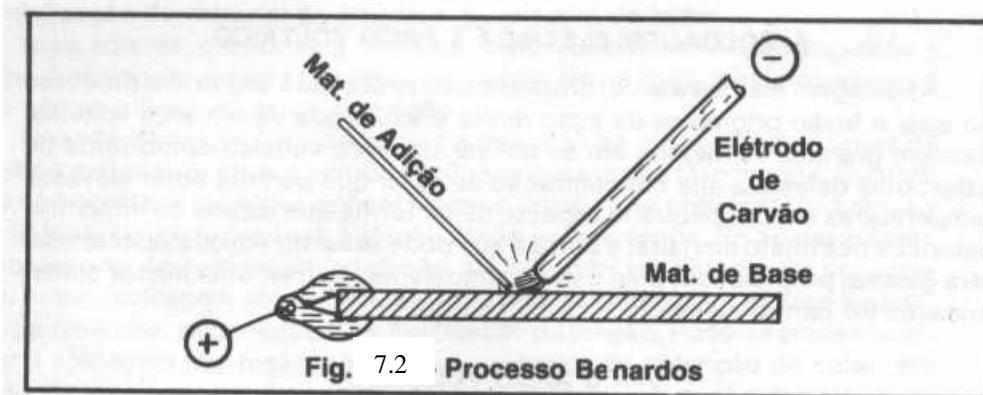
FIGURA 7.1 - Soldagem com eletrodo revestido

## 7.2 PRIMEIRAS APLICAÇÕES DO ARCO À SOLDAGEM

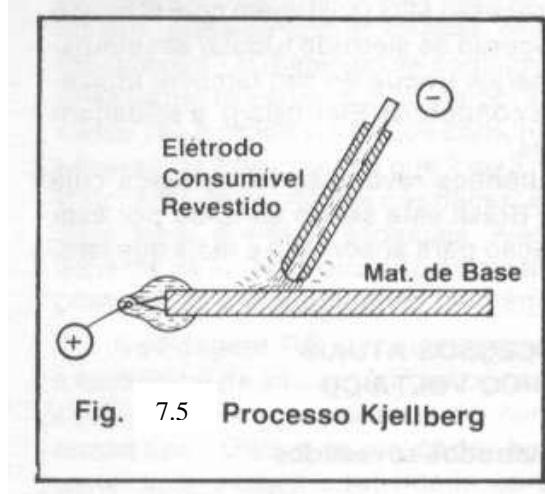
N. B. BERNADOS em 1822 inventou a soldagem elétrica por fusão. O processo constava do estabelecimento de um arco voltaico entre um eletrodo de carvão e o metal de base (figura 7.2). Assim, fundia-se o material na zona a unir sem consumir o eletrodo propriamente dito, a não ser uma pequena perda por combustão. O material de adição era introduzido à parte, analogamente à soldagem a chama.

ZERENER em 1889 modificou o sistema BERNADOS introduzindo mais um eletrodo de carvão, que era disposto em ângulo agudo (figura 7.3). Neste caso, o arco voltaico não se produzia entre o eletrodo e a peça-obra, mas entre os dois extremos dos eletrodos de carvão. A vantagem do processo ZERENER sobre o processo BERNADOS, era que, naquele, nem o material de base nem o de adição eram percorridos por corrente. Assim o processo ZERENER, podia ser aplicado em materiais não condutores de eletricidade, como vidro e plástico, por exemplo. Por sua vez, o processo BERNADOS, embora de concepção mais simples, aplicava-se somente aos materiais condutores de eletricidade.

Uma simplificação do processo anterior, constituiu em fazer um dos polos na própria vareta do material de adição. Chegou-se, assim, ao processo SLAVIANOFF, desenvolvido em 1890, onde o arco ardia entre o eletrodo consumível (já que se trata do próprio material de adição que se funde e se deposita) e as peças a soldar (figura 7.4).



Em 1905, com invenção do primeiro eletrodo revestido, por KJELLBERG, inaugurou-se a época da soldagem elétrica moderna. Certas substâncias foram incorporadas ao revestimento dos eletrodos, para produzirem efeitos especiais, aperfeiçoando a soldagem (figura 7.5).



### 7.3. O ARCO VOLTADO

Inicialmente o arco elétrico foi utilizado para produzir luz. A luminosidade produzida é tão intensa que seu inventor o anunciou prometendo transformar a noite em dia. Entretanto não é a luminosidade que nos interessa, mas sim o calor que ele produz.

Hoje o arco voltaico constitui o principal meio de produzir juntas permanentes em metais. O que se passa na física do arco elétrico penetra até o campo da mais avançada ciência atômica. Muitos detalhes permanecem sem explicação, ainda no terreno das hipóteses. Contudo trata-se de um dos estudos mais interessantes que se conhece e dos mais promissores.

#### Definição de arco voltaico

É a passagem de corrente elétrica através de um condutor de corrente gasoso. Um gás é condutor de corrente quando está ionizado.

O plasma é um gás ionizado. Seu comportamento é tão diverso do gás que lhe deu origem, que tem sido chamado de 4º estado da matéria. Muito pouco se conhece do plasma atualmente. Tem sido estudado a 30 anos aproximadamente. É encontrado no estado natural nas regiões mais altas da atmosfera e é responsável pela hertzianas. Sua aplicação industrial atualmente revolucionou as técnicas de soldagem e corte. Corta peças metálicas com muito maior rapidez, maior precisão e acabamento que o corte a oxigênio. Atinge-se no processo temperaturas da ordem de 30.000 °C , várias vezes maior que a temperatura que se presume existir na superfície do sol.

Um gás pode ser ionizado de várias formas; dentre elas:

1) Pela aplicação de uma elevada diferença de potencial

Se mantivermos dois condutores afastados de 1mm, no ar, e formos aumentando gradativamente a tensão entre eles, ao atingir-se 4000 V o ar se tornará ionizado e se formará um arco voltaico através dele. Em soldagem comum não se usa tensões superiores a 70V para assegurar comodidade e segurança ao operador.

## 2) Por abaixamento de pressão

Exatamente por esse motivo é que o plasma é encontrado em estado natural nas zonas mais altas da atmosfera. A utilização de baixas pressões seria pouco prática e onerosa na soldagem.

