



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria da Educação

ESCOLA ESTADUAL DE
EDUCAÇÃO PROFISSIONAL - EEEP
ENSINO MÉDIO INTEGRADO À EDUCAÇÃO PROFISSIONAL

CURSO TÉCNICO EM MECÂNICA

PROCESSOS DE SOLDAGEM



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**
Secretaria da Educação

Governador

Cid Ferreira Gomes

Vice Governador

Domingos Gomes de Aguiar Filho

Secretária da Educação

Maria Izolda Cella de Arruda Coelho

Secretário Adjunto

Maurício Holanda Maia

Secretário Executivo

Antônio Idilvan de Lima Alencar

Assessora Institucional do Gabinete da Seduc

Cristiane Carvalho Holanda

Coordenadora da Educação Profissional – SEDUC

Andréa Araújo Rocha

SUMÁRIO

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM | 2 |
| 2. | PROCESSOS DE SOLDAGEM | 5 |
| 3. | DEFINIÇÃO BÁSICA DA SOLDAGEM | 8 |
| 4. | TIPOS DE JUNTA DE SOLDAGEM | 8 |
| 5. | POSIÇÕES DE SOLDAGEM | 12 |
| 6. | OPERAÇÃO DE SOLDAGEM | 12 |
| 7. | REPRESENTAÇÃO DOS SÍMBOLOS DE SOLDAGEM EM DESENHO TÉCNICO | 13 |
| 8. | ARCO ELÉTRICO DE SOLDAGEM | 15 |
| 9. | CORRENTE CONTÍNUA E CORRENTE ALTERNADA | 15 |
| 10. | METALURGIA DA SOLDAGEM | 19 |
| 11. | ENERGIA DE SOLDAGEM | 20 |
| 12. | DEFEITOS DO METAL DE SOLDA | 21 |
| 13. | A ZONA TERMICAMENTE AFETADA (ZTA) | 25 |
| 14. | SEGURANÇA NA SOLDAGEM | 31 |
| 15. | PROCESSOS DE SOLDAGEM POR FUSÃO | 40 |
| 16. | CORTE A GÁS | 58 |
| 17. | SOLDAGEM COM ELETRODOS REVESTIDOS | 61 |
| 18. | SOLDAGEM AO MIG/MAG GMAW (MIG/MAG) | 69 |
| 19. | PROCESSO DE SOLDAGEM TIG – GTAW | 80 |
| 20. | SOLDAGEM AO ARCO SUBMERSO | 84 |
| 21. | SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA | 86 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS | 89 |

1. DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM

Um grande número de diferentes processos utilizados na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas é abrangido pelo termo **SOLDAGEM**. Classicamente, a soldagem é considerada como um método de união, porém, muitos processos de soldagem ou variações destes são usados para a deposição de material sobre uma superfície, visando a recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características especiais.

Algumas definições de **soldagem** são:

- "Operação que visa obter a **união** de duas ou mais peças, assegurando, na junta soldada, a **continuidade** de propriedades **físicas, químicas e metalúrgicas**".
- "Operação que visa obter a **coalescência** localizada produzida pelo **aquecimento** até uma temperatura adequada, com ou sem a aplicação de **pressão** e de **metal de adição**." (Definição adotada pela AWS - American Welding Society).
- "Processo de **união** de materiais baseado no estabelecimento, na região de contato entre os materiais sendo unidos, de **forças de ligação química de natureza similar às atuantes no interior dos próprios materiais**."

Embora a soldagem, na sua forma atual, seja um processo recente, com cerca de 100 anos, a **brasagem** e a **soldagem por forjamento** têm sido utilizadas desde épocas remotas. Existe, por exemplo, no Museu do Louvre, um pingente de ouro com indicações de ter sido soldado e que foi fabricado na Pérsia, por volta de 4000 AC. A tabela 1 mostra um resumo do histórico da soldagem.

Tabela : Resumo Cronológico da história da Soldagem

| | |
|------|---|
| 1801 | Sir Humphey Davis descobre o fenômeno do arco elétrico |
| 1836 | Edmund Davy descobre o Acetileno |
| 1885 | N. Bernardos e S. Olsewski depositam patente do processo de soldagem por arco elétrico |
| 1889 | N.G. Slavianoff e C. Coffin substituem o eletrodo de grafite por arame metálico |
| 1901 | Fouché e Picard desenvolvem o primeiro maçarico industrial para soldagem oxiacetilênica |
| 1903 | Goldschmidt descobre a solda aluminotérmica |
| 1907 | O. Kjellberg deposita a patente do primeiro eletrodo revestido |
| 1919 | C. J. Halsag introduz a corrente alternada nos processos de soldagem |
| 1926 | H.M. Hobart e P.K. Denver utilizam gás inerte como proteção do arco elétrico |
| 1930 | Primeiras normas para eletrodo revestido nos EUA |
| 1935 | Desenvolvimento dos processos de soldagem TIG e Arco Submerso |
| 1948 | H.F. Kennedy desenvolve o processo de soldagem MIG |
| 1950 | França e Alemanha desenvolvem o processo de soldagem por feixe de elétrons |
| 1953 | Surgimento do processo MAG |
| 1957 | Desenvolvimento do processo de soldagem com arame tubular e proteção gasosa |
| 1958 | Desenvolvimento do processo de soldagem por eletro-escória , na Rússia |
| 1960 | Desenvolvimento de processo de soldagem a laser, nos EUA |
| 1970 | Aplicados os primeiros robôs nos processos de soldagem |

Estima-se que hoje em dia estão sendo utilizados mais de 70 processos de soldagem a nível mundial, sendo este um número dinâmico, pois vários outros

processos estão em desenvolvimento a nível de pesquisa e projetando para breve novas alterações no mercado de soldagem. A classificação mostrada na figura 1 utiliza o critério de divisão em famílias, envolvendo o fenômeno físico e utilizando para as subdivisões a forma de energia empregada no processo.

2. PROCESSOS DE SOLDAGEM

a. Processos de Soldagem por Fusão

Existe um grande número de processos por fusão que podem ser separados em sub-grupos, por exemplo, de acordo com o tipo de **fonte de energia** usada para fundir as peças. Dentre estes, os processos de soldagem a arco (fonte de energia: arco elétrico) são os de maior importância industrial na atualidade. Devido à tendência de reação do material fundido com os gases da atmosfera, a maioria dos processos de soldagem por fusão utiliza algum **meio de proteção** para minimizar estas reações. A tabela 2 mostra os principais processos de soldagem por fusão e suas características principais.

Tabela :Principais processos de soldagem por fusão e suas características

| | | |
|----------------------|---------------------------------------|---|
| TIPO DE FONTE | Arco - Eletrodo Não consumível | Soldagem a gás com eletrodo de tungstênio (GTAW ou TIG) Soldagem a plasma (PAW) Soldagem com eletrodo de carvão(CAW) Soldagem de prisineiros (SW) Soldagem com hidrogênio atômico(AHW) Soldagem com arco magneticamente impelido (MIAB) |
| | Arco - Eletrodo Consumível | Soldagem a gás com eletrodo metálico (GMAW ou MIG/MAG) Soldagem com eletrodos revestidos (SMAW) Soldagem com arame tubular (FCAW) Soldagem ao arco submerso (SAW) Soldagem eletro-gás (EGW) |
| | Resistência | Soldagem a ponto (RSW) Soldagem de costura (RSEW) Soldagem de projeção (RPW) Soldagem por centelhamento (FW) Soldagem de topo (UW) Soldagem por percursão (PEW) |

b. Processos de Soldagem por Pressão (ou por Deformação)

Este primeiro grupo inclui os processos de soldagem por ultra-som, por fricção, por forjamento, por resistência elétrica, por difusão, por explosão, entre outros (tabela 3 e figura 2). Diversos destes processos, como por exemplo, os processos de soldagem por resistência, apresentam características intermediárias entre os processos de soldagem por fusão e por deformação.

Tabela :Processos de soldagem por pressão.

| | | |
|----------------------|----------|---|
| TIPO DE FONTE | Mecânica | Soldagem a frio (CW) Soldagem por pressão a quente (HPW) Soldagem por forjamento (FOW) Colaminação (ROW) Soldagem por fricção (FRW) Soldagem por ultrassom (USW) Soldagem por explosão (EXW) Soldagem por difusão (DFW) |
| | Química | Soldagem a gás com pressão (PGW) Soldagem por forjamento (FOW) |
| | Elétrica | Soldagem de prisoneiros (SW) Soldagem com arco magneticamente impelido (MIAB) Soldagem por resistência a ponto (RSW) Soldagem por resistência de costura (RSEW) Soldagem por projeção (PW) Soldagem por centelhamento (FW) Soldagem por resistência de topo (UW) Soldagem por indução (HFRW) |

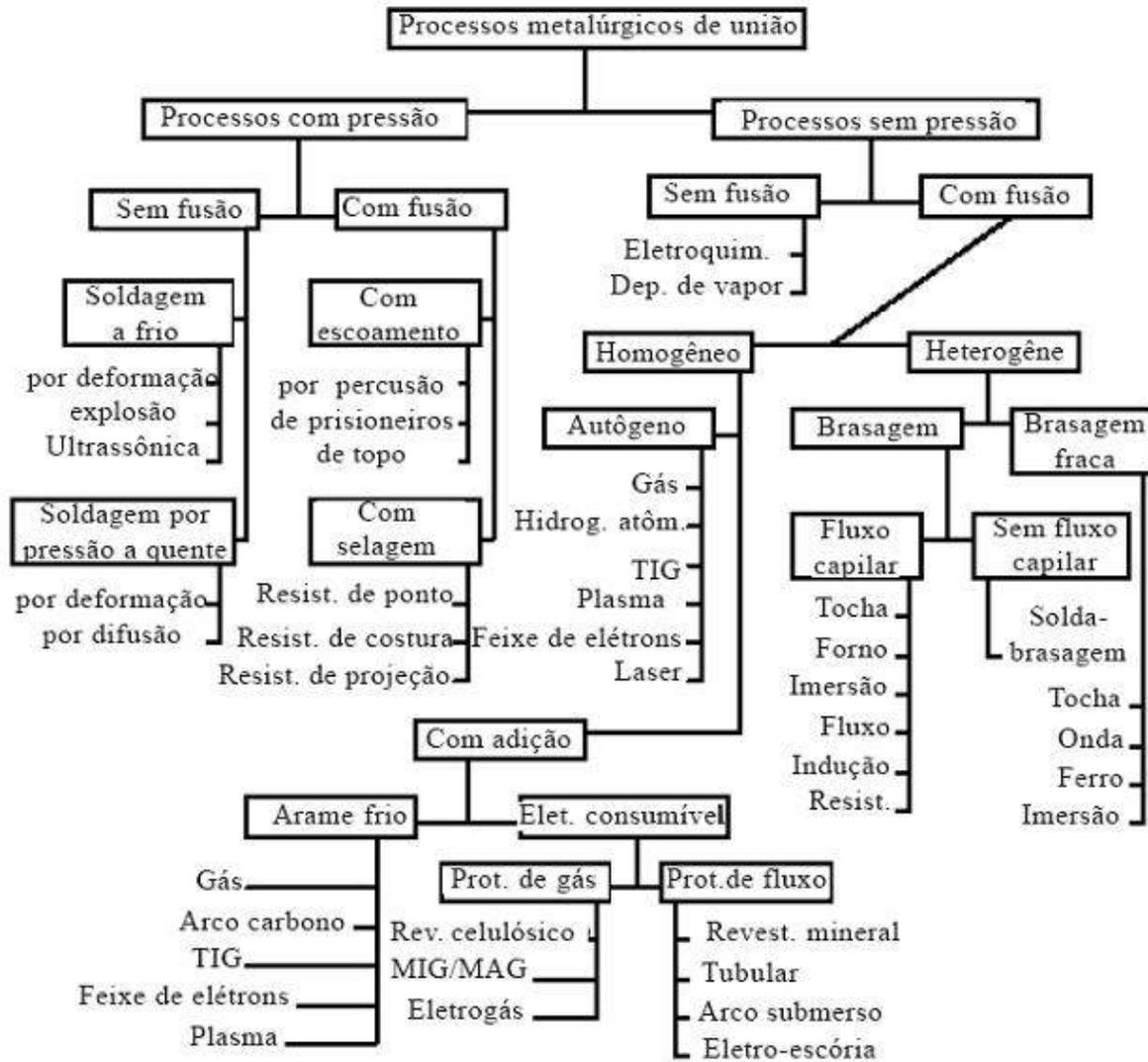


Figura : Classificação dos processos de união de metálica

3. DEFINIÇÃO BÁSICA DA SOLDAGEM:

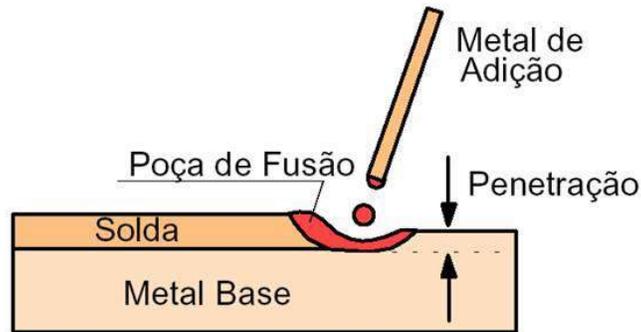


Figura : Figura esquemática dos principais termos da soldagem

A figura 3 mostra esquematicamente a terminologia utilizada nos processos de soldagem.

- **Soldagem:** é o **processo** de união de materiais, a **Solda** é o **resultado** deste processo.
- **Metal Base:** Material da peça que sofre o processo de soldagem.
- **Metal de Adição:** Material adicionado, no estado líquido, durante a soldagem (ou brasagem).
- **Poça de Fusão :** Região em fusão, a cada instante, durante uma soldagem.
- **Penetração:** Distância da superfície original do metal de base ao ponto em que termina a fusão, medida perpendicularmente à mesma.
- **Junta:** Região entre duas ou peças que serão unidas.

4. TIPOS DE JUNTA DE SOLDAGEM

Tão importante quanto a solda bem feita deverá ser a preparação da junta.

A escolha da posição de solda, do consumível, do processo, da técnica de soldagem, são alguns dos fatores a observar antes do início da solda, porém o é necessário a preparação desta junta de forma que se possa ter um penetração adequadana região de solda é de fundamental importância na preparação da junta.para isso é necessário escolher o tipo de junta e tipo de chanfro a fim de evitar “defeitos”

A figura 4 mostra esquematicamente os tipos de junta aplicados a soldagem Topo , ângulo , canto , sobreposta e de aresta .

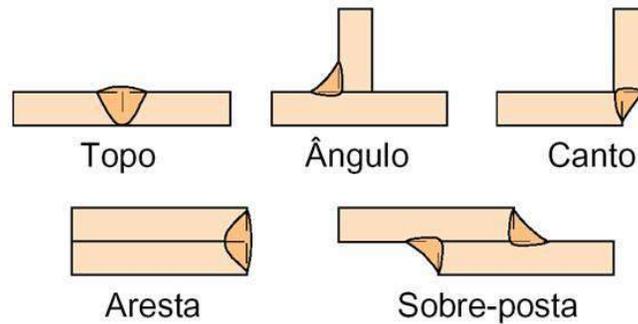


Figura :Representação esquemática dos tipos de juntas de topo, ângulo , canto , sobreposta e de aresta

Soldas em juntas de topo e ângulo podem ser de penetração total (penetração em toda a espessura de um dos componentes da junta, como na figura acima) ou parcial.

Juntamente co a escolha de tipo de junta há a seleção do tipo chanfro aplicado em função da espessura da peça soldada e posição o **Chanfro** por definição é corte efetuado na junta para possibilitar/facilitar a soldagem em toda a sua espessura. A figura 5 apresenta os tipos de chanfros e a figura 6 sua derivações.

