

Introdução à Soldagem

Introdução

O progresso alcançado no campo da soldagem, bem como o desenvolvimento de processos e tecnologias avançadas nos últimos anos, é de tal ordem que todo aquele que não possuir uma mentalidade aberta, capaz de assimilar novas idéias, será ultrapassado e incapacitado para acompanhar o atual ritmo do progresso industrial.

Definição da Solda

Existem várias definições de solda, segundo diferentes normas.

A solda pode ser definida como uma união de peças metálicas, cujas superfícies se tornaram plásticas ou liquefeitas, por ação de calor ou de pressão, ou mesmo de ambos. Poderá ou não ser empregado metal de adição para se executar efetivamente a união.

Considerações sobre a solda

Na soldagem, os materiais das peças devem ser, se possível, iguais ou, no mínimo, semelhantes em termos de composição.

As peças devem ser unidas através de um material de adição, também igual em termos de características, pois os materiais se fundem na região da solda.

O metal de adição deve ter uma temperatura de fusão próxima àquela do metal-base ou, então, um pouco abaixo dela, caso contrário, ocorrerá uma deformação plástica significativa.

Condições de trabalho

De acordo com o orifício, é possível graduar a pressão de trabalho a qual estará em estreita relação com o metal-base (tabela 1)

As Figuras 1 a 4 apresentam alguns exemplos de aplicação da solda.

Solda em perfilados

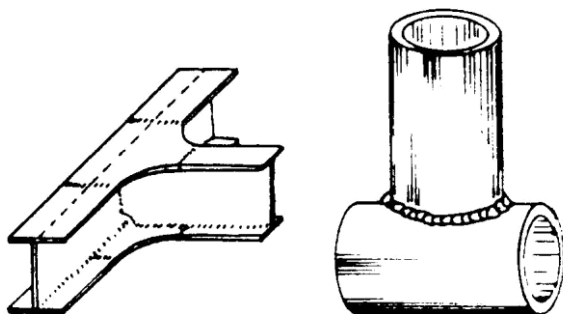


Fig. 1

Solda aplicada em conjuntos matrizes

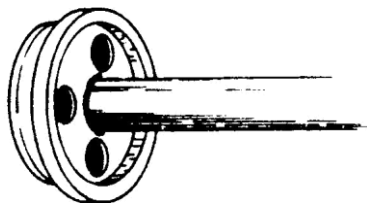


Fig. 2

Solda aplicada em caldeiraria

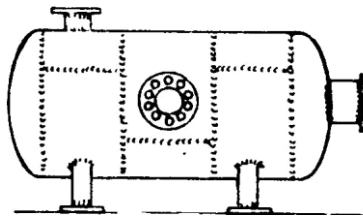


Fig. 3

Solda em componentes de automóveis

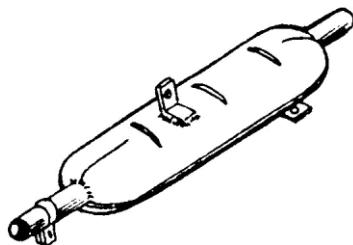


Fig. 4

Fontes de calor utilizadas

As fontes principais utilizadas na soldagem de metais, como fornecedoras de calor, são:

- ☐ chama oxiacetilênica;
- ☐ arco elétrico.

As Figuras 5 a 7 apresentam os dois tipos de fontes de calor com suas características.

Em especial, utiliza-se amplamente o arco elétrico na fabricação industrial, porque se aplica a quase todos os metais a serem soldados e em todas as espessuras imagináveis.

Chama oxiacetilênica

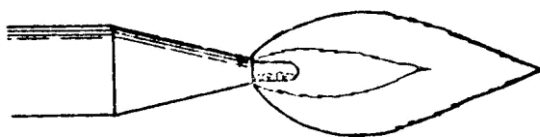


Fig. 5

Solda por chama oxiacetilênica

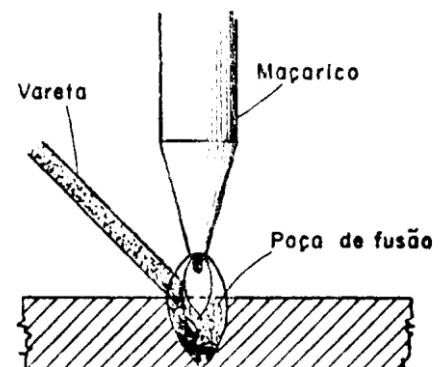
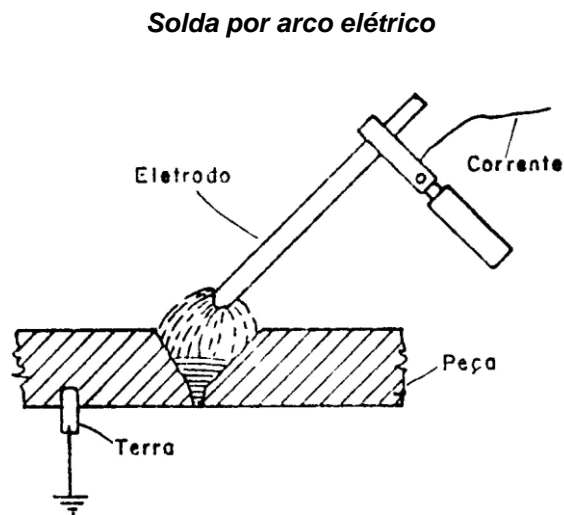


Fig. 6



Vantagens das junções soldadas em geral

Na atualidade, a solda tem sido o processo mais freqüentemente utilizado nas junções entre peças.

A seguir, são apresentadas algumas vantagens da solda em comparação com outros processos, tais como rebitar, aparafusar, soldar brando, etc.

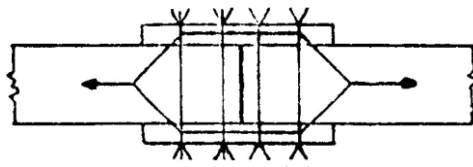
- ☐ redução do peso;
- ☐ economia de tempo;
- ☐ melhor fluxo da força;
- ☐ suporte de elevadas solicitações mecânicas, tanto quanto a peça.

Fluxo normal da força



Fig. 8

Mudança de direção do fluxo de força



Desvantagens da solda

- ☐ não podem ser desmontáveis;
- ☐ na soldagem, ocorrem tensões, trincas e deformações;
- ☐ exige acabamento posterior;
- ☐ em trabalhos especiais, exige mão-de-obra especializada, análise e ensaios dos cordões de solda.

Classificação dos processos de soldagem

Atualmente, os processos antigos de soldagem quase não têm aplicação, pois foram aperfeiçoados, surgindo novas técnicas.

Com o emprego de novas tecnologias, atingiram-se elevados índices de eficiência e qualidade na soldagem.

O quadro 1 apresenta os principais processos de soldagem, divididos em dois grupos, em função dos processos físicos.

Solda por fusão

Soldagem por fusão é o processo no qual as partes soldadas são fundidas por meio de ação de energia elétrica ou química, sem que ocorra aplicação de pressão.

Solda por pressão

Soldagem por pressão é o processo no qual as partes soldadas são inicialmente unidas e posteriormente pressionadas uma contra a outra para efetuar a união.

Quadro 1 Processo de soldagem e fontes de energia

Fonte de energia		
Movimento	Solda por atrito Solda a explosão	
Líquido		Solda por fusão (Termit)
Gás	Solda oxiacetilênica Solda a fogo	
Corrente elétrica	Solda a resistência Solda por costura	Eletroescória Solda MIG / MAG
Descarga de gás	Solda de cavilhas por arco elétrico	Solda TIG Solda a arco submerso Solda a plasma
Raios incidentes		Solda laser Solda a feixe de elétrons

Considerações sobre os principais processos de soldagem

Solda oxiacetilênica

A temperatura alcançada com a chama oxiacetilênica é de 3200°C na ponta do cone. A chama é o resultado da combustão do oxigênio e do acetileno.

Aplicando-se esse processo, pode-se soldar com ou sem material de adição (vareta) (Fig. 10).

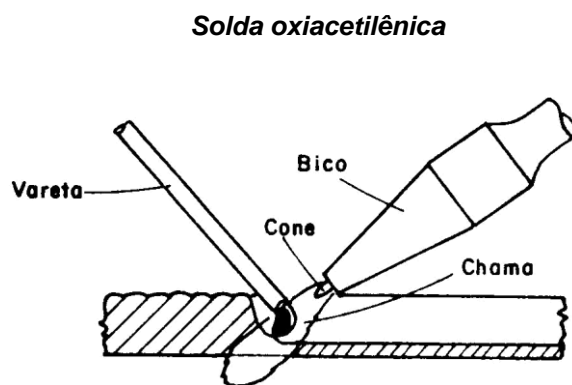


Fig. 10

Solda a arco elétrico

A temperatura do arco elétrico atinge valores de até 6000°C. Seu calor intenso e concentrado solda rapidamente as peças e leva o material de enchimento até o ponto de fusão. Nesse estado, os

materiais se misturam e, após o resfriamento, as peças ficam soldadas (Fig. 11).

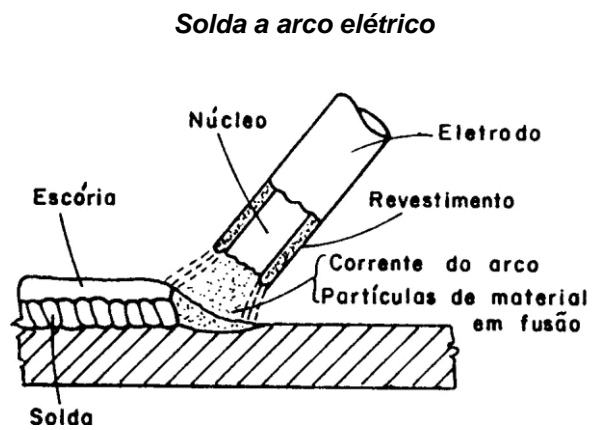


Fig. 11

Normalmente ela é utilizada em aço carbono, ferro fundido, metais não-ferrosos, ligas, etc.

Soldagem a arco elétrico com proteção gasosa (MIG/MAG)

Solda MIG/MAG

São processos em que um eletrodo é continuamente alimentado numa solda, com velocidade controlada, enquanto um fluxo contínuo de um gás inerte ou ativo envolve a zona de solda, protegendo-a da contaminação pelo ar atmosférico (Fig. 12).

Solda processo MIG/MAG

(metal-inerte-gás)

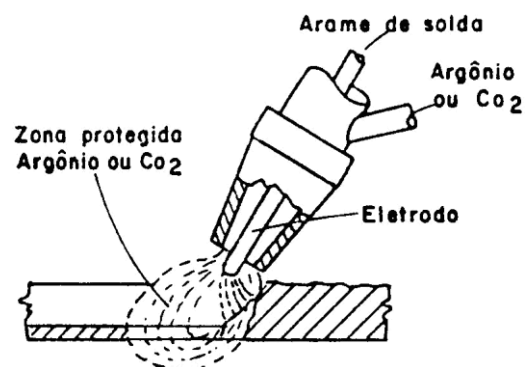


Fig. 12

Com o processo MIG/MAG, podem-se soldar todos os materiais com considerável qualidade.

Soldagem a arco elétrico com proteção gasosa (TIG)

TIG (tungstênio-inerte-gás)

São freqüentemente chamados de Heliarc, Heliwelding e Argonarc, nomes derivados da combinação entre o arco e o gás. Os gases normalmente empregados são o argônio ou o hélio, que têm a função de proteger o metal em estado de fusão contra a contaminação de outros gases da atmosfera, tais como o oxigênio e o nitrogênio (Fig. 13).

Solda processo TIG

(tungstênio-inerte-gás)

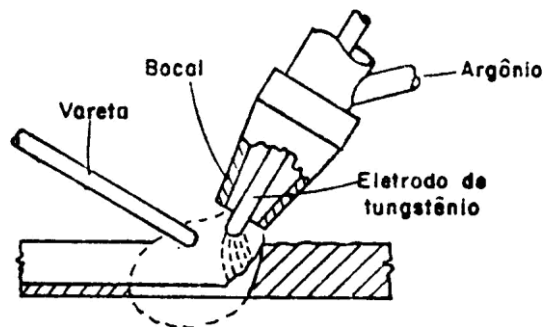


Fig. 13

O calor necessário para a soldagem provém de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de tungstênio (não consumível) e o metal-base. O processo TIG difere da solda convencional e do MIG, pois o eletrodo não se funde e não deposita material.

Quando necessário, pode-se utilizar metal de adição, como na solda oxiacetilênica (vareta), mas não se deve estabelecer comparações entre os dois processos.

É normalmente utilizado para todos os aço, aços inoxidáveis, ferro fundido, ligas resistentes ao calor, cobre, latão, prata, ligas de titânio, alumínio e suas ligas, etc.

Soldagem Oxiacetilênica

Soldagem por fusão a gás

A soldagem a gás é normalmente aplicada aos aços carbono, não-ferrosos e ferros fundidos.

Nas indústrias petroquímicas, é amplamente utilizada na soldagem de tubos de pequenos diâmetros e espessura, e na soldagem de revestimentos resistentes a abrasão. Pode também ser utilizada na soldagem de outros materiais, variando-se a técnica, preaquecimento, tratamentos térmicos e uso de fluxos.

A soldagem por fusão a gás, também chamada autógena, processa-se mediante a fusão do material, através do auxílio de uma chama constituída de gás e oxigênio de elevada temperatura (Fig. 14).

Solda por fusão a gás

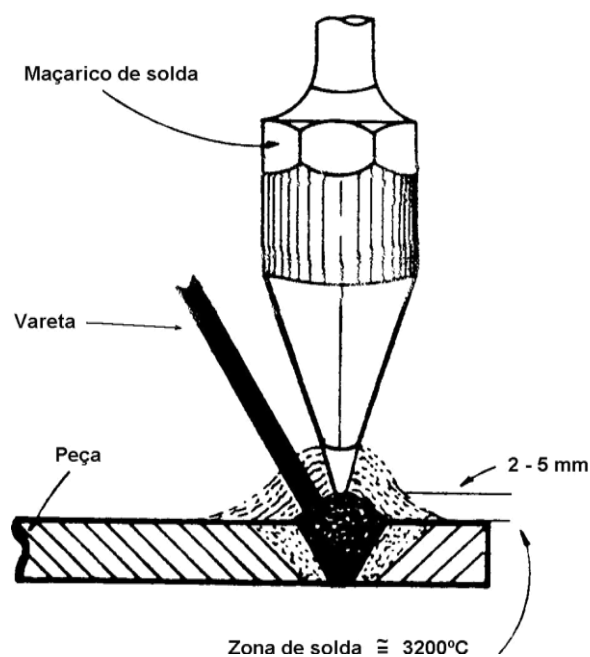
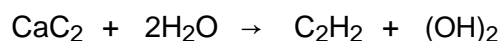


Fig. 14

Os gases combustíveis, por exemplo, hidrogênio, propano e acetileno, são aplicados na soldagem. O acetileno é empregado, principalmente, por se obter um bom rendimento e elevadas temperaturas.

O acetileno (C_2H_2) é um hidrocarboneto que contém, em peso, uma porcentagem maior de carbono que qualquer outro gás hidrocarboneto combustível. É incolor e menos denso que o ar. Quando gasoso, é instável, se sua temperatura excede $780^\circ C$ ou sua pressão monométrica sobre acima de $20 N/cm^2$. Uma decomposição explosiva pode ocorrer mesmo sem a presença do oxigênio. O acetileno deve ser manuseado cuidadosamente.

Obtenção do acetileno



O acetileno, no tocante às suas propriedades, é superior aos demais gases e oferece uma série de vantagens em comparação com o propano e hidrogênio.

O acetileno é obtido através da ação da água em combinação com o carboneto de cálcio.

Algumas vantagens deste processo

- ☐ Custo relativamente baixo.

- Altamente portátil e de fácil transporte.
- Soldagem possível em todas as posições.
- Equipamento versátil, pois pode ser utilizado em operações de brasamento, corte a chama e fonte de calor para aquecimento.
- Pode ser utilizado para soldar peças de espessuras finas e médias. A principal desvantagem do processo é o grau elevado de habilidade requerido do soldador, uma vez que ele deve controlar a temperatura, posição e direção da chama, além de manipular o metal de adição.

Equipamentos

Garrafas de acetileno

O acetileno é fornecido em garrafas de aço (Fig. 15), com uma capacidade de 40 l, a qual é preenchida internamente por uma massa porosa de 16 l de acetona. Ele é solubilizado na acetona, pois normalmente o acetileno puro só pode ser comprimido até 1,5 bar sem que ocorra problemas, o que significa baixo conteúdo. O acetileno solubilizado na acetona pode ser comprimido sem problemas a 15 bar, ocorrendo assim 6000 l de gás acetileno por garrafa.

Garrafa de acetileno

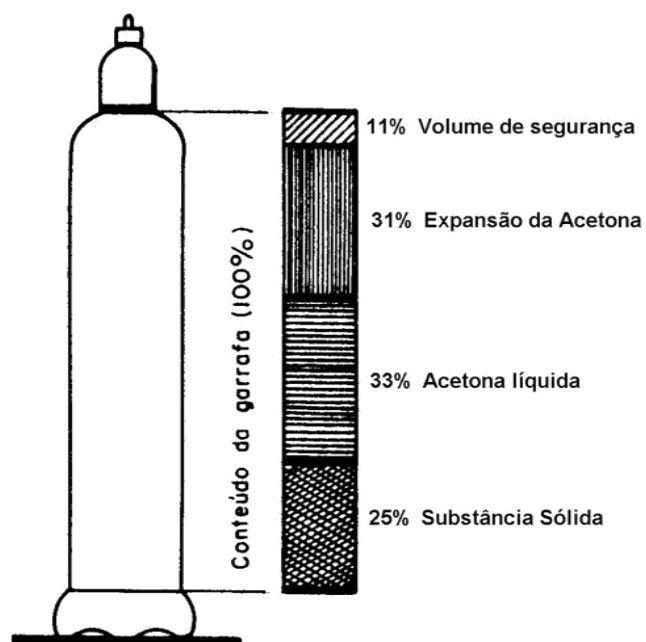


Fig. 15

O consumo de acetileno não deve ser superior a 1000 l/h.

As garrafas, cuja cor é vermelha, devem ficar na posição vertical e nunca expostas ao sol.

O acetileno combinado com o ar em torno de 2 a 8% torna-se inflamável e explosivo.

Garrafa de oxigênio

Possui um conteúdo de 40 l, numa pressão de 150 bar, e uma quantidade de 6000 l de gás.

Não deve ter graxa ou óleo nas válvulas, pois provoca combustão.

Não deve ser utilizado mais de 1200 a 1500 l/h, por curto espaço de tempo.

A garrafa de oxigênio é de cor azul ou preta.

Maçarico de soldar

O maçarico de soldar (Figs. 16 e 17) é composto de um dosador, onde o oxigênio circula numa pressão de 2-5bar, provocando uma depressão que arrasta o acetileno (0,4 bar), formando a mistura. A mistura circula até o bico de maçarico, em condições para iniciar a chama.

Maçarico de solda

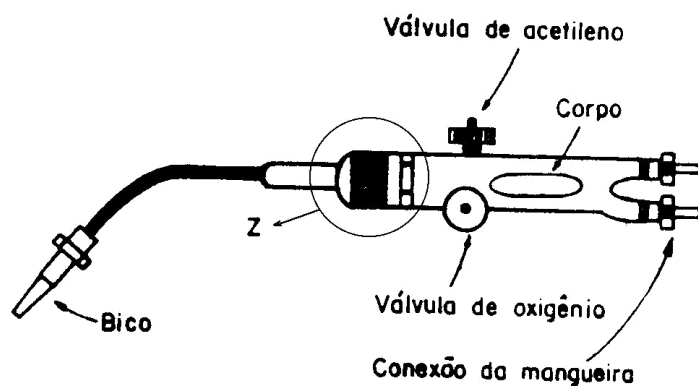


Fig. 16

Esquema da mistura dos gases no maçarico

Detalhe Z

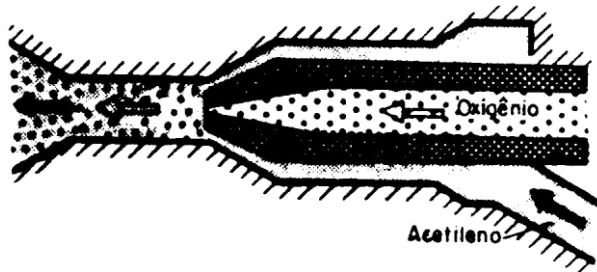


Fig. 17

O fluxo de mistura gasosa deverá sair do bico do maçarico, com uma velocidade que depende da pressão necessária para soldar.

A velocidade do fluxo deve ser maior que a propagação da combustão do gás empregado, para se evitar o retrocesso da chama.

Tabela 1

Espessura do material em mm	Número do bico	Pressão de oxigênio em atm aprox.	Pressão de acetileno em bar	Diâmetro do orifício do bico em mm	Consumo de oxigênio em litros/hora
0,5-1	1	1	0,2	0,74	100
1-1,5	2	1	0,2	0,93	150
1,5-2	3	1,5	0,25	1,20	225
2-3	4	2	0,3	1,4	300
3-4	5	2,5	0,4	1,6	400
4-5	6	3	0,45	1,8	500
5-7	7	3	0,48	2,1	650
7-11	8	3,5	0,5	2,3	800
11-15	9	4	0,52	2,5	900

Obs.: $1 \text{ bar} = 10 \text{ N/cm}^2$ → $0,2 \text{ kg/cm}^2 = 2 \text{ N/cm}^2 = 0,2 \text{ bar}$

Equipamentos Auxiliares

Reguladores de pressão

São acessórios que permitem reduzir a elevada e variável pressão do cilindro a uma pressão de trabalho adequada para a soldagem e manter essa pressão constante durante o processo (Fig. 18).

Regulador de pressão



Fig. 18

Tipos de pressões

São três os tipos de pressões de trabalho do acetileno:

☐ Alta pressão

Quando o acetileno trabalha na faixa de 3 a 5N/cm².

☐ Média pressão

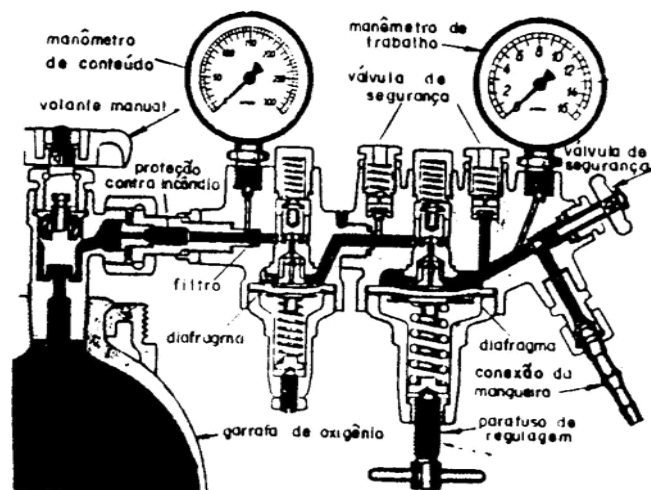
Quando o acetileno trabalha na faixa de 1 a 3N/cm².

☐ Baixa pressão

Manômetro de alta e baixa pressão

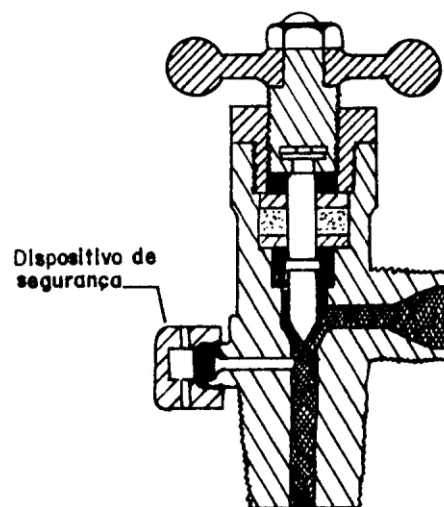
O manômetro de alta pressão marca o conteúdo de gás contido no cilindro; o de baixa marca a pressão necessária ao trabalho, a qual é regulada de acordo com o bico e o material base a ser usado (Fig. 19)

Manômetro de pressão



Válvula de segurança

A válvula de segurança permite a saída do gás em caso de superpressão (Fig. 20)



Válvula do cilindro de oxigênio

Fig. 20

É um equipamento de grande importância no tocante à segurança do operador no posto de trabalho.

Soldagem oxiacetilênica

Fase de combustão

O oxigênio e o acetileno são retirados das garrafas. A mistura obtida queima-se em duas fases.

A chama para soldar é ajustada ou regulada através do maçarico. Para que se obtenha uma combustão completa, para uma parte de acetileno, necessita-se de 2,5 partes de oxigênio.

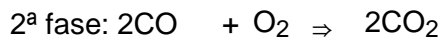
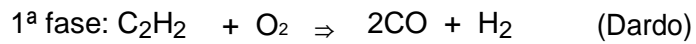
Para a regulação da chama de solda, misturam-se oxigênio e acetileno na proporção de 1:1. A combustão nesta primeira fase é incompleta.

Os gases resultantes dessa combustão, monóxido de carbono e hidrogênio, ainda são combustíveis; ao retirarem o oxigênio do ar, completam a combustão, formando o período e caracterizando uma segunda fase da combustão.

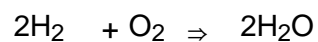
Essa eliminação de oxigênio do ar oferece uma peça de fusão limpa (efeito redutor).