## 3) Por aquecimento

Na soldagem com eletrodo a ionização é feita por aquecimento tocando-se o eletrodo na peça a soldar, há circulação intensa de corrente numa área bem restrita aquecendo-se até a incandescência.

Esta arranca então elétrons do ar ionizado-o. Afasta-se então o eletrodo até uma distância de 4mm o arco se mantém, este libera muito calor, garantindo a continuidade do processo, e também muita luz. Esta liberação de energia se dá devido aos choques dos elétrons com os íons.

## **7.4. EQUIPAMENTO DE SOLDAGEM**

O processo de soldagem com eletrodo revestido é usualmente operado manualmente.

Como mostrado na figura 7.6, o equipamento consiste de uma fonte de energia, cabos de ligação, um porta eletrodo (alicate de eletrodo), uma braçadeira (conector de terra), e o eletrodo.

### a) Fonte de energia

O suprimento de energia pode ser tanto corrente alternada(CA) como corrente contínua (CC) com eletrodo negativo (polaridade direta CC<sup>-</sup>), ou corrente contínua com eletrodo positivo (polaridade inversa CC<sup>+</sup>), dependendo das exigências de serviço.

### b) Cabos de soldagem

São utilizados para conectar o alicate de eletrodo e o grampo à fonte de energia. Eles devem ser flexíveis para permitir fácil manipulação, especialmente do alicate de eletrodo. Eles fazem parte do circuito de soldagem e consistem de vários fios de cobre

enrolados juntos e protegidos por um revestimento isolante e flexível (normalmente borracha sintética).

c) Porta eletrodo, alicate de eletrodo

É simplesmente um alicate que permite ao soldador controlar e segurar o eletrodo.

d) Grampo (conector de terra)

É um dispositivo para conectar o cabo terra à peça a ser soldada.

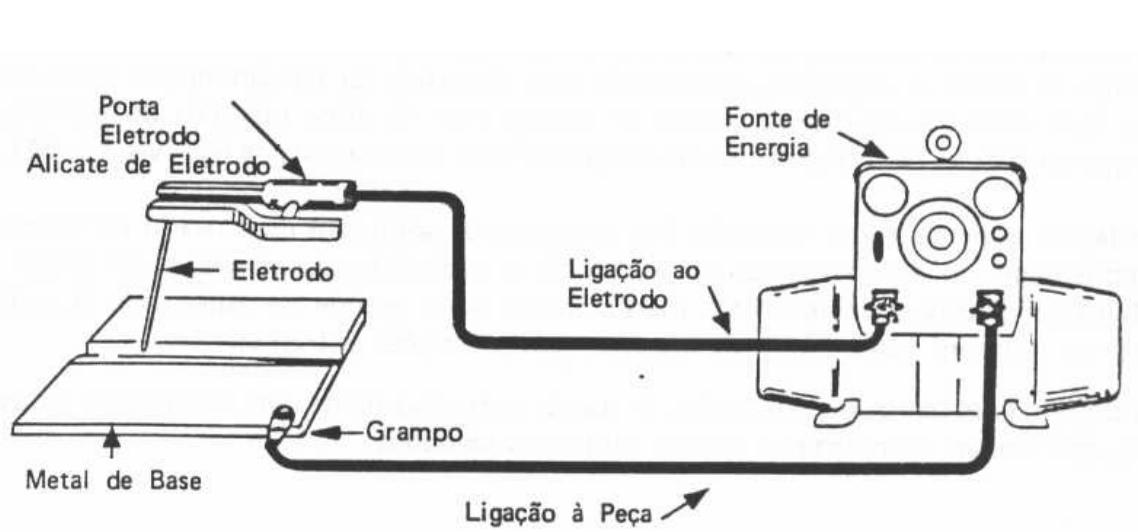


FIGURA 7.6 - Equipamento para soldagem com eletrodo revestido

## **7.5. FONTES DE ENERGIA PARA SOLDAGEM A ARCO VOLTAICO**

### **7.5.1. DEFINIÇÃO**

São aparelhos que possibilitam obter corrente elétrica a partir da rede de distribuição ou de motores de combustão interna, com as características exigidas para a soldagem.

Esta corrente deve ser estável e sua regulagem é de tal forma que possibilita fundir quaisquer tipo de eletrodo, nos limites de potência da fonte.

Existe três tipos básicos de fontes de soldagem: transformador, conversor e retificador.

### **7.5.2. CONVERSOR DE SOLDA**

É um conjunto motor ligada a um gerador que fornece corrente contínua. O conversor é um aparelho caro e exige manutenção permanente. Fornece corrente contínua.

### **7.5.3. TRANSFORMADOR DE SOLDA**

São simples transformadores monofásicos cuja regulagem de corrente pode ser bobina móvel, é mais barato e mais fácil de construir (50% do conversor), sua manutenção também é menor, o rendimento é maior, mas o fator de potência é menor. Fornece corrente alternada.

### **7.5.4. RETIFICADOR DE SOLDA**

É um conjunto de retificadores em série ligados a um transformador na saída deste. O retificador funciona a base de chapa de semi condutores, as mais usadas são de silício. O custo do retificador é equivalente ao custo de conversor de mesma potência. Fornece corrente contínua.

#### **Vantagem da Corrente Contínua sobre a Corrente Alternada**

1. Qualquer material é soldável.
2. Possibilidade de inverter a polaridade.
3. Elevado fator de potência.
4. Boa qualidade da solda.

## Desvantagem da Corrente Contínua sobre a Corrente Alternada

1. Manutenção cara do equipamento (conversor).
2. Maior consumo em vazio (conversor).
3. Custo elevado do equipamento.

Todas estas fontes de energia para serem aplicáveis à soldagem, devem satisfazer a certos requisitos básicos, que dependerão principalmente do processo de soldagem. Um desses requisitos refere-se ao comportamento da mesma, tendo em vista a tensão e a corrente, quando ela submetida a uma variação de carga em regime estático. Este comportamento, chamado de características estática, é representado por um gráfico cujos pontos que constituem tem como coordenadas os pares tensão e corrente, que a fonte fornece, quando dela é solicitada de energia em regime estático. Cada fonte de energia possui uma família de características estáticas. Quando se ajustam os controles numa determinada posição, apenas se seleciona uma característica estática e não, como comumente se pensa, uma determinada corrente. Esta dependerá, além de outras coisas, do comprimento do arco e da atmosfera ionizante na qual o arco está a arder.