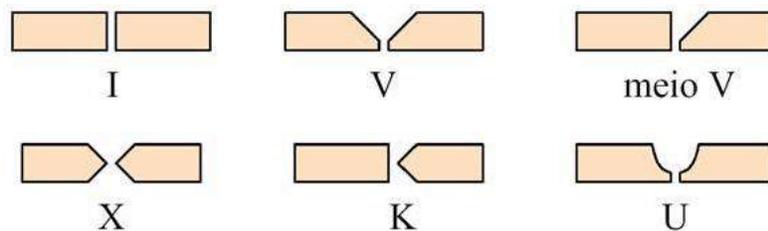


Figura : Representação dos tipos de chanfros

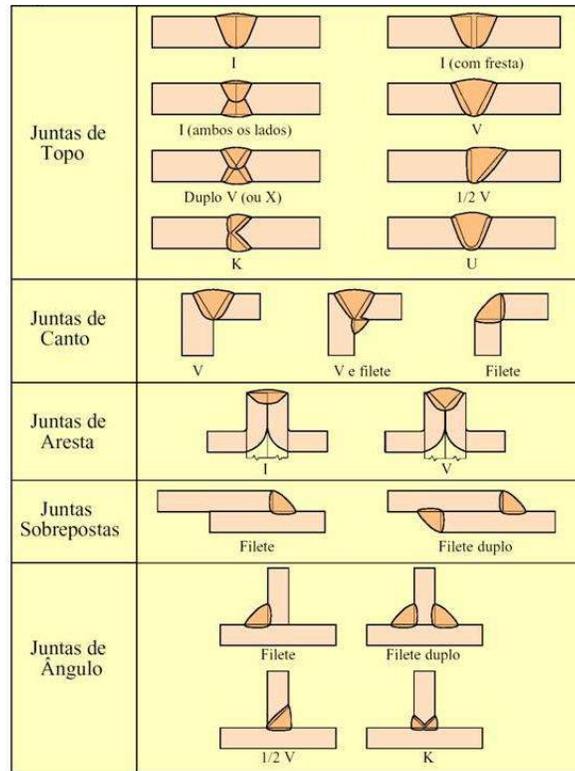
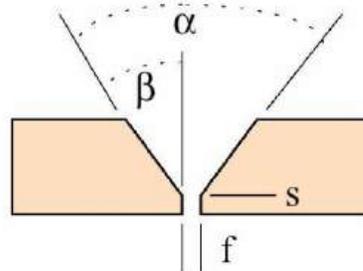


Figura :Subdivisão dos tipos de chanfro em juntas de soldagem.

A definição dos elementos que compõem o chanfro são

- ✓ Encosto ou nariz (s) Parte não chanfrada de um componente da junta.
- ✓ Garganta, folga ou fresta (f) Menor distância entre as peças a soldar.
- ✓ Ângulo de abertura da junta (α) (e
- ✓ ângulo de chanfro (β).

Os elementos de um chanfro são escolhidos de forma a permitir um fácil acesso até o fundo da junta, figura 7, mas, idealmente, com a menor necessidade



possível de metal de adição.

Figura 7:Elementos de um chanfro

- **Raiz** : Região mais profunda do cordão de solda. Em uma junta chanfrada,corresponde à região do cordão junto da fresta e do encosto. Tende a ser a região mais propensa à formação de descontinuidades em uma solda
- **Face**: Superfície oposta à raiz da solda.
- **Passe**: Depósito de material obtido pela progressão sucessiva de uma só poça de fusão. Uma solda pode ser feita em um único ou em vários passes.
- **Camada**: Conjunto de passes localizados em uma mesma altura no chanfro.
- **Reforço** : Altura máxima alcançada pelo excesso de material de adição, medida a partir da superfície do material de base.
- **Margem**: Linha de encontro entre a face da solda e a superfície do metal de base.

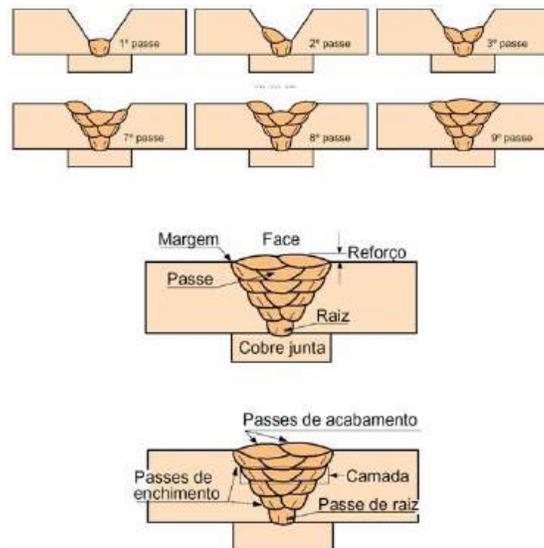


Figura :Representação dos passes utilizados numa junta soldada

5. POSIÇÕES DE SOLDAGEM

- Plana : A soldagem é feita no lado superior de uma junta e a face da solda é aproximadamente horizontal.
- Horizontal: O eixo da solda é aproximadamente horizontal, mas a sua face é inclinada.
- Sobrecabeça: A soldagem é feita do lado inferior de uma solda de eixo aproximadamente horizontal.
- Vertical: O eixo da solda é aproximadamente vertical. A soldagem pode ser “para cima” ou “para baixo” .

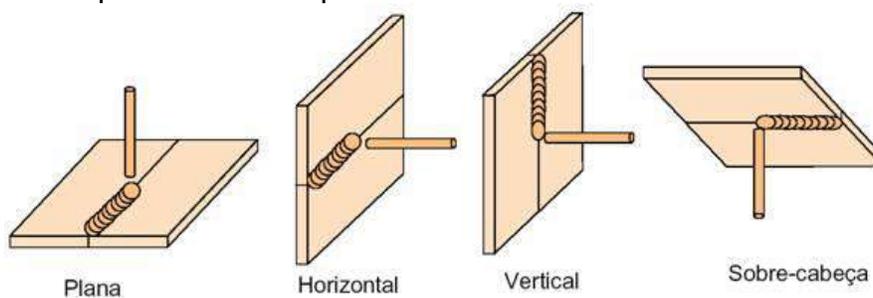


Figura : Posições de soldagem

6. OPERAÇÃO DE SOLDAGEM

- ✓ Manual: Soldagem na qual toda a operação é realizada e controlada manualmente pelo **soldador**
- ✓ Semi-automático: Soldagem com controle automático da alimentação de metal de adição, mas com controle manual pelo soldador do posicionamento da tocha e de seu acionamento.
- ✓ Mecanizado: Soldagem com controle automático da alimentação de metal de adição, controle do deslocamento do cabeçote de soldagem pelo equipamento, mas com o posicionamento, acionamento do equipamento e supervisão da operação sob responsabilidade do **operador de soldagem**.
- ✓ Automático: Soldagem com controle automático de praticamente todas as operações necessárias. Em alguns casos, a definição de um processo como mecanizado ou automático não é fácil, em outros, o nível de controle da operação, o uso de sensores, a possibilidade de programar o processo indicam claramente um processo de soldagem automático. De uma forma

ampla, os sistemas automáticos de soldagem podem ser divididos em duas classes: (a) Sistemas dedicados, projetados para executar uma operação específica de soldagem, basicamente com nenhuma flexibilidade para mudanças no processos e (b) sistemas com robôs, programáveis e apresentado uma flexibilidade relativamente grande para alterações no processo.

7. REPRESENTAÇÃO DOS SÍMBOLOS DE SOLDAGEM EM DESENHO TÉCNICO

Símbolos padronizados são usados para indicar a localização, detalhes do chanfro e outras informações de operações de soldagem em desenhos de engenharia. Existem sistemas de símbolos de soldagem desenvolvidos em normas de diferentes países. No Brasil, o sistema mais usada é o da American Welding Society, através de sua norma AWS A2.4,. Contudo, símbolos baseados em normas de outros países são, também, usados. Como estes símbolos são similares aos da AWS, mas apresentam diferenças em detalhes, isto pode levar à interpretação errada de desenhos.

Um símbolo completo de soldagem consiste dos seguintes elementos, figura 10:

- ✓ Linha de referência (sempre horizontal),
- ✓ Seta,
- ✓ Símbolo básico da solda,
- ✓ Dimensões e outros dados,
- ✓ Símbolos suplementares,
- ✓ Símbolos de acabamento,
- ✓ Cauda, e
- ✓ Especificação de procedimento, processo ou outra referência.

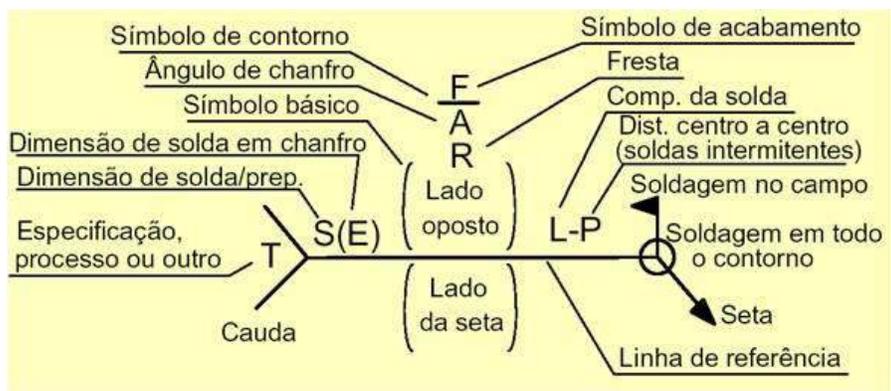


Figura :Simbologia com elementos de soldagem

O símbolo básico da solda indica o tipo de solda e chanfro que serão usados. A figura 11 mostra os símbolos básicos mais comuns:



Figura :Símbolos básicos de soldagem

A posição do símbolo básico na linha de referência indica se a solda será depositada no mesmo lado ou no lado oposto do local indicado no desenho pela seta, figura 12:

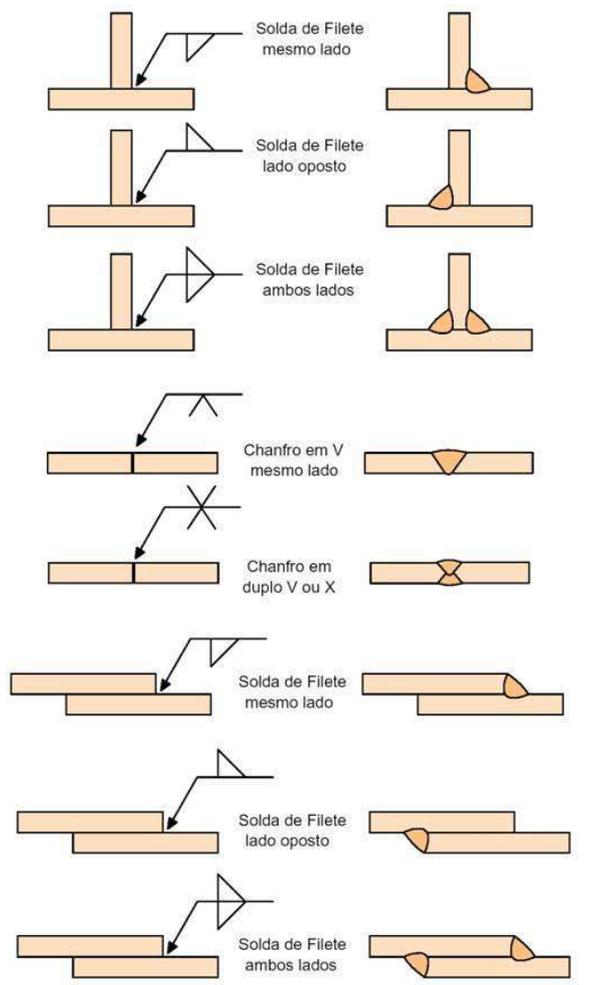


Figura : Simbologia de soldagem

8. ARCO ELÉTRICO DE SOLDAGEM

Um arco elétrico pode ser definido como um feixe de descargas elétricas formadas entre dois eletrodos e mantidas pela formação de um meio condutor gasoso chamado plasma. Há neste fenômeno a geração de energia térmica suficiente para ser usado em soldagem, através da fusão localizada das peças a serem unidas. A expressão soldagem a arco elétrico se aplica a um grande número de processos de soldagem que utilizam o arco elétrico como fonte de calor; nestes processos a junção dos materiais sendo soldados pode requerer ou não o uso de pressão ou de material de adição.

a. **Abertura e funcionamento do arco elétrico:**

Um arco elétrico é formado quando 2 condutores (eletrodo e metal base) de corrente elétrica são aproximados para fazer o contato elétrico e depois separados (figura 5.1). Isto aumenta a resistência ao fluxo de corrente e faz com que as extremidades dos eletrodos sejam levados a altas temperaturas, bem como o pequeno espaço de ar entre eles. Os elétrons vindo do eletrodo negativo (catodo) colidem com as moléculas e átomos do ar, desmembrando-os em íons e elétrons livres e tornando a fresta de ar um condutor de corrente devido à ionização. Isto mantém a corrente através do espaço de ar e sustenta o arco; na prática para acender o arco, o soldador esfrega a extremidade do eletrodo na peça a soldar e depois o afasta ligeiramente. No instante de contato, a corrente passa no circuito e continua a circular quando o eletrodo é afastado, formando um arco, devido ter acontecido a ionização do ar, isto é, o ar ter se tornado condutor de corrente.

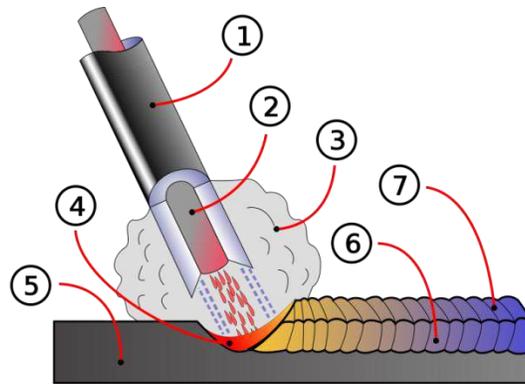


Figura :Diagrama Soldagem a arco elétrico para um eletrodo revestido

Onde :

- | | |
|----------------------------|------------------|
| 1.Revestimento de Fluxo | 2.Vareta (Alma) |
| 3. Gás de proteção(Plasma) | 4.Poça de fusão |
| 5.Metal base | 6.Metal de solda |
| 7.Escória solidificada | |

9. CORRENTE CONTÍNUA E CORRENTE ALTERNADA

Se entre dois pontos A e B ligados por um condutor elétrico for mantida uma corrente constante, escoam entre eles uma corrente de intensidade constante e sempre no mesmo sentido; esta corrente é chamada de corrente contínua, CC e quando representada em função do tempo gera uma reta horizontal. O tipo de corrente fornecida pelos retificadores é dita contínua, mas na verdade é ligeiramente ondulada, sendo facilmente identificada em um osciloscópio, porém em termos práticos de soldagem comporta-se como uma corrente contínua.

Agora, imaginemos dois pontos A e B ligados por um condutor e que cada um deles possui uma tensão alternadamente positiva e negativa em relação ao outro; entre eles escoam uma corrente que muda de sentido na mesma frequência que a tensão (60 Hz). Esta corrente é denominada de corrente alternada, CA.

Falta definir a questão da polaridade; como sabemos os pólos do arco elétrico não se comportam de maneira igual. O bombardeio a que os elétrons submetem o anodo (eletrodo positivo) é mais eficiente que o bombardeio dos íons no catodo em função da energia cinética de cada elétron ser muito maior que a de cada íon, bem como pelo fato da saída dos elétrons do catodo consumir energia, enquanto a chegada no anodo se faz com entrega de energia, figura 14. Isto

significa sempre que a temperatura do anodo é maior que a do catôdo.

Em função do comportamento dos pólos do arco serem diferentes, convencionou-se chamar de polaridade direta aquela em que o eletrodo é o catôdo (polo negativo) e a peça é o anodo, representada por CC- ; quando o eletrodo é o anodo (polo positivo) e a peça o catôdo, a polaridade é dita inversa, CC+.