Como resíduos da combustão do CO e H₂, combinados com o oxigênio, resultam CO₂ e H₂O./

Equações da combustão



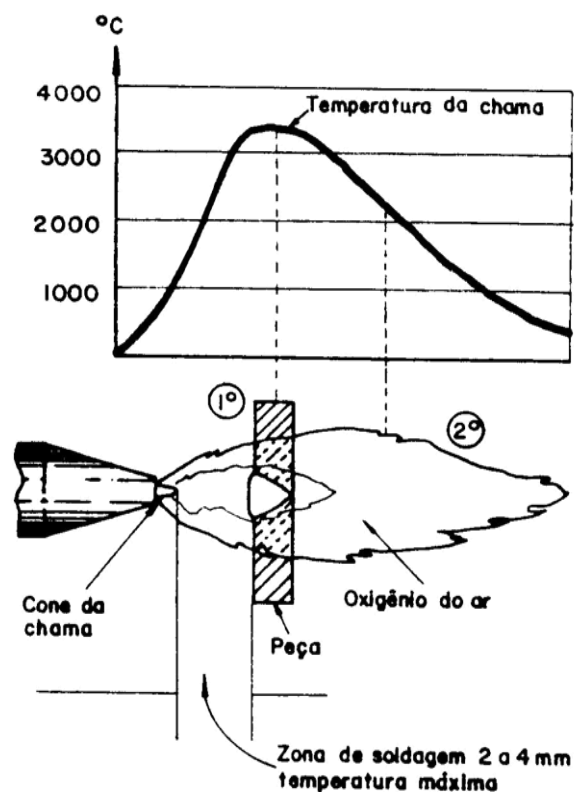
(Penacho)



A Figura 21 apresenta as diversas faixas de temperaturas nas diversas regiões da chama.

Em função do gráfico, pode-se posicionar a chama, para se obter a temperatura máxima que é de aproximadamente 3200°C.

Chama oxiacetilênica (Penacho)



Chama oxiacetilênica

A quantidade de calor produzida pela chama depende da quantidade de gás que é queimado.

A temperatura alcançada pela chama depende do combustível utilizado e da regulação dos gases.

Ignição e extinção da chama

Deve-se observar a seguinte sequência para acender o maçarico.

Primeiro, abre-se a válvula do gás oxigênio e, em segundo lugar a válvula do gás acetileno.

Para se extinguir a chama, fecha-se primeiro a válvula do gás acetileno e, em seguida, a válvula do gás oxigênio.

Regulação de chama

Entende-se por regulação da chama a variação da proporção entre os gases. Para cada proporção entre os gases, obtém-se também uma variação do tipo de chama e com isso uma respectiva variação da sua temperatura.

Tipos de chamas

As características da chama oxiacetilênica variam com relação à mistura de oxigênio e acetileno, conforme as Figuras 22, 23 e 24.

Segundo essa relação, as chamas podem ser carburante, neutra e oxidante.

Chama carburante

Tem a tendência de provocar a carbonetação do metal em fusão, devido ao excesso de acetileno (Fig.22).

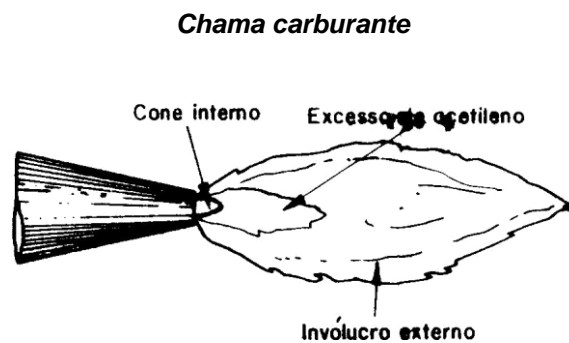


Fig. 22

Possui pouca utilização; geralmente é usada em alumínio e ferro fundido maleável.

Possui acetileno em excesso, em relação ao oxigênio.

Chama neutra

É obtida através da relação 1:1 entre oxigênio e acetileno.

Possui um cone interno bem definido, de um branco intenso. É empregada amplamente para soldar e aquecer. Em função de sua neutralidade, ocorre uma atmosfera de proteção da solda.

Possui uma grande aplicação nos materiais ferrosos em geral (Fig. 23).

Chama neutra

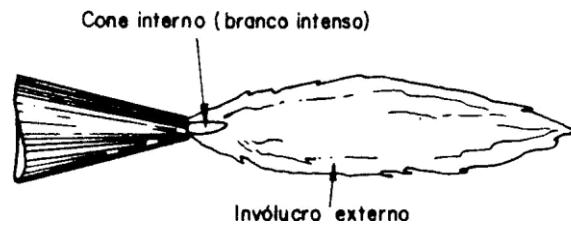


Fig. 23

Chama oxidante

É obtida através de um excesso de oxigênio em relação ao acetileno. Tem a temperatura mais elevada das chamas. Na soldagem dos aços, provoca a descarbonetação ou a oxidação do metal fundido. É utilizada no processo de oxicorte e também da soldagem de latões de cobre (Fig. 24).

Chama oxidante

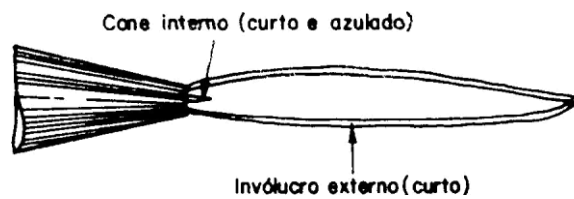


Fig. 24

Propagação da chama e o retrocesso

A chama possui uma velocidade de propagação, que é contrabalanceada pela velocidade de saída do gás pelo bico do maçarico (Fig. 25). No instante em que a velocidade de saída dos gases for menor que a de deflagração da chama, rompe-se o equilíbrio das velocidades e ocorre o retrocesso da chama que, eventualmente, pode ser acompanhado por uma onda explosiva.

Bico do maçarico

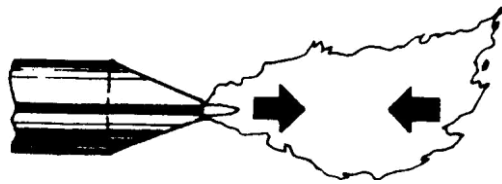


Fig. 25

Esse retrocesso de chama prossegue para o interior do maçarico até o ponto em que as velocidades se igualarem novamente (Fig. 26).

Bico do maçarico

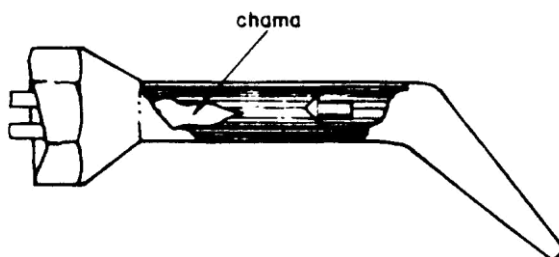


Fig. 26

A chama continua na câmara de mistura de forma invisível e causa um barulho estridente. Ela pode ainda prosseguir queimando-se na mangueira de acetileno e até, em alguns casos, atingir a garrafa de gás.

Ao ocorrer um retrocesso, deve-se, em primeiro lugar, fechar a válvula de acetileno, posteriormente, o oxigênio e, em seguida, resfriar o maçarico, mergulhando-o em água.

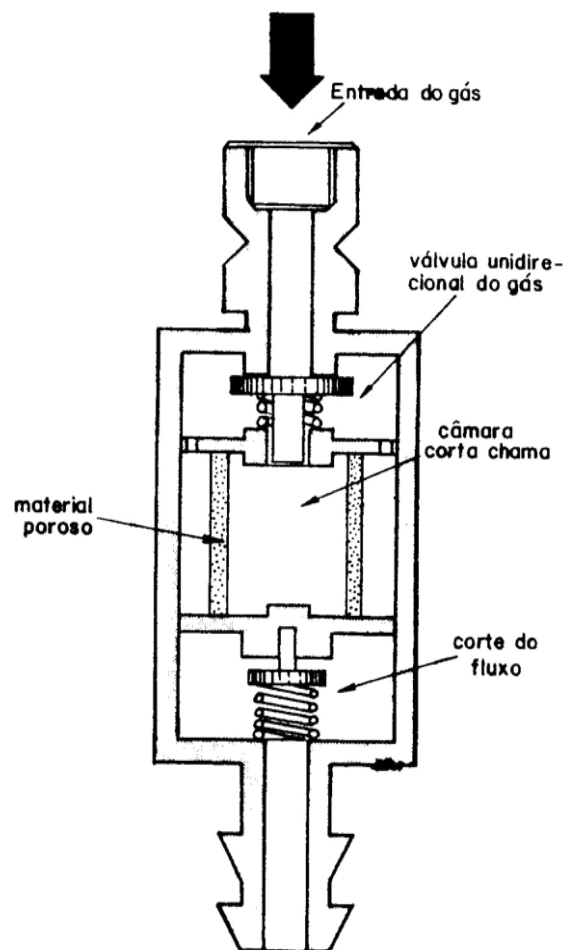
Causas do retrocesso

- ☐ velocidade muito pequena da mistura no maçarico;
- ☐ bico sem condições de uso (entupido);
- ☐ componentes do maçarico não foram bem montados e devidamente operados;
- ☐ maçarico superaquecido;
- ☐ falta de purgamento nas mangueiras.

Válvula de segurança

Toda a instalação de solda oxiacetilênica deve possuir válvulas de segurança contra retrocesso, as quais são colocadas na mangueira do acetileno (Fig. 27).

Válvula de segurança



Propriedades dos gases combustíveis

Na soldagem a gás, os combustíveis mais empregados são o acetileno, o propano e o metano, porém, em função de suas características e propriedades, faz-se necessário o conhecimento das variáveis descritas na tabela 2, que apresenta uma comparação entre os gases combustíveis. Em posse de tais conhecimentos, pode-se melhor otimizar a utilização dos gases em função do tipo de trabalho a executar.

Tabela 2

<i>Propriedades</i>	<i>Acetileno</i>	<i>Propano</i>	<i>Metano</i>
Temperatura da chama (°C)	3200	2800	2700
Velocidade de combustão (cm/s)	700	270	2760
Potência da chama (kj/cm ² .s)	16,0	2,5	6,5
Relação da mistura oxigênio/gás	1,5:1	3,75:1	1,6:1
Poder calorífico (kcal/cm ³)	14000	22300	4300

Métodos de soldagem

A qualidade de uma solda depende do modo como são conduzidos o maçarico e a vareta.

Para conduzi-los, é necessário que se observem as seguintes diretrizes: o maçarico deve se manter firme e inclinado com o ângulo o mais correto possível; a região da chama de maior temperatura deve ser dirigida à peça, para que se obtenha uma fusão uniforme das partes ou região da solda.

O movimento do maçarico deve ocorrer quando a região da solda for maior que a zona de calor. Tais procedimentos se empregam tanto para solda à esquerda, como solda à direita.

Soldagem à esquerda

Deve ser empregada para se soldarem chapas finas de até 3mm de espessura, sendo muito aplicada na soldagem de metais não-ferrosos (Al.Cu) e tubos de até 2,5mm de espessura. O percurso da solda segue da direita para a esquerda, na direção da chama de solda (Fig. 28).

Soldagem à esquerda

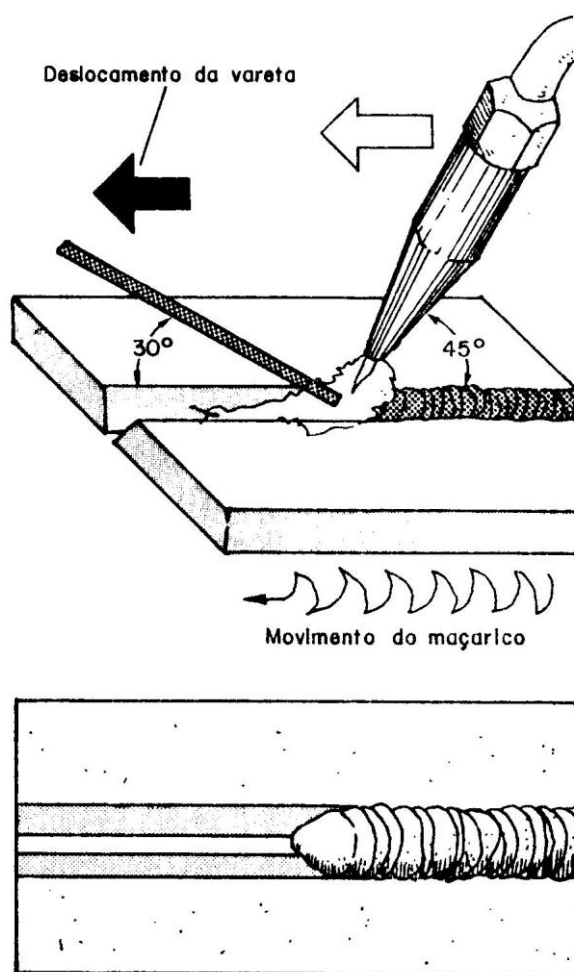


Fig. 28

Em função disso, o material se encontra preaquecido. É um processo lento que consome muito gás, porém produz soldas de bom aspecto e é de fácil execução.

A chama de solda deve se movimentar através de um movimento pendular imposto ao maçarico.

Soldagem à direita

Emprega-se para se soldarem chapas com mais de 3mm de espessura. O maçarico deve ser mantido sem movimento e conduzido contra o fluxo do material fundido, ao mesmo tempo em que se emprega um movimento circular na vareta. Possui as vantagens de se poder observar a peça de fusão, evitando-se, assim, a existência de regiões frias. Mediante a manutenção da inclinação, emprega-se menor quantidade de material (Fig. 29).

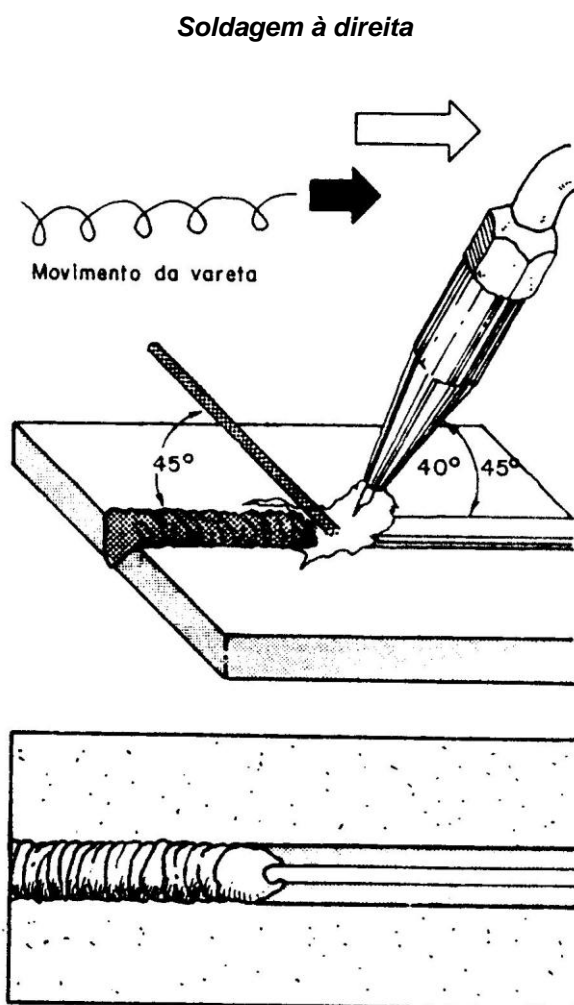


Fig. 29

É um processo rápido e econômico. Obtém-se uma maior velocidade de soldagem, diminuindo-se as tensões de contração.

Com uma adequada pressão da chama, inclinação do maçarico e movimento da vareta, obtém-se um bom cordão de solda.

Descontinuidades no processo oxiacetilênico

As descontinuidades encontradas na soldagem a gás são porosidade, inclusões de escória, falta de fusão, falta de penetração, mordeduras, sobreposição e várias formas de trincas. Convém lembrar que o uso de uma técnica adequada pode eliminar muitos desses problemas.

Falta de fusão (Fig. 30 posição 1)

Geralmente se localiza na margem da solda, Freqüentemente ocorre quando se utiliza indevidamente a chama oxidante. Pode ocorrer também com a utilização da chama apropriada, se manipulada de forma errada.

Falha na solda

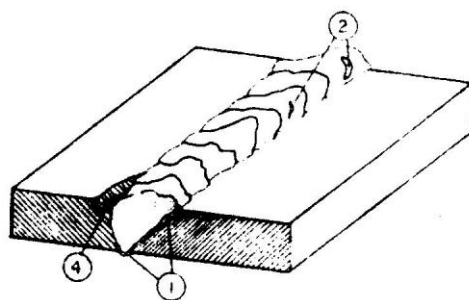


Fig. 30

Inclusões de escória (Fig. 30 posição 2)

Ocorre normalmente com a chama oxidante, às vezes com a chama normal. A manipulação inadequada do metal de adição também pode provocar inclusões de escória.

Porosidades (Fig. 30 posição 3)

No caso de uniformemente espalhada, revela uma técnica de soldagem imperfeita.

Falha na solda

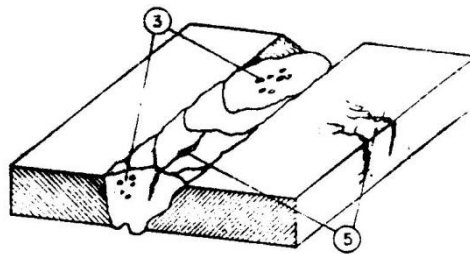


Fig. 31

Mordeduras e sobreposições (Fig. 30 posição 4)

São falhas inerentes da qualificação deficiente do soldador.

Trincas (Fig. 31 posição 5)

Na soldagem a gás, ocorrem as trincas devido à fissuração a quente. As possibilidades de fissuração a frio ou pelo hidrogênio são evitadas através de um aquecimento e resfriamento lentos, os quais permitem a difusão do hidrogênio.

Tipos e funções dos consumíveis

Chama-se consumíveis, na soldagem, todos os materiais empregados na deposição ou proteção da solda, tais como eletrodos, varetas, anéis consumíveis, gases e fluxos.

A seleção dos consumíveis depende de vários fatores, entre os quais se destacam, geometria da junta, espessura do cordão de solda a ser depositado, posição de soldagem, habilidade do soldador, grau de proteção pretendido na soldagem.

Metal de adição (varetas)

O metal de adição para a soldagem a gás é da classificação RG (vareta, gás), sem nenhuma exigência química específica. Um fluxo de soldagem é também requerido com alguns metais, a fim

de se manter a limpeza do metal de base na área de solda e para facilitar a remoção de películas de óxido na superfície.

Vareta de soldagem com variadas composições químicas são disponíveis para a soldagem de muitos metais ferrosos e não-ferrosos. A vareta normalmente deve ser selecionada e especificada de modo a se conseguirem as propriedades físicas e mecânicas desejadas na soldagem.

As varetas são classificadas nas especificações AWS, com base em sua resistência mecânica.

As varetas de soldagem são especificadas também pela norma DIN 8554, e devem possuir as mesmas propriedades do metal-base.

Maiores detalhes técnicos são encontrados nas unidades específicas sobre eletrodos.

Regras de segurança

- ☐ Observe nos trabalhos de solda que acetileno, propano, metano, hidrogênio, quando combinados com o ar, são explosivos.
- ☐ Óleo, gordura e graxa em válvulas de oxigênio podem provocar risco de vida, pois tal combinação pode provocar combustão e posterior explosão da garrafa.
- ☐ As garrafas devem estar posicionadas sempre na vertical.
- ☐ No caso de retrocesso de chama, fechar a válvula de acetileno e logo após a de oxigênio, resfriando em seguida o maçarico em água.
- ☐ As garrafas nunca devem ser roladas para transporte.
- ☐ O frio prejudica a garrafa de acetileno e altas temperaturas podem provocar sua explosão.
- ☐ Ao soldar, devem-se usar roupas adequadas de proteção contra queimaduras e óculos para proteger os olhos das radiações provocadas pela chama.

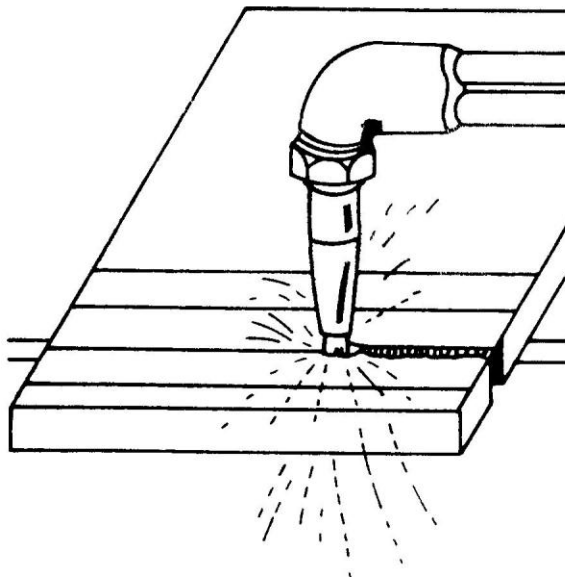
Corte por ação térmica e goivagem

Corte oxiacetilênico

O corte oxiacetilênico é um procedimento térmico para cortar aços não ligados ou de baixa liga.

O procedimento se baseia na propriedade inerente dos aços de se oxidarem rapidamente em contato com o oxigênio puro, ao atingirem a temperatura de queima - aproximadamente 1200°C. Através da chama de aquecimento prévio do maçarico de corte, o aço é aquecido à temperatura de queima, a qual é inferior à temperatura de fusão. Após atingir essa temperatura, abre-se a válvula de oxigênio puro. O oxigênio puro sob pressão atua na região de corte provocando grande oxidação e queima do aço (Fig. 32). A combustão se processa rapidamente, porém apenas na região em que incide o jato de oxigênio. Com a queima, produz-se óxido, que possui grande fluidez e é eliminado pelo jato de oxigênio. A força do jato de oxigênio produz superfícies de corte na peça.

Corte oxiacetilênico manual

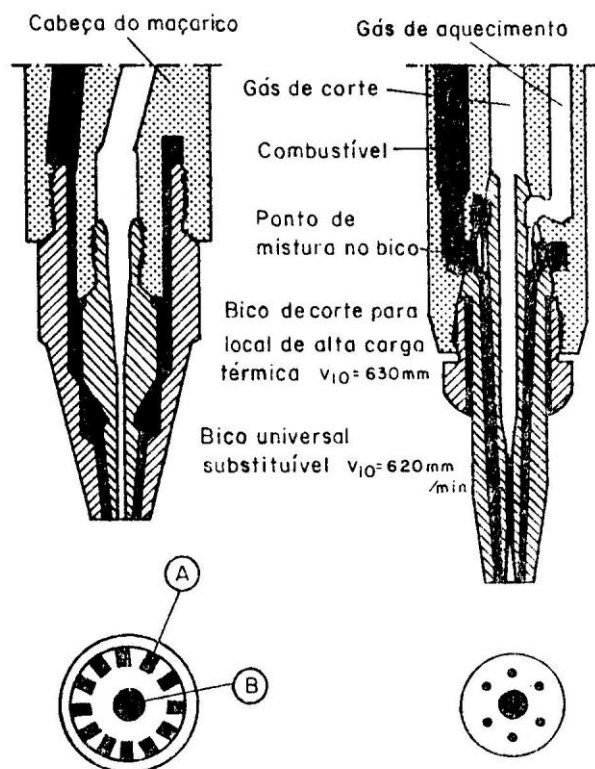


Bicos de corte

Os bicos de corte possuem na mesma peça saídas anelares da chama, com as quais se processa o aquecimento, e uma saída central para o oxigênio, com a qual se processa o corte. Para o aquecimento, deve ser usada a chama neutra.

As Figuras 33 e 34 apresentam alguns tipos de bicos de corte.

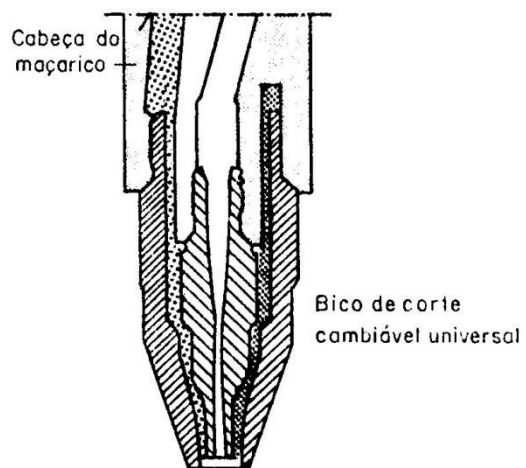
Esquema de bicos de corte





A *Orifício para chama de aquecimento*

B *Jato de oxigênio de corte*



Bico de corte montável para
gases de combustão lenta.



A potência de corte dos maçaricos de bicos cambiáveis atinge até espessuras de 100mm. Os maçaricos manuais de corte podem ser utilizados para espessuras de até 300mm.

Existem ainda maçaricos especiais, cuja potência proporciona corte de espessuras de até 2000mm de material. Portanto, os bicos de corte são selecionados em função da espessura da chapa a ser cortada.

Dados operacionais

A tabela 3, que se refere à série 1502-W Martins, apresenta um exemplo da utilização de bicos de corte, com os parâmetros de operação. Convém lembrar que cada equipamento traz dados operacionais do fabricante, os quais fornecem as condições de trabalho.

Tabela 3

Espessura de corte (mm)	Bico (nº)	*Pressão dos gases (kg/cm ³)		Velocidade linear de corte (cm/min) C-205	Consumo dos gases** (m ³ /h)	
		Oxigênio	Acetileno		Oxigênio	Acetileno
3,2	2	1,5-1,4	0,35	92	0,95	0,25
6,4	3	1,75-2,18	0,42	76	1,25	0,28
9,5		1,50-2,10	0,35	64	1,70	0,30
12,7		2,18-2,60		51	2,00	0,33
15,9	4	2,80-3,21	0,42	46	2,32	0,36
19,1		1,60-2,15	0,35	41	2,74	0,39
25,4	6	2,20-2,62	0,42	35,7	3,41	0,45
38,1		3,30-4,15	0,49	33,2	4,71	0,51
50,8	8	2,40-2,80	0,35	28,1	5,50	0,56
76,2		3,00-3,50		25,4	6,50	0,64
100		4,55-5,30	0,42	23,0	8,80	0,70
125		4,20-4,55	0,49	20,0	11,40	0,86
150	10	4,90-5,30	0,56	17,8	13,00	1,00
200		4,95-5,40	0,63	12,7	17,90	1,14
250		5,9-6,60	0,84	10,0	20,40	1,28

300	12	5,60-6,30	0,77	8,0	24,00	1,40
-----	----	-----------	------	-----	-------	------

Tipos de maçaricos para corte manual

Existem vários tipos de maçaricos para corte manual, os quais se prestam a variados tipos de trabalhos.