As fontes de energia, segundo suas características estáticas classificam-se em fontes de tensão constantes e fontes de corrente constante (figura 7.7). Se as características estáticas forem pouco tombantes (quase sem tensão), vê-se que uma pequena variação na tensão ( $V$ ) ocasiona uma grande variação na corrente ( $I$ ). Sabe-se que em operações de soldagem manual, o soldador por mais prático que seja, não consegue manter por todo tempo o comprimento do arco voltaico. Assim, para uma pequena variação no comprimento do arco voltaico, o que é sempre provável em soldagem manual, haverá uma grande variação na corrente de soldagem e, como o principal parâmetro a influenciar na soldagem é a corrente, conclui-se que tais fontes não se prestam para soldagem manual. Tais fontes prestam-se muito bem para soldagens automáticas e semi-automáticas, nas quais o eletrodo sendo consumível é alimentado automaticamente ao arco voltaico.

De contrapartida, uma fonte de energia que apresente as características estáticas muito tombantes (figura 7.7), é indicada para soldagem manual, pois ainda que o operador varie bastante o comprimento do arco, a corrente variará muito pouco.

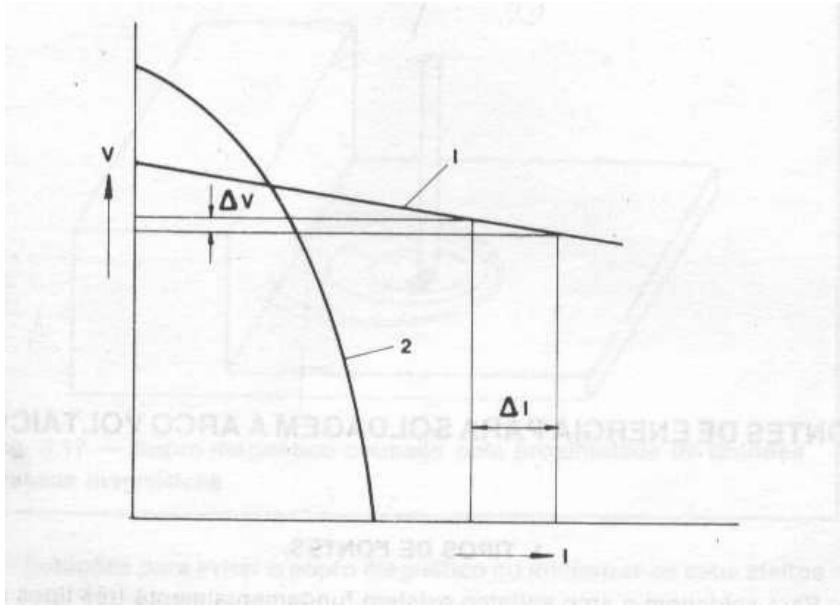


FIGURA 7.7 – Características estáticas de duas diferentes fontes de energia para soldagem. 1- tipo de tensão constante; 2- tipo corrente constante.

### 7.5.5. Polaridade

Divide-se em:

#### a) Polaridade direta ou normal

Aquela em que o eletrodo é o cátodo (negativo) e a peça é ânodo. Neste caso o bombardeio de elétrons dá-se na peça; a qual será a parte mais quente assim funde-se mais a peça e menos eletrodo, no caso de termos eletrodos consumíveis e nús. **Quando se trata de eletrodos revestidos o efeito é ao contrário**

#### b) Polaridade inversa

Aquela em que o eletrodo é o ânodo (positivo). Neste caso o bombardeio de elétrons dá-se na alma do eletrodo, a qual será a parte mais quente. funde-se mais rapidamente o eletrodo, se ele é consumível e nú, e mais demoradamente a peça, assim tem-se menor penetração e mais deposição tornando a soldagem mais rápida. **Quando se trata de eletrodos revestidos o efeito é ao contrário.**

## **7.6.ELETRODOS REVESTIDOS**

### **7.6.1. CONCEITO**

É um arame metálico revestido que poderá fornecer o metal de adição e por onde irá passar a corrente elétrica proveniente da fonte que irá fluir pelo arco.

Podem ser revestidos ou nus, consumíveis ou não consumíveis.

### **7.6.2. ELETRODOS CONSUMÍVEIS NÃO REVESTIDOS**

Usados no processos, semi-automáticos e automáticos, chamado arame eletrodo e enrolado em carretéis e cobreados para resistir a oxidação.

NOTA: Existe eletrodos consumíveis que não soldam, são fabricados exclusivamente para corte de chanfros em metais.

### **7.6.3. ELETRODOS NÃO CONSUMÍVEIS**

São utilizados para emitir arco elétrico sem adicionar seu material, geralmente tem ponto de fusão muito alto. Ex.: Eletrodo de tungstênio usado no processo TIG.

### **7.6.4. ELETRODOS REVESTIDOS**

Usado no processo manual, é constituído por:

- Uma alma metálica de forma cilíndrica.
- Um revestimento de composição química muito variada

Os diâmetros dos eletrodos revestidos são medidos na alma nua.

O comprimento do eletrodo é o comprimento total compreendendo: o comprimento da parte revestida e o comprimento da parte nua, destinada a ser presa no alicate porte eletrodo.

O eletrodo, no processo de soldagem com eletrodo revestido, tem várias funções importantes. Ele estabelece o arco e fornece o metal de adição para a solda. O

revestimento do eletrodo também tem funções importantes na soldagem. Didaticamente podemos classificá-las em funções elétricas, físicas e metalúrgicas.

### A) Funções elétricas

**Isolamento:** O revestimento é um mau condutor de eletricidade, assim isola a alma do eletrodo evitando aberturas de arco laterais orienta a abertura de arco para locais de interesse.

**Ionização:** O revestimento contém silicatos de Na e K que ionizam a atmosfera do arco. A atmosfera ionizada facilita a passagem da corrente elétrica, dando origem a um arco estável.

### B) Funções físicas ou mecânicas

- Fornece gases para formação da atmosfera protetora das gotículas do metal contra a ação do hidrogênio e oxigênio da atmosfera;
- O revestimento funde e depois solidifica sobre o cordão de solda, formando uma escória de material não metálico que protege o cordão de solda da oxidação pela atmosfera normal, enquanto a solda está resfriando;
- Proporciona o controle da taxa de resfriamento;
- Contribui no acabamento do cordão.