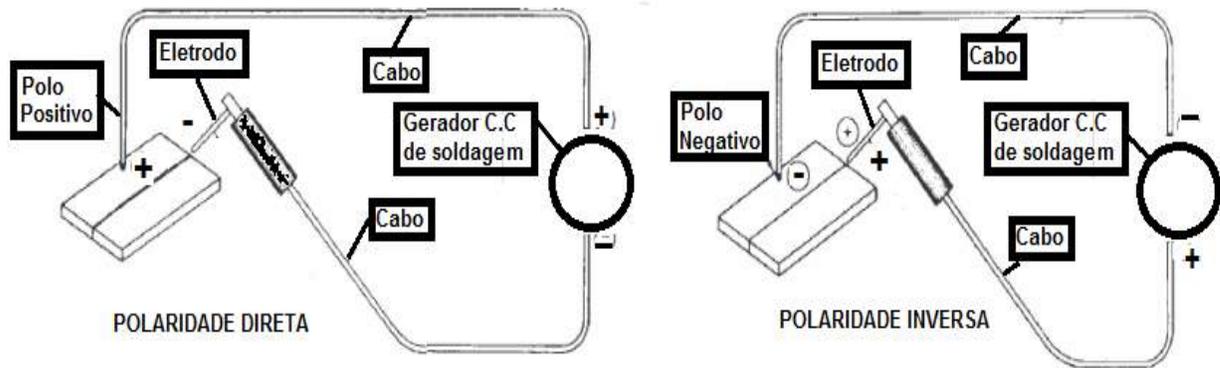


Figura : Polaridade do arco elétrico.

10. METALURGIA DA SOLDAGEM

Os metais no estado sólido apresentam estrutura cristalina (organização dos átomos), isto é, os átomos que o constituem são dispostos de uma maneira organizada e periódica. Esta disposição chama-se célula unitária. Os átomos são considerados como esferas. Os átomos vibram em torno de suas posições de equilíbrio, definidas pela célula unitária. A vibração dos átomos é função da temperatura e será tanto maior quanto maior for a temperatura do metal.

No processo de soldagem o metal estará submetido aos processos ocasionados durante a solidificação dos metais ou seja DIFUSÃO e DIFUSÃO se dá no estado sólido e é o fenômeno de um átomo deslocar-se de sua posição inicial de equilíbrio. Quanto maior a temperatura, maior a difusão e NUCLEAÇÃO E CRESCIMENTO DE GRÃOS: O crescimento de cada núcleo individualmente gera partículas sólidas chamadas de grãos.

Todos os grãos têm a mesma estrutura cristalina e o mesmo espaçamento atômico. Os contornos de grãos são regiões onde a ordenação dos átomos é abruptamente desfeita. Como consequência da desordem dos átomos, os metais comportam frequentemente de modo diferente nos contornos de grão. Nestas regiões os átomos não estão ordenados, existindo vazios que permitem mais facilmente a movimentação atômica, devido a isto, a difusão ocorre, em geral, mais rapidamente nos contornos que no centro dos grãos. Um dos efeitos do tamanho do grão é influenciar na resistência dos materiais. Na temperatura ambiente, quanto menor o tamanho de grão maior a resistência dos materiais, e, em altas temperaturas quanto menor o tamanho de grão, menor a resistência. Disto resulta que materiais de granulação fina comportam-se melhor em baixa temperatura e materiais de granulação grosseira em altas temperaturas. Em alta temperatura os grãos devem ser grossos e em baixas temperaturas os grãos devem ser finos.

11. ENERGIA DE SOLDAGEM

Define-se a energia de soldagem como a razão entre a quantidade de energia dispendida na soldagem e a velocidade de avanço da poça de fusão. A

energia de soldagem é característica do processo de soldagem empregado.

a. **Ciclo térmico e repartição térmica**

A variação de temperatura em função do tempo num determinado ponto da junta soldada é o ciclo térmico. É possível se obter as temperaturas máximas atingidas em função da distância ao centro da solda. Esta função é a repartição térmica. Com as duas funções, torna-se viável o estudo das transformações metalúrgicas no estado sólido ocorrente numa junta soldada. O ciclo térmico possibilita a interpretação ou previsão das transformações, enquanto que a repartição térmica permite determinar a extensão das zonas onde se passam tais fenômenos.

A medida que o ponto considerando se afasta da solda, as temperaturas máximas são decrescentes e atingidas com um certo atraso. O tempo de permanência acima de uma certa temperatura decresce no mesmo sentido.

b. **Fatores do ciclo térmico**

- Temperatura máxima atingida e a velocidade de resfriamento dependem das propriedades físicas do material que está sendo soldado;
- A temperatura máxima atingida varia diretamente com a energia de soldagem. Um pré-aquecimento aumenta a energia;
- A temperatura máxima atingida varia inversamente com a distância ao centro da solda (quanto mais afastado da solda estiver o ponto considerado, menor será a temperatura máxima atingida);
- A velocidade de resfriamento varia inversamente com a temperatura inicial da peça que está sendo soldada (quanto maior a temperatura inicial da peça, menor a velocidade de resfriamento, e, a influência da temperatura inicial é mais significativa em peças de pequena espessura);
- A velocidade de resfriamento varia diretamente com a espessura da peça que está sendo soldada (quanto maior a espessura, maior a velocidade de resfriamento); a velocidade de resfriamento varia inversamente com a energia de soldagem (quanto menor é a energia de soldagem, maior a velocidade de resfriamento, e, a influência da energia de soldagem na velocidade de resfriamento é maior em espessuras finas);
- A velocidade de resfriamento varia com a forma geométrica das peças;
- A o processo de soldagem define a energia de soldagem e, portanto, influencia tanto a temperatura máxima como a velocidade de resfriamento. Quanto maior é a temperatura máxima atingida, maior é a extensão da ZTA

e quanto menor é a velocidade de resfriamento, menor é a possibilidade de têmpera (martensita).

12.

Alguns dos defeitos que podem ocorrer no metal de solda são:

- Trincas de solidificação ou trincas a quente
- Trincas induzidas por hidrogênio no metal de solda
- Porosidade
- Inclusões de escória ou outras inclusões
- Trincas de cratera
- Falta de fusão
- Perfil do cordão desfavorável
-

a. **Trincas de solidificação**

A maioria dos aços pode ser soldada com um metal de solda de composição similar à do metal de base. Muitos aços com alto teor de liga e a maioria das ligas não ferrosas requerem eletrodos ou metal de adição diferentes do metal de base porque possuem uma faixa de temperatura de solidificação maior do que outras ligas. Isso torna essas ligas suscetíveis à fissuração de solidificação ou a quente, que pode ser evitada mediante a escolha de consumíveis especiais que proporcionam a adição de elementos que reduzem a faixa de temperatura de solidificação. A fissuração a quente também é fortemente influenciada pela direção de solidificação dos grãos na solda Figura 15.

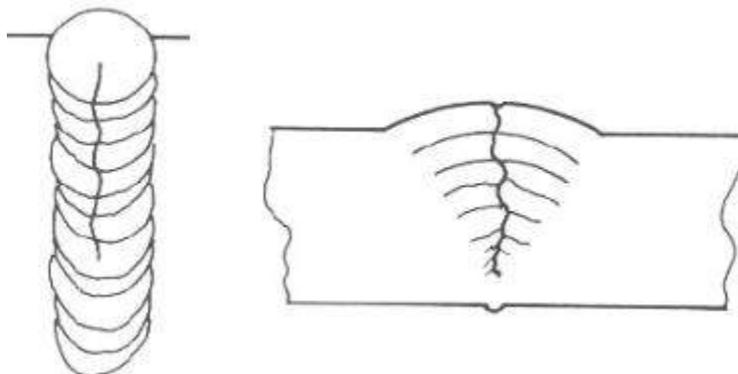


Figura 15: Fissuração no centro do cordão em um passe único de alta penetração

Quando grãos de lados opostos crescem juntos numa forma colunar, impurezas e constituintes de baixo ponto de fusão podem ser empurrados na frente de solidificação para formar uma linha fraca no centro da solda. Soldas em aços de baixo carbono que porventura possam conter alto teor de enxofre podem se comportar dessa forma, de modo que pode ocorrer fissuração no centro da solda. Mesmo com teores normais de enxofre pode ainda existir a linha fraca no centro da solda que pode se romper sob as deformações de soldagem, sendo por este motivo que cordões de penetração muito profunda são normalmente evitados.

b. **Trincas induzidas por hidrogênio**

Esse modo de fissuração acontece a temperaturas próximas da ambiente, sendo mais comumente observada na zona termicamente afetada. O hidrogênio é introduzido na poça de fusão através da umidade ou do hidrogênio contidos nos compostos dos fluxos ou nas superfícies dos arames ou do metal de base, resultando em que a poça de fusão e o cordão de solda já solidificado tornam-se um reservatório de hidrogênio dissolvido. Numa poça de fusão de aço o hidrogênio se difunde do cordão de solda para as regiões adjacentes da zona termicamente afetada que foram reaquecidas suficientemente para formar austenita. À medida que a solda se resfria a austenita se transforma e dificulta a difusão posterior do hidrogênio. O hidrogênio retido nessa região adjacente ao cordão de solda pode causar fissuração,

c. **Porosidade**

A porosidade pode ocorrer de três modos. Primeiro, como resultado de reações químicas na poça de fusão, isto é, se uma poça de fusão de aço for

inadequadamente desoxidada, os óxidos de ferro poderão reagir com o carbono presente para liberar monóxido de carbono (CO). A porosidade pode ocorrer no início do cordão de solda na soldagem manual com eletrodo revestido porque nesse ponto a proteção não é totalmente efetiva. Segundo, pela expulsão de gás de solução à medida que a solda solidifica, como acontece na soldagem de ligas de alumínio quando o hidrogênio originado da umidade é absorvido pela poça e mais tarde liberado. Terceiro, pelo aprisionamento de gases na base de poças de fusão turbulentas na soldagem com gás de proteção, ou o gás evoluído durante a soldagem do outro lado de uma junta em "T" numa chapa com tinta de fundo. A maioria desses efeitos pode ser facilmente evitada, embora a porosidade não seja um defeito excessivamente danoso às propriedades mecânicas, exceto quando aflora à superfície. Quando isso acontece, pode favorecer a formação de entalhes que poderão causar falha prematura por fadiga, por exemplo.

d. **Inclusões**

Com processos que utilizam fluxo é possível que algumas partículas desse fluxo sejam deixadas para trás, formando inclusões no cordão de solda. É mais provável de as inclusões ocorrerem entre passes subseqüentes ou entre o metal de solda e o chanfro do metal de base. A causa mais comum é a limpeza inadequada entre passes agravada por uma técnica de soldagem ruim, com cordões de solda sem concordância entre si ou com o metal de base. Assim como na porosidade, inclusões isoladas não são muito danosas às propriedades mecânicas, porém inclusões alinhadas em certas posições críticas como, por exemplo, na direção transversal à tensão aplicada, podem iniciar o processo de fratura. Há outras formas de inclusões que são mais comuns em soldas de ligas não ferrosas ou de aços inoxidáveis do que em aços estruturais. Inclusões de óxidos podem ser encontradas em soldas com gás de proteção onde o gás foi inadequadamente escolhido ou inclusões de tungstênio na soldagem *GTAW (TIG)* com correntes muito altas para o diâmetro do eletrodo de tungstênio ou quando este toca a peça de trabalho.

e. **Defeitos de cratera**

Já foi mencionado que a granulação no metal de solda é geralmente colunar. Esses grãos tendem a crescer a partir dos grãos presentes nos contornos de fusão e crescem afastando-se da interface entre o metal líquido e o metal de base na direção oposta ao escoamento de calor. Um ponto fundido estacionário teria

naturalmente um contorno aproximado no formato circular, porém o movimento da fonte de calor produz um contorno em forma de lágrima com a cauda na direção oposta ao movimento. Quanto maior for a velocidade de soldagem, mais alongado será o formato da cauda. Se a fonte de calor for repentinamente removida, a poça fundida solidifica com um vazio que é denominado cratera. A cratera está sujeita a conter trincas de solidificação na forma de estrela. As técnicas de soldagem ao final do cordão de solda são desenvolvidas para corrigir esse fenômeno voltando o arco por alguns momentos para preencher a poça de fusão ou até mesmo reduzindo gradualmente a corrente enquanto se mantém o arco estático.

f. **Falta de fusão e perfil do cordão desfavorável**

Esses são defeitos comuns fáceis de se evitar. A causa pode ser uma corrente de soldagem muito baixa ou uma velocidade de soldagem inadequada.

13. A ZONA TERMICAMENTE AFETADA (ZTA)

É a região da solda que não se fundiu durante a soldagem, porém teve sua microestrutura e propriedades alteradas calor induzido pela soldagem ou operações de corte. O calor do processo de soldagem e posterior resfriamento faz com que aconteça a alteração na área circundante da solda. A extensão e magnitude da mudança de propriedade depende principalmente do material de base, o metal de enchimento de solda, e a quantidade e concentração de entrada de calor pelo processo de soldagem.

A difusividade térmica do material de base, desempenha um grande papel, se a difusividade é alta, o material possui uma alta taxa de resfriamento e uma pequena zona termicamente afetada. Uma difusividade baixa possui uma taxa de resfriamento mais lenta tendo assim uma ZTA maior. A quantidade de calor introduzido pelo processo de soldagem desempenha um papel importante também, como processos de soldagem oxiacetileno que possui calor inicial muito alto fazendo a ZTA aumentar de tamanho.

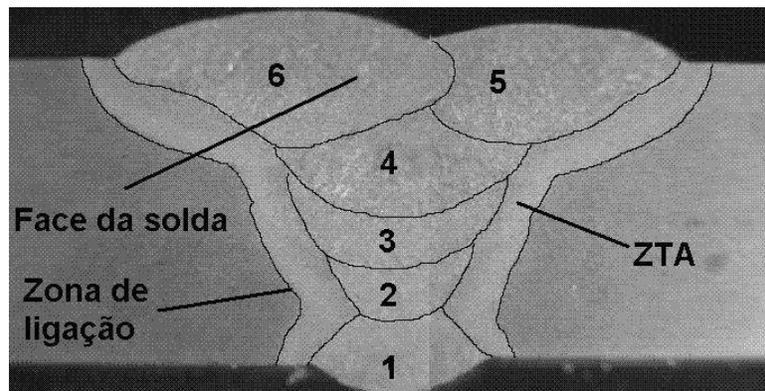


Figura : Solda multipasses e ZTA

Essa região pode se tornar um elo fraco em uma junta soldada que normalmente seria resistente. As causas são variadas como a estrutura granular da ZTA não é tão refinada e, portanto, é mais fraca que o metal de base circunvizinho ou do metal de solda com estrutura bruta de fusão. Outro caso que se a ZTA resfriar rapidamente em determinados aços, forma-se uma estrutura cristalina frágil e dura conhecida como martensita. Os poros relativamente grandes da zona termicamente afetada são sítios naturais de captura do hidrogênio atômico. Quando dois átomos de hidrogênio se encontram há uma união imediata entre

eles para formar o hidrogênio molecular (H_2 , estado gasoso). As moléculas de hidrogênio resultantes são maiores que a estrutura cristalina do metal e podem ficar impedidas de migrarem livremente. À medida que mais e mais átomos de hidrogênio migram até os poros e formam moléculas que permanecem aprisionadas, podem se desenvolver enormes pressões internas. Os aços carbono e os de mais baixa resistência possuem elasticidade suficiente para acomodar as tensões internas resultantes da pressão do hidrogênio de forma que não causem trincas no aço. Por outro lado, aços que possuam alta dureza e alta resistência não apresentam elasticidade suficiente para acomodar a pressão, e se houver muito hidrogênio pode ocorrer fissuração.

a. Defeitos na ZTA

Alguns dos defeitos que podem ocorrer na ZTA são:

- ✓ fissuração por hidrogênio (designada também por fissuração sob cordão)
- ✓ decoesão lamelar
- ✓ trincas de reaquecimento
- ✓ fissuração por corrosão sob tensão
- ✓ trincas de liquação ou microfissuração

b. Fissuração da ZTA por hidrogênio

Esse tipo de fissuração pode ocorrer nos aços e resulta da presença de hidrogênio numa microestrutura temperada suscetível à fissuração como a martensita, aliada à tensão aplicada. Normalmente pouco pode ser feito sobre a tensão, embora seja conhecido que juntas com aberturas excessivas sejam mais suscetíveis à fissuração. As medidas práticas para evitar a fissuração dependem de reduzir o hidrogênio na poça de fusão e evitar uma ZTA endurecida.