As Figuras 35 a 41 apresentam alguns deles.

Tipos:

- ☐ maçarico para corte reto, com roldana de deslocamento (Fig. 35);

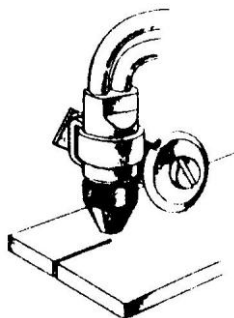


Fig. 35

- ☐ maçarico para corte reto, com ponte posicionadora de altura (Fig. 36);

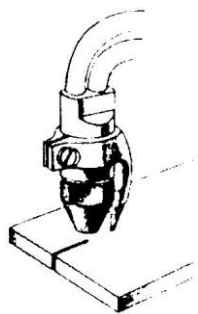


Fig. 36

- maçarico para corte de cabeça de rebites (Fig. 37);

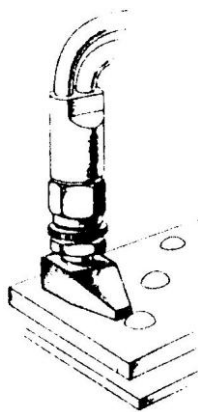


Fig. 37

- maçarico para corte de barras perfiladas, com ponta posicionadora de altura (Fig. 38);

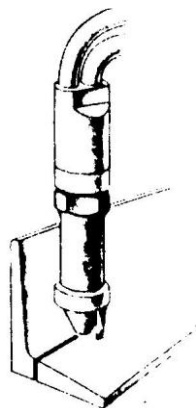


Fig. 38

- maçarico para corte circular, com roldana para deslocamento (Fig. 39);

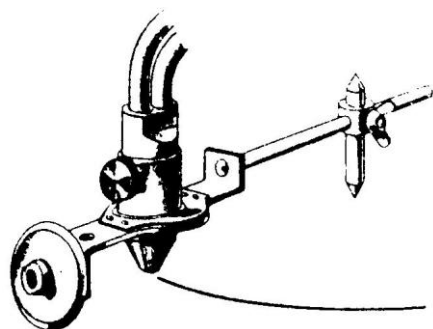


Fig. 39

- ☐ maçarico para cortes circulares de pequenos diâmetros, com ponta posicionadora (Fig. 40);

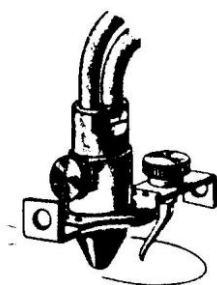


Fig. 40

- ☐ maçarico para corte de tubos e cilindros, com dispositivo de regulagem e com roldanas para deslocamento (Fig. 41).

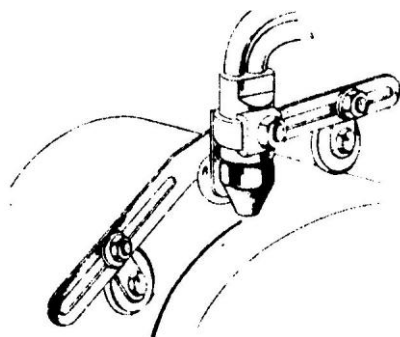


Fig. 41

Qualidade do corte

A superfície de corte deve apresentar um bom acabamento, o que significa que deve obedecer às seguintes características:

- ☐ pequena defasagem;
- ☐ superfície regular de corte;
- ☐ fácil desprendimento da escória;
- ☐ aresta superior de corte levemente arredondada.

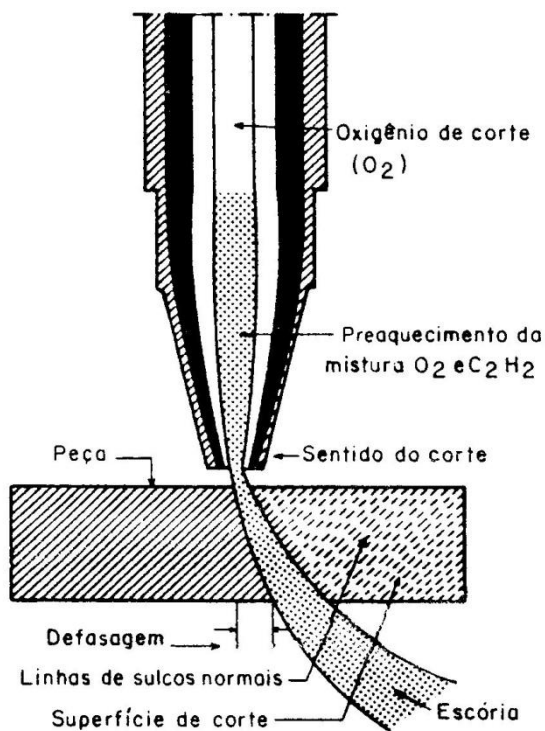


Fig. 42

Classificação dos Cortes

Os cortes são definidos em função da chapa que se deseja cortar e podem ser leves, médios ou pesados.

- ☐ leves, para chapas até 1”;
 - ☐ médios, para chapas de 1” até 5”;
 - ☐ pesados, para chapas com mais de 5”.
-

Tipos de corte

Os cortes são classificados também quanto à superfície e podem ser:

- corte reto (Fig. 43);

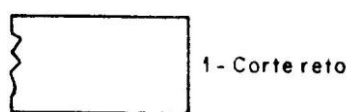


Fig. 43

- corte em chanfro (Fig. 44);

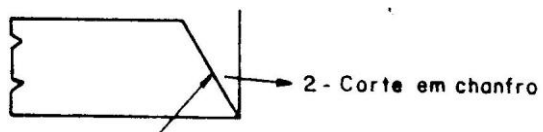


Fig. 44

- corte com chanfro e nariz (Fig. 45);



Fig. 45

- corte com duplo chanfro (Fig. 46);

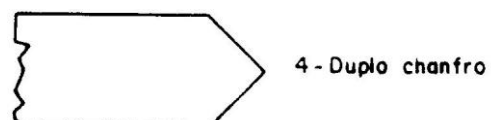


Fig. 46

- corte com duplo chanfro e nariz (Fig. 47).

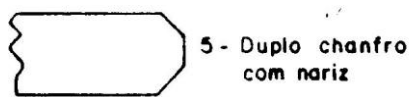


Fig. 47

Máquinas de corte

O corte oxiacetilênico por meio de maçarico guiado a máquina é um procedimento de valor incalculável em trabalhos de elaboração de metais.

Quando o corte é mecanizado; a chama representa vantagens de acabamento superior, grande aumento da produção e um custo final efetivamente mais baixo que o processo manual. Quanto ao

tipo, podem ser portáteis, como apresenta a Figura 48, ou estacionários.

As máquinas podem executar cortes retos ou copiar perfis, como ocorre com as copiadoras pantográficas. As copiadoras podem trabalhar com gabaritos comandados por fotocélulas, trabalhando em escala 1:1 do desenho a ser copiado.

Através de variadoras, pode-se ter velocidades de corte na faixa de 100 a 1000mm/minuto.

Máquina de corte portátil

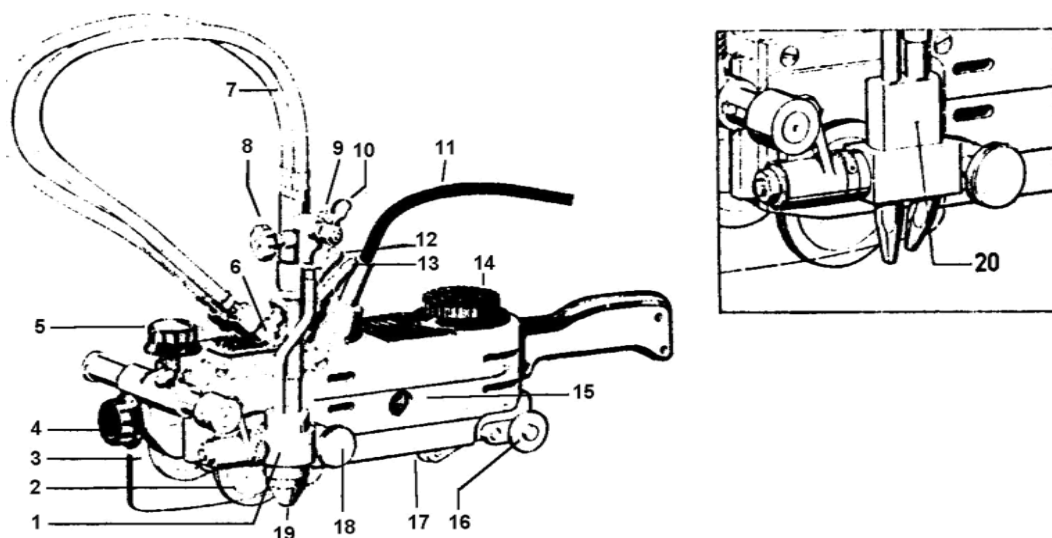


Fig. 48

- | | |
|---|---|
| 1. Suporte do maçarico | 11. Condutores de corrente da rede |
| 2. Escala do corte | 12. Conexão da mangueira de acetileno |
| 3. Chapa de proteção do calor | 13. Conexão da mangueira de oxigênio |
| 4. Regulagem lateral do maçarico | 14. Botão de regulagem da velocidade |
| 5. Regulagem fina da altura do maçarico | 15. Partida do motor |
| 6. Bloco de ligações | 16. Rolo de guia para cortes retos |
| 7. Mangueiras de acetileno e oxigênio | 17. Rolo para cortes curvos |
| 8. Válvula de regulagem para oxigênio | 18. Regulador de altura do maçarico |
| 9. Válvula de regulagem para acetileno | 19. Cabeça do bico do maçarico de corte |
| 10. Válvula de oxigênio de corte | 20. Placa de fixação do maçaricos |

Tipos de cortes em chanfros por máquinas

Chanfro simples

Neste tipo de corte, usam-se dois maçaricos: o primeiro posicionado na vertical, aparando a borda da chapa; o segundo com o ângulo de indicação que se deseja executar o corte. O maçarico que executa o corte do ângulo deve ter uma chama de preaquecimento mais intensa porque, em função da inclinação, ocorre perda de rendimento que deve ser compensada (Fig. 49).

Tipo de corte

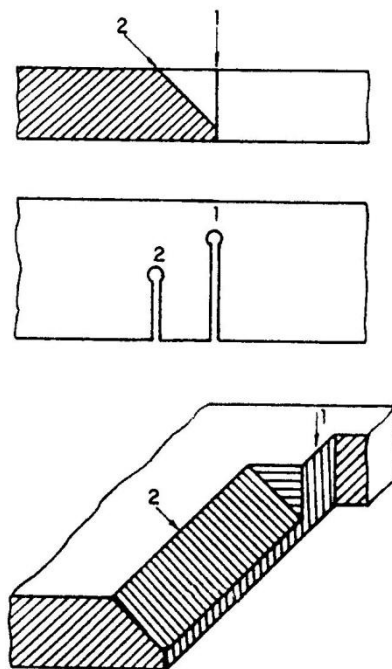


Fig. 49

Chanfro duplo

Para a execução deste chanfro, utilizam-se três maçaricos: o primeiro cortando verticalmente; o segundo fazendo o corte de fundo e o terceiro executando o corte de topo (Fig. 50).

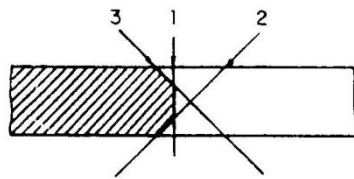


Fig. 50

A distância entre os dois primeiros maçaricos deve ser suficiente para separar os jatos de oxigênio e de corte (Figs. 51 e 52).

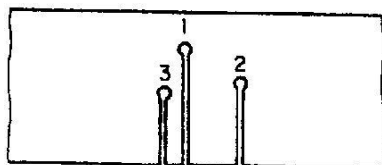


Fig. 51

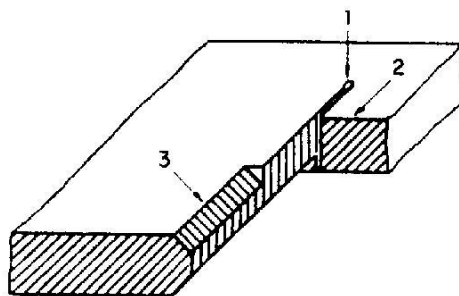


Fig. 52

No caso de a temperatura abaixar após o primeiro corte, será formado um filme de óxido solidificado pelo calor dos dois primeiros, podendo o corte, portanto, ficar mais atrasado.

Para o início do segundo e terceiro cortes, não é necessário parar a máquina. Em chapas finas (até 3/4"), a distância será de 10 a 12mm. Quando a chapa for de espessura maior, a distância entre o maçarico será menor.

Nos casos em que o corte do segundo maçarico é feito fora da zona aquecida pelo primeiro, pode-se posicionar os dois no mesmo alinhamento (perpendicular à direção do corte), dando porém mais inclinação ao segundo maçarico, fazendo com que o jato do oxigênio passe por trás do jato do primeiro (Fig. 53).

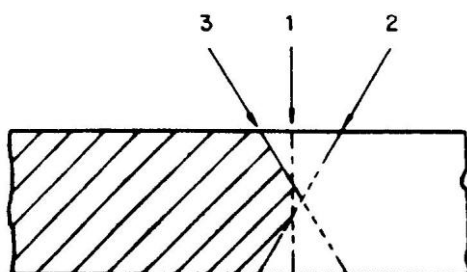


Fig. 53

Dessa forma, os dois primeiros maçaricos aquecem a mesma área e beneficiam o terceiro, que pode iniciar o corte sem que a máquina seja parada (Fig. 54).

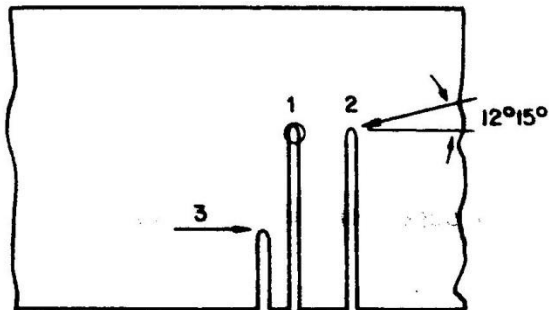


Fig. 54

Defeitos típicos em corte a gás

Um corte bem executado assegura uma face lisa, sem oxidação excessiva e no esquadro com as faces da chapa ou peça.

Os erros de seleção dos parâmetros dão os efeitos mostrados em seguida.

Defeitos nas arestas

Canto superior arredondado

Pode ocorrer por utilização muito lenta do avanço do maçarico; distância do bico excessiva ou insuficiente; bico grande demais para o corte; ou ainda, pressão excessiva do oxigênio ou acetileno (Fig. 55).

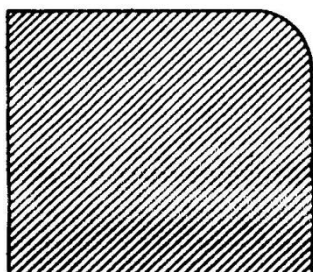


Fig. 55

Canto inferior arredondado

Pode ocorrer por excesso de velocidade ou excesso de oxigênio (Fig. 56).

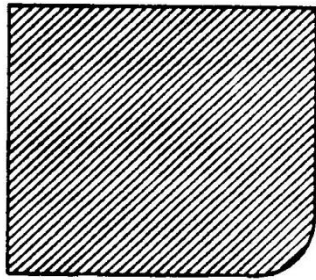


Fig. 56

Indentação do canto inferior

Pode ser provocado por excesso de velocidade ou excesso de oxigênio (Fig. 57).

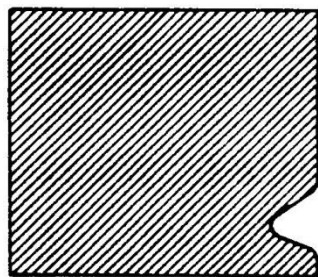


Fig. 57

Mordedura no canto superior com escória

Pode ocorrer quando a chama está forte demais (Fig. 58).

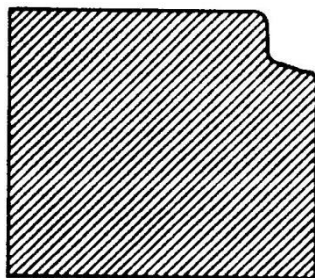


Fig. 58

Defeitos na face de corte no sentido vertical

Processo no canto superior

Pode ocorrer quando se utilizam bico sujo ou pressão excessiva de oxigênio (Fig. 59).

Defeitos na face de corte



Fig. 59

Rasgo convergente

Ocorre quando a distância entre o bico e a peça ou a pressão de oxigênio são excessivas (Fig. 60).

Defeitos na face de corte

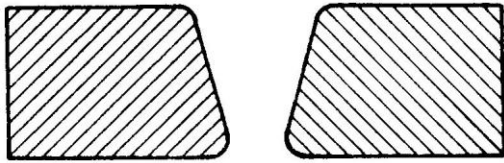


Fig. 60

Rasgo divergente

Normalmente ocorre quando se utiliza excesso de oxigênio (Fig.

61).

Defeitos na face de corte

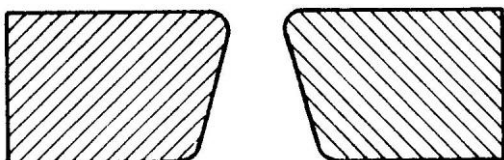


Fig. 61

Concavidade

a concavidade pode ocorrer ao se utilizar bico muito pequeno, obstruído ou danificado também por oxigênio insuficiente (Fig. 62).

Defeitos na face de corte

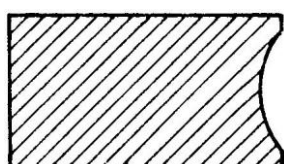


Fig. 62

Ondulação

Pode ser ocasionada pela utilização de bico sujo ou oxigênio insuficiente (Fig. 63).

Defeitos na face de corte

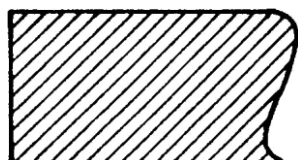


Fig. 63

Desvio angular

Ocorre através do posicionamento incorreto do bico ou jato de oxigênio desviado por rebarbas ou sujeiras (Fig. 64).

Defeitos na face de corte

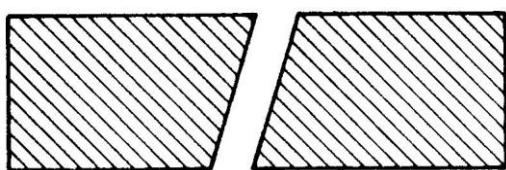


Fig. 64

Defeitos na face de corte no sentido longitudinal

Ondulação recurvada para trás no fundo

Ocorre devido à velocidade excessiva, bico muito pequeno ou oxigênio insuficiente (Fig. 65).

Defeitos na face do corte

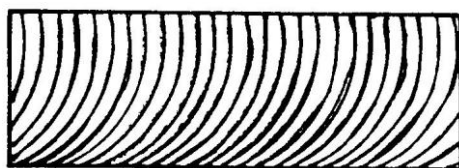


Fig. 65

Ondulação recurvada para frente no centro

Ocasionada por jato de oxigênio prejudicado pela sujeira ou pela rebarba ou bico inclinado para frente (Fig. 66).

Defeitos na face do corte

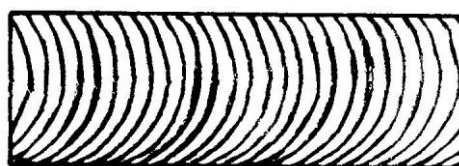


Fig. 66

Ondulação em S

Pode ser provocada por sujeira, desgaste ou rebarba no bico (Fig. 67).

Defeitos na face do corte

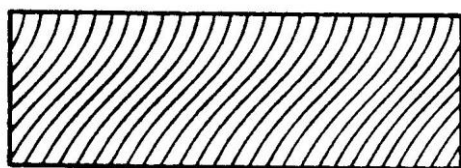


Fig. 67

Ondulação desuniforme

Pode ser provocada por aplicação de velocidade não uniforme ou, ainda, existência de incrustações na chapa (Fig. 68).

Defeitos na face do corte

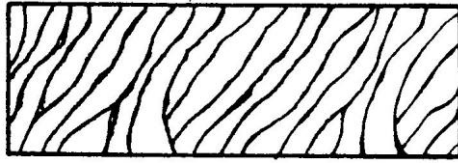


Fig. 68

Profundidade excessiva

Normalmente causada por distância insuficiente do bico ou chama muito forte. É algo comum se o material é um aço-liga (Fig. 69).

Defeitos na face do corte

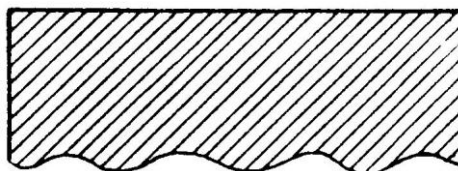


Fig. 69

Profundidade desuniforme

Ocorre por variação na velocidade de condução do maçarico (Fig.

70).

Defeitos na face do corte

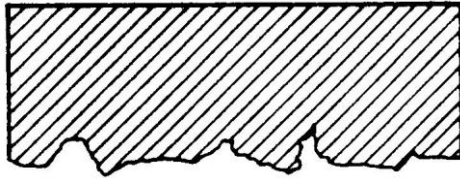


Fig. 70

Indentações ocasionais

Ocorrem quando há crepitações (pulsação) da chama, ferrugem ou sujeira na chapa (Fig. 71).

Defeitos na face de corte

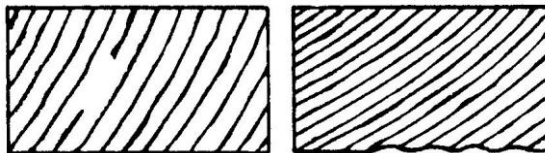


Fig. 71

Indentações contínuas

Podem ser ocasionadas pela distância insuficiente do bico, chama muito fraca, sujeira ou ferrugem na chapa (Fig. 72).

Defeitos na face de corte

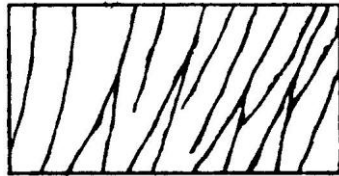


Fig. 72

Indentação na parte inferior

Ocorrem por deformação da chama devido a sujeira ou bico danificado (Fig. 73).

Defeitos na face de corte

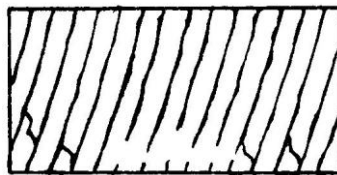


Fig. 73

Corte incompleto

Corte incompleto no final

Ocorre quando o jato de oxigênio não é uniforme devido a rebarba ou sujeira no bico (Fig. 74).

Defeitos na face de corte

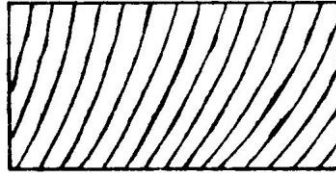


Fig. 74

Corte perdido

Ocorre se a distância do bico à chapa é excessiva; por bico sujo, gasto ou com rebarbas; por chapa suja ou com ferrugem. Pode ocorrer também em chapas com alto teor de carbono ou com separações internas.

Defeitos por escória

Escorrimento

Normalmente ocorre quando se utilizam chama fraca ou oxigênio insuficiente (Fig. 75).

Defeitos por escória

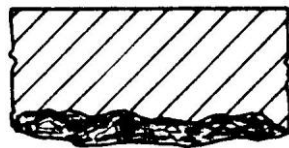


Fig. 75

Crosta adesiva

Este caso é possível de ocorrer quando a chapa de aço cortada é de aço-liga (Fig. 76).

Defeitos por escória



Fig. 76

Defeitos por trincas

As trincas podem ocorrer na face do corte, tanto na região superior, como inferior da chapa (Fig. 77).

Trincas na face do corte

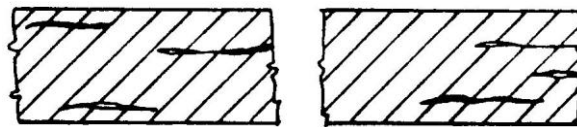


Fig. 77

Ocorrem com mais freqüências nos aços de alto teor de carbono, de altas ligas ou temperado, devido à insuficiência do preaquecimento ou ainda motivadas por um resfriamento rápido demais.

Corte com arco elétrico

É um processo de corte em que os metais a serem cortados são fundidos pelo calor de um arco elétrico entre o eletrodo e a peça. Após a fusão, um jato de ar comprimido remove o metal fundido. Normalmente é um processo usado em todas as posições, porém pode ser operado automaticamente.

O processo pode ser utilizado em metais ferrosos e em alguns não-ferrosos. É comumente utilizado na goivagem de soldas e para reparos de fundição. O processo requer uma habilidade de corte relativamente alta.

A qualidade da superfície de corte deixa a desejar. A Figura 78, apresenta o processo simplificado.

Corte com eletrodo de carvão e jato indireto

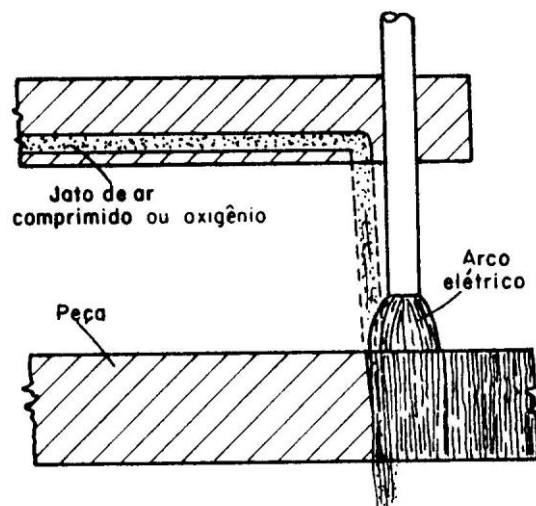


Fig. 78

Corte a arco elétrico com eletrodo metálico

A Figura 79 apresenta o processo simplificado, no qual o arco elétrico é gerado com a peça através de um eletrodo metálico, que possui um orifício central por onde flui o jato de ar comprimido ou oxigênio a elevada velocidade.