### C) Funções metalúrgicas

Pode contribuir com elementos de liga, de maneira a alterar as propriedades da solda.

#### 7.6.4.1. A Constituição do Revestimento

Os revestimentos são constituídos de produtos complexos que, de uma maneira geral, podem ser reunidos em três grandes grupos:

- a) Revestimento a base mineral;

- b) Revestimento a base de matéria orgânica;
- c) Os chamados básicos, a base de carboneto de cálcio.

Os primeiros, a base mineral, possibilitam a proteção do metal de solda, contra os efeitos nocivos do oxigênio e do nitrogênio do ar, fundamentalmente por meio de uma escória líquida. Os orgânicos protegem, principalmente, por meio de uma cortina gasosa, que é produzida pela combustão do material orgânico do revestimento. Trata-se de um gás redutor ou neutro, constituído sobretudo por CO e CO<sub>2</sub>. Os tipos básicos protegem a solda indistintamente por ambos os princípios, embora neles, a cortina de gás redutor (CO) não seja produzida pela combustão de um material orgânico, mas pela decomposição do carbonato de cálcio e sua reação com o ferro, manganês e silício, elementos presentes nestes eletrodos. Dentro de cada um desses grupos, tem-se ainda tipos particulares indicados a seguir.

a) Celulósico (revestimento a base de matéria orgânica)

- Concentra mais calor em menor espaço;
- Intensa salpicagem;
- Arco instável;
- Péssimo acabamento;
- Faixa muito estreita de regulagem de corrente;
- Baixa velocidade de fusão;
- Proteção da solda mais por meio de gases

O celulósico é utilizado para dar o 1º passo principalmente quando não é possível soldar do outro lado.

b) Rutílico (revestimento a base mineral)

- Fácil soldagem;
- Todas as posições;
- Escória viscosa;
- Média penetração;
- Propriedades mecânicas médias;
- Grande faixa de regulagem da corrente.

c) Básico (revestimentos a base de carboneto de cálcio)

- Ótimas propriedades mecânicas;
- Difícil soldagem, porém mais fácil que o celulósico;
- Muito mais caros;
- É indicado para aços de difícil soldabilidade;
- São ávidos de umidades.

#### **7.6.4.2. CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÕES OFICIAIS**

Os eletrodos revestidos são classificados de acordo com especificações da AWS (American Welding Society). Especificações comerciais para eletrodos revestidos podem ser encontradas nas especificações AWS da série A5 (Ex.: AWS A5.1).

A AWS identifica eletrodos para aço agrupando-se em três categorias: para aços de baixo carbono, para aços de baixa liga e para aços de alta liga.

##### **a) Para aços de baixo carbono**

Os eletrodos são codificados com uma letra e quatro ou cinco algarismos (E XXXYZ ou E XXYZ): a letra “E”, indicativa de eletrodos para soldagens com arco voltaico; os primeiros dois ou três algarismos (XXX) indicam a carga de ruptura mínima em mil libras por polegadas quadrada (1000 PSI); o penúltimo algarismo (Y) indica as posições em que o eletrodo pode soldar, sendo que:

- “1” – Representa soldagem em todas as posições;
- “2” – Representa soldagem na posição plana e na posição horizontal;
- “3” – Representa soldagem na posição plana.

O último algarismo (Z) representa, em conjunto, o tipo de revestimento, a natureza da corrente com que o eletrodo pode ser utilizado e o grau de penetração da solda. A tabela 7.1 apresenta o significado deste último algarismo.

TABELA 7.1 – Significação do último algarismo da classificação AWS

DÍGITO	REVESTIMENTO	TIPO DE CORRENTE	PENETRAÇÃO
0	Celulósico com: Siliculado de sódio (a), óxido de ferro (FeO) (b)	CC <sup>+</sup>	Grande
1	Celulósico com silicato de potássio	CC <sup>+</sup> e CA	Grande
2	Rutilo com silicato de sódio	CC <sup>-</sup> e CA	Média
3	Rutilo com silicato de potássio	CC <sup>+</sup> , CC <sup>-</sup> e CA	Fraca
4	Rutilo com silicato e pó de ferro (20%)	CC <sup>+</sup> , CC <sup>-</sup> e CA	Média
5	Calcáreo com silicato de sódio (baixo hidrogênio)	CC <sup>+</sup>	Média
6	Rutilo (TiO <sub>2</sub> ), calcário e silicato de potássio (baixo hidrogênio)	CC <sup>+</sup> e CA	Média
7	Óxido de ferro (FeO), pó de ferro e silicato de sódio	CC <sup>-</sup> e CA	Média
8	Calcáreo, rutilo (TiO <sub>2</sub> ), silicatos e pó de ferro (25 a 40%) (baixo hidrogênio)	CC <sup>+</sup> e CA	Média

(a) quando o algarismo anterior for 1      (b) quando o algarismo anterior for 2

**b) Para aço de baixa liga**

Quando se trata de especificações de eletrodos para aços de baixa liga, adicionalmente à letra a aos algarismos citados, existe ainda um sufixo indicando composição química do metal depositado, conforme a tabela 7.2.

TABELA 7.2 – Composição química de metal depositado para eletrodos de aço de baixa liga conforme a norma AWS A5.5-69

Designação	Composição								
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V
<b>Aços carbono – molibdênio</b>									
E7010-A1		0,60			0,40				
E7011-A1		0,60			0,40				
E7015-A1		0,90			0,60				
E7016-A1	0,12	0,90	0,03	0,04	0,60	...	...	0,40-0,64	...
EU018-A1		0,90			0,80				
E7020-A1		0,60			0,40				
E7027-A1		1,00			0,40				
<b>Aços cromo – molibdênio</b>									
E8016-B1	0,12	0,90	0,03	0,04	0,60	...	0,40-0,65	0,40-0,65	---
E8018-B1					0,80				
E8015-B2L	0,05	0,90	0,03	0,04	1,00	...	1,00-1,50	0,40-0,65	...
E8016-B2	0,12	0,90	0,03	0,04	0,60	...	1,00-1,50	0,40-0,65	...
E8018-B2					0,80				

### c) Para aço de alta liga

Os eletrodos para aço de alta liga são especificados, também com a letra E, um conjunto de três dígitos e eventualmente mais um grupo de dois dígitos. Os três primeiros dígitos indicam a designação do aço de alta liga e os outros dois indicam o tipo de corrente, o revestimento e as posições de soldagem, conforme se segue:

“15” – CC<sup>+</sup>

Revestimento: TiO<sub>2</sub> e silicato de sódio

Soldagem em todas as posições

“16” – CC<sup>+</sup> e CA

Revestimento: TiO<sub>2</sub> e silicato de potássio

Soldagem em todas as posições

“25” – CC<sup>+</sup>

Revestimento: básico (calcáreo)

Soldagem nas posições plana e horizontal

“26” – CC<sup>+</sup> e CA

Revestimento: TiO<sub>2</sub> e silicatos

Soldagem nas posições planas e horizontais

Na tabela 7.3 seguinte apresentam-se eletrodos para aços de alta liga.