Anteriormente foi descrito como a poça de fusão pode fornecer uma fonte de hidrogênio que se difunda da fase austenítica para a ZTA. Quando a região próxima à solda se resfria a mobilidade do hidrogênio diminui e ele tende a permanecer onde puder causar fissuração, figura 17. O nível de hidrogênio é controlado por um tipo adequado de consumível de soldagem e pela garantia de que ele esteja seco. Eletrodos rútilicos depositam metal de solda com teor de hidrogênio maior que eletrodos básicos, que são os preferidos para a soldagem de aços de alta resistência e também para juntas com espessura superior a 25 mm.

Quando se soldam aços altamente sensíveis ao hidrogênio difusível pode ser empregado um eletrodo inoxidável austenítico já que esse metal de solda não sofre transformação metalúrgica e resulta em um bom recipiente para o hidrogênio. Para qualquer aço a dureza atingida na ZTA depende diretamente da taxa de resfriamento e quanto maior a taxa de resfriamento mais facilmente a estrutura pode trincar. Um importante fator influenciando a taxa de resfriamento é a massa de material sendo soldada: quanto maior a espessura da junta, maior a velocidade de resfriamento. O tipo de junta também afeta a taxa de resfriamento pelo número de caminhos ao longo dos quais o calor pode fluir. Numa junta de topo há dois caminhos. Por outro lado, numa junta em ângulo há três caminhos, de tal modo que um cordão de solda de mesmo tamanho nessa junta resfria-se mais rapidamente..

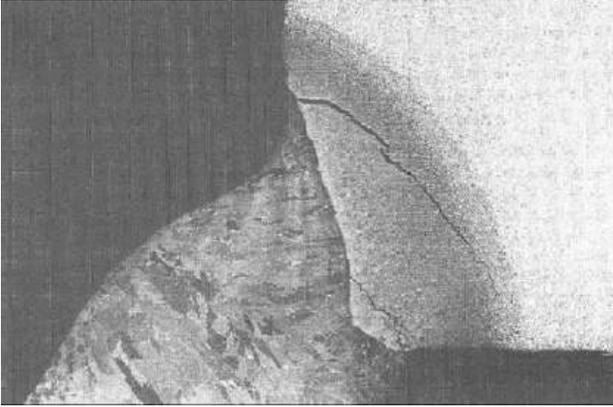


Figura 17: Fissuração devido a mobilidade do hidrogênio.

O controle da microestrutura é alcançado principalmente de duas maneiras.

Primeiro, escolhendo um aço que tenha uma temperabilidade adequada. A temperabilidade de um aço é determinada por seu teor de carbono e de outros elementos de liga como manganês, cromo, molibdênio e vanádio, existindo várias equações para estimar o carbono equivalente a partir da composição química de um aço.

Segundo, a microestrutura pode ser controlada reduzindo-se a taxa de resfriamento que, para qualquer tipo de junta, pode ser conseguido de duas maneiras:

- ✓ Elevando o aporte térmico pelo aumento do tamanho do cordão de solda e/ou reduzindo a velocidade de soldagem. Em termos de soldagem ao arco elétrico, isso significa empregar eletrodos de diâmetro maior; ou
- ✓ Empregando pré-aquecimento. A fissuração induzida por hidrogênio ocorre apenas a temperaturas em torno da temperatura ambiente, de modo que, se for realizado um pós-aquecimento (manutenção da temperatura após a soldagem) por um tempo dependente da espessura do aço, haverá a difusão do hidrogênio para fora da região da solda antes que a fissuração possa acontecer.

Um carbono equivalente menor que 0,40% indica que o aço apresenta boa soldabilidade, porém valores acima desse podem tornar necessárias algumas precauções adicionais com o pré-aquecimento ou com o aporte térmico. Como o pré-aquecimento é caro e difícil de ser empregado, pode ser evitado quando se aplicam eletrodos básicos em vez de rútilicos ou, em casos extremos, aplicando-se eletrodos austeníticos.

Tomando-se cuidado, a fissuração na ZTA pode ser evitada, mas é um defeito difícil de ser notado, particularmente em juntas em ângulo, onde pode aparecer na garganta da junta, que é uma área sujeita a concentração de tensões. Como uma alta taxa de resfriamento é um grande agente contribuinte para a fissuração por hidrogênio, pequenos cordões de solda como pontos de solda (ou mesmo aberturas involuntárias de arco) são sítios potenciais para a ocorrência desse fenômeno, devendo ser tratados com o mesmo cuidado que a solda principal ou definitiva.

c. **Decoção lamelar**

Esse defeito ocorre em chapas grossas como resultado de imperfeições no metal de base acentuadas pelas deformações de soldagem e projeto de junta inadequado. Chapas de aço são provavelmente afetadas devido as suas pobres propriedades ao longo da espessura provenientes de regiões finas de inclusões não metálicas dispostas em camadas paralelas à superfície. Essas são abertas

pelos deformações de soldagem, formam trincas próximas à ZTA e se propagam na forma de degraus, Figura18. A condição é agravada pela presença de até mesmo pequenas quantidades de hidrogênio. Se existir a suspeita de que o aço possa ser suscetível à decoesão lamelar, as juntas devem ser projetadas para evitar ao máximo a contração que ocorre na direção da espessura, isto é, evitando juntas cruciformes ou cordões espessos e empregando eletrodos básicos adequadamente ressecados. Almofadar para proteger áreas sensíveis é útil antes da solda definitiva ou durante a própria soldagem que seria, na realidade, uma seqüência de passes controlada (Figura 7.10). É melhor, contudo, estimar o risco de decoesão lamelar antes que a solda comece e, se necessário, pedir a chapa de aço com propriedades apropriadas na direção da espessura.

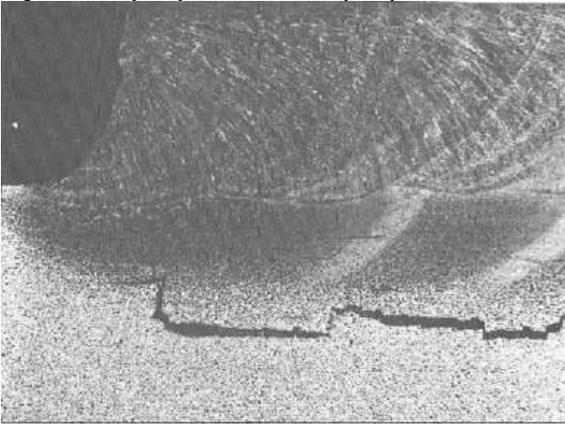


Figura : propagação em forma de degrau na ZTA.

- d. **Trincas de reaquecimento:** Esse fenômeno pode acontecer em alguns aços de baixa liga nos contornos de grão, normalmente na região de granulação grosseira da ZTA, após a

solda ter entrado em serviço a altas temperaturas ou ter sido tratada termicamente. As causas reais para esse fenômeno são complexas e não estão completamente entendidas, mas o mecanismo pode envolver endurecimento no interior dos grãos pelos formadores de carbonetos como cromo, molibdênio e vanádio, concentrando a deformação nos contornos de grão que, se contiverem impurezas como enxofre, fósforo, estanho, antimônio e arsênio, poderá haver colapso nessas regiões.

- e. **Fissuração por corrosão sob tensão:** É uma forma de fissuração que pode ocorrer em muitos materiais e está usualmente associada à presença de um meio corrosivo como, por exemplo, sulfeto de hidrogênio (H₂S), podendo atacar a região endurecida da ZTA em tubulações de aço. Por isso é especificada muitas vezes uma dureza máxima. Precauções gerais contra a corrosão sob tensão incluem a seleção cuidadosa do metal de base e de um tratamento pós-soldagem adequado para reduzir as tensões e colocar a ZTA em sua condição microestrutural mais adequada.

- f. **Trincas de liquação:** Outros possíveis defeitos na ZTA incluem trincas de liquação causadas pela fusão de

constituintes de baixo ponto de fusão presentes nos contornos de grão, resultando em microtrincas que podem posteriormente formar sítios de propagação de trincas maiores.

14. **SEGURANÇA NA SOLDAGEM**

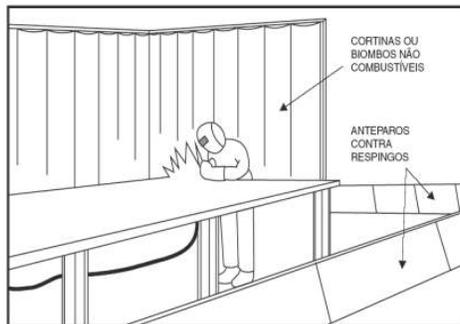
As operações de soldagem envolvem situações de risco, como outras atividades, podendo causar danos ao pessoal envolvido, a terceiros, às instalações e/ou equipamentos. Via de regra de segurança ora apresentadas são divididas em três grupos principais:

- 1) Regras de segurança relativas ao local de trabalho
- 2) Regras de segurança relativas ao pessoal
- 3) Regras de segurança relativas ao equipamento

Grupo 1: Segurança relativas ao local de trabalho

1. Incêndios e explosões: O calor produzido por arcos elétricos e as suas irradiações, por escórias quentes e por faíscas podem ser causas de incêndios ou explosões.

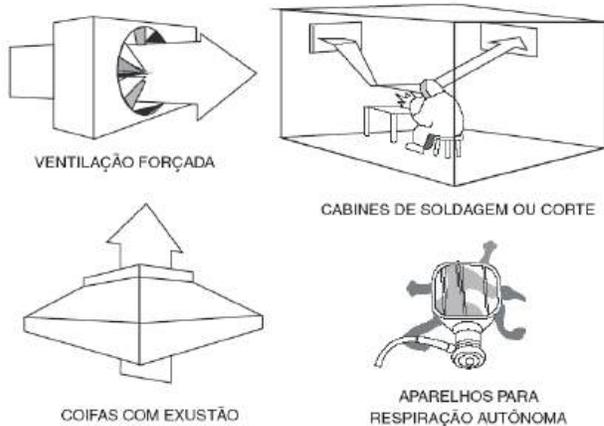
- Garantir a segurança da área de trabalho: trabalhar em locais especialmente previstos para soldagem ou corte ao arco elétrico.
- Eliminar possíveis causas de incêndios: líquidos inflamáveis, sólidos combustíveis ou gases inflamáveis.



- Instalar barreiras contra fogo e contra respingos: instalar biombos metálicos ou proteções não inflamáveis para evitar que o calor, as faíscas, os respingos ou as escórias possam atingir materiais inflamáveis.
- Tomar cuidado com fendas e rachaduras: Faíscas, escórias e respingos podem "voar" sobre longas distâncias
- Instalar equipamentos de combate a incêndios.
- Nunca soldar, cortar ou realizar qualquer operação a quente

numa peça que não tenha sido adequadamente limpa.

- Proceder à inspeção da área de trabalho após ter-se completado a soldagem ou o corte.



2. Ventilação: O local de trabalho deve possuir ventilação adequada de forma a eliminar os gases, vapores e fumos usados e gerados pelos processos de soldagem e corte.

- Locais tais como poços, tanques, etc devem ser considerados como áreas confinadas.
- O soldador ou operador deve sempre manter a cabeça fora da área de ocorrência dos fumos ou vapores gerados por um arco elétrico de forma a não respirá-los.

3. Cilindros de gás: O manuseio inadequado dos cilindros dos gases usados em soldagem ou corte elétricos pode provocar a danificação ou ruptura da válvula de fechamento e a liberação repentina e violenta do gás que contém com riscos de ferimento ou morte.

- Os cilindros de gás devem sempre ser mantidos em posição vertical.
- Somente usar um regulador de pressão específico para o gás usado e de capacidade apropriada à aplicação.
- Nunca conservar cilindros ou equipamento relativo a gases de proteção em áreas confinadas.
- Ao abrir a válvula do cilindro, manter o rosto afastado do regulador de pressão/vazão.

Grupo 2: Segurança relativas ao pessoal.

1. **Choques elétricos**

- Nunca tocar em partes eletricamente "vivas".
- Instalar o equipamento de acordo com as instruções do manual específico fornecido.
- Aterrar os equipamentos e seus acessórios a um ponto seguro de aterramento.
- Garantir bons contatos elétricos na peça soldada e nos terminais de saída da máquina.
- Assegurar-se de que todas as conexões elétricas estão bem apertadas, limpas e secas.
- Usar roupa e equipamentos de proteção individual adequados, em bom estado, limpos e secos bem como o local de trabalho.
- Ao soldar ou cortar, não usar quaisquer adornos, acessórios ou objetos corporais metálicos.

2. **Campos elétricos magnéticos:** A corrente elétrica que circula num condutor provoca o aparecimento de campos elétricos e magnéticos. Para minimizar os efeitos dos campos gerados pelas correntes elétricas de soldagem e corte:

- Não se deve permanecer entre os dois cabos eletrodo e obra e sim, sempre manter ambos do mesmo lado do corpo.
- Os dois cabos de soldagem (eletrodo e obra) devem correr juntos e, sempre que possível, amarrados uma o outro.
- Na peça a ser soldada, conectar o cabo obra tão perto quanto possível da junta.
- Manter os cabos de soldagem e de alimentação do equipamento tão longe quanto possível do corpo.
- Nunca se deve enrolar cabos de soldagem em torno do corpo.

3. **Proteção da visão:** Os arcos elétricos de soldagem ou corte emitem raios ultravioletas e infravermelhos. Exposições de longa duração podem provocar queimaduras graves e dolorosas da pele e danos permanentes na vista.

- Para soldar ou cortar, usar máscara com vidro ou dispositivo de opacidade adequado ao processo e à aplicação prevista. A tabela 4 abaixo orienta quanto à opacidade recomendada para a proteção em função do processo e da faixa de corrente usados.

Tabela 4: Filtros recomendados (Norma de segurança ANSI Z49.1)

| Processo | Corrente | Opacidade |
|---------------------------------|------------------------------------|-----------|
| Goivagem a arco | até 500 A | 12 |
| | de 500 até 1.000 A | 14 |
| Plasmacorte | até 300 A | 9 |
| | de 300 até 400 A | 12 |
| | de 400 até 800 A | 14 |
| Soldagem a plasma | até 100 A | 10 |
| | de 100 até 400 A | 12 |
| | de 400 até 800 A | 14 |
| Soldagem com eletrodo revestido | até 160 A (até 4 mm) | 10 |
| | de 160 até 250 A (de 4 a 6 mm) | 12 |
| | de 250 A até 550 A (acima de 6 mm) | 14 |
| Soldagem MIG/MAG | de 60 até 160 A | 11 |
| | de 160 A até 250 A | 12 |
| | de 250 A até 500 A | 14 |
| Soldagem TIG | até 50 A | 10 |
| | de 50 até 150 A | 12 |
| | de 150 até 500 A | 14 |

4. **Proteção da pele:** Devido à emissão de raios ultravioletas e infravermelhos, arcos elétricos queimam a pele da mesma maneira que o sol, porém muito mais rapidamente e com maior intensidade. Para garantir uma proteção segura contra a irradiação de um arco elétrico e os respingos deve-se:

- Não deixar nenhuma área de pele descoberta.
- Usar roupa protetora resistente ao calor: gorro, jaqueta, avental, luvas e perneiras.
- Usar calçado de cano longo e estreito.
- Usar calças sem bainha. Bainhas podem reter fagulhas e respingos
- Sempre usar roupa, inclusive de proteção, limpa.
- Manter os bolsos, mangas e colarinhos abotoados.