Corte com eletrodo metálico com jato direto

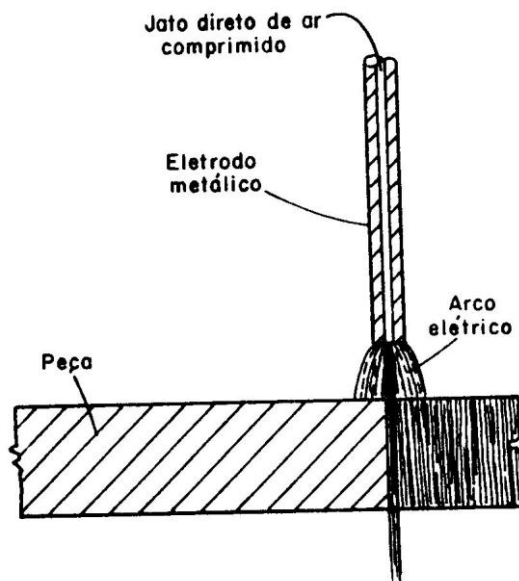


Fig. 79

A ação do jato diretamente no arco elétrico e, conseqüentemente, na região de fusão, oferece melhores condições de corte, obtendo-se superfície de qualidade melhor que no processo anterior.

Corte a plasma

O corte a plasma se utiliza do calor de um arco elétrico combinado com um gás ionizado (plasma, que é o quarto estado da matéria). O arco obtido atinge a temperatura de até 20.000°C, sendo, dessa forma, utilizado para o corte de qualquer metal ferroso.

- um processo de corte que separa os metais pela fusão de uma área localizada com um arco constrito, e pela remoção do material fundido com um jato de gás ionizado quente, em alta velocidade (Fig. 80).

Corte com eletrodo metálico com jato direto

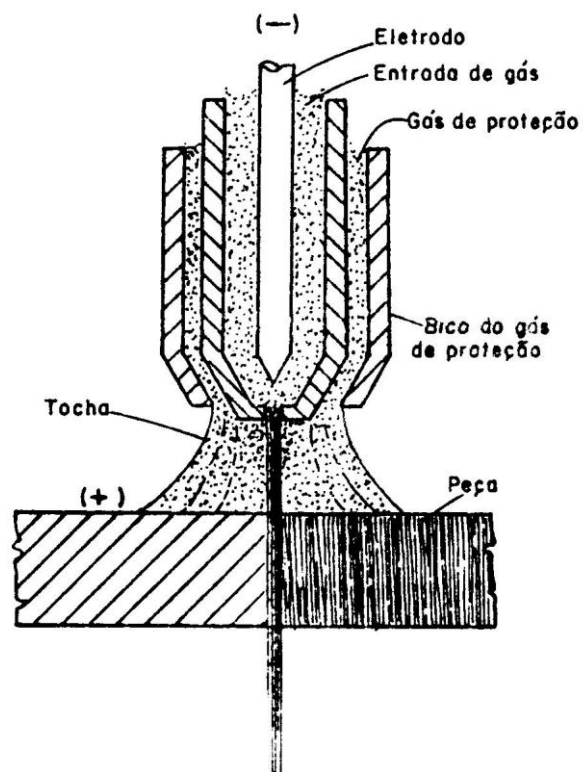


Fig. 80

Pode ser utilizado no corte manual, com maçarico portátil, ou em corte mecanizado, utilizando-se máquinas extremamente precisas e dispositivos especiais de traçagem.

O seu maior uso é no corte de aços e metais não-ferrosos de espessuras finas até médias. É muito utilizado para metais que contêm elementos de liga os quais produzem óxidos refratários, por exemplo, aços inoxidáveis e alumínio. Requer menor habilidade do operador que nos demais processos, com exceção do corte manual, em que o equipamento é mais complexo (tabela 4).

Tabela 4 - Parâmetros para corte a plasma

Materia l	Espessura	Corrente	Largura do canal	Velocidade do avanço	Consumo do gás		
	mm	A	mm	mm/min	Ar	H ₂	N ₂
Aço de alta liga	2	50	2.0	1600	5	-	10
	5	50	2.0	1000	12	8	-
	5	50	2.0	1800	12	8	-
	10	100	3.0	800	12	8	-
	20	100	3.0	400	12	8	-
	20	250	4.5	800	15	12	-
	40	250	4.5	300	15	12	-
	60	250	4.5	150	15	12	-
	125	500	9.0	100	30	15	-
Alumínio	5	50	2.0	1500	12	8	-
	5	100	3.0	2500	12	8	-
	10	100	3.0	1200	12	8	-
	20	100	3.0	600	12	8	-
	40	250	4.5	500	15	12	-
	85	250	4.5	150	15	12	-

No processo de corte a plasma, usa-se um arco constrito atirado entre um eletrodo, resfriado à água, e a peça. O orifício que restringe o arco também é resfriado por água. No processo, é utilizada a corrente contínua com eletrodo negativo.

A qualidade da superfície de corte é superior a dos demais processos, devido à elevada temperatura encontrada.

Características do processo

Em função das espessuras das peças, que variam de 6 a 150mm, pode-se atingir velocidades de corte de 10 a 450m/h.

A faixa de corrente utilizada varia de 70 a 1.000A, em função da superfície de corte de que se necessita. Além do seguimentos necessários - fonte de energia, sistema de refrigeração e maçaricos - há os gases consumíveis, que são oxigênio combinado com um gás que pode ser argônio, hidrogênio ou nitrogênio.

Atualmente, utiliza-se uma mistura de argônio e hidrogênio, com a qual se obtêm uma potência e uma qualidade de corte muito superiores ao hidrogênio.

Goivagem

Goivagem a gás

A operação de goivagem está intimamente ligada à de soldagem. A goivagem a chama consiste na remoção do material, trabalhando-se com o eixo do bico do maçarico inclinado de 25 a 35° em relação à superfície da chapa a ser trabalhada, conforme mostra a Figura 81. O metal goivado é removido por meio de jato de oxigênio a pressão, ocasião em que a escória formada também é eliminada (Figs. 82 e 83). Este método de goivagem é empregado principalmente na limpeza e acabamento da raiz de solda, na remoção de cordões de solda defeituosas e em confecções de canais de solda.

Preaquecimento da peça

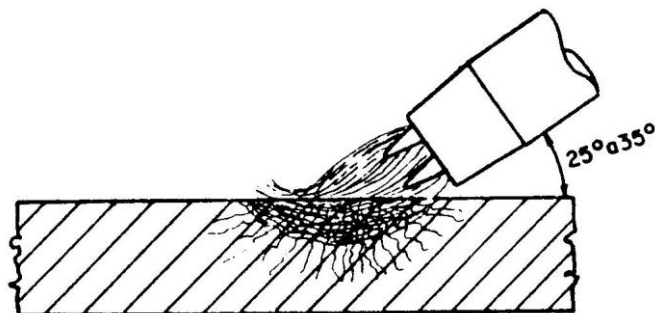


Fig. 81

Início da goivagem



Fig. 82

Goivagem da peça

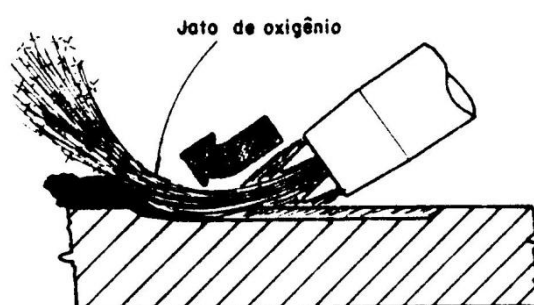


Fig. 83

Goivagem a arco elétrico

A goivagem a ar com arco elétrico é outro processo muito empregado. Nele, o arco é gerado entre um eletrodo de carvão revestido de cobre e o metal-base, conforme ilustração da Figura 84.

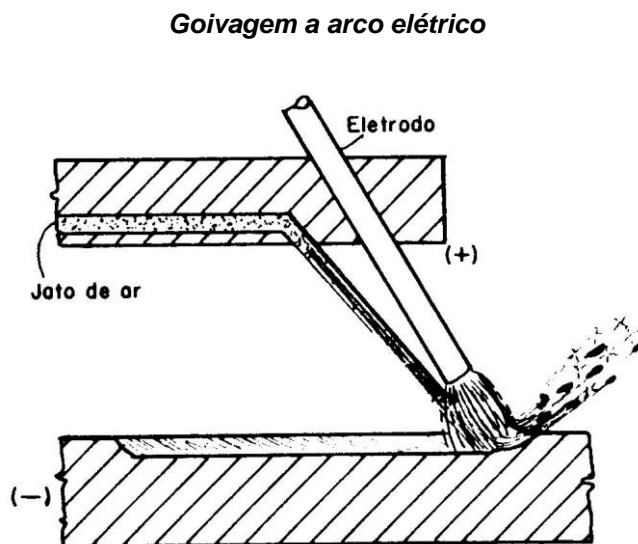


Fig. 84

No porta-eletrodo existe um orifício em que flui o jato de ar comprimido, o qual executa a mesma função do oxigênio, apresentada no método anterior, ou seja, após provocar a oxidação, remove a escória fundida. O processo utiliza a corrente contínua com polaridade inversa.

As Figuras 85 e 86 apresentam esquematicamente as operações na goivagem a arco elétrico e a ar comprimido, utilizando-se eletrodos de carvão revestidos, bem como alguns parâmetros de operação.

Goivagem a arco elétrico e ar comprimido

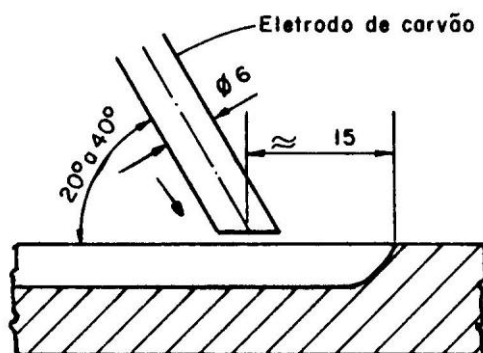


Fig. 85

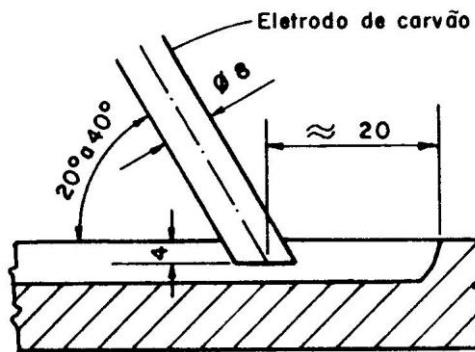


Fig. 86

Corrente: 260 a 800A

Avanço: 350 a 550mm/min

Quantidade de ar comprimido: 187 a 626 l/min.

Pressão: 4 a 6 bar

Nos processos mais atuais, utilizam-se eletrodos que já possuem um canal interno, através do qual flui o jato de ar comprimido.

O ar é injetado a uma pressão de 60 a 70N/cm^2 (50 a 100ls/pol^2)

Goivagem a arco elétrico e oxigênio

Através deste processo, pode-se executar goivagem em materiais ferrosos e não-ferrosos e suas ligas, bem como em aços de baixa liga. Podem-se também, em casos especiais, executar, de modo simples e rápido, furos de 6 a 9mm em chapas de aço de até 200mm de espessura. Como apresenta a Figura 87, o eletrodo é construído de um tubo metálico de paredes finas, possibilitando o fluxo de oxigênio a alta pressão. Seu diâmetro externo situa-se entre 1,5 e 3,5mm.

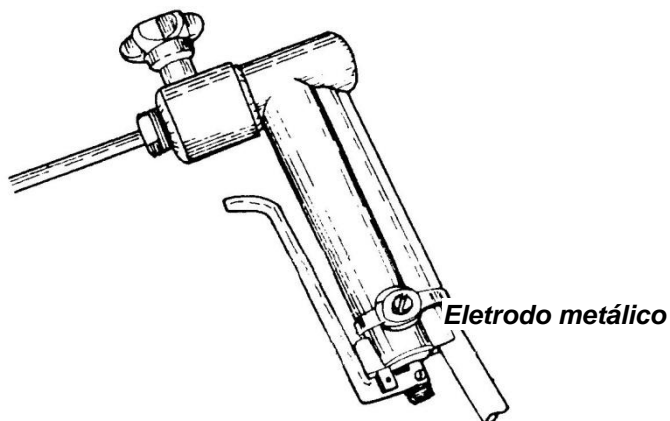


Fig. 87

Entre as vantagens, pode-se salientar a elevada velocidade de trabalho - em torno de 1000mm/min.

As Figuras 88 e 89 apresentam operações de goivagem do processo, bem como alguns parâmetros do trabalho.

Goivagem a arco elétrico e oxigênio

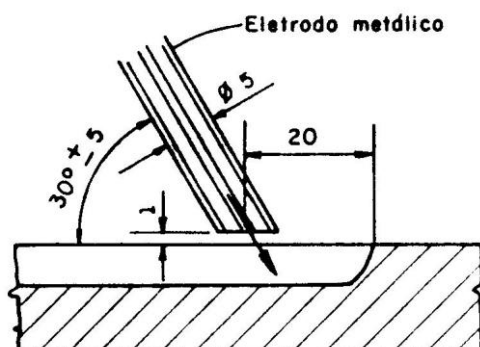


Fig. 88

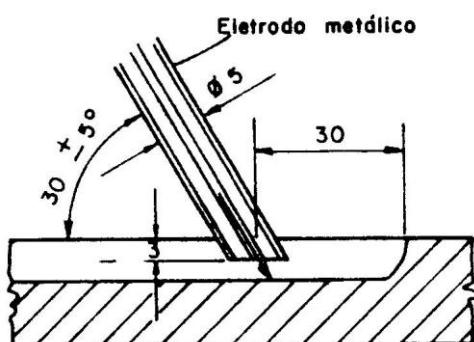


Fig. 89

Corrente: 110 a 350A

Avanço: 750mm/min

Quantidade de oxigênio: 150 a 316 l/min

Pressão: 3 bar

Considerações

A goivagem a arco elétrico apresenta uma eficiência 2 a 3 vezes maior que nos processos a gás, além de provocar uma zona termicamente afetada mais estreita, influenciando de forma reduzida o metal-base.

Esses fatores fazem com que sua utilização atualmente seja bem maior que a goivagem a gás.

Soldagem a arco elétrico

Introdução à eletrotécnica

A corrente elétrica e o campo magnético não são visíveis, porém se conhecem os seus efeitos, os quais podem ser:

Efeito da luz

A Figura 90 apresenta uma lâmpada, a qual gera uma certa quantidade de luz, através do efeito da corrente elétrica.

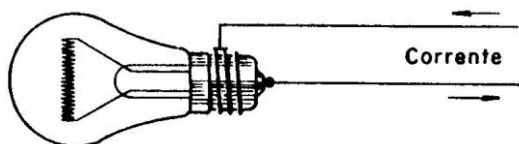


Fig. 90

Efeito do calor

A Figura 91 apresenta a geração de calor produzido por uma resistência elétrica, por onde flui uma determinada corrente.

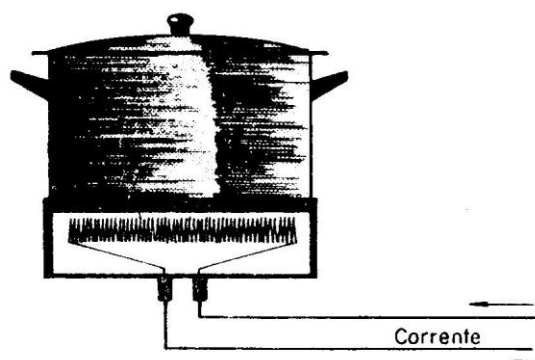


Fig. 91

Efeito magnético

Como se apresenta na Figura 92, a corrente elétrica, ao fluir numa bobina, magnetiza a peça-núcleo.

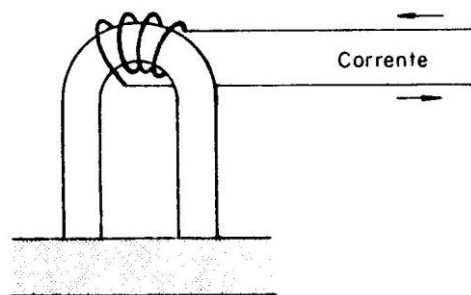


Fig. 92

O motor da Figura 93 é um exemplo de efeito da força do campo magnético, gerado pela corrente elétrica que transforma em rotação a força eletromotriz.

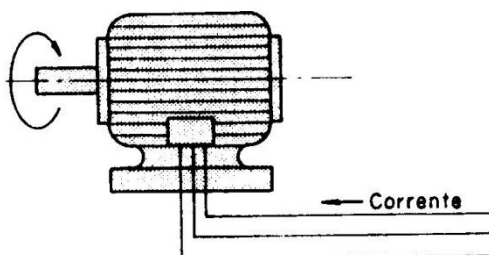


Fig. 93

Efeito químico

Um efeito da corrente elétrica no campo da química é apresentado na Figura 94, onde se verifica a decomposição da água H_2O em oxigênio O_2 e hidrogênio 2H_2 .

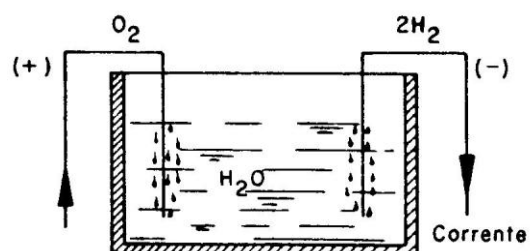


Fig. 94

Em geral, forma-se um campo magnético, por onde flui uma determinada corrente elétrica. Por exemplo:

⇒ Em torno de um condutor elétrico (Fig. 95).

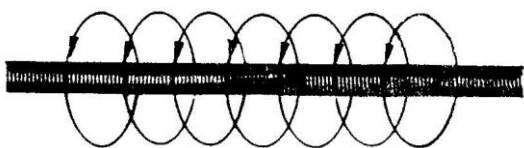


Fig. 95

□ Em torno de um arco elétrico gerado (Fig. 96).

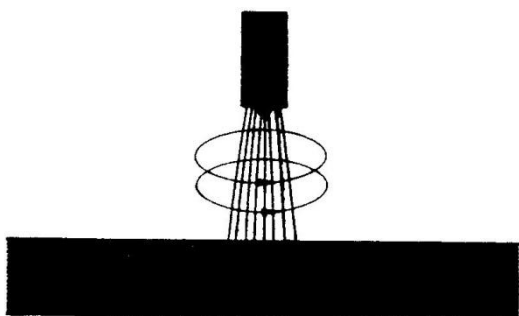


Fig. 96

⇒ No interior e em torno de uma bobina (Fig. 97).

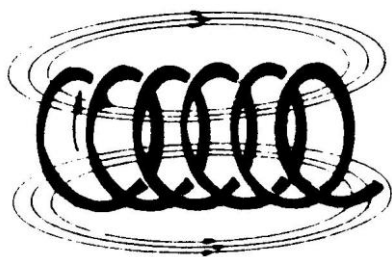


Fig. 97

Para que possa haver um fluxo de corrente, o circuito de início deve ser fechado (Fig. 98).

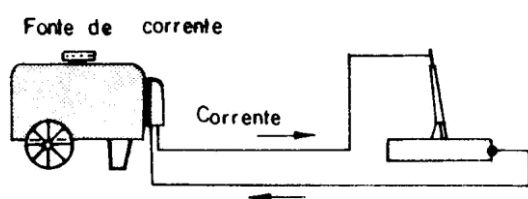


Fig. 98

A corrente pode ser contínua ou alternada.

-
- intensidade da corrente elétrica é medida em ampère (**A**). Quanto maior a amperagem, maior será o efeito da corrente elétrica, sob as mesmas condições (Fig. 99).

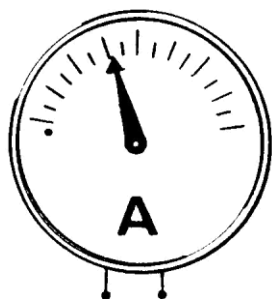


Fig. 99

A tensão elétrica é medida em volt e, sob as mesmas condições, quanto maior a voltagem, maior será a corrente, bem como sua intensidade em **A**, que passará pelo condutor (Fig. 100).



Fig. 100

A resistência à passagem da corrente elétrica por um determinado material chama-se de resistência elétrica, que é medida em **ohm**.

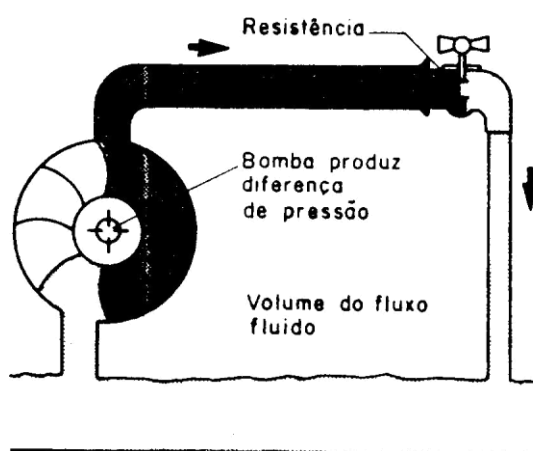
Quanto maior for a resistência elétrica, maior deve ser a tensão para que se tenha a mesma corrente fluindo no condutor.

Numa tensão constante, verifica-se:

- 1) grande resistência - baixa corrente
- 2) pequena resistência - alta corrente

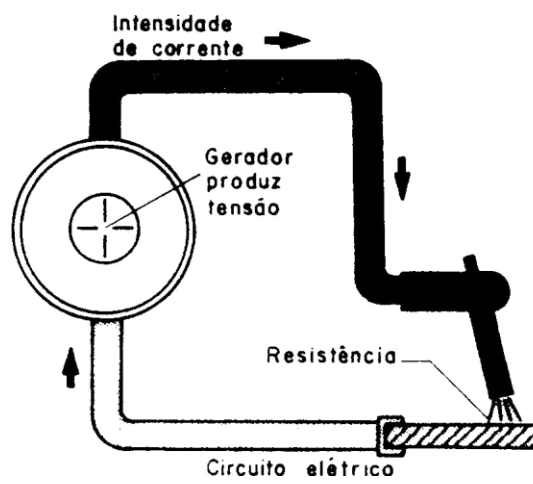
Comparação entre o circuito hidráulico e o circuito elétrico na soldagem

Observando-se os dois circuitos (Figs. 101a e 101b), pode-se notar a semelhança entre ambos. Possuem um elemento gerador de fluxo, bem como um elemento que oferece uma determinada resistência. No circuito elétrico de soldagem, essa resistência ocorre no arco elétrico.



Circuito hidráulico

Fig. 101a



Circuito elétrico

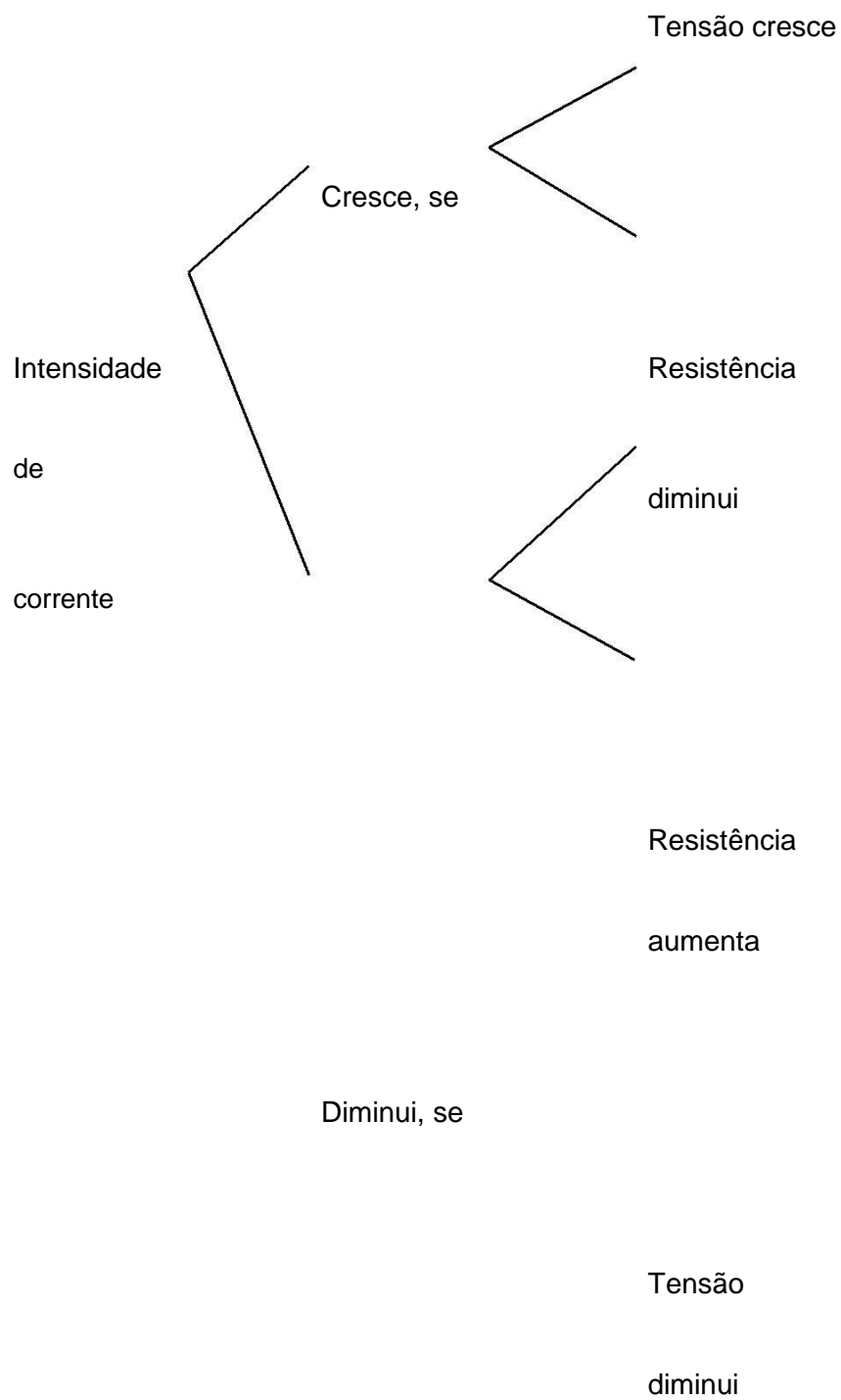
Fig. 101b

A tabela 5 apresenta um resumo das equivalências entre os dois circuitos, assim como as unidades das grandezas do circuito elétrico.