Tabela 7.3 – Eletrodos revestidos para aços de alta liga

<b>Eletrodo</b>	<b>Composição química</b>						
	<b>C</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>Cb+Ta</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>
E308	0,08	18,0-21,0	9,0-11,0	...	...	2,50	0,90
E308L	0,04	18,0-21,0	9,0-11,0	...	...	2,50	0,90
E309	0,15	22,0-25,0	12,0-14,0	...	...	2,50	0,90
E309Cb	0,12	22,0-25,0	12,0-14,0	...	0,70-1,00	2,50	0,90
E309Mo	0,12	22,0-25,0	12,0-14,0	2,00-3,00	...	2,50	0,90
E310	0,20	25,0-28,0	20,0-22,5	...	...	2,50	0,75
E310Cb	0,12	25,0-28,0	20,0-22,0	...	0,70-1,00	2,50	0,75
E310Mo	0,12	25,0-28,0	20,0-22,0	2,00-3,00	...	2,50	0,75
E312	0,15	28,0-32,0	8,0-10,5	...	...	2,50	0,90
E16-8-2	0,10	14,5-16,5	7,5-9,5	1,00-2,00	...	2,50	0,50
E316	0,08	17,0-20,0	11,0-14,0	2,00-2,50	...	2,50	0,90

### 7.6.4.3. TABELAS COMPARATIVAS

Esta tabela relaciona eletrodos para aços de baixo e médio teor de carbono (AWS A5.1) com o nome comercial de vários fabricantes (tabela 7.4).

TABELA 7.4 – Tabela comparativa AWS x Fabricantes

AWS	ARCOS	ASOMETAL	DENVER	ESAB	HM	TORISMA
E6010	Fluxend B	Aso 10	Denver 6010	OK 22.45P OK 22.50	HM 31	Celosima
E6011	Fluxend	Aso 11	Denver 6011	OK 22.65	HM 31 S	
E6012	Vertend	Aso 12	Denver 6012		HM 48	Simamax
E6013	Carend Stabilend	Aso 13	Denver 13-s	OK 43.32 OK 46.00 OK 46.02 OK 46.44	HM 28 HM 28 S	Simafix Simarecord Simanita G- 200° Sima
E6020		Aso 20			HM 20	
E6027						Simatic FI 120 G
E7014	Carend PF		Denver 14	OK 33.30	HM 14	Simaverde
E7016	Ductilend RX 52		Denver 7016	OK 53.51	HM 36	Simaprata
E7016-1	Ductilend		Denver 7016	OK 53.68		
E7018	Ductilend PF	Aso 18 PFB	Denver BH 7018	OK 48.04 OK 48.30	HM 35	Simaouro- 50
E7018-1	Ductilend PF		Denver BH 7018-1	OK 55.00		Simaouro- 50
E7024	Exelend Exelend 200 Stylenet PF	Aso 24 PF	Denver 24	OK 33.80	HM 23 S	Simajet
E7028	Ductilend 150			OK 38.85	HM 728	Simatic-28
E7048					HM 27	Simadesc-16 V

#### **7.6.4.4. ARMAZENAGEM E SECAGEM DOS ELETRODOS**

Um dos principais problemas com os eletrodos, refere-se ao excesso de umidade no seu revestimento.

Todos os eletrodos ao saírem da linha de produção, carregam consigo uma pequena percentagem de umidade, a qual não é nociva a solda se estiver dentro dos limites pré-estabelecidos.

A percentagem permitida de umidade, varia para cada tipo de eletrodo. O tipo básico apesar de sair da fábrica praticamente isento de umidade, requer cuidados especiais na sua armazenagem, pois o seu revestimento é altamente higroscópico. Já os tipos rutílicos, não são tão afetados pela umidade, mas mesmo assim devemos tomar as devidas precauções. O tipo celulósico permite uma porcentagem maior de umidade no seu revestimento sem causar maiores preocupações.

Como todo cuidado é pouco, os eletrodos devem ser armazenados em lugares secos, ou em estufas, retirando-se somente a quantidade necessária para a execução do trabalho.

Os eletrodos como rutílicos antes de ser desembalado a conservação deste na temperatura de 25°C é o bastante. Ou seja, no verão é esta temperatura ambiente. Depois de desembalado a temperatura de conservação é em torno de 60°C.

Já os eletrodos de revestimento básico a temperatura de conservação antes de ser desembalado é em torno de 35°C e depois de desembalado é em torno de 200°C.

### **7.7. CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DE SOLDAGEM AO ARCO VOLTAICO**

#### **A- Posições de soldagem**

São conhecidas na prática de soldagem, cinco principais tipos de posicionamento de eletrodo, em relação à peça a ser soldada:

Plana, horizontal, vertical ascendente, vertical descendente e sobre cabeça.

## B- Inclinação do eletrodo

A inclinação do eletrodo (figura 7.8), em relação ao eixo da junta, é muito importante pois utilizando-se uma inclinação incorreta, poderá aparecer inclusão de escórias, mordeduras, desigualdade na perna do filete, recobrimento, etc.