Figura : Equipamento de proteção Individual

Grupo 3: Segurança relativas aos equipamentos

Sempre instalar e operar um equipamento de soldar ou cortar de acordo com a orientação do seu Manual de Instruções.

- Sempre ligar uma máquina de soldar ou cortar à sua linha de alimentação através de uma chave de parede
- Sempre instalar e operar uma máquina de soldar ou cortar de acordo com as orientações contidas no Manual de Instruções.
- Operar os equipamentos estritamente dentro das características anunciadas pelo fabricante.
- Nunca usar uma máquina de soldar ou cortar com parte do seu gabinete removida ou mesmo aberta.
- Não operar equipamentos defeituosos.
- Sempre manter um equipamento de soldar ou cortar afastado de fontes externas de calor (fornos, por exemplo).
- Máquinas de soldar ou cortar não devem ser utilizados em locais alagados ou poças de água.

Em geral os profissionais que atuam com a soldagem estão expostos a vários riscos individuais ou combinados os mais comuns são os Riscos Físicos, Riscos químicos, Radiações provenientes dos equipamentos e os Fumos Metálicos, Gases e vapores e Doenças ocupacionais.

Durante a soldagem podem ser gerados gases e vapores nocivos, que podem causar dores de cabeça, febre, intoxicação das vias respiratórias e até a morte.

Os fumos metálicos são proveniente do metal que está sendo soldado:

- A composição dos fumos depende do metal
- Se o metal é aço há grande quantidade de ferro e menor dos outros componentes da liga.
- Este dependem do tipo de aço: manganês, cromo, níquel, zinco (em altas concentrações em chapas galvanizadas)
- Maçaricos (oxiacetileno por exemplo) geram fumos basicamente da chapa que está sendo trabalhada.

1 *Os possíveis riscos a saúde causada por exposições a fumos metálicos durante a soldagem a arco com eletrodo metálico coberto dependem,*

obviamente do metal que esta sendo soldado e da composição do eletrodo. O componente principal do fumo gerado por aço doce é oxido de ferro.

Os danos causados pela exposição ao fumo de oxido de ferro parecem ser limitados. A deposição de partícula de oxido de ferro no pulmão causa realmente uma pneumoconiose benigna conhecida como siderose. Não há enfraquecimento funcional do pulmão, nem proliferação de tecido fibroso, em um estudo abrangente sobre dados conflitantes Stokinger (1984) concluiu que oxido de ferro não é carcinogênico para o ser humano.

Possíveis Efeitos da Super- Exposição aos Fumos e Gases

Dependendo da quantidade do material envolvido, a inalação de fumos e gases causa irritação nos olhos, na pele e no sistema respiratório, além do risco a complicações mais severas. Esses efeitos podem ocorrer imediatamente após a soldagem ou após certo tempo. Fumos podem causar sintomas como náuseas, dor de cabeça, tonteira e febre. Possibilidade de doenças mais sérias existe quando materiais altamente tóxicos estão envolvidos. Por exemplo, superexposição ao manganês pode afetar o sistema nervoso central resultando em prejuízos na fala e nos movimentos. Em espaços confinados, a pressão dos gases deslocam o ar respirável e causar asfixia.

Como Evitar a Superexposição

- Conservar sua cabeça longe dos fumos e gases.
- Não respirar os fumos e gases.
- Usar ventilação e/ou exaustão suficiente para reter os fumos e gases longe da região de respiração dos soldadores e da área em geral.
- Em muitos casos, a ventilação natural do galpão proporciona ventilação suficiente e ar fresco à área de soldagem e ao galpão.
- Onde a ventilação natural é questionável, use ventilação ou exaustão mecânica para promover ar de qualidade.
- Se os controles até agora mencionados não são suficientes, use fontes externas de ar através de respiradores. Estes equipamentos devem ser manuseados apenas por pessoas qualificadas para estas funções.
- Trabalhar em espaço confinado requer cuidados adicionais quanto aos fumos e gases. Veja informativo técnico sobre este tema. Nunca trabalhe

sozinho.

- Fumos provenientes de soldagem ou corte podem alterar a qualidade do ar causando prejuízos à saúde ou mesmo a morte.
- Seguir as normas da ABNT ou OSHA para obter os limites de exposição permissíveis (LEP) para vários fumos.
- As empresas devem contratar os serviços de um Técnico em Higiene Industrial ou Serviços Ambientais para conferir a operação e qualidade do ar no ambiente de trabalho e fazer recomendações específicas para operações de soldagem ou de corte.

Radiação do Arco

A radiação é energia eletromagnética fornecida pelo arco ou chama que pode ferir os olhos e queimar a pele. Um operador vê a luz visível, entretanto não vê ou percebe a radiação ultravioleta e a infravermelha. A radiação é muitas vezes silenciosa e indetectável, mas pode provocar danos ao corpo humano. Todos os usuários desses processos devem informar-se sobre os efeitos da radiação.

Efeitos da Radiação

Os efeitos da radiação dependem do comprimento de onda, intensidade e do tempo exposto à energia radiante. Apesar de uma variedade de efeitos serem possíveis, seguem-se os 2 danos principais que são mais comuns: Queimadura na pele e Danos aos olhos.

Como se Proteger Contra Radiação Ionizante

A proteção requerida varia com o tempo de exposição, distância da fonte e o grau de proteção do equipamento.

Evite inalar o pó do esmerilhamento da ponta de eletrodos de Tungstênio-Thório. Sempre use exaustão local.

A radiação emitida pelos eletrodos de Tungstênio-Thório durante seu armazenamento, soldagem e descarte de resíduos é desprezível quando sob condições normais.

Como se Proteger Contra Radiação Não-Ionizante

- Use capacete ou máscara de soldagem com o filtro de proteção correto
- Cortinas coloridas são usadas em soldagem não são usados para proteger transeuntes de exposição acidental à radiação. Não devem ser usadas como

filtros para soldagem

- Proteger a pele com luvas e roupas adequadas.
- Esteja atento aos reflexos do arco elétrico, e proteja as pessoas destas intensas radiações.
- Use óculos de segurança com proteção UV e proteção lateral além do capacete de soldagem com o de filtro de proteção adequado. A proteção lateral é necessária para evitar a radiação refletida.

Todas as pessoas devem usar esses óculos de segurança com proteção UV e proteção lateral sempre que estiver próximo das áreas de corte ou soldagem

15. PROCESSOS DE SOLDAGEM POR FUSÃO

Soldagem oxigás

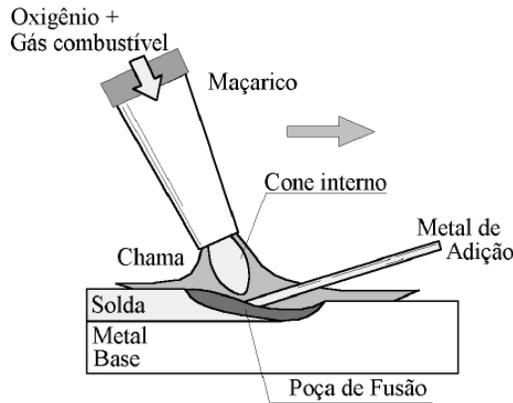


Figura 18: Soldagem Oxi-acetileno

Solda feita por aquecimento das peças com chama obtida de gases oxigás combustíveis é chamada de “Solda a gás”. Este processo foi introduzido industrialmente em 1903 e foi usado extensivamente, aproximadamente, por meio século. No entanto, com o desenvolvimento de métodos mais sofisticados é agora largamente usado para unir componentes e reparo de metais ferrosos e não-ferrosos. Como processo não requer eletricidade algumas vezes seu uso é indispensável, principalmente onde não existe eletricidade.

A intensidade do calor gerado na chama depende da mistura gás oxigás combustível a uma determinada pressão dos gases. O oxigênio é utilizado para proporcionar combustão do gás mas pode ser usado ar comprimido no lugar do oxigênio, mas isto proporciona uma baixa eficiência térmica e conseqüentemente redução na velocidade de soldagem; a qualidade da solda também é afetada. A escolha do gás, é importante, pois permite obter uma velocidade de soldagem e uma qualidade desejada no cordão de solda.

➤ Gases

O gás geralmente empregado é o acetileno, outros gases além do acetileno

podem ser empregados embora os mesmos fornecem menos intensidade de calor e conseqüentemente uma menor temperatura. Estes gases podem utilizar tanto o oxigênio e o ar para manter a combustão (tabela 5).

Algumas vezes o gás de carvão, vapor de querosene e de petróleo são também usados como gás combustível.

Tabela 5: Temperatura máxima de combustão

| Gás combustível | Temperatura de combustão (°C) | |
|---|-------------------------------|--------|
| | Com oxigênio | Com ar |
| Acetileno (C ₂ H ₂) | 3480 | 2650 |
| Hidrogênio (H ₂) | 2980 | 2200 |
| Propano (C ₃ H ₈) | 2925 | 2090 |
| Butano (C ₄ H ₁₀) | 2980 | 2150 |
| MAPP (Methyl Acetylene propadiene) (C ₃ H ₄) | 2925 | 1470 |
| Gás natural (CH ₄ e H ₂) | 2775 | 2090 |

Os gases mais usados em solda de gás oxi-combustível são o oxigênio e o acetileno.

➤ **Oxigênio**

É um gás incolor, inodoro, insípido e ligeiramente mais pesado que o ar. Um litro de oxigênio líquido pesa 1,14 Kg e produz 860 litros de oxigênio gasoso na evaporação.

Oxigênio comercial é produzido também por eletrólise da água ou mais usualmente pela liquefação do ar atmosférico. O princípio básico do processo de liquefação é que todos os gases vaporizam a diferentes temperaturas. Então, neste processo o ar será primeiramente forçado a passar através da soda cáustica e com a temperatura baixa de até -194 °C na qual se liquefaz todos os componentes do ar. Quando este ar é liquefeito e colocado para evaporar

lentamente, o nitrogênio e o argônio vaporizam mais rapidamente deixando para trás oxigênio quase puro que é então evaporado e comprimido dentro de um cilindro de aço a uma pressão de aproximadamente 15 MPa em um recipiente a temperatura de 20°C. O oxigênio está pronto para ser transportado para uso em soldagem ou corte por oxi-acetileno.

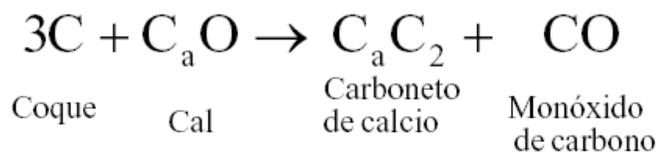
Oxigênio comprimido estando em contato com gordura ou óleo oxida-se em uma taxa extremamente rápida, então ocorre auto-ignição e pode explodir. Portanto os cilindros contendo oxigênio devem ser protegidos do contato com lubrificantes.

➤ **Acetileno.**

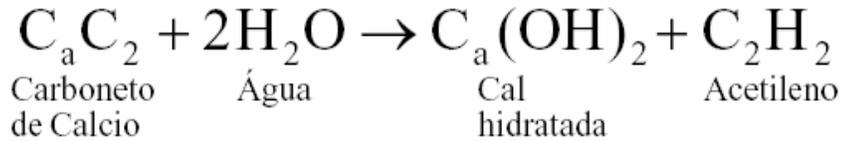
O acetileno industrial é um gás incolor que tem um picante e nauseante odor (cheiro característico de alho) devido a presença de impurezas. Ele é mais leve que o ar por um fator de 1:1 pode ser facilmente dissolve em líquidos.

Com apenas pequenas quantidades de mistura de acetileno com oxigênio ou ar, esta mistura pode explodir a pressão atmosférica; isto demonstra o cuidado que se deve ter no manuseio do equipamento de soldagem ou corte por oxi-acetileno.

Gás acetileno é produzido por uma reação de água e carboneto de cálcio. Carboneto de cálcio é formado pela fusão de carvão ou antracite com pedra calcária em alta temperatura em um forno elétrico pela seguinte reação:



O carboneto de cálcio produzido será resfriado e comprimido em diferentes tipos de blocos e é reativado com água para produzir acetileno que então purificado pela lavagem com água para limpar dos restos de sulfeto e fósforo.



Na reação acima, dependendo do tamanho do bloco e das impurezas, mas 1 Kg de CaC₂ gerará 250 a 280 litros de gás acetileno.

Acetileno utilizado em solda pode ser acondicionado em cilindro ou gerado diretamente por carbonato de cálcio e água prontos para serem utilizados em soldagem em determinados equipamentos. O acetileno é auto explosivo a pressões abaixo de 2 bar portanto não podem ser comprimidos diretamente dentro de simples cilindros.

Quando o acetileno é retirado do cilindro alguma acetona é também levada com ele. Para minimizar a perda de acetona, acetileno não deve ser escoado a uma velocidade maior do que 1700 //min. Deve deixar no cilindro vazio de acetileno uma pressão positiva de 0,05 a 0,1 MPa a uma temperatura de 20oC, enquanto que em uma temperatura de 35oC a pressão deve ser de 0,3 MPa.

Quando em uso, o cilindro de acetileno deve sempre ficar na posição vertical pois a quantidade excessiva de acetona que pode escapar com acetileno torna a chama com uma cor purpúrea e resulta em uma pobre qualidade de solda.

Embora pode-se usar o acetileno dissolvido, alguns dos usuários preferem produzir o seu próprio suprimento de carbonato de cálcio e água em um equipamento chamado de Gerador de Acetileno. Dois principais métodos podem ser empregados para gerar o acetileno: (i) carbonato com água, e (ii) água com carbonato. O método carbonato com água é mais comum. Ele necessita de pequenas amostras de carbonato para ser adicionado em um reservatório de água. Estes geradores podem ser classificados como unidades de baixa pressão, onde a mesma não deva exceder 10 KPa, unidades de média pressão tem uma pressão de gás 10 -70 KPa e unidades de alta pressão que tem gás de 70 a 150 KPa. Contudo, pressões baixa ou média são mais usadas na prática. A taxa de produção a baixa pressão de um gerador portátil ultrapassa 850 //hora. O acetileno produzido em geradores são conhecidos com acetileno gerado.

O equipamento básico para soldagem manual consiste de fontes de oxigênio e gás combustível, reguladores de vazão, mangueiras e do maçarico. O oxigênio é, em geral, fornecido em cilindros de gás comprimido (200atm). Em

locais onde este gás é muito utilizado, ele pode ser fornecido a partir de instalações centralizadas. O acetileno é fornecido em geral dissolvido em acetona dentro de cilindros próprios. Geradores de acetileno, onde este é produzido pela reação de carbureto de cálcio e água também podem ser usados. Os maçaricos são dispositivos que recebem o oxigênio e o gás combustível, fazem a sua mistura na proporção correta e liberam esta mistura, no seu bico, com uma velocidade adequada para a sua queima.

O equipamento para soldagem OFW (figura 19) é muito versátil, podendo ser utilizado, através de mudanças de regulagem ou troca de bicos do maçarico, para corte a oxigênio, tratamento térmico de pequenas peças e para brasagem.