Tabela 5 - Grandezas nos circuitos

Hidráulico		Elétrico	Unidades
Diferença de pressão	→	Diferença de potencial (tensão)	V (volt)
Volume de fluxo fluido	→	Intensidade de corrente	A (ampère)
Resistência ao escoamento	→	Resistência elétrica	Ω (ohm)

A interdependência existente entre a intensidade de corrente, a tensão e a resistência é verificada segundo a Lei de Ohm. O conhecimento dessa interdependência é muito útil para que se entenda o que ocorre em um circuito elétrico de soldagem.



Materiais condutores de corrente elétrica

Os metais em geral são bons condutores de corrente, pois possuem uma baixa resistência elétrica. Isso se aplica em especial ao cobre, o qual é amplamente empregado em cabos para condução de corrente elétrica (Fig. 102).

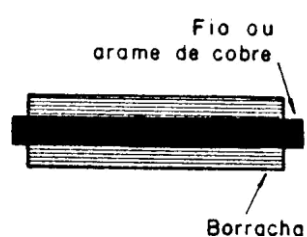
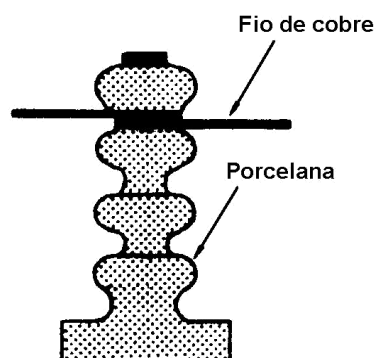
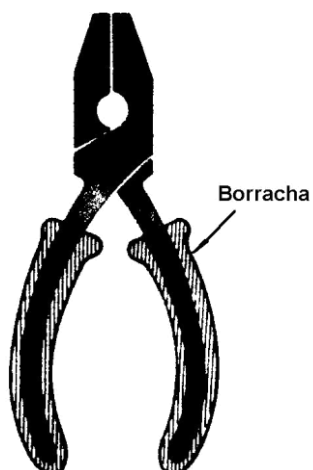


Fig. 102

Os materiais mal condutores de corrente elétrica, como porcelana, massa cerâmica, borracha, plástico, possuem uma certa resistência elétrica. Por serem mal condutores, são empregados como materiais isolantes (Figs. 103 e 104)



Alicate de eletricista

Fig. 103

Isolador

Fig. 104

O arco elétrico

É uma descarga elétrica mantida em meio ionizado, com desprendimento de intenso calor e luz.

Compara-se o arco elétrico a um raio que queima, porém, durante um certo tempo. No arco elétrico, tem-se também um circuito fechado. A diferença entre outros circuitos fechados, é que, no caso de arco elétrico, a corrente flui através da atmosfera por uma pequena distância, mesmo o ar não sendo bom condutor (Fig. 105).

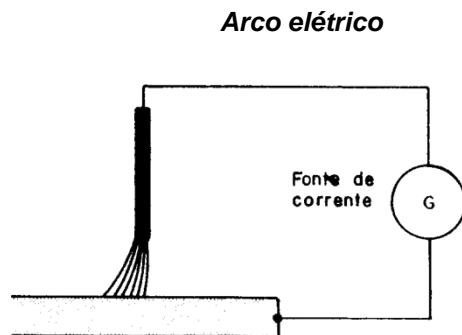


Fig. 105

No comprimento do arco elétrico, existe uma mistura de moléculas, átomos, íons e elétrons. Nesse caso, o ar é ionizado, podendo vir a ser um condutor; a corrente pode fluir, porém o arco tem de ser aberto.

Fontes de corrente de soldagem

A soldagem não pode ser executada, utilizando-se diretamente a corrente normal da rede. A tensão é muito elevada, podendo ser de 110, 220, 380 ou 440V. Com tais valores de tensão, existe perigo de vida.

Além disso, torna-se necessária uma elevada intensidade de corrente, a qual provocaria danos na rede, em função da sua

pequena secção de condutores. A rede não suportaria a sobrecarga.

Com relação à fonte de corrente de soldagem, devem-se fixar exigências especiais.

- ☐ A tensão em vazio permitida para corrente alternada deve ser no máximo 70V. No caso de corrente contínua, máximo 100V, em função do risco de vida.
 - ☐ Na própria soldagem, ocorre uma crescente intensidade de corrente e redução de tensão (tensão de trabalho, na intensidade de corrente regulada na máquina \Rightarrow potência = V.A. (Volt Amper)).
 - ☐ No curto-circuito, a intensidade de corrente não deve ultrapassar um determinado valor limite. A tensão para abrir o arco deve ser rapidamente atingida.
-

Máquinas de solda

São equipamentos destinados a fornecerem ao circuito elétrico de soldagem a tensão e a corrente necessárias para ignição e funcionamento estável do arco elétrico.

Existem três tipos de máquinas utilizadas na soldagem.

Transformadores: fornecem corrente alternada para a soldagem.

Geradores e retificadores: fornecem corrente contínua para a soldagem.

Transformador para soldagem

Os transformadores de soldagem podem apenas ser conectados à corrente alternada e fornecem só esse tipo de corrente.

Isso está relacionado com a contínua variação do campo magnético na bobina primária, onde circula apenas corrente alternada. Essa constante variação ou alternância do campo magnético gera corrente na bobina secundária (Fig. 106).

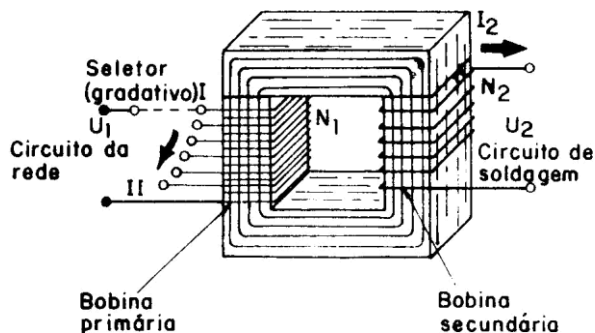
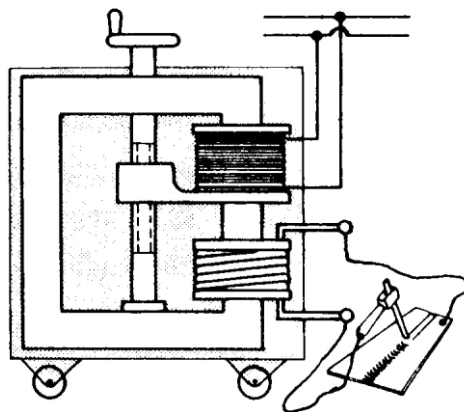


Fig. 106

Nos transformadores, modifica-se apenas a tensão da corrente alternada. Pode ser do tipo monofásico ou trifásico e ser alimentado com tensões de 110, 220, 380 e 440V.

Os transformadores, sendo máquinas para soldagem com corrente alternada, não têm polaridade definida e só permitem o uso de eletrodos apropriados para esse tipo de corrente.

A máquina normalmente dispõe de dois terminais para ligação de cabo terra e porta-eletrodo (Fig. 107).



Representação esquemática de um transformador de solda de alta potência com comutador especial para chapas finas.

Gama de regulação da corrente: 20 a 80A

Diâmetro do eletrodo: 1 - 4mm

Secção do cabo de solda: 25mm²

Fig. 107

Na maioria dos casos, tem um dispositivo volante com o qual se regula a intensidade da corrente (Fig. 107).

Observação: Em função do consumo de potência em trabalhos de longa duração utilizando-se eletrodos de diâmetros maiores, deve-se ter o cuidado de selecionar-se a máquina com potência adequada.

Junto à Figura 107, existem algumas especificações de um transformador.

Desvantagens dos transformadores

- ☐ Desequilibram a rede de alimentação, devido à sua ligação monofásica.
- ☐ Devido à alternância da corrente de soldagem, que passa por zero a cada semiperíodo, a tensão em vazio da máquina (42V) precisa ser elevada, a fim de possibilitar-se o reacendimento do arco elétrico.
- ☐ Não podem ser usados com eletrodos que não proporcionem boa ionização da atmosfera por onde flui o arco elétrico.

Vantagens dos transformadores

- ☐ Eliminam o risco de surgimento do sopro magnético, que provoca uma fusão desigual do eletrodo e defeito na solda, principalmente inclusões de escória.
- ☐ Baixo custo de equipamento.
- ☐ Baixo custo de manutenção.

Geradores de solda

São máquinas rotativas que possuem um motor elétrico ou motor de combustão interna, acoplado a um gerador de corrente elétrica contínua, destinada à alimentação do arco elétrico (Fig. 108).

Gerador de solda

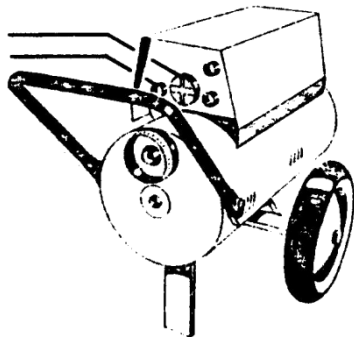


Fig. 108

Quando acoplados a motores elétricos, necessitam de uma rede elétrica trifásica, com tensões de 220/380/440V (Fig. 109).

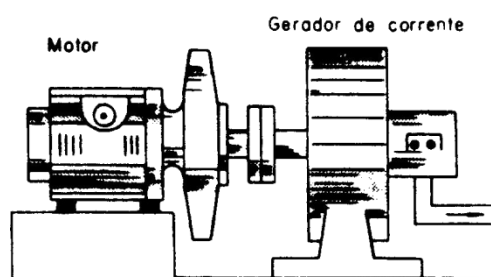


Fig. 109

Os geradores resistem bem aos trabalhos de soldagem de longa duração, à plena carga.

A ligação de motor acoplado ao gerador é do tipo estrela-triângulo.

|

Ligação estrela (\wedge)

O motor parte com baixa intensidade de corrente.

Ligação triângulo (Δ)

Neste tipo de ligação, o motor parte com intensidade total de corrente.

Princípio do gerador

No gerador, tem-se um rotor com bobinas que gira no campo magnético.

As bobinas contidas no rotor produzem corrente que será retirada através de coletores, resultando uma corrente contínua de saída (Fig. 110) para alimentar o arco.

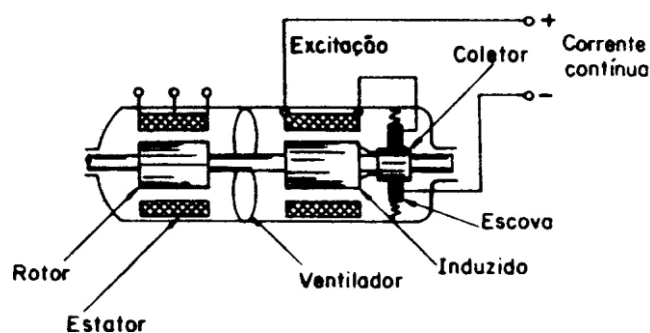


Fig. 110

Emprego dos geradores

Os geradores são largamente empregados por apresentarem os seguintes recursos:

- ☐ permitem o uso de todos os tipos de eletrodo devido à corrente contínua;

- geram sua própria energia através do acoplamento de um dispositivo girante, que pode ser um trator, motor a combustão, roda d'água, motores elétricos, etc. (Fig. 111). São muito usados em trabalho de campo por sua versatilidade.

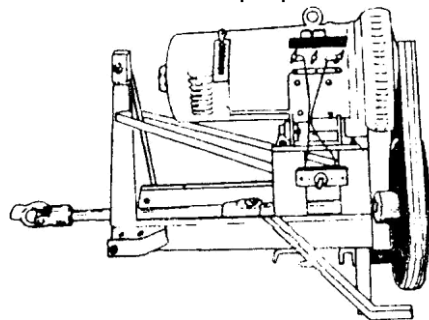


Fig. 111

Podem ser de pequeno, médio e grande portes, dependendo da exigência do trabalho a ser realizado.

Manutenção dos geradores

Por possuírem partes girantes, é necessário que se estabeleça um plano de manutenção e lubrificação. Os coletores exigem uma

limpeza planejada, bem como uma troca periódica de suas escovas.

Os geradores de corrente contínua apresentam, como desvantagem, o alto custo de aquisição em relação aos demais, bem com um alto custo de manutenção, por possuírem partes móveis.

Entretanto, apresentam de positivo a melhor estabilidade do arco elétrico.

Retificadores de soldagem

Os retificadores de soldagem são constituídos basicamente de um transformador trifásico, cujo secundário é ligado a uma ponte de retificadores. Os retificadores são elementos que somente permitem a passagem de corrente em um só sentido, portanto convertem a corrente alternada em corrente contínua de saída.

A Figura 112 apresenta uma idéia da transformação da corrente alternada trifásica numa corrente contínua pulsante pela ação dos retificadores. As pulsações se interrompem com a utilização da corrente de soldagem. Os retificadores, no que diz respeito aos custos de aquisição e de manutenção, à vantagens inerentes às máquinas de corrente contínua, isto é, operam com baixas tensões em vazio, proporcionam um regime de arco elétrico estável e permitem a utilização de qualquer tipo de eletrodo.

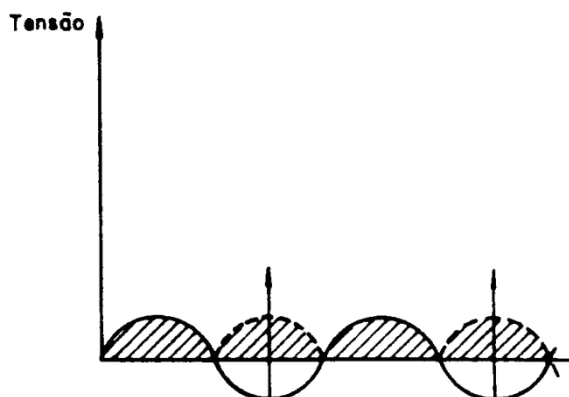


Fig. 112

Observação: Em caso de incêndio, devem ser utilizados extintores de CO₂ ou nitrogênio.

Solda a arco elétrico com eletrodo revestido

Abertura do arco elétrico

Visto que o ar não é um condutor, o arco deve ser inicialmente aberto através de um curto-circuito (Figs. 113 a 115), fazendo

com que, ao levantar-se o eletrodo (Fig. 115), a corrente flua neste instante com elevada amperagem.

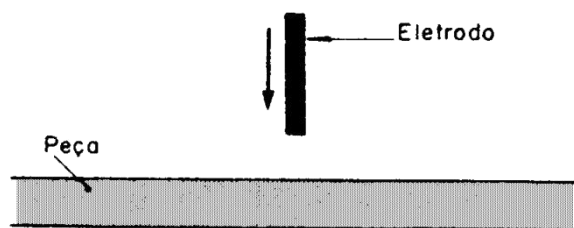


Fig. 113

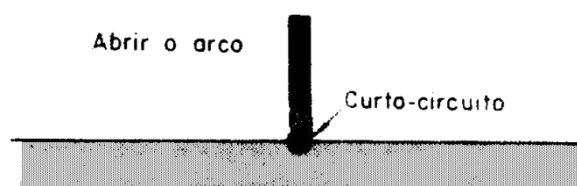


Fig. 114

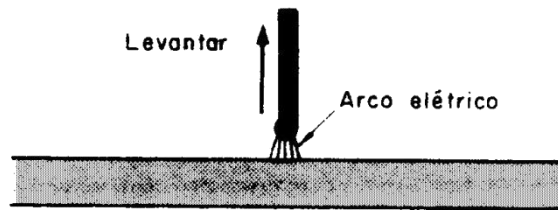


Fig. 115

A elevada corrente no instante do curto-circuito provoca um intenso aquecimento, tendo-se, portanto, uma elevada temperatura.

A elevada temperatura faz com que ocorra a fusão do eletrodo, cujas partículas fundidas passam a se transferir para a peça formando uma poça de fusão.

Formas de transferência do metal de adição

Após a abertura do arco e fusão do eletrodo, a transferência do material do eletrodo para a peça pode vir a ocorrer através de gotas fundidas de tamanhos grandes, médios ou pequenos (quase névoa) (Fig. 116).

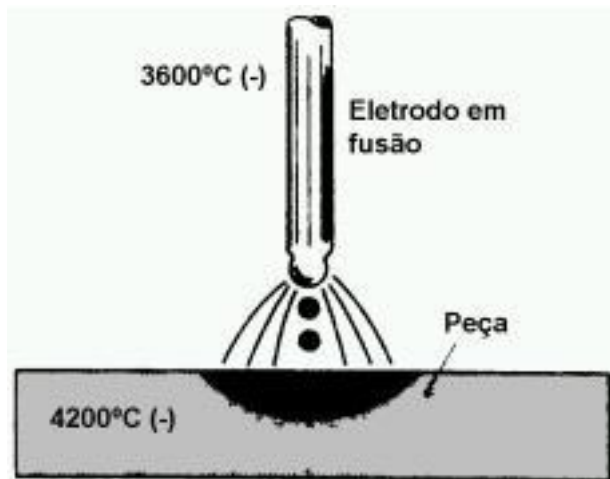


Fig. 116

O tipo de transferência depende da corrente de soldagem, composição do eletrodo, comprimento do arco elétrico e composição do revestimento.

Por exemplo, a Figura 117-1 caracteriza um processo com baixa corrente, enquanto que a Figura 117-3 caracteriza um processo com alta corrente.

Fig. 117

O revestimento do eletrodo também influencia na forma com que o material se funde.

As Figuras 118 a 120 apresentam os tipos de gotejamento.

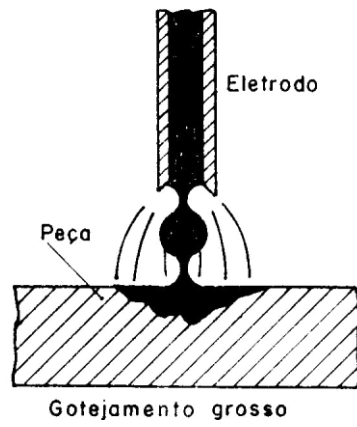


Fig. 118

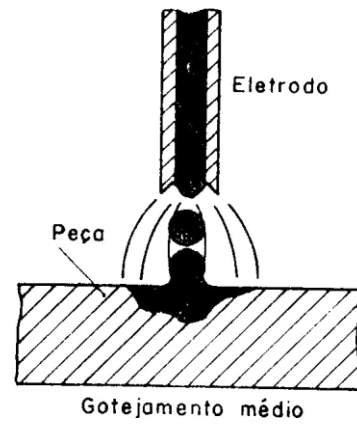


Fig. 119

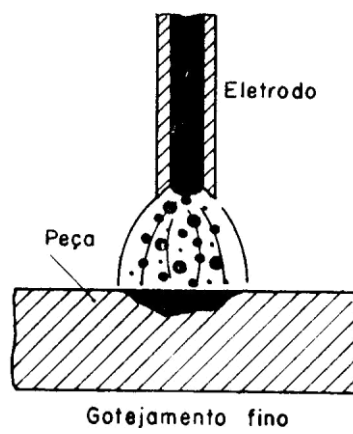


Fig. 120

O gotejamento grosso caracteriza-se por baixa corrente e nele pode ocorrer perigo de curto-circuito. Apresenta o som de estalos e chiados, possui uma maior penetração e tem uma taxa de deposição em torno de 10 a 30 gotas por segundo.

A transferência por gotejamento fino (Fig. 120) possui uma penetração menor. Ela é mais bem aplicada em revestimentos e ocorre com altas correntes. Tem um som normal e uma taxa de deposição em torno de 200 gotas por segundo.

Através do tipo de corrente, pode-se influenciar a transferência do material do eletrodo para a peça.

Com a aplicação de uma fonte de corrente contínua de soldagem, podem -se ter diferentes temperaturas na peça e no eletrodo em função da polaridade utilizada.

Essas diferenças de temperaturas na peça e no eletrodo modificam sensivelmente a deposição e a profundidade do cordão de solda (Figs. 121 e 122).

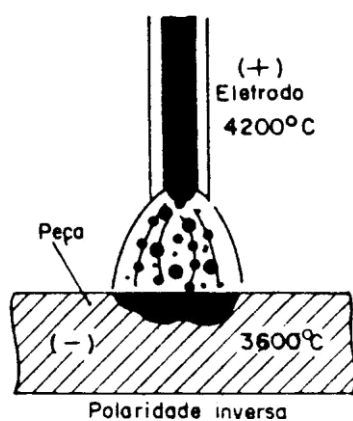


Fig. 121

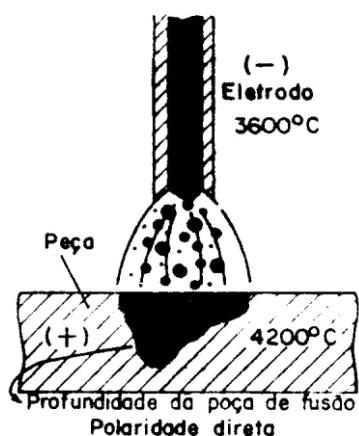


Fig. 122

Corrente de soldagem

Os geradores de corrente de soldagem fornecem a tensão e a corrente dentro de valores adequados para a operação. A tensão fica em torno de 15 a 30V em trabalho e a corrente situa-se na faixa de 60 a 300A.

A Figura 123 apresenta graficamente o comportamento da tensão no arco elétrico.

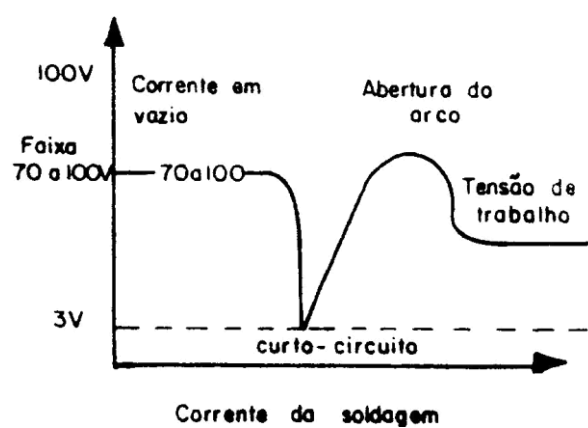


Fig. 123

Eletrodos de solda

Na soldagem a arco elétrico, o eletrodo é um elemento dos mais importantes na transferência de material. Num eletrodo não revestido ocorre, durante a transferência, a combinação de O_2 , H_2 e N_2 , existentes na atmosfera, com o metal fundido e com a poça de fusão. Os gases O_2 , H_2 e N_2 tendem a oxidar o metal de adição do cordão de solda, bem como interferir no arco elétrico, no resfriamento e na estrutura resultante (Fig. 124).

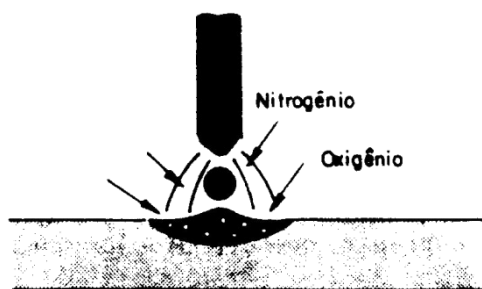


Fig. 124

O eletrodos normalmente possuem revestimentos de materiais não metálicos que, ao se fundirem, formam uma escória que, solidificando-se, atua como uma cobertura protetora do material de adição e do cordão de solda (Fig. 125).

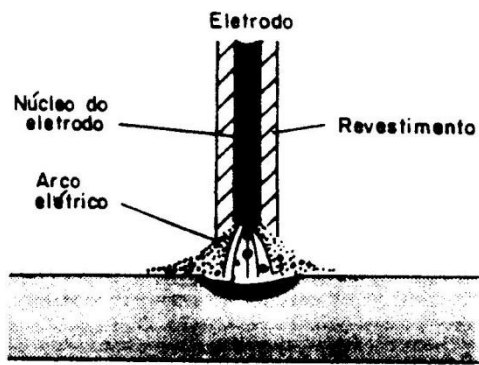


Fig. 125

Além disso, existem eletrodos que, em função da composição do revestimento, geram gases e fumaça (Fig. 126), os quais protegem o arco da ação dos gases O_2 , H_2 e N_2 , bem como o metal de adição. O revestimento torna mais fácil a fusão do eletrodo, melhorando ainda a condutibilidade elétrica na região do arco, tornando-o mais estável e de fácil condução.

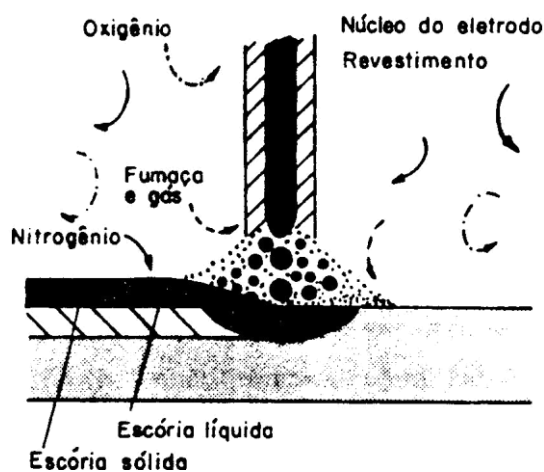


Fig. 126

Sopro magnético

O sopro magnético é um fenômeno que ocorre na soldagem a arco elétrico com corrente contínua. O arco não é gerado regularmente, encurva-se e pode até se extinguir.

A corrente que circula no condutor forma em torno dele um campo magnético (Fig. 127). No caso da corrente contínua, ele ocorre sempre em uma mesma direção.