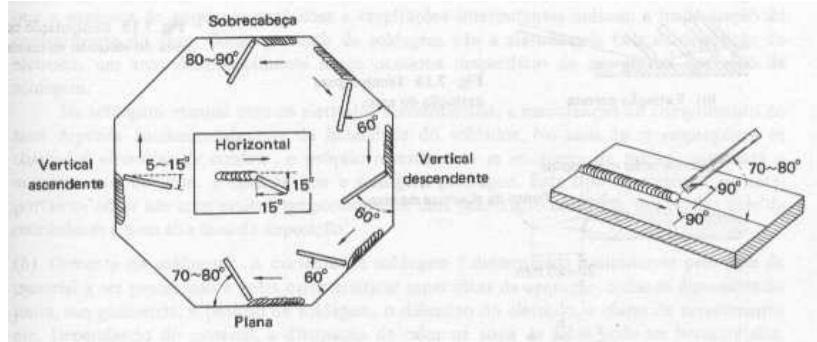


FIGURA 7.8 – Inclinação do eletrodo

## C- Oscilações com eletrodos

Oscilando o eletrodo da esquerda para direita, ou vice-versa em relação à direção do eixo da solda, obtém-se um cordão largo e de pouca espessura, comparado a um cordão contínuo e uniforme.

Este tipo de soldagem oscilante (acabamento), é utilizado no recobrimento de outras soldas, quando se requer várias camadas ou solda em grandes proporções.

Na posição vertical ascendente, normalmente se faz o primeiro passe contínuo e os demais passes oscilando o eletrodo, demorando-se o tempo suficiente nas laterais da junta, para haver um bom caldeamento.

A oscilação mal conduzida, pode acarretar mordeduras, recobrimento, inclusão de escórias, etc.

## D- Comprimento do arco

A condição básica de se obter uma solda de boa qualidade é o comprimento de arco devido ao seu efeito na velocidade de soldagem e na eficiência do metal depositado. Um arco de comprimento maior do que aquele recomendado, dissipava calor no ar e o fluxo do metal em fusão é desperdiçado na forma de salpicos. Podendo haver também oxidação pelo oxigênio do ar. Neste caso a velocidade de soldagem será mais lenta, o arco será instável e tornará mais sensível o fenômeno do sopro magnético (desvio do arco voltáico), quando for utilizada a corrente contínua.

Deve-se manter sempre o arco curto. O comprimento máximo é dado pelo diâmetro da alma do eletrodo.

#### **E- Velocidade de avanço**

Na operação de soldagens a velocidade de avanço é proporcional à velocidade de fusão. A velocidade na soldagem fora de posição será fixada pela habilidade do soldador devendo ficar entre o máximo e o mínimo para, quer a deposição não seja insuficiente nem excessiva nos limites de uma boa aparência do cordão.

#### **F- Diâmetro do Eletrodo**

Para um dado serviço, o diâmetro do eletrodo dependerá: da espessura da chapa, do tipo e posição da junta e do tipo de penetração. Com a espessura crescente, teremos diâmetros também crescentes o que acarretará também, a necessidade da maior corrente, o que do ponto de vista econômico é interessante. Com diâmetros maiores temos velocidade de fusão mais elevada com consequente economia de mão de obra. O aumento de diâmetro de 5 para 6,3mm pode reduzir o custo final da obra em 40%.

Porem, é preciso evitar, também, que a preocupação de utilizar maiores diâmetros, leve a depositar material em excesso, pois será supérfluo e prejudicial. Em uma junta de topo por exemplo, uma sobre-espessura exagerada poderá causar concentrações e de tensões. A altura dessa sobre espessura, considerada ideal, está entre 10 a 15% da espessura da chapa. Na maioria dos casos, o diâmetro do eletrodo, deverá no máximo ser igual a espessura das chapas a serem soldadas. E eletrodos de mais de 6,3mm de diâmetro não se encontram no comércio e, portanto, para chapas mais espessas teremos que utilizar mais de um passe.

Sabemos que outros fatores, como a posição de soldagem, também tem sua influência por exemplo, sempre que a força de gravidade deve ser compensada é preciso reduzir a dimensão do banho de fusão, e portanto, deve-se utilizar eletrodos de menor diâmetro. O tipo de junta e a preparação dos bordos também influenciam, uma vez que eles poderão limitar sua dimensão no sentido de fazê-lo chegar mais próximo do chanfro, para conseguir o comprimento correto do arco. No chanfro em V, por exemplo utilizar-se-ão eletrodos de menor diâmetro nos passos iniciais.

## 7.8. FATORES A CONSIDERAR NA ESCOLHA DE UM ELETRODO REVESTIDO

### 1 – O metal de base

O ponto de partida é o metal de base a soldar: é necessário conhecer de forma mais completa possível, suas propriedades. Quando suas propriedades não forem conhecidas deve-se partir para análise química e analisar C – Si – Mn – P – S - Cr - Mo - Cu - Ni.

### 2 – A espessura do metal de base

É importante porque pouca espessura empenam e furam com facilidade por ocasião de soldagem; por outro lado, materiais espessos podem apresentar falta de penetração na raiz e trincas de têmpera ao lado ou sob o cordão de solda, devido a estarem sujeitos a um ciclo térmico severo. Em muitos casos tornam-se recomendável um pré aquecimento e, como consequência a utilização de eletrodos básicos.

### 3 – Junta a soldar

Eletrodos de penetração baixa/média utilizam chanfros com as variáveis: ângulo, fresta e nariz, intimamente relacionadas, no intuito de assegurar a penetração completa por ocasião da soldagem. Eletrodos de penetração grande/profunda aceitam, até certos limites, chanfros retos e frestas mínimas.

### 4 – Posição de soldagem

Em havendo condições, todas as soldagens deverão ser realizadas na posição plana, é a mais fácil, rápida e econômica, permitindo ainda a utilização de eletrodos para esta posição de altíssimo rendimento.

### 5 – Tipo de corrente de soldagem

A corrente de soldagem disponível deve merecer a devida consideração, sendo decorrente do tipo de fonte disponível para execução do trabalho. Existem eletrodos que soldam somente em corrente contínua positiva. Outros ainda CA e CC positiva

Os eletrodos que soldam com CA soldam com CC e nem todos os eletrodos que soldam CC soldam com CA.

## **6 – Soldador**

Ao soldador(a) não cabe a parcela importante na escolha do eletrodo. Deve-se exigir deste profissional apenas habilidade executiva, pois seus conhecimentos sobre os fenômenos metalúrgicos são quase sempre nulos.

## **7 – Condições circunstâncias**

7.1 Condições de umidade relativa do local de trabalho, diretamente ligados a questão de armazenagem/cuidados com os eletrodos revestidos.

Os eletrodos básicos são mais sujeitos à absorção de umidade ambiental.