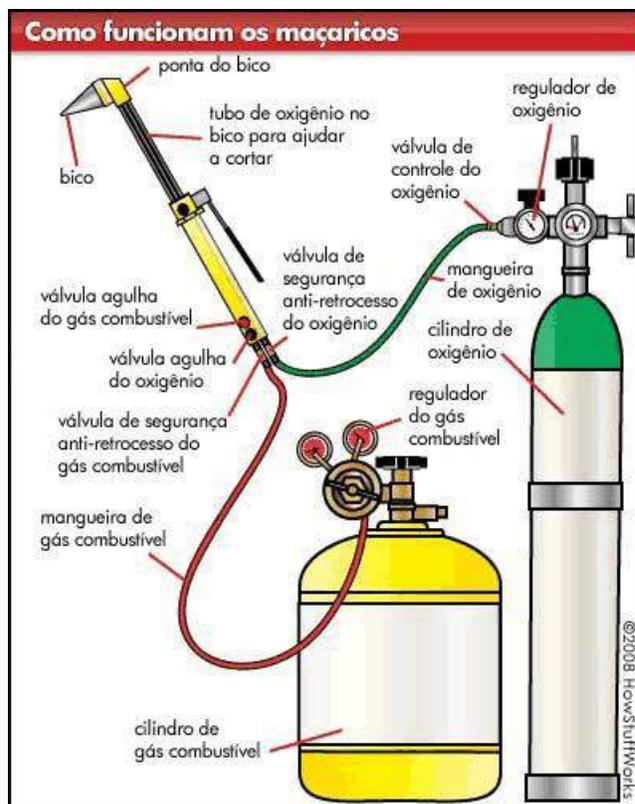


Figura : Equipamento de Soldagem Oxi-Acetileno

➤ **Cilindros de Gás comprimido.**

Existe uma variação muito grande dos cilindros de gás comprimido em capacidade, modelo e na cor. Na maioria dos países, no entanto, o tamanho destes cilindros varia entre 6 e 7 m³ e têm cor preta ou verde para oxigênio e marrom para acetileno.

O oxigênio tem que estar armazenado de forma definitiva em cilindros de aço que possa ser usado na soldagem a qualquer instante. A parte superior do cilindro não é pintada para deixar em evidencia os dados que o fabricante marcou tal como o número de série, peso líquido, data de fabricação, data para próxima inspeção, operação e teste de pressão, capacidade, e inspetor. Por causa da alta pressão nos cilindros de aço e a possibilidade de deterioração das paredes do cilindro de gás comprimido é necessário que sejam testados em intervalos regulares de cinco anos.

Logo após o uso, uma pressão positiva de oxigênio deveria ser sempre deixada nos cilindros de forma que possam ser identificados para carga e recarga. Quando a temperatura ambiente passa de 200C, a pressão dos cilindros aumenta correspondentemente. Então, a pressão pode aumentar demais podendo romper o cilindro, um nipe de segurança é então colocada na válvula como mostrado na figura 20

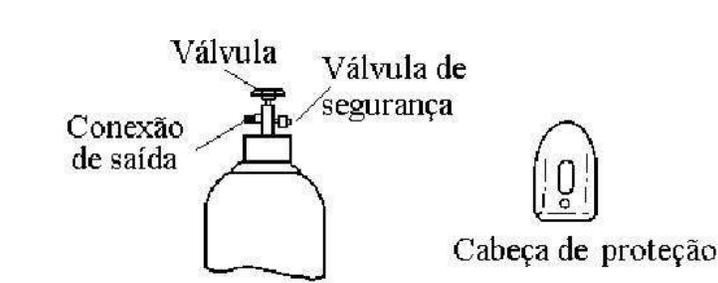


Figura 20: Válvula de Segurança

➤ Válvulas

Todas as válvulas são constituídas e operadas no mesmo princípio. A função delas é fechar o ar comprimido ou liqüefeito no cilindro. Cada válvula consiste de uma haste que pode ser movida para cima ou para baixo pela rotação de um disco que girado pode levantar ou abaixar a placa da válvula abrindo ou fechando o cilindro.

Válvulas para cilindros de oxigênio são feitas de latão que não é corroída quando exposta ao oxigênio. Reguladores de pressão do oxigênio são conectados as válvulas do cilindros. Válvulas ajustadoras no cilindro de oxigênio devem ser mantidas limpas e livres de óleo ou graxa. Estas válvulas podem ser usadas em cilindros contendo nitrogênio, argônio, ar comprimido e dióxido de carbono.

Válvulas para cilindros de acetileno são feitas de aço porque ligas contendo mais de 70 % de cobre quando expostas ao acetileno por longo tempo reage com ele para forma acetileno de cobre e formando dentro um gel que pode dissociar violentamente ou explodir até quando for apenas ligeiramente lacrado ou tapado. Reguladores de pressão são conectados as válvulas de cilindro de acetileno por cliques, e a válvula é aberta e fechada com uma chave de boca especial.

➤ Reguladores de Pressão

Reguladores de pressão de gases são necessários para reduzir a pressão do gás em um cilindro ou controlar a pressão usada na tocha de solda. O princípio de construção de reguladores para diferentes gases é o mesmo, isto se deve sempre por causa da pressão que eles são submetidos para controlar diferentes soldagens de gás a gás (por exemplo 150 bar para oxigênio e 17 bar para o acetileno) além do mais eles são designados para manter respectivamente diferentes pressões. Isto ocorre porque um regulador de gás é usado apenas para o gás para o qual ele é designado. Para evitar confusão e perigos, a conexão para gases combustíveis e tubos de oxigênio têm roscas diferentes e correspondentes ao filetes das válvulas, um tem rosca direita o outro com rosca esquerda.

Existem dois tipos de reguladores, com um e dois estágios. Esquema representativo para os dois tipos de reguladores são mostrados na figura 21. Um regulador de um único estágio reduz a pressão do gás no cilindro para a pressão de trabalho em um único passo. Em reguladores de dois estágios a pressão do cilindro é reduzida para a pressão de trabalho em dois passos. No primeiro passo o gás do cilindro é reduzido a um valor intermediário e no segundo passo a pressão intermediária é reduzida a pressão de trabalho na tocha de solda. Por exemplo, em reguladores de oxigênio de dois estágios a pressão é reduzida de 15 MPa a 5 MPa no primeiro estágio e de 5 MPa para próximo da pressão atmosférica no segundo estágio.

➤ Mangueiras

O acetileno e oxigênio são levados do cilindro para tocha de solda por meio de mangueiras feitas de borracha reforçada com as cores vermelha, preta ou verde, capaz de conduzir os gases em linhas com altas pressões a uma temperatura moderada. Mangueiras de cor verdes são destinadas para o oxigênio e as conexões são feitas com nipples de rosca plana e a direita.

Mangueiras vermelhas são usadas para levar gás combustível com porca diferenciada com rosca a esquerda para conectar na saída do regulador de pressão e na conexão com a tocha. Na indústria normalmente usa mangueiras pretas para transportar outro gás combustível.

Uma tocha de soldagem tem o propósito de fornecer volumes corretos de gás combustível e de oxigênio, e misturá-los adequadamente para a combustão para atender as especificações da solda projetada. O fluxo de gás na tocha é controlado com a ajuda de duas válvulas localizada no punho da tocha como mostra na figura 20



Figura :. Tocha de soldagem

Existem dois tipos básicos de maçarico de solda: de pressão positiva - Tipo misturador (também chamado de média pressão) e de baixa pressão ou tipo injetor (figura 21a; 21b).



(a)

Figura :(a) maçarico de alta pressão, (b) maçarico de baixa pressão.

➤ **Bicos**

O bico da tocha de solda é a parte na qual se localiza na frente onde ocorre a mistura de gás, esta mistura é feita internamente a tocha antes que de entrar em ignição para dar a chama desejada. Os bicos possibilitam o soldador guiar e direcionar a chama para o trabalho com facilidade e eficiência.

Os bicos de solda são geralmente feitos de ligas a base de cobre de alta condutividade térmica suficiente para reduzir o risco de super aquecimento.

Os bicos de solda são feitos de diferentes tamanhos e podem ser inteiriço, isto é de apenas uma peça ou duas como mostrado na figura 22. O tamanho e tipo do bico de solda é determinado pelo diâmetro de seu orifício. O tipo de bico de solda feito para realizar um dado trabalho é determinado pelo metal a ser soldado e sua espessura. A vantagem do bico de solda de duas peças é que ao invés de trocar o bico completo é preciso trocar apenas a cabeça do bico ou encaixar uma pequena parte no seu final.



Figura : (a) bico inteiriço, (b) bico removível

➤ **Limpadores de bicos e Acendedores**

Para controlar a chama de gás oxi combustível é essencial que o orifício do bico de solda esteja limpo, liso e paralelo como mostrado na figura 12.7-a. Se este orifício estiver sujo, gasto ou obstruído com salpico de metal etc. como mostra a figura 12.7b e 12.7c, a chama será assimétrica e distorcida que pode ser difícil para usar. Se o bico estiver gasto com formato de um sino, , será necessário corrigi-lo e se as partículas de metal forem depositada dentro do orifício o mesmo deve ser removidas com a ajuda de um limpador de bico.

➤ **CONSUMÍVEIS**

Os consumíveis normalmente usados na soldagem a gás são os gases (combustível e oxigênio), os metais de adição e os fluxos de soldagem, se usados

Gases: Acetileno, Gás de Rua, Propano, Metano

O acetileno (C_2H_2) é o mais usado em soldagem, é incolor e possui um cheiro característico. Não existe livre na natureza, sendo produzido em geradores a partir da reação do carbureto de cálcio (CaC_2) com a água (H_2O). Para uso industrial, o acetileno pode ser fornecido em cilindros ou ser produzido em geradores.

O oxigênio é o comburente e é incolor e insípido, encontrado em abundância na atmosfera e pode ser obtido industrialmente através de reação química, eletrólise da água ou liquefação do ar (mais usado).

Após a retirada do gás carbônico, o ar é resfriado, expandido e liquefeito, passando posteriormente por colunas de retificação, onde os diversos gases do ar são separados de acordo com o seu ponto de evaporação. O oxigênio assim obtido é de alta pureza, maior ou igual a 99%. Outros gases têm seu uso restrito à soldagem de ligas com baixo ponto de fusão, ao aquecimento, à brasagem e, às vezes, a operações de corte.

Os fluxos são materiais fusíveis, na forma de pó, granulado ou pasta, usados na soldagem oxigás com a função de reagirem quimicamente com óxidos metálicos e formar escórias, além de melhorar a molhabilidade e a fluidez da poça de fusão.

Os fluxos são usados geralmente na soldagem do ferro fundido, do aço inoxidável e grande parte dos metais não ferrosos, como o alumínio, o cobre e suas ligas. Na soldagem dos aços, de um modo geral, não há necessidade de uso de fluxo.

Os metais de adição usados na soldagem oxigás são fornecidos na forma de varetas, com comprimentos e diâmetros variados e padronizados.

São escolhidos em função da quantidade de metal a depositar e da espessura das peças a serem unidas. São classificados e especificados em várias normas técnicas, propostas por diferentes entidades, nos diversos países. As normas mais usadas no Brasil são as da American Welding Society . AWS (Associação Americana de Soldagem).

Exemplo: A norma AWS A 5.2 especifica e classifica os metais de adição para soldagem de ferro e aço. Existem três classes: RG 45, RG 60 e RG 65, para os quais se exige um limite de resistência à tração de 45, 60 e 67 ksi (315, 420 e 469 MPa), respectivamente. Para a soldagem do ferro fundido, a norma AWS A 5.15 especifica os arames de adição, que são designados pelas letras RCI. Os aços inoxidáveis são soldados com metais de adição classificados pela norma AWS A 5.9. Estes são designados pelas letras ER, seguidas pelos números que normalmente correspondem a designação AISI do aço a ser soldado.

➤ TÉCNICA OPERATÓRIA

O tipo de maçarico a ser usado dependerá da forma de suprimento de gases, do tamanho do bico e do ajuste desejado para a chama e a necessidade de uso de fluxo e seu tipo dependerão dos materiais e espessuras a serem unidos.

Uma chama oxiacetilênica apresenta basicamente duas regiões: um cone interno, também chamado de .dardo., de forma bem definida e cor azulada, localizado logo à frente do bico, onde se dá a reação:

, chamada de reação primária.

O oxigênio para esta reação ou parte dele é proveniente do maçarico. Uma segunda reação, ou reação secundária, com o oxigênio do maçarico ou da atmosfera,

, ocorre na segunda região, formando um envoltório externo difuso, conhecido como .penacho., de cor mais avermelhada ou laranja.

A quantidade de calor resultante é função direta da quantidade de acetileno queimado e depende da vazão dos gases no maçarico. Maior vazão e deve ser acompanhada da troca de bico para um tamanho adequado. A vazão determinará se a chama será mais áspera ou macia. Chamas muito macias são ineficientes e sensíveis ao fenômeno de engolimento, enquanto chamas muito ásperas são de

difícil manuseio.

As temperaturas mais altas na chama oxiacetilênica ocorrem na ponta do cone interno, de modo que, para uma operação mais eficiente, a ponta deste deve ser posicionada próximo à superfície a ser fundida.

A quantidade de calor resultante é função direta da quantidade de acetileno queimado e depende da vazão dos gases no maçarico. Maior vazão e deve ser acompanhada da troca de bico para um tamanho adequado. A vazão determinará se a chama será mais áspera ou macia. Chamas muito macias são ineficientes e sensíveis ao fenômeno de engolimento, enquanto chamas muito ásperas são de difícil manuseio.

As temperaturas mais altas na chama oxiacetilênica ocorrem na ponta do cone interno, de modo que, para uma operação mais eficiente, a ponta deste deve ser posicionada próximo à superfície a ser fundida.

A proporção de gases na mistura determina o caráter oxidante, neutro ou redutor da chama. A chama neutra, mais usada, tem a proporção de um volume de oxigênio para um volume de acetileno. Alternado-se a proporção pode-se ter uma chama ligeiramente oxidante ou carburante, oxidante ou carburante ou ainda, muito oxidante ou carburante. A soldagem a gás é feita nas seguintes etapas:

- Abertura dos cilindros de gases e regulagem das pressões de trabalho,
- acendimento e regulagem da chama,
- formação da poça de fusão,
- deslocamento da chama e realização do cordão de solda, com ou sem o uso de metal de adição,
- interrupção da solda e
- extinção da chama.

As pressões de trabalho são escolhidas em função do tipo de maçarico e tamanho de bico, além do diâmetro e o comprimento das mangueiras de gás.

Diâmetros pequenos e/ou mangueiras muito longas podem levar a uma queda de pressão. Os fabricantes dos equipamentos fornecem as informações necessárias quanto a estes aspectos.

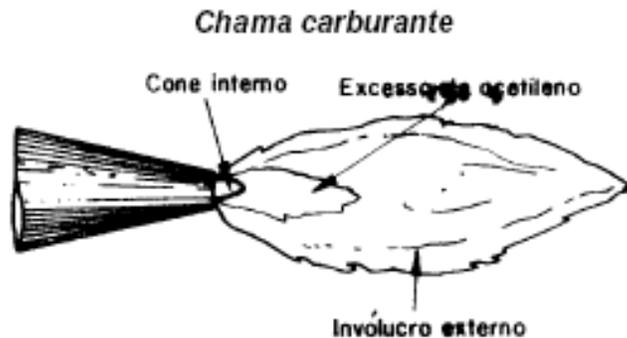
Recomenda-se que a regulagem das pressões de trabalho seja feita com os registros de gás do maçarico abertos, já que as pressões indicadas nos manômetros tendem a ser mais altas quando as saídas de gás estão fechadas.

O acendimento da chama é feito com um gerador de fagulha ou isqueiro.

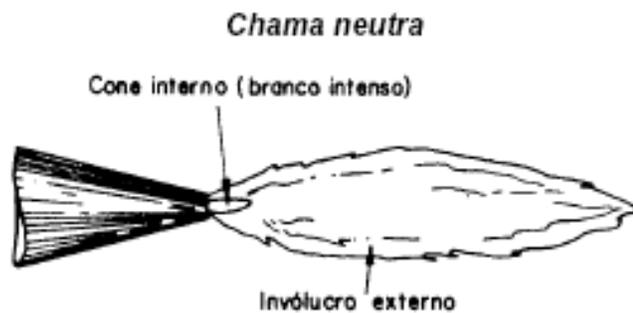
Apenas com acetileno a chama tem uma cor amarelo-brilhante e é bastante fuliginosa. Para se evitar esta fuligem pode-se abrir ligeiramente o registro de oxigênio.