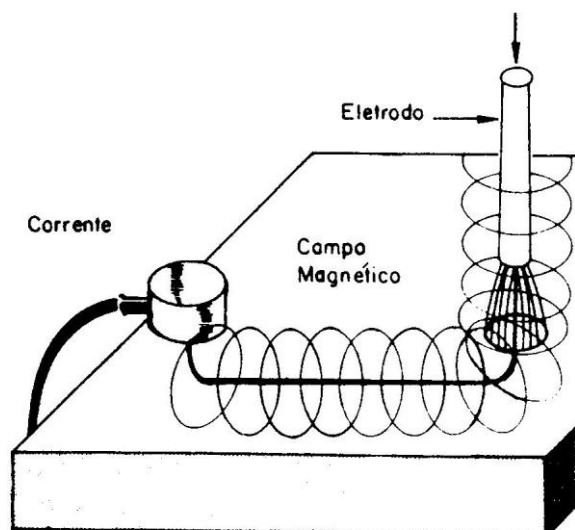


Fig. 127

O arco elétrico é uma parte da corrente que circula no condutor. Ele reage à ação do campo magnético, desviando-se e curvando-se.

Existem em geral dois tipos de desvios:

Compressão do arco

Ocorre principalmente nos materiais não magnetizáveis, como nos aços especiais, alumínio, cobre, etc.

O campo magnético comprime o arco elétrico para fora (Fig.

128).

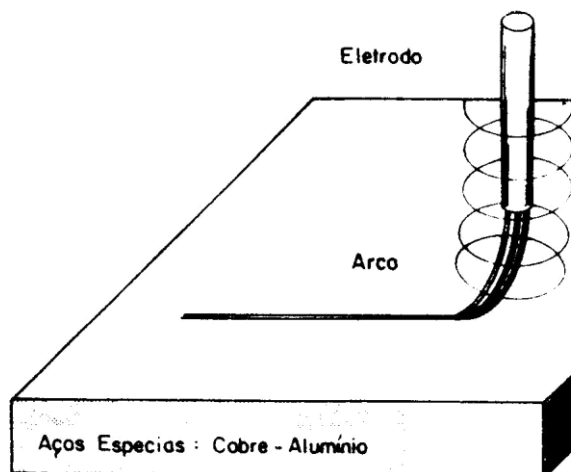


Fig. 128

Compressão da massa magnética

No aço magnetizável, a força de atração das peças magnetizadas

- muito grande; o arco desvia-se no sentido da maior massa de aço, ou seja para o meio da peça (Fig. 129).

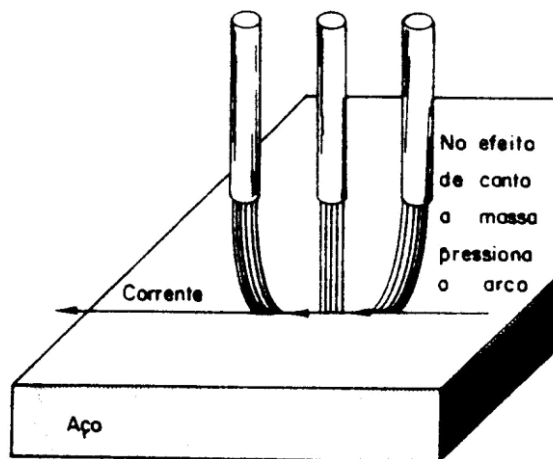


Fig. 129

Influência do sopro magnético

O sopro magnético pode causar dificuldades no controle do banho de fusão e da escória, salpicos excessivos, falta de fusão ou de penetração, redução na velocidade de soldagem, porosidades e redução de qualidade da solda executada.

Desvios do arco elétrico

O arco elétrico, em função do sopro magnético, se desviará dos seguintes modos:

- ☐ Nas extremidades da peça, no sentido para dentro (Fig. 130).

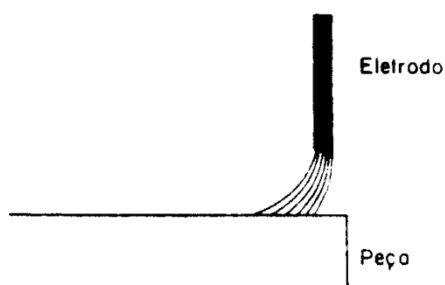


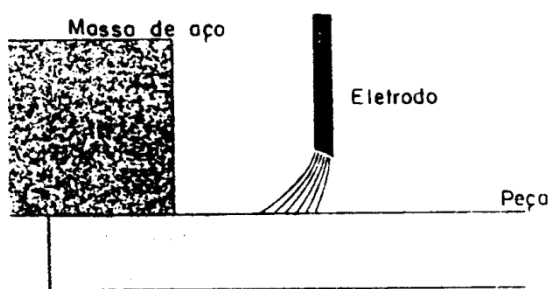
Fig. 130

- ☐ O arco elétrico tende a se desviar, encurvando-se com a tendência a distanciar-se da conexão de corrente (Fig. 131).



Fig. 131

- O arco elétrico tende a se desviar, encurvando-se na direção de concentrações de grandes massas de aço (Fig. 132).



- O desvio do arco elétrico pode ocorrer com encurvamento na junta, seguindo o sentido da corda já soldada (Fig. 133).

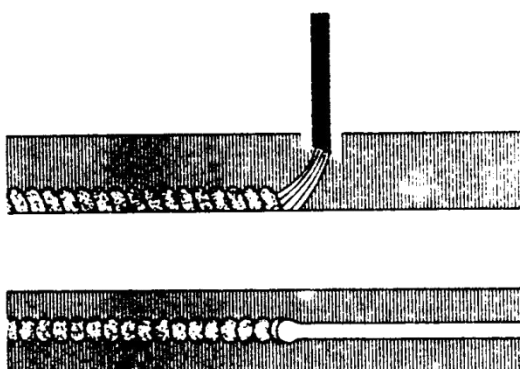


Fig. 133

Como evitar ou controlar o sopro magnético

Embora o sopro magnético não possa sempre ser eliminado, ele pode ser controlado ou reduzido a níveis aceitáveis, devendo-se, porém, conhecer alguns métodos, a saber:

- ☐ Manter o arco o mais curto possível.
- ☐ Reduzir, se possível, a corrente de soldagem.
- ☐ Inclinar o eletrodo em relação à peça, na direção do sopro (Fig.
- ☐
- ☐
- ☐ 134).

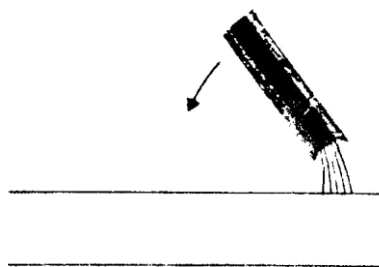


Fig. 134

- ☐ Fazer pontos de solda reforçados em ambas as extremidades e ao longo da junta, especialmente se houver muita abertura (Fig. 135).



Fig. 135

-
- ☐ Soldar na direção de um ponto de solda já executado (Fig. 136).

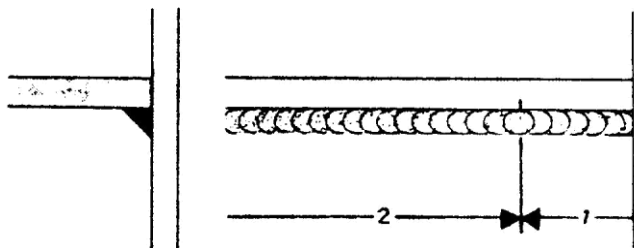


Fig. 136

- ☐ Empregar a técnica de passe à ré.
- ☐ Utilizar uma seqüência adequada de soldagem (Fig. 137).

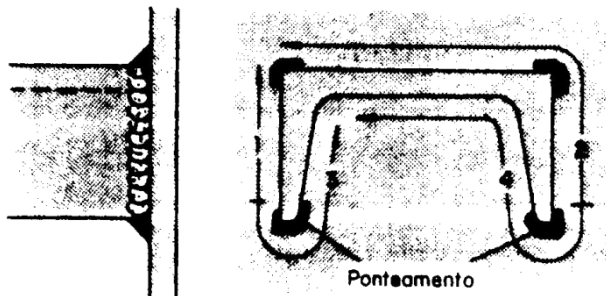


Fig. 137

- ☐ Enrolar um cabo terra em volta da peça e fazer com que a direção do campo magnético neutralize o efeito causador do sopro.
- ☐ Colocar uma massa adicional de aço para minimizar o sopro magnético (Fig. 138).

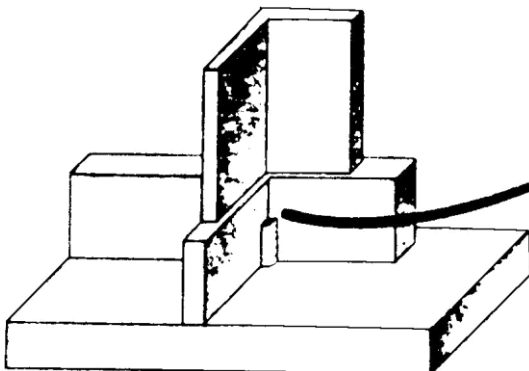


Fig. 138

CST

-
- ⇒ Embora seja raramente aplicado, pode-se também alterar a conexão de corrente (Fig. 139).

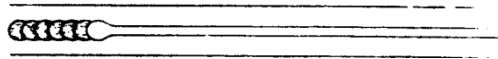


Fig. 139

- Para execução de trabalhos de soldagem que exijam o emprego de corrente acima de 250A, utilizar um transformador de correntes alternadas. Porém, observar que não se aplica a todos os tipos de eletrodos (Fig. 140).

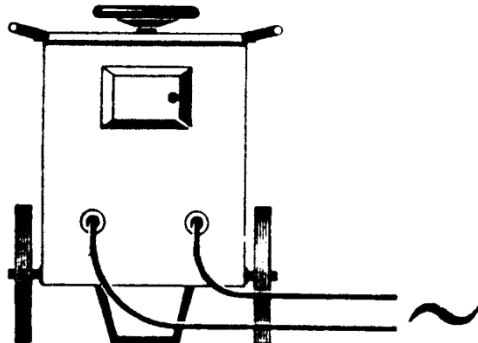


Fig. 140

Seleção dos parâmetros de soldagem

A escolha adequada dos parâmetros operacionais é de suma importância na condução da operação de soldagem a arco elétrico

com eletrodos revestidos. A seleção se faz mediante a tensão, a corrente, a velocidade e a penetração de soldagem.

Tensão de soldagem

A tensão de soldagem é regulada em função do tipo de eletrodo, mas, geralmente, para uma dada classe de revestimento, ela varia linearmente com o comprimento do arco. Arcos muito longos tendem a causar instabilidade.

Acompanhada de baixo insumo de calor, existe ainda a possibilidade de ocorrer oxidação ou nitrogenação da poça de fusão. Em consequência, a soldagem é acompanhada de muitos respingos, com baixa taxa de deposição.

O comprimento do arco deve ser ***de uma vez o diâmetro do eletrodo***, para as operações de soldagem convencionais. Dentro desses limites, a tensão de soldagem na posição plana varia de 20 a 30 volts, para diâmetro na faixa de 3 a 6 milímetros do eletrodo. Para as posições verticais e sobrecabeça, é conveniente

trabalhar com um arco mais curto e uma tensão de soldagem cerca de 2 a 5 volts mais baixa, para um controle mais eficiente da operação.

O comprimento apropriado do arco é percebido pelo próprio som produzido durante a soldagem. Um crepitar constante e uniforme denota um arco estável; crepitações e explosões indicam inadequação de comprimento do arco.

O comprimento do arco depende exclusivamente da habilidade do soldador, no caso de soldagem manual com eletrodos convencionais.

O comprimento adequado do arco proporciona uma penetração uniforme, uma alta taxa de deposição e um cordão livre de mordeduras.

Corrente de soldagem

É determinada basicamente pelo tipo de material a ser soldado e pelas características específicas da operação, como geometria e dimensões da junta, diâmetro e classe de revestimento do eletrodo, posição de soldagem, etc.

Dependendo do material, a dissipação do calor na zona de solda pode ser bastante alta, necessitando, por conseguinte, de um alto valor de corrente e muitas vezes de um preaquecimento da região a ser soldada.

Uma corrente excessivamente alta também poderá acarretar a perda de elementos de liga. Em materiais de alta liga, poderá ocasionar trincas a quente, como na soldagem dos aços austeníticos, e produzir uma zona termicamente afetada de dimensões significativas. Daí a importância da seleção cuidadosa da corrente de soldagem. Como regra prática, tem-se $40A \times \varnothing$ do eletrodo.

Tabela 6 - Parâmetros de tensão e corrente de soldagem

Dados do eletrodo		Parâmetros elétricos		
Diâmetro	secção	Tensão	Corrente média	Dens. média de corrente
mm	mm ²	(V)	(A)	A/mm ²

1,5	1,77	20	40 ± 10	~ 23
2,0	3,14	22	65 ± 15	~ 22
2,5	4,91	23	80 ± 30	~ 17
3,25	8,30	24	130 ± 50	~ 16
4,0	12,57	26	170 ± 60	~ 14
5,0	19,64	28	20 ± 80	~ 12
6,0	28,27	30	300 ± 90	~ 11
8,0	50,27	36	400 ± 100	~ 8

Velocidade de soldagem

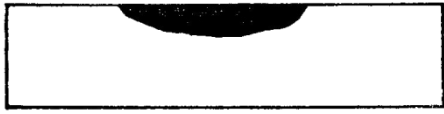
É determinada em função da classe do eletrodo, diâmetro de sua alma, da corrente de soldagem, da especificação do metal-base e de adição, da geometria da junta e precisão de montagem das peças e utilização ou não de aquecimento.

- ☐ A velocidade de soldagem praticamente independe da tensão elétrica, mas é proporcional à intensidade da corrente.
- ☐ Uma alta velocidade implica um alto valor de corrente.
- ☐ Aumento na velocidade de soldagem, sendo constantes corrente e tensão, acarreta diminuição na taxa de deposição por unidade de comprimento da solda.
- ☐ A penetração da solda aumenta até um determinado valor ótimo da velocidade de soldagem, a partir do qual começa a decrescer.
- ☐ Um acréscimo no insumo de calor.
- ☐ Um decréscimo no insumo de calor provoca um incremento na taxa de resfriamento na zona de solda, aumentando, portanto, seus efeitos prejudiciais.

A seleção da velocidade de soldagem também se constitui, juntamente com a corrente, num dos parâmetros fundamentais do processo de soldagem.

Penetração da solda

A penetração da solda (Fig. 141) é um parâmetro importante na soldagem, pois influi diretamente na resistência mecânica estrutural da junta. Essa penetração é influenciada por fatores como as propriedades do fundente ou do fluxo, polaridade, intensidade de corrente, velocidade e tensão de soldagem.



(a)



(b)

Fig. 141

(c)

Excepcionalmente, alguns eletrodos de alta penetração exigem a utilização de uma alta tensão de soldagem, mas normalmente um alto valor de voltagem acarreta um arco de comprimento demasiadamente longo, não permitindo a concentração de energia na peça de fusão e, portanto, resultando em um cordão largo e com pouca penetração (Fig. 141a)

Pode-se dizer que quanto maior for a corrente, maior será a penetração, sendo que ela será máxima à velocidade de ótima de soldagem (Fig. 141b); a velocidades superiores à considerada ótima, a penetração tende a decrescer (Fig. 141c).

Qualidades e características de uma boa soldagem

Uma boa soldagem deve oferecer, entre outras coisas, segurança e qualidade. Para alcançar esses objetivos, é necessário que os cordões de solda sejam efetuados com o máximo de habilidade, boa regulagem da intensidade e boa seleção de eletrodos.

Características de uma boa solda

Uma boa solda deve possuir as seguintes características:

Boa penetração

Obtém-se quando o material depositado funde a raiz e estende-se por baixo da superfície das partes soldadas.

Isenção de escavações

Obtém-se uma solda sem escavações quando, junto ao seu pé, não se produz nenhuma cratera que danifique a peça.

Fusão completa

Obtém-se uma boa fusão, quando o metal-base e o metal depositado formam uma massa homogênea.

Ausência de porosidade

Uma boa solda está livre de poros, quando em sua estrutura interior não existem bolhas de gás, nem formação de escória.

Boa aparência

Uma solda tem boa aparência quando se aprecia em toda a extensão da união um cordão uniforme, sem apresentar fendas nem saliências.

Ausência de trincas

Tem-se uma solda sem trincas quando no material depositado não existem trincas ou fissuras em toda a sua extensão.

A seguir, serão mostradas algumas recomendações para que se efetue uma boa solda.


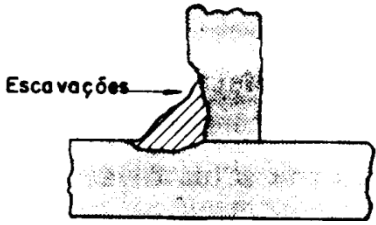

Características	Recomendações	Identificação de defeitos
Boa penetração	Use a intensidade suficiente, para obter a penetração desejada.	
	Selecione os chanfros corretamente no caso de peças que devam ser chanfradas.	
	Deixe a separação adequada entre as peças a se soldarem.	<p>Pouca penetração</p> <p>Fig. 142</p> 
Isenta de escavações	use uma oscilação adequada e com a maior uniformidade possível.	
	Mantenha a altura do arco.	<p>Escavações</p> 
		Fig. 143
Boa fusão	A oscilação deve cobrir as bordas da junta.	
	A corrente adequada produzirá depósitos e penetração correta.	
	Evite que o material em fusão deposite-se fora da união.	<p>Pouca fusão</p> 

Fig. 144

Características	Recomendações	Identificação de defeitos
-----------------	---------------	---------------------------

Limpe devidamente o material

base.

Permita mais tempo à fusão,
para que os gases escapem.



Use uma intensidade de corrente

Ausência de

apropriada.

porosidade

Mantenha a oscilação de acordo

Porosidade

Fig. 145

com a junta.

Use o eletrodo adequado.

Mantenha o arco a uma distância

apropriada.

Evite o reaquecimento por

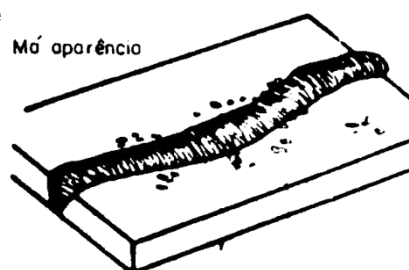
depósito excessivo.

Use oscilação uniforme.

Evite os excessos de

Boa

intensidade.



aparência

Fig. 146

Ausência de
trincas

Evite soldar cordões em fileiras,
em aços especiais.

Faça solda de boa fusão.

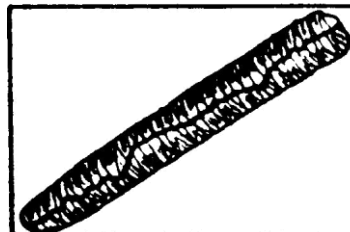
Proporcione a largura e a altura
do cordão, de acordo com a
espessura da peça.

Mantenha as uniões,
com

separação apropriada e
uniforme.

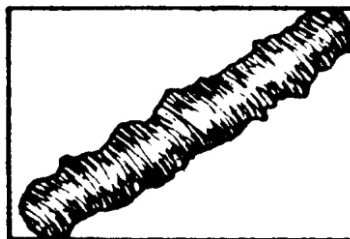
Trabalhe com a intensidade
própria para o diâmetro do
eletrodo.

Preaqueça o material de base,
em caso de peças de aço ao
carbono, de grande espessura.



a

Trinca longitudinal



b

Trincas em ambos lados

Fig. 147

Simbologia de Soldagem

Definições

A = ABERTURA DA RAIZ

Distância entre as peças a unir na raiz da junta.

(Ver **Fig. 148a**)

B = CHAPA AUXILIAR DE ESPERA

Chapa auxiliar de espera ou cobre junta.

Material usado como apoio, atrás da junta, durante a soldagem, e que tem a finalidade principal de evitar o vazamento descontrolado da solda através da fresta.

A chapa auxiliar de espera poderá ser retirada ou não, após a soldagem. (Ver **Fig. 148a**).

C = CORDÃO DE SOLDA

Metal de solda depositado em uma junta, formando um elemento contínuo. (Ver **Fig. 148a e 148b**)

D = GARGANTA DE UM FILETE (ALTURA DE UM FILETE)

Altura relativa à hipotenusa, do maior triângulo retângulo que puder ser inscrito na seção transversal do filete.

(Ver **Fig. 148b**).

E = JUNTA DE TOPO

Junta entre duas peças, topo a topo, dispostas aproximadamente no mesmo plano. (Ver **Fig. 148c**).

F = LADOS DE UM FILETE (PERNAS DE UM FILETE)

São os catetos do maior triângulo que puder ser inscrito na seção transversal do filete.

(Ver **Fig. 148b**).

G = SOLDA DE FILETE (SOLDA DE ÂNGULO)

Solda de seção transversal aproximadamente triangular unindo duas peças ortogonais. (Ver **Fig. 148b**)

H = ÂNGULO INCLUSO OU ÂNGULO DO ENTALHE

Ângulo formado pela junção das duas peças.

(Ver **Fig. 148a**).

I = NARIZ

Dimensão formada do bordo da chapa até o início do chanfro.

(Ver **Fig. 148a**).

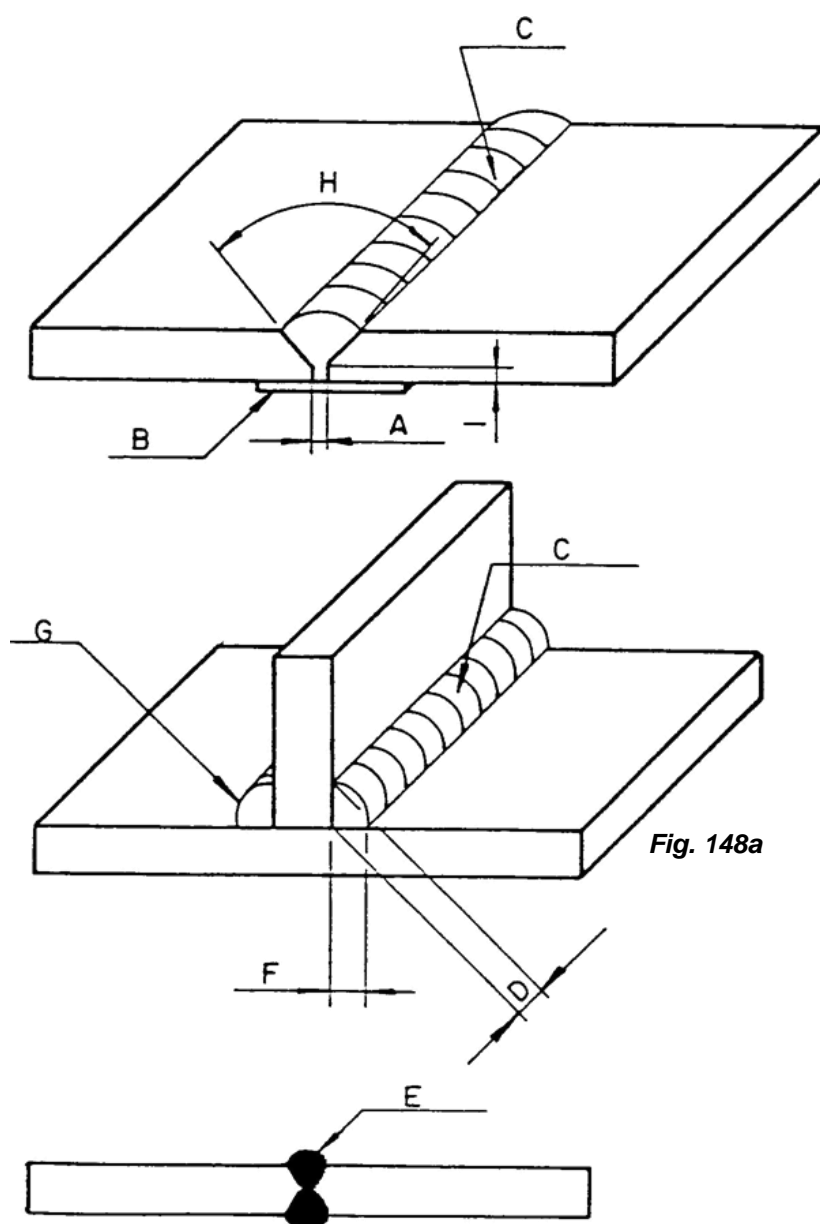


Fig. 148b

Fig. 148c

Representação dos Processos de Acabamento através de Letras

O acabamento na face da solda deve ser indicado por meio do símbolo de contorno desejado, e pela letra que defina o tipo de acabamento que se queira executar.

As letras são as seguintes:

C - Limpeza normal (Escova de aço, etc.)

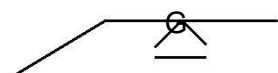
G - Esmerilhamento

H - Martelamento

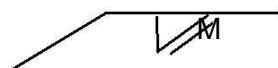
M - Usinagem

R - Aplainamento

Solda de topo nivelada c/ esmerilhamento.



Solda de filete com acabamento por



Usinagem.

Quando não houver sinal de acabamento, admite-se que a solda não sofra outro acabamento além da limpeza normal.

Todas as soldas com exceção das de bujão ou por ponto são supostas contínuas, a não ser quando indicados em contrário.

A Seta e seus respectivos símbolos devem ser aplicados tantas vezes quantas forem as mudanças bruscas de direção exceto quando o cordão for o mesmo para todo o contorno sendo neste caso empregado o símbolo correspondente.

As dimensões e os comprimentos dos cordões, assim como os espaçamentos entre eles devem ser indicados em milímetros e ao lado do respectivo símbolo.

A linha de referência deve ser sempre horizontal em relação ao desenho.