7.2 Proteção contra aos ventos por ventura existentes na região de trabalho; os celulósicos são mais aconselháveis em condições diversas de tempo, devido ao volume de fumo/gases que emanam o seu revestimento.

7.3 O estado superficial do metal de base; em existindo pinturas, ferrugens, etc, o eletrodo do tipo básico será o mais prejudicado apresentando acentuada tendência a porosidade no cordão de solda.

### **7.9. PREPARAÇÃO E LIMPEZA DAS JUNTAS**

As peças a serem soldadas, devem ser isentas de óleo, graxa, ferrugem, tinta, resíduos do exame por líquido penetrante, areia e fuligem do pré-aquecimento a gás, numa faixa de no mínimo 20mm de cada lado das bordas.

## 7.10. COMPARAÇÃO ENTRE O PROCESSO DE SOLDAGEM COM ELETRODO REVESTIDO E O PROCESSO OXI-ACETILÊNICO

A Tabela 7.5 compara as características do processo a arco elétrico, com eletrodos revestidos, com as do método de soldagem oxi-acetilênica.

TABELA 7.5 - Comparação entre as características de soldagem oxi-acetilênica e a soldagem com eletrodos revestidos

Características \ Processo	Soldagem Oxiacetilênica	Soldagem com eletrodos revestidos
Eficiência	Inferior (Temp. da chama: 3000°C)	Superior (Temp. do arco: 6000°C)
Soldabilidade	Inferior	Boa
Custo de equipamentos	Baixo (Maçarico, gerador de gás ou cilindros)	Alto (Fonte, cabos, alicate)
Custo de materiais de consumo	Similar (Acetileno, oxigênio, varetas de enchimento, fundente)	Similar (Eletrodo, energia elétrica)
Habilidade do soldador	Similar	Similar
Aplicação	Limitada (Chapas finas)	Ampla

## 7.11 NORMAS DE SEGURANÇA NA SOLDAGEM AO ARCO

- 1) Ligar o aparelho à terra utilizando o borne especial do qual ele é munido.
- 2) Ligar o aparelho de soldagem na rede por intermédio de um interruptor com fusíveis (ou disjuntor).
- 3) Não colocar o aparelho sob tensão antes de efetuar todas as ligações.
- 4) Assegura-se que existe um bom contato entre a peça e seu suporte, quando a ligação não é feita diretamente sobre a peça a soldar.

## 5) Utilização do equipamento de soldagem

### a) Porta eletrodo

Não colocar o porta eletrodo sobre a peça a soldar ou sobre toda parte ligada eletricamente à ela para evitar aquecimento anormal por curto circuito.

Não colocar o porta eletrodo sobre uma peça condutora, não ligada ao circuito de soldagem, porque todo contato com esta poderá ser perigoso.

### b) Aparelho de soldagem

Não modificar a regulagem de corrente de soldagem durante a fusão do eletrodo.

Proceder periodicamente ao exame e revisão dos contatos do aparelho.

c) Os cabos devem sempre ser perfeitamente e convenientemente protegido contra avarias.

### 6) Material de proteção

As luvas são absolutamente indispensáveis; elas devem ser usadas nas duas mãos e mantidas em bom estado.

Elas evitam choques elétricos, quando de contatos eventuais com uma peça sob tensão, por exemplo, no momento das trocas de eletrodos.

Por outro lado, elas protegem as mãos contra as queimaduras, notadamente aquelas resultantes da radiação do arco.

O emprego de uma máscara ou de um capacete é obrigatório.

É absolutamente indispensável munir essas máscaras e capacetes de um vidro filtrante especialmente concebido para soldagem ao arco.

Empregando-se um vidro filtrante conveniente, a prática de soldagem ao arco não afeta de forma alguma os órgãos da vista.

O soldador deve utilizar óculos ou máscaras especiais com vidros claros para a remoção da escória; essas máscaras são mais recomendadas uma vez que protegem, também a face do soldador contra partículas quentes.

## 7) Locais

Todas as pessoas que trabalham em locais onde são utilizados aparelhos de soldagem ao arco devem ser protegidos contra as radiações emitidas pelo arco (disposição de anteparos, afastamento, etc.).

Cada soldador deve trabalhar em uma cabine isolada ou cercada de anteparos

Os muros (e o teto) devem ser pintados com um tinta especial absorvente.

Os locais onde efetuam trabalhos de soldagem devem ser espaçosos, bem iluminados e suficientemente ventilados para que os gases e fumos desprendidos pelos eletrodos não poluam a atmosfera.

Esses fumos geralmente não são tóxicos, porém, podem irritar as vias respiratórias.

No caso onde a aeração natural é insuficiente, é indispensável uma ventilação artificial, seja geral, seja local, aspirando fumos.

## 8) Diversas consequências operacionais da soldagem elétrica

O soldador, estando com as proteções, necessárias e a aparelhagem de solda em perfeitas condições, não sofrerá danos pessoais causados pelas consequências operacionais abaixo citados:

### a) Raio ultravioleta

A incisão de raios ultravioletas nos olhos, afeta a retina provocando retinite do tipo elétrico mas sua recuperação é bastante rápida com tratamento adequado.

### b) Raio infra-vermelho

O raio infra-vermelho incidindo nos olhos não provoca males imediatos e por isso passa desaparecido, mas o acúmulo gradativo afeta a visão. Sendo do tipo maligno, causa a opacificação do cristalino ou afeta o fundo do olho provocando a perda da visão.

### c) Raio visível

Quando os raios visíveis são bastantes intensos, provocando o fechamento da pupila e em casos mais graves, a retinite.

# SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA

## **1 - Definição**

Entende-se por soldagem por resistência a união de dois metais, sem fusão e utilização de material de adição, mas com solubilização mútua das partes. Trata-se de um processo comandado pelo fenômeno de difusão. A solubilização é conseguida devido ao aquecimento provocado pela passagem de uma corrente elétrica através das peças a soldar.

## **2 - Resistência de Contato**

Na figura 1 distinguem-se duas chapas a serem soldadas e os eletrodos conectados aos ramos terminais de um enrolamento secundário do transformador.