Uma vez acesa, a chama deve ser regulada quanto ao tamanho e tipo adequados:

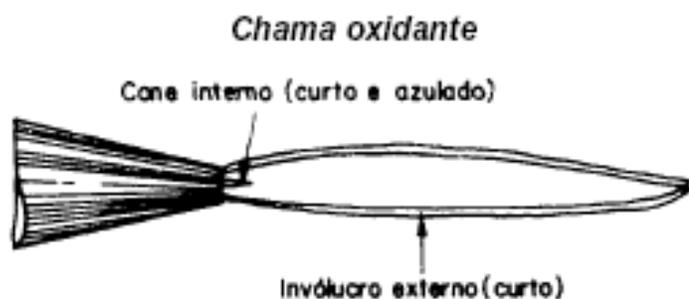
- A chama redutora apresenta uma terceira região entre as duas anteriores, chamada de penacho ou cone intermediário.



- A chama neutra apresenta duas regiões: o cone interno e o envoltório externo.



- A chama oxidante apresenta um chiado mais estridente, além de penacho menor que o da chama neutra e de cor mais azulada.



Todas as chamas apresentam ainda um ruído característico.

FORMAÇÃO DA POÇA DE FUSÃO

Para a formação da poça de fusão, a ponta do cone interno deve ser posicionada de 1 a 3 mm da superfície, formando um ângulo de 45 a 60 graus com a peça e mantida nesta posição durante a operação.

Quando a poça de fusão atingir um tamanho adequado, a chama deve ser deslocada ao longo da junta, a uma distância constante da poça de fusão.

A velocidade de soldagem deve ser escolhida para não provocar fusão insuficiente ou excessiva da peça e deve ser mantida constante durante a operação.

Quando necessário, promove-se a adição de metal de enchimento, na poça de fusão, à frente do cone interno. A ponta da vareta deve ser mantida todo o tempo dentro da região do cone externo, para evitar sua contaminação pela atmosfera.

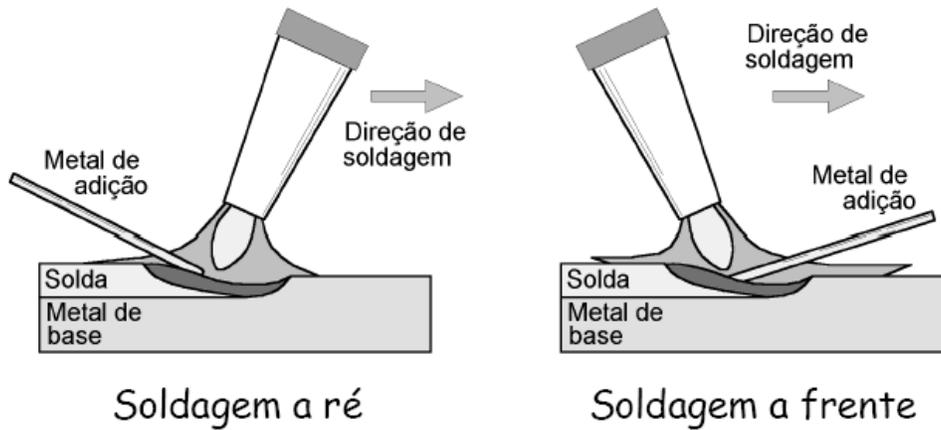
MOVIMENTO DO MAÇARICO

Existem basicamente duas **técnicas para a execução**:

- Soldagem a ré ou soldagem para trás - produz um cordão de solda estreito e com maior penetração, permitindo o uso de maiores velocidades de deslocamento e a soldagem de peças de maior espessura
- Soldagem para frente - resulta num cordão mais raso, sendo adequada para a soldagem de chapas finas, de até 3 mm de espessura.

Movimentos:

- Longitudinal (translação ao longo da junta)
- Transversal ou de tecimento (obtenção de cordões mais largos e maior fusão das paredes do chanfro).



O tecimento auxilia também no controle da poça de fusão, evitando que ela escorra na soldagem fora da posição plana.

Ao final da soldagem, recomenda-se diminuir ao mínimo o tamanho da chama e fechar primeiro o registro de acetileno a fim de se extinguí-la e depois o de oxigênio.

Terminado o serviço, as válvulas dos cilindros de gases devem ser fechadas, as mangueiras e reguladores de pressão esvaziados e os registros do maçarico fechados.

Embora a temperatura e a quantidade de calor geradas pela chama oxi-acetilênica sejam suficientemente elevadas para soldagem, estes valores são ainda baixos (10 W/mm^2) quando comparados com os de outras fontes de calor para soldagem por fusão (300 W/mm^2 para o arco elétrico), o que implica em baixas velocidades de soldagem.

Assim, apesar de sua simplicidade e versatilidade, a soldagem a gás tem uso restrito na indústria atual, devido à sua baixa produtividade, sendo suas principais aplicações a soldagem de chapas finas e de tubos de pequeno diâmetro, a brasagem e a soldagem de reparo, devido à sua portabilidade.

16. CORTE A GÁS

O processo de corte a gás (Oxi-Fuel Gas Cutting-OFC) é um processo no qual o corte dos metais é obtido pela reação do oxigênio puro com o metal, a alta temperatura, conseguida inicialmente com o uso de uma chama oxigênio-gás combustível. O corte de metais resistentes à oxidação é auxiliado pela adição de fluxos e pós metálicos.

O metal a ser cortado é aquecido por uma chama de até uma temperatura em que ocorre a reação do metal com o oxigênio (temperatura de ignição) e a seguir é exposto a um jato de oxigênio de alta pureza.

A reação de oxidação do metal produz uma quantidade de calor suficiente para fundir o óxido que é formado, que é expulso pelo jato de oxigênio, e também para manter a peça aquecida, permitindo assim a continuidade da operação. Depois de iniciado o corte, a princípio, a chama não é mais necessária, entretanto, geralmente ela é mantida acesa durante toda a operação.

A chama de pré-aquecimento facilita a reação com o oxigênio, pelo fornecimento de calor à superfície da peça e também evita que o jato de oxigênio seja contaminado pela atmosfera.

O processo é muito versátil, podendo cortar desde peças finas até peças de aço com mais de um metro de espessura.

Os equipamentos mais comumente usados podem ser manuais ou

mecanizados e efetuar cortes retos, curvilíneos, múltiplos, etc.

O equipamento para o corte a gás é basicamente o mesmo usado na soldagem a gás, diferenciando-se apenas pelo tipo de bico, que é próprio para operações de corte.

Ele possui as partes essenciais de um maçarico de solda e uma tubulação extra para o oxigênio de corte, dotada de uma válvula de acionamento rápido.

Os maçaricos podem ser do tipo para operação manual ou mecanizada.

O corte mecanizado é feito com uma velocidade mais uniforme, propiciando melhor aparência e regularidade da superfície.

O maçarico pode ser acoplado a copiadores óticos ou mecânicos e realizar cortes de acordo com gabaritos pré-determinados.

Diversos equipamentos estão disponíveis comercialmente, tanto manuais quanto mecanizados, com capacidade de corte simples ou múltiplo, numa ampla faixa de espessuras.



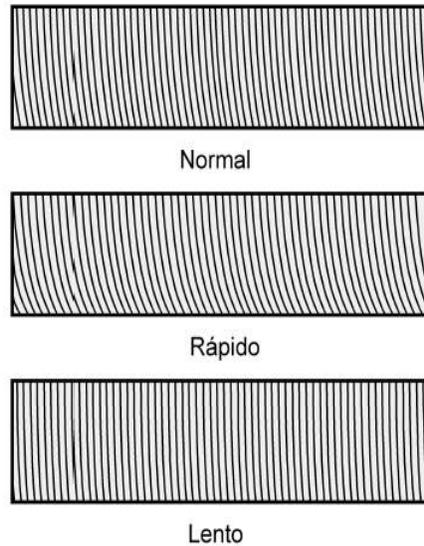
Os consumíveis do processo oxicorte são o oxigênio e os gases combustíveis e às vezes os fluxos e pós utilizados para corte de metais em que o corte convencional é insatisfatório.

O oxigênio usado na operação de corte deve ser de pureza elevada, maior ou igual a 99,5%. Para purezas inferiores a 95%, a ação de corte é extinguida. Vários gases combustíveis podem ser usados para corte: acetileno, propano, butano e metano. O acetileno é o mais usado mas, para algumas aplicações especiais como cortes muito longos, o propano e o butano podem apresentar vantagens.

Os fluxos e pós são usados em operações de corte de materiais especiais, como o aço inoxidável, o ferro fundido, o bronze e o alumínio.

A qualidade do acabamento da superfície cortada (rugosidade) depende de

vários fatores, principalmente da pureza do oxigênio e da velocidade de deslocamento. A inclinação das estrias superficiais permitem avaliar a adequação da velocidade de corte.



O corte a gás tem diversas aplicações industriais devido a sua versatilidade e é usado tanto na fabricação quanto na montagem e desmontagem de estruturas e peças metálicas.

Na desmontagem, ele é usado na separação de uniões mecânicas em geral, através de rebites, parafusos, pinos, soldas, etc, bem como no corte de peças e chapas.

Na montagem, o processo é usado para a preparação de chapas, permitindo dar-lhe formas adequadas para sua utilização posterior. Estaleiros e caldeirarias pesadas são seus principais usuários.

17. SOLDAGEM COM ELETRODOS REVESTIDOS

A Soldagem a Arco com Eletrodos Revestidos (**Shielded Metal Arc Welding - SMAW**) é um processo no qual a coalescência (união) dos metais é obtida pelo aquecimento destes com um arco estabelecido entre um eletrodo especial revestido e a peça (Figura 25) O eletrodo é formado por um núcleo metálico ("alma"), com 250 a 500mm de comprimento, revestido por uma camada de minerais (argila, fluoretos, carbonatos, etc) e/ou outros materiais (celulose, ferro ligas, etc), com um diâmetro total típico entre 2 e 8mm. A alma do eletrodo conduz a corrente elétrica e serve como metal de adição. O revestimento gera escória e gases que protegem da atmosfera a região sendo soldada e estabilizam o arco. O revestimento pode ainda conter elementos que são incorporados à solda, influenciando sua composição química e características metalúrgicas.



Figura 25: Soldagem com eletrodo revestido

O metal de base no percurso do arco é fundido, formando uma poça de metal fundido. O eletrodo é também fundido e assim transferido à poça de fusão na forma de glóbulos de metal fundido a cada 0,001 a 0,01 segundos a elevada temperatura. Nessas condições a expansão dos gases contidos no arame eletrodo, tanto em solução como armazenados em microporosidades, bem como os gases produzidos pela elevada temperatura dos componentes do revestimento, provocam a explosão desses glóbulos, projetando-os contra o banho de fusão.

O sopro das forças do arco, bem como o impacto dos glóbulos de metal fundido, formam uma pequena depressão no metal de base que é chamada de cratera.

A distância medida no centro do arco, da extremidade do eletrodo até o fundo da cratera é chamada comprimento do arco.

O comprimento do arco deve ser o menor possível (variando na faixa entre 3 e 4 mm ou ainda de 0,5 a 1,1 o diâmetro da alma do eletrodo) a fim de reduzir a chance dos glóbulos do metal em fusão entrarem em contato com o ar ambiente, absorvendo Oxigênio e Nitrogênio, os quais tem efeito bastante adverso nas propriedades mecânicas do metal depositado.

A coluna do arco estende-se desde o fundo da cratera até o glóbulo em fusão da ponta do eletrodo. De acordo com alguns pesquisadores, a temperatura do gás no centro do arco ao longo de seu eixo é de 6000°C, a temperatura do cátodo é de 3200°C e a temperatura no anodo é de 3400°C.

A possibilidade de inúmeras formulações para o revestimento explica a principal característica deste processo que é sua grande versatilidade em termos de ligas soldáveis, operacionalidade e características mecânicas e metalúrgicas do metal depositado. O custo relativamente baixo e a simplicidade do equipamento necessário, comparados com outros processos, bem como a possibilidade de uso em locais de difícil acesso ou abertos, sujeitos à ação de ventos, são outras características importantes.

Quando comparada com outros processos, particularmente com a soldagem com eletrodo consumível e proteção gasosa ou com a soldagem a arco submerso, a soldagem com eletrodos revestidos apresenta como principal limitação uma baixa produtividade, tanto em termos de taxa de deposição (entre 1,5 e 5 kg/h para eletrodos de aço carbono), como em termos de ocupação do soldador, geralmente inferior a 40%. Outras limitações são a necessidade de um treinamento específico, que é demorado e oneroso, particularmente para certas aplicações de maior responsabilidade, necessidade de cuidados especiais para os eletrodos, principalmente com os do tipo básico (baixo Hidrogênio), e o grande volume de gases e fumos gerados no processo, que são prejudiciais à saúde, particularmente em ambientes fechados.

➤ **PRINCÍPIOS DO PROCESSO**

ABERTURA, MANUTENÇÃO E EXTIÇÃO DO ARCO

ELÉTRICO

O arco elétrico é aberto tocando-se o eletrodo na peça a ser soldada. Apesar de não se exigir uma técnica especial, é necessário um treinamento prévio para não se causar danos na peça a ser soldada, principalmente se o eletrodo for do tipo de baixo Hidrogênio (eletrodo de revestimento básico).

A manutenção do arco, por sua vez é uma mera questão de controlar a velocidade de deposição e o comprimento do arco elétrico, uma vez todas as outras variáveis estabelecidas.

Na extinção do arco finalmente, um cuidado especial deve ser tomado para evitar a formação da cratera no final do cordão. A cratera deve ser preenchida convenientemente, mantendo-se o eletrodo estacionário sobre o fim do cordão, até que ela seja eliminada.

➤ FONTES DE ENERGIA PARA SOLDAGEM A ARCO

A corrente que alimenta o arco elétrico provem de uma fonte geradora, podendo ser corrente contínua ou corrente alternada. Os aparelhos que servem de fonte dividem-se em três categorias:

- Máquinas de corrente contínua: grupos rotativos, grupos eletrógenos, retificadores.
- Máquinas de corrente alternada: transformadores e conversores de frequência.
- Máquinas mistas: transformadores/retificadores.

➤ FUNÇÕES DO REVESTIMENTO DO ELETRODO

Os eletrodos revestidos são constituídos por uma alma metálica cercada por um revestimento composto de matérias orgânicas e ou minerais de dosagem bem definida.

Os vários materiais que compõe o revestimento entram na forma de pó, com exceção do aglomerante que é geralmente silicato de sódio ou potássio. O revestimento é composto por elementos de liga e desoxidantes tais como ferro cromo, ferro manganês, etc., estabilizadores de arco formadores de escória e materiais fundentes (asbesto, feldspato, ilmenita, óxido de ferro, mica, talco, rutilo, etc..) e materiais que formam uma atmosfera protetora (dolomita, carbonato de ferro, celulose, etc.).

A princípio, as funções básicas do revestimento são:

- a. Proteger o arco contra o Oxigênio e Nitrogênio do ar, através dos gases gerados pela decomposição do revestimento em alta temperatura.
- b. Reduzir a velocidade de solidificação, proteger contra a ação da atmosfera e permitir a desgaseificação do metal de solda através da escória.
- c. Facilitar a abertura e estabilizar o arco.
- d. Introduzir elementos de liga no material depositado e desoxidar o metal de solda.
- e. Facilitar a soldagem nas diversas posições de trabalho.
- f. Servir de guia às gotas em fusão em direção ao banho.
- g. Constituir-se em isolante elétrico na soldagem em chanfros estreitos ou de difícil acesso.

➤ TIPOS DE REVESTIMENTO

Em função de sua formulação e do caráter da escória, os revestimentos dos eletrodos podem ser classificados em diferentes tipos. Essa classificação varia bastante, de acordo com os diferentes autores e da norma utilizada; utilizaremos a classificação dos tipos de revestimento abaixo:

- **Revestimento oxidante:** são os eletrodos que contém no revestimento uma grande quantidade de óxido de ferro, com ou sem óxido de manganês, dando uma escória oxidante, abundante e que se remove com facilidade, e um metal depositado com baixa penetração e baixas propriedades mecânicas; hoje em dia

este tipo de eletrodo já está superados pelos eletrodos rutilicos.