Símbolos de Soldagem

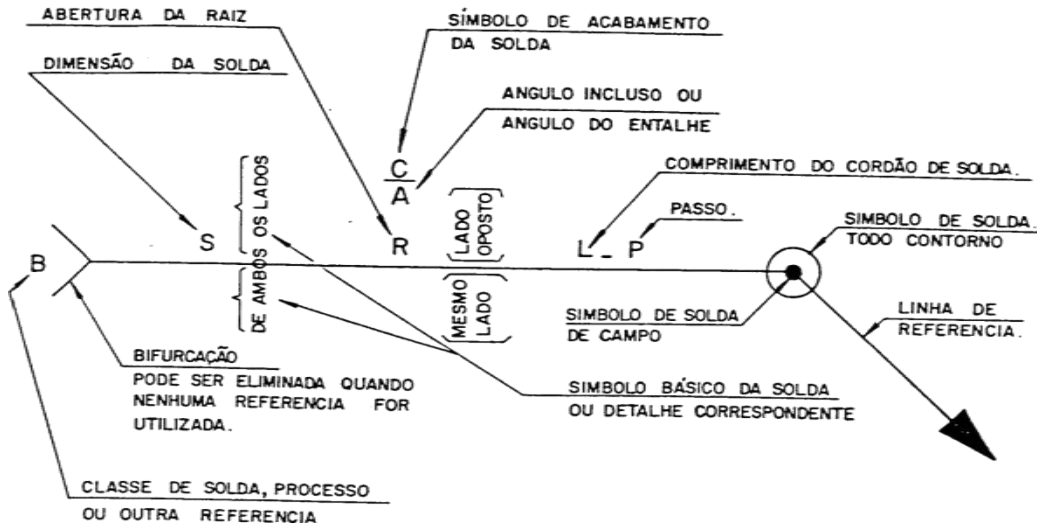


Fig. 149

Símbolos Básicos

Tipos de solda		Símbolo
Filete		
Tampão ou fenda		—
Ponto de projeção		
Contínua		—
Sem chanfro		
	“V”	∨
	Bisel	└
	“U”	

I

“J”

Borda Virada

Uma Borda virada

Lado Oposto ou Reverso


Depósito na Superfície

Entre peças curvas

Entre peças Curva e

Plana

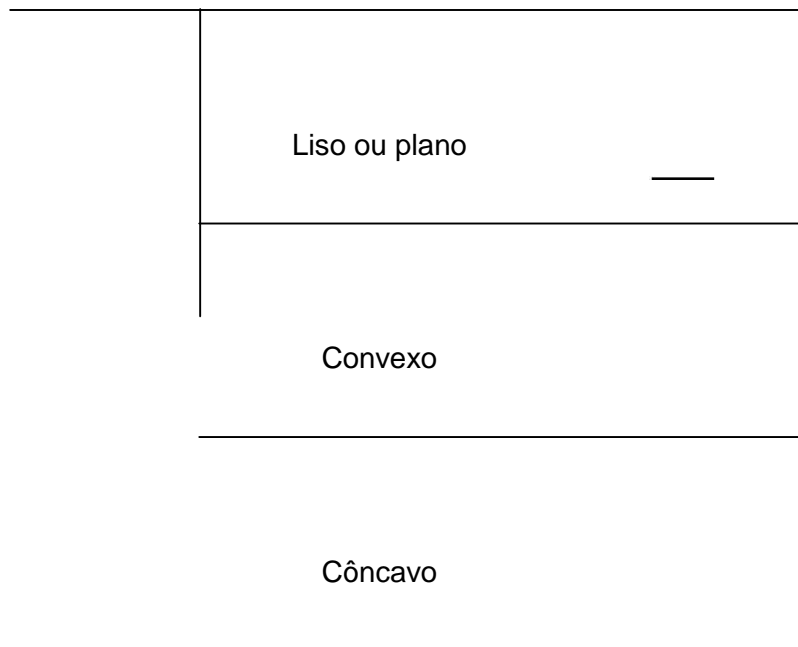
Símbolos Suplementares

Tipos de solda	Símbolo
Em todo contorno	

No campo



Penetração total



Eletrodos para soldagem a arco elétrico

Os eletrodos para soldagem elétrica ao arco podem ser nus ou revestidos. O eletrodo nu é simplesmente uma vareta metálica de

composição definida, que já foi muito utilizada no passado, tendo cedido lugar aos modernos eletrodos revestidos .

Tais eletrodos são constituídos por alma metálica, revestidos por um composto de materiais orgânicos e minerais, de dosagem bem definida .

O material da alma depende do material a ser soldado (fig. 1).

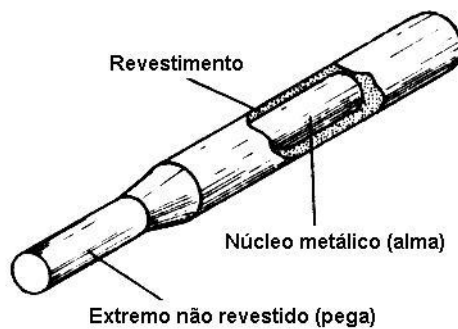


Fig. 1

Os compostos do revestimento vem sob a forma de pó, unidos por aglomerante, normalmente silicato de potássio ou de sódio.

Tipos de revestimentos

Os revestimentos ,mais comuns são os rutílicos, básicos, ácidos, oxidantes e celulósicos.

Rutílico

Contém geralmente rutilo com pequenas porcentagens de celulose e ferros-liga . É usado com vantagem em soldagens de chapas finas que requerem um bom acabamento. É utilizado também em estruturas metálicas; sua escória é solidificada e autodestacável quando utilizada adequadamente (fig. 2).

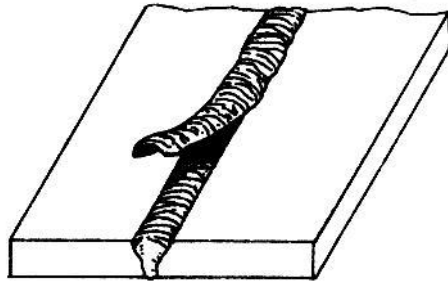


Fig. 2

Básico

Contém em seu revestimento fluorita carbonato de cálcio e ferro-liga. É um eletrodo muito empregado nas soldagens pela seguintes razões:

- ☐ possui boas propriedades mecânicas;
- ☐ dificilmente apresenta trincas a quente ou a frio;
- ☐ seu manuseio é relativamente fácil;
- ☐ apresenta facilidade de remoção da escória, se bem utilizado;
- ☐ é usado para soldar aços comuns de baixa liga e ferro fundido.

Devido à composição do revestimento, esse tipo de eletrodo absorve facilmente a umidade do ar. É importante guardá-lo em estufa apropriada, após a abertura da lata.

Celulósico

Contém no seu revestimento materiais orgânicos combustíveis (celulose, pó de madeira, etc.).

É muito usado em soldagens nas quais a penetração é muito importante e as inclusões de escória são indesejáveis (fig. 3).

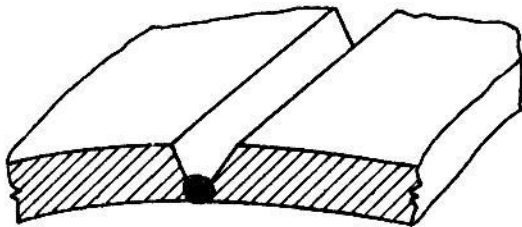


Fig. 3

Ácido

Seu revestimento é composto de óxido de ferro, óxido de manganês e outros desoxidantes. É utilizado com maior adequação em soldagem na posição plana.

Oxidante

Contém no seu revestimento óxido de ferro, podendo ter ou não óxido de manganês.

Sua penetração é pequena e suas propriedades mecânicas são muito ruins. É utilizado onde o aspecto do cordão é mais importante que a resistência.

Em função da oxidação de partículas metálicas, obtém-se um maior rendimento de trabalho e propriedades definidas (ferros-liga) (fig. 4).

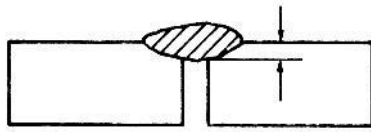


Fig. 4

Funções do revestimento

Dentre as muitas funções do revestimento, encontra-se a seguir, uma série das mais importantes:

- ☐ protege a solda contra o oxigênio e o nitrogênio do ar;
 - ☐ reduz a velocidade de solidificação;
 - ☐ protege contra a ação da atmosfera e permite a desgaseificação do metal de solda através da escória;
-

- ☐ facilita a abertura do arco além de estabilizá-lo;
- ☐ introduz elementos de liga no depósito e desoxida o metal de solda;
- ☐ facilita a soldagem em diversas posições de trabalho;
- ☐ serve de guia das gotas em fusão na direção do banho;
- ☐ serve como isolante na soldagem de chanfros estreitos, de difícil acesso.

O revestimento permite também a utilização de tensões em vazio mais baixas em corrente alternada (40 a 80V) e, conseqüentemente, redução do consumo primário, aumentando a segurança pessoal. O mesmo é válido também para corrente contínua.

Classificações dos eletrodos

Introdução

Existem várias entidades que classificam os eletrodos para soldagem a arco.

No Brasil, as classificações mais adotadas são as da **ABNT** e da **AWS**.

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AWS = American Welding Society (Associação Americana de Soldagem).

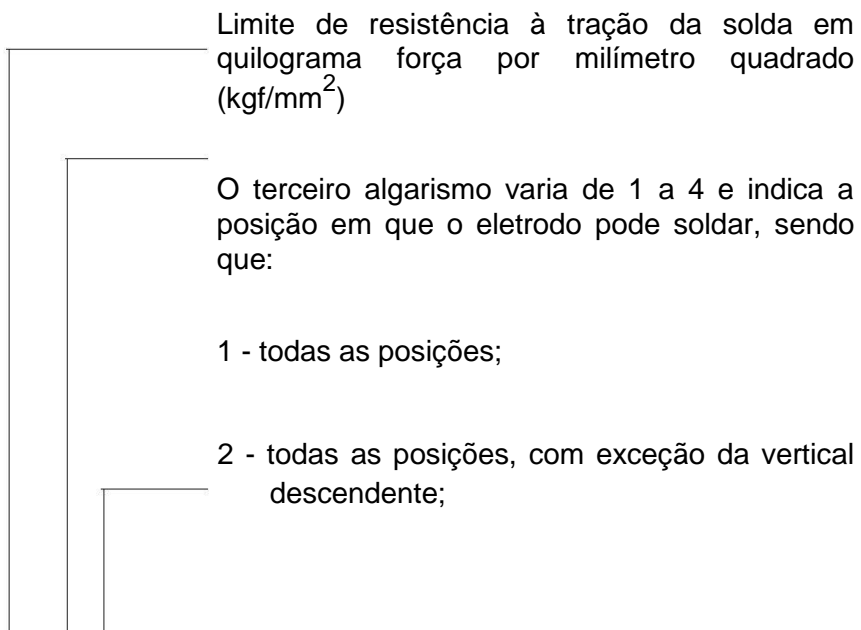
Nesta unidade, faz-se referência também à classificação segundo a norma DIN, bem como às especificações sobre as normas ASTM e JIS.

Convém salientar que existem especificações próprias dos vários fabricantes de eletrodos, porém sempre tomando-se como referência as especificações equivalentes das normas.

Classificação ABNT

Os eletrodos são identificados por quatro algarismos, seguidos de uma letra.

Os quatro algarismos básicos, identificadores do eletrodo, têm o seguinte significado:



3 - posição plana e horizontal;

4 - posição plana.

O quarto algarismo varia de 0 a 5 e indica, ao mesmo tempo, a natureza da corrente e o grau de penetração da solda, sendo que:

0 - corrente contínua e grande penetração;

1 - corrente contínua ou alternada e grande penetração;

2 - corrente contínua e média penetração;

3 - corrente contínua ou alternada e média penetração;

4 - corrente contínua e pequena penetração;

5 - corrente contínua ou alternada e pequena penetração;

4 8 1 2 - B

As letras A, B, C, O, R, T e V são utilizadas para indicar o tipo de revestimento, sendo que:

A - Ácido

B - Básico

C - Celulósico

O - Oxidante

R - Rutílico

T - Titânio

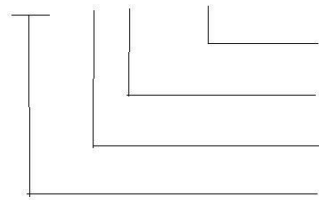
V - Qualquer outro não mencionado anteriormente

Observação: Quando à direita dessas letras aparecer a letra **F**, é porque existe adição de pó de ferro no revestimento.

Exemplos:

1. Eletrodo 4410 - C
-

4 4 1 0 - C



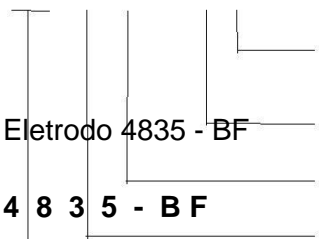
revestimento celulósico

CC - grande penetração

soldagem em todas as posições

44 kgf/mm²

2. Eletrodo 4835 - BF



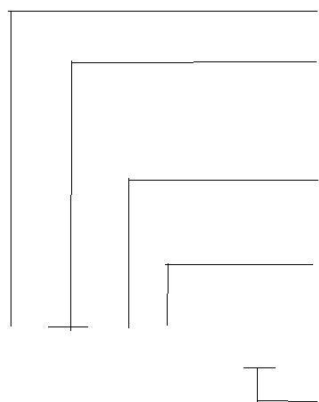
4 8 3 5 - B F

revestimento com adição de pó de

ferro

revestimento do tipo básico

CA ou CC - pequena penetração



soldagem nas posições plana e

horizontal

48 kgf/mm²

Classificação AWS

Na classificação AWS, os eletrodos para aço doce ou de baixa liga são identificados através de uma letra e quatro ou cinco algarismos. Para os de alta liga, complementa-se com letras e números ao final do símbolo. Encontram-se, no exemplo a seguir, o significado da letra e dos algarismos:

Processo

Resistência mecânica do material
multiplicada por mil

(10^3 lb/pol² ou psi)

Posição de soldagem

(tabela 2)

Tipo de revestimento

(tabela 3)

E 3 7 1 2 - C 1

Elementos de liga

(tabela 4)

Normas AWS

Tabela 2 - Posições de soldagem

<i>Número</i>	<i>Posições</i>
1	Todas
2	Plana e horizontal
3	Plana
4	Vertical, plana, horizontal e sobrecabeça

Tabela 3 - Revestimento do eletrodo e condições de soldagem

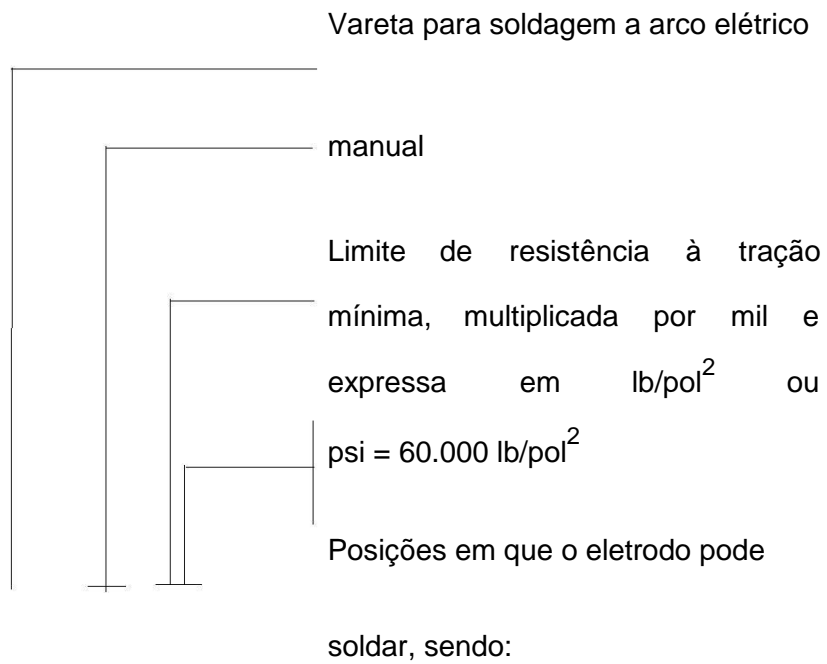
<i>Identificação</i>		<i>Revestimento</i>	<i>Corrente</i>	<i>Polaridade</i>
Posição 1	0	celulósico, sódio	CC	+
Posição 2	0	ácido, ferro óxido	CC CA	+ -
	1	celulósico, potássio	CC CA	+
	2	rutílico, sódio	CC CA	-
	3	rutílico, potássio	CC CA	-
	4	rutílico, pó de ferro	CC CA	-
	5	básico, sódio	CC CA	+

6	básico, potássio	CC	CA	+	
7	ácido, pó de ferro	CC	CA	+	-
8	básico, pó de ferro	CC	CA	+	

Tabela 4 - Elementos de liga em eletrodos

<i>Letra final</i>	<i>Elementos</i>
- A1	molibdênio
- B1, - B2, - B3, - B4, - B5	cromo, molibdênio
- C1, - C2	níquel
- C3	níquel, cromo, molibdênio
- D1, -D2	molibdênio, pouco manganês
- G	níquel, cromo, molibdênio, vanádio ou manganês

Exemplo de aplicação da norma AWS



1 - todas as posições.

Corrente continua

Polaridade inversa (+)

Revestimento celulósico

E - 6 0 1 0

A seguir, encontra-se a tabela-resumo (tabela 5) com exemplos que esclarecem o significado dos dois últimos algarismos, segundo as normas AWS.

Tabela 5

<i>Dois últimos algarismos</i>	<i>Tipo de corrente</i>	<i>Polaridade</i>	<i>Revestimento</i>
10	CC	Inversa (+)	Celulósico
11	CC ou CA	Inversa (+)	Celulósico
12	CC ou CA	Direta (-)	Rutilico
13	CC ou CA	Inversa / Direta (+ -)	Rutilico
14	CC ou CA	Inversa / Direta (+ -)	Rutilico
15	CC	Inversa (+)	Básico
16	CC ou CA	Inversa (+)	Básico
18	CC ou CA	Inversa (+)	Básico
20	CC ou CA	Direta (-)	Ácido
24	CC ou CA	Inversa / Direta (+ -)	Rutilico
27	CC ou CA	Direta (-)	Ácido
28	CC ou CA	Inversa (+)	Básico

Observação: No caso de o número ser composto de cinco algarismos, os três primeiros indicam o limite de resistência à tração.

Exemplos de classificação segundo a AWS

1. Eletrodo E-7018

Resistência à tração = 70.000 lb/pol²

Posição de soldagem = todas as posições

Tipo de corrente = CA ou CC - Polaridade CC = Inversa (+)

Revestimento básico

2. Eletrodo E-6020

Resistência à tração = 60.000 lb/pol²

Posição de soldagem = plana e horizontal (filetes)

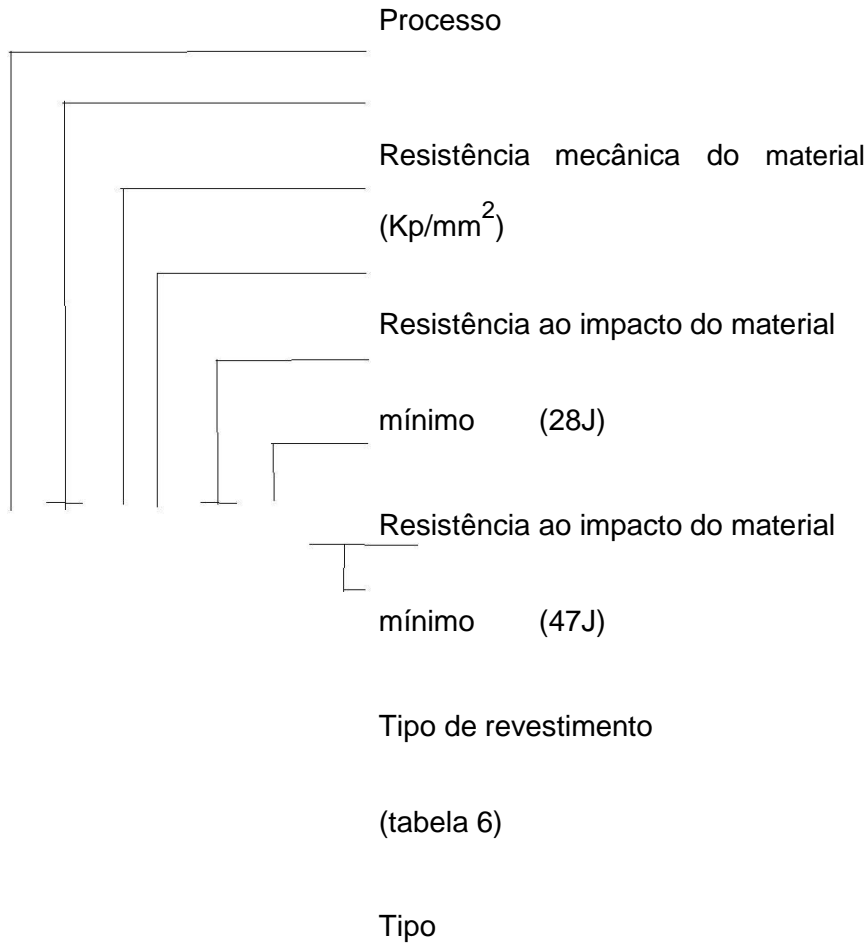
Tipo de corrente = CC ou CA

Polaridade CC = direta (-)

Revestimento ácido

Classificação DIN

Eletrodos revestidos para soldagem de aço de baixo teor de carbono e de baixa liga



E 4 3 3 2 R R 7 DIN1913

Número da DIN

Tabela 6 - Normas DIN

<i>Identificação</i>	<i>Tipo de revestimento</i>	<i>Espessura de revestimento</i>	<i>Posição de soldagem</i>
A1	ácido	fino	todas
A2	ácido	fino	todas
R2	rutílico	fino	todas
R3	rutílico	médio	todas, menos a descendente
R(C)3	rutílico celulósico	médio	todas
C4	celulósico	médio	todas
A5	ácido	grosso	todas, menos a descendente
RR6	rutílico	grosso	todas, menos a descendente
RR(C)6	rutílico celulósico	grosso	todas
AR7	ácido rutílico	grosso	todas, menos a descendente
RR(B)7	rutílico básico	grosso	todas, menos a descendente
RR8	rutílico	grosso	todas, menos a descendente
RR(B)8	rutílico básico	grosso	todas, menos a descendente
B9	básico	grosso	todas
B(R)9	básico com parte não alcalina	grosso	todas
B10	básico	grosso	todas, menos a descendente
B(R)10	básico com parte não alcalina	grosso	todas, menos a descendente
RR11	rutílico	grosso	plana
AR11	ácido rutílico	grosso	plana
B12	básico	grosso	plana
B(R)12	básico com parte não alcalina	grosso	plana

Tabela 7 - Especificações de eletrodos revestidos de aço doce, segundo a norma JIS (AWS)

Classificação JIS (AWS)	Tipo de Revestimento	Posição de Soldagem	Tipo de Corrente	Propriedades Mecânicas do Metal Depositado			
				Limite de Ruptura (kgf/mm ²)	Limite de Escoamento (kgf/mm ²)	Elongação (%)	Valor de Energia Absorvida no Ensaio Charpy-V a 0°C (kg . m)
D4301 (-)	Ilmenítico	P, V, H, SC	CA ou CC (±)	≥ 43	≥ 35	≥ 22	≥ 4,8
D4303 (-)	Cal-titânio	P, V, H, SC	CA ou CC (±)	≥ 43	≥ 35	≥ 22	≥ 2,8
D4311 (E6011)	Celulósico- potássio	P, V, H, SC	CA ou CC (+)	≥ 43	≥ 35	≥ 22	≥ 2,8
D4313 (E6013)	Rutílico-potássio	P, V, H, SC	CA ou CC (-)	≥ 43	≥ 35	≥ 17	
D4316	Básico-potássio	P, V, H, SC	CA ou CC (+)				

(E7016)				≥ 43	≥ 35	≥ 25	≥ 4,8
D4324 (E7024)	Rutílico, com pó de ferro	F, FH	CA ou CC (±)	≥ 43	≥ 35	≥ 17	
D4326 (-)	Básico-potássio, com pó de ferro	F, FH	CA ou CC (+)	≥ 43	≥ 35	≥ 25	≥ 4,7
D4327 (E6027)	Ácido, com pó de ferro	F, FH	CA ou CC (±) P/F; CA ou CC (-) P/FH	≥ 43	≥ 35	≥ 25	≥ 2,8
D4340 (-)	Especial	P, V, H, SC F, FH	CA ou CC (±)	≥ 43	≥ 35	≥ 22	≥ 2,8

Manuseio, armazenamento e secagem dos eletrodos

No que tange ao manuseio e armazenamento dos eletrodos, à sua secagem e respectiva manutenção, devem ser observados os seguintes aspectos:

- As embalagens devem ser consideradas como não estanques, para efeito de aplicação dos requisitos de secagem.
- Os eletrodos e varetas devem ser armazenados em estufas.
- Não devem ser utilizados materiais recém-chegados, para evitar-se a armazenagem prolongada dos lotes anteriores.
- Os eletrodos devem ficar em prateleiras. Na estufa de secagem, em camadas não superiores a 50mm, e na manutenção, em camadas não superiores a 150mm.
- Devem ser seguidas as instruções do fabricante sobre temperaturas e tempos de secagem. Por exemplo para os eletrodos de baixo hidrogênio, segundo a AWS, é recomendada uma secagem a 350°, $\pm 30^{\circ}\text{C}$ por uma hora, devendo ser mantidos em estufa de secagem em temperatura não inferior a 150°C.
- Devem ser elaborados formulários para controle de secagem dos eletrodos.

Equipamentos para armazenamento, secagem e manutenção da secagem

Estufa para armazenamento

Pode ser um compartimento fechado de um almoxarifado, que deve conter aquecedores elétricos e ventiladores para circulação do ar quente entre as embalagens.

A estufa deve manter uma temperatura de pelo menos 5°C acima da temperatura ambiente, porém nunca inferior a 20°C, e deve também estar dotada de estrados ou prateleiras para estocar as embalagens.

Estufa para secagem

É utilizada mais para a secagem de eletrodos revestidos de baixo hidrogênio. Deve dispor de aquecimento controlado, por meio de resistência elétrica, e de renovação do ar, por meio de conversão controlada.

Deve possuir pelo menos dois instrumentos controladores (termômetro e termostato), assim como prateleiras furadas ou em forma de grade.

Para eletrodos revestidos de baixo hidrogênio, a estufa de secagem deve manter a temperatura até 400°C (fig. 5).