Todo o circuito compreendido entre os eletrodos oferecerá resistência à passagem da corrente, podendo ser subdividido em resistência do material ( $R_2$  e  $R_4$ ) resistência de contato eletrodo-peça ( $R_1$  e  $R_5$ ) e resistência de contato peça-peça ( $R_3$ ). A resistência dessa junção ( $R_3$ ), mesmo pequena, ainda será muito superior a qualquer das outras resistências. Isto se deve à rugosidade inerente aos materiais convencionais cuja característica é apresentar cristas e vales, diminuindo a área de passagem de corrente. Aliado a outros fatores (carepa, impurezas, óxidos) leva-se a afirmativa que em  $R_3$  dar-se-á maior formação de calor.

O calor assim gerado, deve ser suficiente para aquecimento do contato, até a temperatura necessária para solubilização, levando-se em conta a dissipação para o restante do material. Naturalmente, o desenvolvimento do calor se dá de dentro para fora, a partir do ponto de contato.

Outro fator importante a se considerar é o tempo de soldagem, pois para um mesmo valor de corrente, a temperatura na zona de contato das chapas aumenta com esse tempo.

## **3 - Intensidade da Corrente de Soldagem**

Para alcançar a temperatura desejada, a corrente deve ter intensidade suficiente para gerar o calor necessário em  $R_3$ . O valor mínimo deve ser tal que supere as perdas de calor por condução e irradiação, nas chapas, eletrodos e ao ambiente.

## **4 - Pressão na Formação do Ponto de Soldagem**

A pressão sobre as peças a soldar é de grande importância a fim de assegurar um contato mais íntimo e facilitando a solubilização. Um valor muito alto de pressão pode,

entretanto, deformar plasticamente o material de tal forma que a resistência de contato torna-se muito pequena, não gerando o calor necessário.

## **5 - Tipos de Solda por Resistência**

Segundo as características operacionais, pode-se classificar a solda por resistência em:

- \* Solda a ponto - pontos múltiplos
  - por injeção (ressaltos)
  - por costuras (por roletes) - contínuo
  - descontínuo
  
- \* Solda a tópo - por resistência
  - por centelhamento

A figura 2 demonstra as principais características de cada tipo.

### **5.1 - Solda por Pontos**

Neste tipo de soldagem, as peças são superpostas entre as pontas de dois eletrodos. (fig. 2) e (fig. 5).

A confecção de projeções (ressaltos) na placa torna o processo mais rápido, pois permite realizar vários pontos ao mesmo tempo, já que a pressão só é exercida sobre os ressaltos em questão. A figura 3 mostra um esquema representativo do processo por projeção.

A soldagem a ponto por costura, permite maior produção ainda. Roletes-eletrodos impulsionam as chapas a soldar, levando a corrente e mantendo as peças sob pressão. A corrente pode passar ininterruptamente (pouco usado devido a excessivo aquecimento) ou através de impulsos (intermitentes). A figura 4 mostra como é possível obter soldas contínuas (estanques) mesmo através de pulsos de corrente.

### **5.2 - Solda de Tópo**

A soldagem por resistência a tópo é baseada na recristalização (os grãos em contato, sob pressão e temperatura, recristalizam-se em novos grãos). Existem duas variantes básicas, soldagem a tópo por resistência e soldagem a tópo por faiscamento.

### **5.2.1 - Soldagem a Tôpo por Resistência**

As peças são posicionadas de tópo, de modo a manter as faces a soldar paralelamente. É então aplicada uma força pelos suportes ( fig. 6 ), para então iniciar a passagem de corrente. Devido ao amassamento, a resistência de contato baixa, e o aquecimento posterior é feito pela própria resistividade do material ( que aumenta com o aumento da temperatura ). Há então o aquecimento de toda a seção até a temperatura próxima da fusão. Devido a um brusco aumento à força de compressão, o material em estado pastoso é deformado, conseguindo-se assim a recristalização.

### **5.2.2 - Soldagem a Tôpo por Centelhamento**

As peças são mantidas em posição como no caso anterior. A diferença consiste em que as peças são aproximadas e afastadas sucessivamente, o que provoca centelhamento entre as superfícies adjacentes a soldar.

Este centelhamento ocasiona elevação da temperatura até a incipiente fusão das partes a soldar ( fig. 7 ).

## **6 - Máquinas de Soldar**

As máquinas de soldar a ponto podem ser classificadas em duas grandes categorias:

- \* Fixas – simples
  - duplo ponto
  - múltiplo ponto
  
- \* Móveis – pinça de soldagem (alicate)
  - pistola de soldagem
  - cabeças móveis – com transformador incorporado à máquina
    - sem transformador incorporado à máquina

Nas máquinas fixas, as peças a soldar são levadas a máquina para serem soldadas e nas móveis, ao contrário.

Os materiais mais usados na fabricação de eletrodos são ligas de cobre ( com um ou mais dos seguintes elementos: Cd, Cr, Zr, Co, Be, Ni, e Al ). O uso do cobre puro é limitado devido a baixa resistência ( inclusive à quente ). O cobre ligado oferece melhores propriedades de resistência mecânica, mantendo-se ainda as boas propriedades de condutibilidade térmica e elétrica.

## **7 - Vantagens da Solda por Resistência**

- a- rapidez: a máquina está sempre preparada para a execução da soldagem.
- b- limpeza do trabalho.
- c- exclusão da influência do ar sobre as peças aquecidas ( aquecimento de dentro para fora ).
- d- não há perigo para o operador.
- e- pequena qualificação do operador.
- f- não necessita de material de adição.

A maior desvantagem está na espessura máxima da chapa a soldar.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RIBEIRO, Hélio O. Soldagem do Aço ASTM A 516 Grau 60 para Vaso de Pressão Sujeito à Corrosão Sob Tensão. **Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais.** UFSC. Florianópolis, 2001.
- [2] WELDING Handbook. Vol. 4, ed. 1986
- [3] KOU, S. **Welding Metallurgy** . USA: John Wiley & Sons, 1987
- [4] TOSHIE, O. TANIGUCHI. **Engenharia de Soldagem e Aplicações.**, C . Rio de janeiro; LTC – Livro técnicos e Científicos S.A; Tóqui The Association for Internationl Technical Promotion, 1982
- [5] COE, R.F. **Welding Steels Without Hydrogem Cracking.** The Welding Institute, Cambridge, Englend, 1973
- [6] BRANDI, S.,WAINER,E.,MELLO,F.. **Soldagem – Processos e Metalurgia.** São Paulo: Edgar Blucher, 1992.
- [7] BUZZONI H. A., **Solda Autógena.** Editora Tora Lep. S.A.