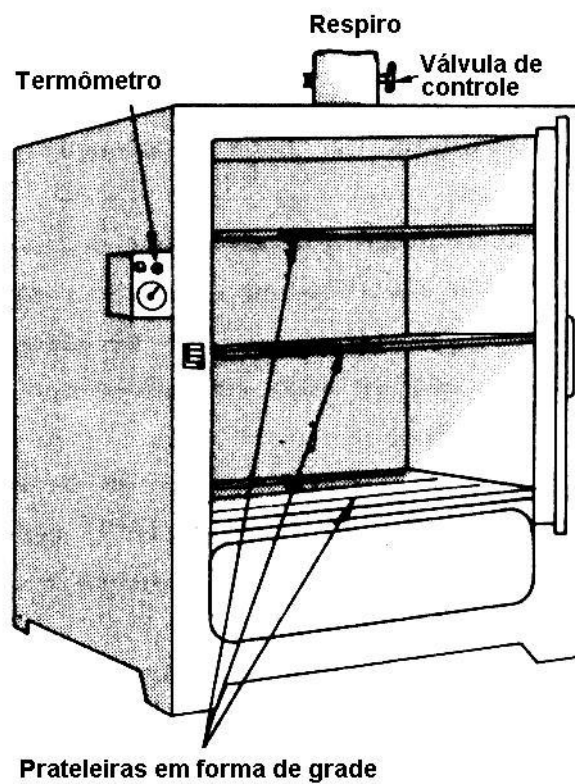


Fig. 5

Estufa para manutenção da secagem

A estufa para manutenção da secagem é normalmente de menor porte que a anterior; deve atender aos mesmos requisitos de funcionamento que a estufa para secagem, exceto quanto à temperatura, que deve atingir até 200°C. As estufas de construção cilíndrica com circulação de ar permitem uniformizar a distribuição de calor, evitando-se que a umidade se concentre em cantos mal ventilados, como nas estufas de formato retangular ou quadrado (fig. 6).

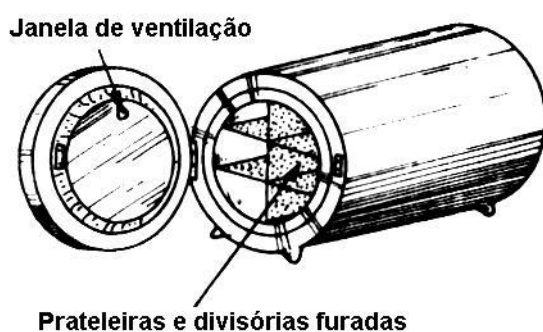


Fig. 6

Estufa portátil para manutenção de secagem

Como as demais, deve dispor de aquecimento elétrico por meio de resistências e ter condições de acompanhar cada soldador individualmente (fig. 7).

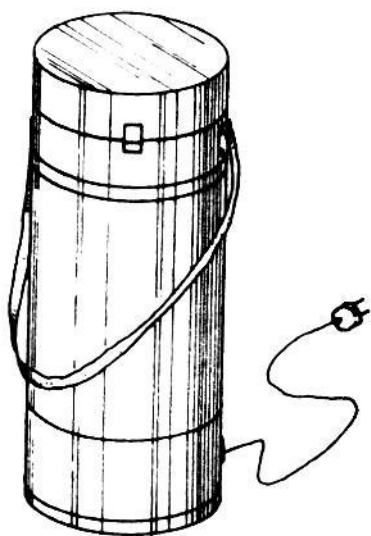


Fig. 7

Para eletrodos revestidos de baixo hidrogênio, a estufa portátil deve manter a temperatura entre 60 e 100°C .

O estado de conservação das estufas portáteis deve ser periodicamente verificado, assim como o estado da conexão elétrica das estufas com a rede de energia.

Soldagem de manutenção I

Suponhamos que o eixo excêntrico de uma prensa se quebre. O que fazer para resolver o problema sem precisar produzir ou importar outro, considerando que dias parados são contabilizados como prejuízo?

Situações como essa são comuns nas empresas e a melhor solução é a soldagem de manutenção.

A soldagem de manutenção é o tema desta e da próxima aula.

Importância

A soldagem de manutenção é um meio ainda muito utilizado para prolongar a vida útil das peças de máquinas e equipamentos. Ela promove economia para as indústrias, pois reduz as paradas de máquinas e diminui a necessidade de se manter grandes estoques de reposição.

No caso do Brasil, por ser um país em desenvolvimento industrial,

- comum a presença de empresas que possuem - em suas áreas produtivas - equipamentos e máquinas de diversas origens e fabricantes, com anos de fabricação diferentes. A situação se agrava quando alguns equipamentos e máquinas são retirados de linha ou deixam de ser fabricados.

Diante dessa realidade, é praticamente impossível manter em estoque peças de reposição para todos os equipamentos e máquinas. Além disso, no caso de grandes componentes, as empresas normalmente não fazem estoques de sobressalentes, e quando um grande componente se danifica, os problemas se agravam. Fabricar um grande componente ou importá-lo demanda tempo, e equipamento ou máquina parada por um longo tempo significa prejuízo.

Situações problemáticas como essas são resolvidas pela soldagem de manutenção, que tem como objetivo principal agir com rapidez e eficiência para que equipamentos e máquinas danificadas voltem a funcionar para garantir a produção.

Diferença entre soldagem de manutenção e soldagem de produção

A soldagem de produção é realizada dentro de condições favoráveis, isto é, as especificações são determinadas, os equipamentos apropriados encontram-se disponíveis, a composição química do metal de base é conhecida, bem como os parâmetros em que se deve trabalhar.

- na soldagem de produção que são preparados corpos-de-prova soldados com parâmetros adequados. A seguir esses corpos-de-prova são submetidos a testes destrutivos para confirmar as características mecânicas das juntas soldadas.

Ao contrário da soldagem de produção, na soldagem de manutenção existem restrições e limitações que são agravadas pela rapidez com que deve ser efetuada a recuperação do componente.

Etapas

As etapas percorridas na soldagem de manutenção são:

Análise da falha

- Analisar o local da falha.
- Determinar a causa da falha:
 - ☐ fratura;
 - ☐ desgaste;
 - ☐ corrosão.

c) Determinação do funcionamento:

☐

- ☐ solicitações (rpm);
- ☐ meios envolvidos;
- ☐ temperatura de trabalho.

d) Reconhecimento dos materiais envolvidos:

- ☐ análise química;
- ☐ dureza.

e) Determinação do estado do material:

- ☐ encruado;
- ☐ recozido;
- ☐ temperado e revenido;
- ☐ cementado.

Planejamento da execução

Após a escolha do método/processo de soldagem e do metal de adição, é necessário verificar se estão envolvidos na recuperação os seguintes fatores:

- pré-usinagem;
- deformação;
- sequência de soldagem;
- pré e pós-aquecimento;
- tratamento térmico pós-soldagem;
- desempenho;
- pós-usinagem.

Com esses cuidados, o que se deseja é eliminar as causas e não só os efeitos.

Procedimentos

De um modo geral os procedimentos para a execução de uma soldagem de manutenção devem conter, no mínimo, os seguintes passos:

- ***Fratura/Trinca***

Localizar a fratura/trinca definindo seu início e fim. Para isso deve-se utilizar o ensaio com líquido penetrante.

Identificar o material preferencialmente por meio de uma análise química e determinar sua dureza.

Preparar adequadamente a região a ser soldada de modo que se permita o acesso do eletrodo, tocha ou maçarico, dependendo do processo de soldagem selecionado.

Limpar a região a ser soldada para retirar o óleo, graxa ou impurezas que possam prejudicar a soldagem da peça / componente a ser recuperado.

Executar ensaio com líquido penetrante para assegurar que toda a fratura/trinca tenha sido eliminada.

Especificar o processo de soldagem e o metal de adição, de modo que a peça/componente recuperado mantenha suas características mecânicas, para que seja capaz de suportar as máximas solicitações durante o desempenho do trabalho, considerando ainda os meios envolvidos e a temperatura de trabalho.

□

Especificar os parâmetros de soldagem, incluindo, quando necessário, a temperatura de pré e pós-aquecimento e o tratamento térmico pós-soldagem. Especificar uma adequada sequência de soldagem para se obter o mínimo de tensões internas e deformações da peça/componente que está sendo recuperada.

Especificar o tipo de ensaio a ser realizado para verificar a qualidade da solda realizada.

□

Prever, quando necessário, um sobremetal durante a soldagem para que seja possível obter o acabamento final da peça/componente por meio de esmerilhamento ou usinagem, quando for o caso.

□

É **Desgaste/Corrosão**

Localizar a região desgastada ou corroída, definindo os limites da região a ser recuperada.

Identificar adequadamente a superfície a ser revestida através da superfície desgastada ou corroída por meio de esmerilhamento ou usinagem.

Limpar a região a ser soldada para retirar o óleo, graxa ou impurezas que possam, de algum modo, prejudicar a soldagem da peça / componente a ser recuperada.

Executar ensaio com líquido penetrante para verificar se na região desgastada não existem descontinuidades que possam comprometer a soldagem.

Especificar o processo de soldagem e o metal de adição para que a peça/componente, após recuperação, seja capaz de suportar as solicitações máximas exigidas durante o trabalho. No caso de corrosão, o metal de adição deverá ser adequado para resistir ao meio agressivo.

Especificar os parâmetros de soldagem, incluindo, quando necessário, a temperatura de pré e pós-aquecimento e o tratamento de alívio de tensões pós-soldagem.

Especificar uma adequada sequência de soldagem de modo que haja um mínimo de tensões internas e deformações da peça/componente que está sendo recuperada.

Especificar o tipo de ensaio a ser realizado para verificar a qualidade da solda aplicada.

Prever, quando necessário, um sobremetal durante a soldagem para que seja possível obter o acabamento final da peça/componente recuperada por meio de esmerilhamento ou usinagem, quando for o caso.

Tipos e causas prováveis das falhas

Falhas por fratura --- As falhas por fratura normalmente resultam de uma trinca que se propaga. A trinca surge por dois motivos: altas solicitações e fadiga do material.

Quando a peça/componente sofre solicitações acima das suportáveis, a trinca aparece em determinadas regiões. A fadiga aparece por causa das tensões cíclicas que terminam por exceder as toleradas pelo material que constitui a peça/componente. Nesse caso, as trincas se iniciam --- mesmo com tensões abaixo das tensões limites --- e se propagam. Com a propagação da trinca, as seções restantes e ainda resistentes rompem -se pelo simples fato das tensões existentes serem maiores que as suportadas pelo material.

Falhas por desgaste --- Há uma grande variedade de fatores que podem provocar o desgaste de peças/componentes de uma máquina ou equipamento. Nesse caso, para recuperação adequada com a finalidade de assegurar eficiência e segurança, os metais de solda, a serem depositados, devem ser selecionados cuidadosamente.

Para melhor compreensão dos tipos de desgastes, podemos dividi-los em classes distintas com características bem definidas. Vejamos:

1) *Desgastes mecânicos*

☐ **Abrasão**

A abrasão é um desgaste que ocorre entre superfícies que deslizam ou giram em contato entre si em movimento relativo. A abrasão provoca o desprendimento de partículas das superfícies e elas adquirem irregularidades microscópicas, mesmo que aparentemente polidas. Por exemplo: sempre há abrasão quando um eixo gira em contato com um mancal.

As irregularidades microscópicas das superfícies comportam-se como picos e vales que tendem a se encaixar. Quando as superfícies são solicitadas a entrar em movimento relativo entre si, a força de atrito gera calor e este gera microfusões entre os picos

que estão em contato. As áreas microfundidas movimentam-se e as superfícies se desgastam.

A recuperação de superfícies desgastadas por abrasão é feita depositando-se, por solda, um material mais duro e mais resistente ao desgaste. Aconselha-se não aplicar mais de duas ou três camadas de solda, para evitar a fissuração e desagregação do próprio metal de solda que apresenta baixa ductilidade.

Se a soldagem exigir camadas mais espessas, o revestimento deverá ser feito com um metal tenaz e pouco duro que se comportará como amortecedor.

□ Impacto

Materiais sujeitos a impacto sofrem deformações localizadas e mesmo fraturas. Por impacto e em condições de alta pressão, partículas metálicas dos materiais são arrancadas e, como consequência, o desgaste aparece.

Se um dado componente ou peça --- a ser recuperado por solda --- trabalha somente sob condições de impacto simples, o material a ser depositado deve ser tenaz para poder absorver a deformação sem se romper.

Normalmente, áreas de peças ou componentes que recebem impactos também sofrem abrasões. É o que ocorre, por exemplo, em moinhos e britadores que necessitam de superfícies duras e resistentes ao desgaste.

- **Erosão**

- a destruição de materiais por fatores mecânicos que podem atuar por meio de partículas sólidas que acompanham o fluxo de gases, vapores ou líquidos, ou podem atuar por meio de partículas líquidas que acompanham o fluxo de gases ou de vapores.

Geralmente, para suportar o desgaste por erosão, o material de solda deve ter dureza, microestrutura e condições de superfície adequadas.

É **Cavitação**

O fenômeno da cavitação é causado por fluidos acelerados que se movimentam em contato com superfícies sujeitas a rotações, tais como hélices, rotores, turbinas etc.

Os fluidos acelerados formam depressões que, ao se desfazerem, provocam golpes, como se fossem arietes, nas superfícies das peças sujeitas ao movimento rotacional. Esses golpes produzem cavidades superficiais que vão desgastando as peças.

A correção de superfícies cavitadas é feita por meio de revestimentos com ligas contendo 13% de cromo (Cr).

É **Corrosão**

- O desgaste de materiais metálicos também pode ser provocado pela corrosão que é favorecida por vários fatores: umidade, acidez, alcalinidade, temperatura, afinidade química entre metais etc.

Normalmente a maioria dos metais e ligas metálicas, em contato com o oxigênio do ar, adquire uma camada protetora de óxido que a protege. Se essa camada de óxido perder a impermeabilidade, a oxidação prossegue caracterizando a corrosão.

A corrosão é sanada por meio de revestimentos com materiais de solda adequados, de forma tal que venham a resistir ao meio agressivo com os quais estarão em contato.

Influência dos elementos de liga

Os eletrodos e varetas utilizados como material de adição nos processos de soldagem apresentam vários elementos de liga que lhes conferem características particulares.

Os principais elementos de liga, com suas principais propriedades, são:

ELEMENTOS DE LIGA	PROPRIEDADES
Carbono (C)	Aumenta a resistência e o endurecimento; reduz o alongamento, a forjabilidade, a soldabilidade e a usinabilidade; forma carbonetos com cromo (Cr), molibdênio (Mo) e vanádio (V).
Cobalto (Co)	Aumenta a resistência à tração; aumenta a dureza (têmpera total); resiste ao revenimento, ao calor e à corrosão.
Cromo (Cr)	Aumenta a resistência à tração, ao calor, à escamação, à oxidação e ao desgaste por abrasão. É

	um forte formador de carbonetos.
Manganês (Mn)	Aços austeníticos contendo manganês e 12% a 14% de cromo são altamente resistentes à abrasão.
Molibdênio (Mo)	Aumenta a resistência ao calor e forma, também, carbonetos.
Níquel (Ni)	Aumenta o limite de escoamento; aumenta a tenacidade; resiste aos meios redutores.
Tungstênio (W)	Aumenta a resistência à tração; aumenta a dureza; resiste ao calor; mantém cortante os gumes das ferramentas e peças e forma carbonetos.
Vanádio (V)	Aumenta a resistência ao calor; mantém os gumes cortantes e também forma carbonetos.

A recuperação de falhas por soldagem inclui o conhecimento dos materiais a serem recuperados e o conhecimento dos materiais e equipamentos de soldagem, bem como o domínio das técnicas de soldagem.

- objetivo desta aula é mostrar exemplos do dia-a-dia envolvendo a recuperação de peças por meio da soldagem de manutenção.

Elemento mecânico de ferro fundido com trinca

Localização da fratura/trinca

A localização da fratura/trinca deve ser feita de modo preciso para identificar claramente onde ela começa e onde termina.

Essa identificação pode ser realizada pelo método de ensaio por líquido penetrante. Primeiramente pulveriza-se um líquido de limpeza na peça. Depois, aplica-se o líquido penetrante na região da trinca e aguarda-se alguns minutos para que o líquido penetre no material. A seguir, limpa-se a região da trinca e pulveriza-se um líquido revelador que tornará a trinca e seus limites bem visíveis.

Furação das extremidades da trinca

As tensões atuantes nas extremidades pontiagudas da trinca devem ser aliviadas. O alívio dessas tensões é obtido por meio de dois furos feitos com uma broca de diâmetro entre 7 mm e 10 mm. Esses furos impedem que a trinca se propague.

Esquemáticamente:



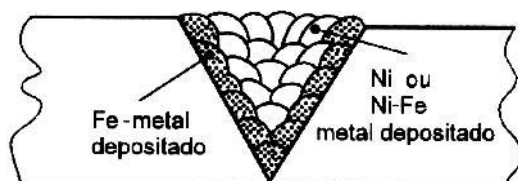
Goivagem ou chanfragem do local da soldagem

Inicialmente deve-se pensar na realização da goivagem

3) com eletrodo de corte --- com formato arredondado para favorecer a distribuição das tensões. Além disso, a preparação com eletrodo de corte proporciona uma solda sem poros, isenta de escórias, areia, óleo ou gordura. Essas impurezas sofrem combustão durante a goivagem e se gaseificam.

No caso da preparação por esmerilhamento, devem ser tomadas precauções, principalmente se o disco contiver aglomerantes plásticos. De fato, resíduos de material plástico aderem ao ferro fundido na área de soldagem. A queima desses resíduos, por meio do arco elétrico do aparelho de soldagem, provoca o surgimento de poros na solda. Portanto, se a preparação exigir esmerilhamento, deve-se escovar e limpar a superfície esmerilhada com bastante cuidado.

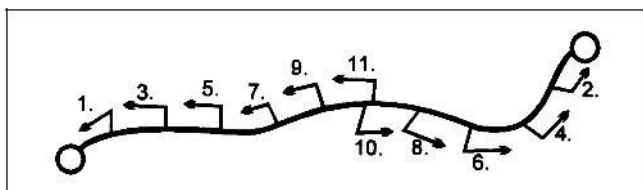
Quando a ligação da solda no ferro fundido apresentar dificuldades de estabilização em coesão e aderência, recomenda-se o uso da técnica de revestimento do chanfro (amanteigamento), conforme mostra a figura a seguir:



Para o ferro fundido há duas possibilidades de revestimentos de chanfro (amanteigamento):

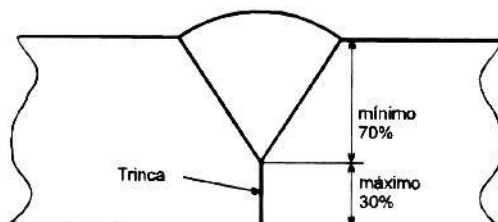
- D **Com eletrodos especiais à base de ferro** --- Nesse caso a camada de solda absorve o carbono do ferro fundido e endurece. Por essa razão, a própria junta não deve ser soldada com eletrodos especiais à base de ferro. Para completar a solda do reparo, utiliza-se um metal de adição à base de níquel ou de níquel-ferro.
- E **Revestimento do chanfro com metal de adição à base de bronzealumínio** --- Esse metal de adição adere muito bem ao ferro fundido e apresenta uma ótima afinidade com o metal de adição à base de níquel, que é utilizado posteriormente como complemento do reparo.

Conforme esquematização abaixo, soldamos alternadamente e por etapas com cordões retos e curtos com comprimento máximo de 30 mm. A máquina de soldagem deve operar com baixa amperagem. O eletrodo deve ser de pequeno diâmetro e a velocidade de soldagem tem de ser alta para evitar o excesso de calor localizado.



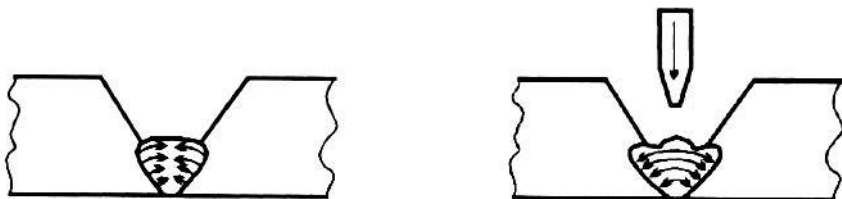
A solda alternada com cordões curtos tem a finalidade de manter um baixo aporte de calor na peça e diminuir ao máximo as tensões de soldagem e consequentemente a deformação.

Quando a finalidade da solda no ferro fundido é manter apenas a estanqueidade, não há necessidade de abranger toda a seção, mas sim uma espessura de solda de no mínimo 70% da espessura que será reparada. Esquematicamente:



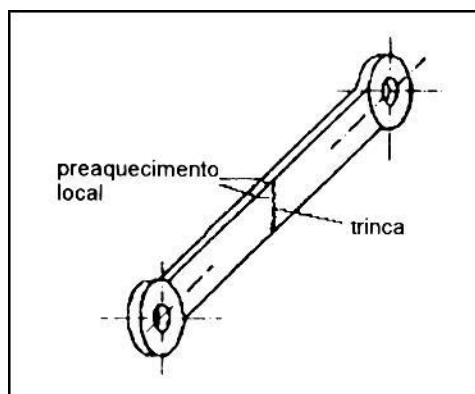
Martelamento da solda

As tensões de contração do cordão de solda são aliviadas por meio de martelamento. Nesse caso, o cordão sofre um escoamento fazendo com que a peça não apresente deformações indesejáveis. As figuras exemplificam o que foi dito.



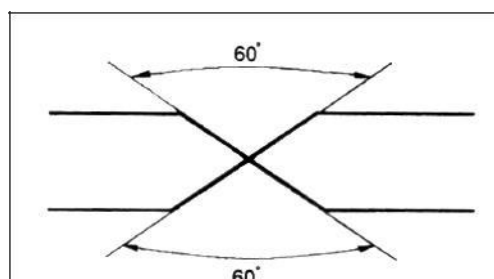
Soldagem a frio de uma alavanca de ferro fundido quebrada sem restrição de contração

A figura a seguir mostra uma alavanca com uma trinca. A alavanca pode ser recuperada, por soldagem, por meio da seguinte seqüência de operações:



Preparação do local da soldagem

A casca de fundição, se existente, deve ser removida do local da trinca mecanicamente. Se a espessura da peça for menor que 10 mm, recomenda-se fazer um chanfro em "V". Caso a espessura de parede seja maior que 10 mm, aconselha-se fazer um chanfro em "X". No exemplo da trinca da alavanca em questão, usaremos um chanfro em "X" com ângulo máximo de 60°, conforme mostra o esquema:



Pré-aquecimento

Um pré-aquecimento de aproximadamente 200°C é recomendado com a finalidade de diminuir as tensões residuais que surgirão, por ocasião da soldagem, na região da trinca.

Soldagem

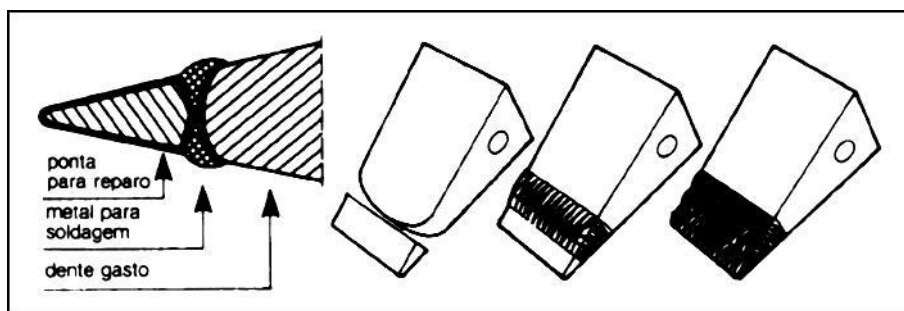
Recomenda-se soldar com baixa intensidade de calor, utilizando um eletrodo de níquel ou um eletrodo de níquel-ferro.

O chanfro deve ser preenchido com cordões curtos e com repetidas viradas para a soldagem no lado oposto. Um martelamento ocasional no cordão de solda, ainda quente, também é recomendável para diminuir as tensões.

Se surgirem dificuldades de ligação da solda no ferro fundido, deve ser realizado o revestimento dos chanfros (amanteigamento).

Reconstrução de ponta de dentes de escavadeira

Os dentes de escavadeiras são componentes que trabalham em condições normalmente severas que envolvem impacto e abrasão. O desgaste e a recuperação dos dentes podem ser visualizados abaixo.



Para reconstruir a ponta dos dentes de uma escavadeira, deve-se proceder do seguinte modo:

- Preparar as superfícies a serem soldadas eliminando todos os resíduos que possam prejudicar a soldagem.
 - Pontas sobressalentes devem ser soldadas nas pontas já desgastadas com eletrodos que garantam a máxima tenacidade. Um eletrodo recomendado é o tipo **AWS E307-15**.
 - Manter a temperatura das pontas abaixo de 200°C durante a soldagem, para evitar a perda de dureza.
 - Após a soldagem dos dentes, aplicar líquido penetrante para se certificar de que não apareceu nenhuma trinca superficial.
-

-
- e) Para dentes que trabalham primariamente em solos com granulação fina, o revestimento dos dentes deve ser efetuado com metal duro, isto é, com eletrodo do tipo **AWS E 10 - 60z**.

Esse eletrodo proporciona um metal de solda muito duro, rico em carbonetos de cromo, resistentes à abrasão. Trincas superficiais poderão surgir, mas sem influência na resistência ao desgaste.

Para dentes que trabalham com materiais rochosos, o eletrodo a ser utilizado é o tipo **AWS E 6 - 55 r**, que proporciona um metal de solda, ligado ao cromo, bastante tenaz e resistente ao desgaste e com dureza compreendida entre 60 e 65 HRC.

Observações:

Os eletrodos especificados como AWS E 307 -15, AWS E 10 - 60z e AWS E 6 - 55r representam eletrodos classificados pela norma da American Welding Society (Associação Americana de Soldagem).

Os valores entre 60 e 65 HRC significam que a dureza do material varia de 60 a 65 na escala de dureza Rockwell C.

Com a finalidade de manter os dentes afiados, recomenda-se revestir somente a face superior ou o fundo do dente e nunca ambos os lados.

O modelo de revestimento é escolhido de acordo com as figuras a seguir, dependendo das condições de trabalho.