- **Revestimento básico:** estes eletrodos tem um revestimento com altas quantidades de carbonato de cálcio, que lhe confere uma escória de caráter básico, pouco abundante e de rápida solidificação. A penetração é média, porém o metal depositado é de elevada pureza, com baixo teor de Enxofre e com valores baixos de Hidrogênio (causadores de trincas de solidificação e de trincas a frio respectivamente), apresentando ainda elevada resistência mecânica e resistência à fadiga. O grande perigo para este tipo de eletrodo é sua alta higroscopicidade, que poderá ocasionar porosidade e trincamento no cordão no caso de umidade, exigindo portanto grande cuidado na armazenagem.

- **Revestimento ácido:** o revestimento é a base de óxido de ferro e óxido de manganês ou de titânio ou de silício. A escória é de caráter ácido, abundante, leve e que se destaca com facilidade; a penetração é razoavelmente boa, a taxa de fusão é elevada, o que limita portanto a posição de soldagem à condição de plana e horizontal. É necessário que o metal de base tenha baixo teor de Carbono e impurezas a fim de evitar trincamento de solidificação.

- **Revestimento rutilico:** são eletrodos com grande quantidade de rutilo (TiO_2) no revestimento, gerando uma escória abundante, leve e de fácil remoção. A taxa de deposição é elevada, o eletrodo é soldável em todas as posições e a penetração é média; as propriedades mecânicas do metal depositado são boas, porém são exigidos os mesmos cuidados que os eletrodos de revestimento ácido no que diz respeito ao metal base.

- **Revestimento celulósico:** estes eletrodos possuem revestimento com alto teor de materiais orgânicos combustíveis, os quais geram um invólucro de gases protetores quando se decompõem no arco. A escória é pouco abundante, de média dificuldade de remoção, porém o arco é de alta penetração, que é sua característica mais importante. O cordão de solda possui um aspecto bastante medíocre e a perda por respingo é elevada, porém as propriedades mecânicas são bastante boas, com o eletrodo apresentando soldabilidade em todas as posições.

CLASSIFICAÇÃO DOS ELETRODOS REVESTIDOS CONFORME AWS

Os eletrodos são classificados com base nas propriedades mecânicas e na composição química do metal depositado, no tipo de revestimento, posição de soldagem e tipo de corrente. A classificação da AWS (American Welding Society) utiliza uma série de números e letras que fornecem várias informações a respeito do eletrodo, conforme figura 26.

Para os eletrodos de aço carbono e aços de baixa liga, a classificação utiliza 4 ou 5 algarismos precedidos da letra E, onde E significa eletrodo. Os primeiros dois (ou três) algarismos se referem à tração mínima exigida e é dado em mil libras por polegada quadrada (ksi). O terceiro (ou quarto) algarismo se refere à posição de soldagem, e o próximo algarismo, que é o último para os eletrodos de aço carbono indica o tipo de revestimento, corrente e polaridade.

Para os aços de baixa liga, a classificação AWS coloca após o último algarismo um hífen, seguido de um conjunto de letras e números, indicando classes de composição química, relativas aos diversos tipos de ligas.

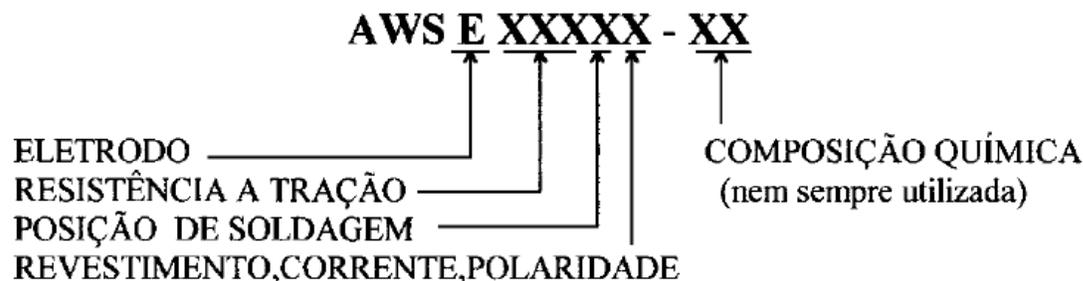


Figura 26: classificação de eletrodos revestidos

O equipamento usual (figura 12.24) consiste de fonte de energia (ou máquina de soldagem), porta-eletrodo e cabos, além de equipamentos de segurança para o soldador (máscara, luvas, avental, etc.) e para a limpeza do cordão e remoção de escória (picadeira e escova de aço). Para soldagem, a parte não revestida do eletrodo é fixada no porta eletrodo e o arco é iniciado tocando-se rapidamente a ponta do eletrodo na peça (que estão conectados, por cabos, aos terminais da máquina de soldagem). O calor do arco funde a ponta do eletrodo e um pequeno volume do metal de base formando a poça de fusão. A soldagem é realizada manualmente, com o soldador controlando o comprimento do arco e a

poça de fusão (pela manipulação do eletrodo) e deslocando o eletrodo ao longo da junta. Quando o eletrodo é quase todo consumido, o processo é interrompido para troca do eletrodo e remoção de escória da região onde a soldagem será continuada.

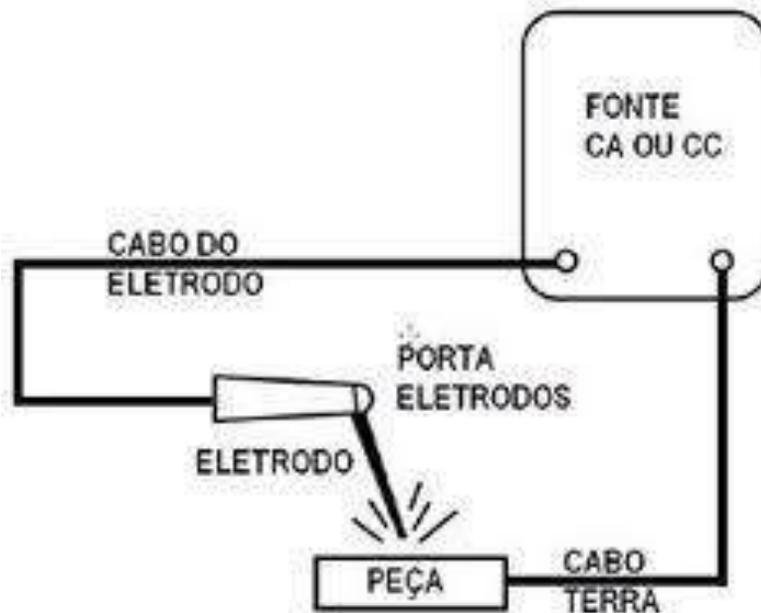


Figura 27: Representação do processo ao arco com eletrodo revestido

18. SOLDAGEM AO MIG/MAG GMAW (MIG/MAG)

A Soldagem a Arco Gás-Metal (**Gas Metal Arc Welding - GMAW**) é um processo de soldagem a arco que produz a união dos metais pelo seu aquecimento com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico contínuo (e consumível) e a peça (figura 29).

A proteção do arco e poça de fusão é obtida por um gás ou mistura de gases. Se este gás é inerte (Ar/He), o processo é também chamado **MIG (Metal Inert Gas)**. Por outro lado, se o gás for ativo (CO₂ ou misturas Ar/O₂/CO₂), o processo é chamado **MAG (Metal Active Gas)**. Gases inertes puros são, em geral, usados na soldagem de metais e ligas não ferrosas, misturas de gases inertes com pequenas quantidade de gases ativos são usadas, em geral, com aços ligados, enquanto que misturas mais ricas em gases ativos ou CO₂ puro são usados na soldagem de aços carbono.



Figura 29: classificação de eletrodos revestidos

➤ Modos de transferência de metal

Basicamente o processo MIG/MAG inclui três técnicas distintas de modo de transferência de metal: curto-circuito (*short arc*), globular (*globular*) e aerossol (*spray arc*). Essas técnicas descrevem a maneira pela qual o metal é transferido do arame para a poça de fusão. Na transferência por curto-circuito — *short arc*, *dip transfer*, *microwire* — a transferência ocorre quando um curto-circuito elétrico é estabelecido. Isso acontece quando o metal fundido na ponta do arame toca a

poça de fusão. Na transferência por aerossol — *spray arc* — pequenas gotas de metal fundido são desprendidas da ponta do arame e projetadas por forças eletromagnéticas em direção à poça de fusão. A transferência globular — *globular* — ocorre quando as gotas de metal fundido são muito grandes e movem-se em direção à poça de fusão sob a influência da gravidade. Os fatores que determinam o modo de transferência de metal são a corrente de soldagem, o diâmetro do arame, o comprimento do arco (tensão), as características da fonte e o gás de proteção (Figura 30).



Figura 30: Modo de transferência do metal

➤ O equipamento

O equipamento básico para a soldagem GMAW consiste de fonte de energia, tocha de soldagem, fonte de gás e alimentador de arame (figura 31). A fonte de energia tem, em geral, uma saída de tensão constante, regulável entre 15 e 50V, que é usada em conjunto com um alimentador de arame de velocidade regulável entre cerca de 1 e 20 m/min. Este sistema ajusta automaticamente o comprimento do arco através de variações da corrente, sendo mais simples do que sistemas alternativos. Na soldagem GMAW, utiliza-se, em praticamente todas as aplicações, corrente contínua com o eletrodo ligado ao polo positivo (CC+). Recentemente, o processo tem sido utilizado com corrente alternada (CA) para a soldagem de juntas de pequena espessura de alumínio.



Figura 31: Equipamento básico de soldagem MIG/MAG

➤ **Tochas de soldagem e acessórios**

A tocha guia o arame e o gás de proteção para a região de soldagem. Ela também leva a energia de soldagem até o arame. Tipos diferentes de tocha foram desenvolvidos para proporcionar o desempenho máximo na soldagem para diferentes tipos de aplicações. Elas variam desde tochas para ciclos de trabalho pesados para atividades envolvendo altas correntes até tochas leves para baixas correntes e soldagem fora de posição. Em ambos os casos estão disponíveis tochas refrigeradas a água ou secas, e tochas com extremidades retas ou curvas.

A Figura 32 mostra as partes de uma tocha seca típica com extremidade curva, contendo os seguintes acessórios: bico de contato, bocal, conduíte e cabo.



Figura 32: classificação de eletrodos revestidos

O bico de contato é fabricado de cobre e é utilizado para conduzir a energia de soldagem até o arame bem como dirigir o arame até a peça. A tocha (e também o bico de contato) é conectada à fonte de soldagem pelo cabo de solda.

Como o arame deve ser alimentado facilmente, pelo bico de contato e também fazer um bom contato elétrico, seu diâmetro interno é importante. O folheto de instruções fornecido com cada tocha relaciona o diâmetro correto do bico de contato para cada diâmetro de arame. O bico de contato, que é uma peça de reposição, deve ser preso firmemente à tocha e centrado no bocal.

O bocal direciona um fluxo de gás até a região de soldagem. Bocais grandes são usados na soldagem a altas correntes onde a poça de fusão é larga. Bocais menores são empregados na soldagem a baixas correntes.

O conduíte é conectado entre a tocha e as roldanas de alimentação. Ele direciona o arame à tocha e ao bico de contato. É necessária uma alimentação uniforme para se obter a estabilidade do arco. Quando não suportado adequadamente pelo conduíte, o arame pode se enroscar. Quando se usam arames de aço, recomenda-se que a espiral do conduíte seja de aço. Outros materiais como *nylon* e outros plásticos devem ser empregados para arames de alumínio. A literatura fornecida com cada tocha lista os conduítes recomendados para cada diâmetro e material do arame.

Neste processo de soldagem, mais do que em qualquer outro, a forma como o metal de adição se transfere do eletrodo para a poça de fusão pode ser controlada e determina várias de suas características operacionais. A transferência de metal através do arco se dá, basicamente, por três mecanismos: aerossol (spray), globular e curto-circuito, dependendo de parâmetros operacionais, tais como o nível de corrente, sua polaridade, diâmetro e composição do eletrodo e a composição do gás de proteção. Uma quarta forma de transferência (pulsada) é possível com equipamento especiais.

Na transferência por spray, o metal se transfere como finas gotas sob a ação de forças eletromagnéticas do arco e independentemente da ação da gravidade. Esta forma de transferência ocorre na soldagem com misturas de proteção ricas em argônio e com valores elevados de corrente. Ela é muito estável e livre de respingos. Infelizmente, a necessidade de correntes elevadas torna difícil, ou impossível, a sua aplicação na soldagem fora da posição plana (a poça de fusão tende a ser muito grande e de difícil controle) ou de peças de pequena espessura (excesso de penetração).

Na transferência globular, o metal de adição se destaca do eletrodo basicamente por ação de seu peso (gravidade), sendo, portanto, similar a uma torneira gotejando. É típica da soldagem com proteção de CO₂ para tensões mais elevadas e uma ampla faixa de correntes. Na soldagem com misturas ricas em Ar,

a transferência globular ocorre com corrente baixa e tensão elevada. Com esta forma de transferência, um elevado nível de respingos e grande flutuação da corrente e tensão de soldagem são comuns e a operação está restrita à posição plana.

Na transferência por curto circuito, o eletrodo toca a poça de fusão periodicamente (de 20 a 200 vezes por segundo), ocorrendo a transferência de metal de adição durante estes curtos por ação da tensão superficial e das forças eletromagnéticas. É a forma de transferência mais usada na soldagem de aços (particularmente com proteção de CO₂) fora da posição plana e de peças de pequena espessura (até 6 mm) devido às pequenas correntes de operação e à sua independência da ação da gravidade. Elevado nível de respingos e uma tendência à falta de fusão da junta (principalmente para juntas de grande espessura) são problemas típicos desta forma de operação.

A transferência pulsada é conseguida com fontes especiais que impõem uma forma especial à corrente de soldagem, caracterizada por pulsos periódicos de alta corrente. Esta pulsação permite uma transferência spray com valores médios de corrente inferiores aos valores nos quais esta forma de transferência ocorre normalmente. Assim, obtém-se as vantagens desta transferência com baixos valores de corrente o que permite a sua aplicação na soldagem de juntas de pequena espessura e, também, fora da posição plana. As maiores limitações desta forma de operação são a sua maior complexidade de operação e a necessidade de equipamentos especiais (de maior custo e mais complexos) .

➤ Gases de proteção

O ar atmosférico na região de soldagem é expulso por um gás de proteção com o objetivo de evitar a contaminação da poça de fusão. A contaminação é causada principalmente pelo nitrogênio (N₂), oxigênio (O₂) e vapor d'água (H₂O) presentes na atmosfera. Como exemplo, o nitrogênio no aço solidificado reduz a ductilidade e a tenacidade da solda e pode causar fissuração. Em grandes quantidades o nitrogênio pode causar também porosidade.

O oxigênio em excesso no aço combina-se com o carbono e forma o monóxido de carbono (CO), que pode ser aprisionado no metal, causando porosidade. Além disso, o oxigênio em excesso pode se combinar com outros elementos no aço e formar compostos que produzem inclusões no metal de solda — o manganês (Mn) e o silício (Si), por exemplo.

Quando o hidrogênio (H), presente no vapor d'água e no óleo, combina-se com o ferro (Fe) ou com o alumínio (Al), resultará em porosidade e pode ocorrer fissuração sob cordão no metal de solda.

Para evitar esses problemas associados com a contaminação da poça de fusão, três gases principais são utilizados como proteção: argônio (Ar), hélio (He) e dióxido de carbono (CO₂). Além desses, pequenas quantidades de oxigênio (O₂), nitrogênio (N₂) e hidrogênio (H₂) provaram ser benéficas em algumas aplicações. Desses gases, apenas o argônio e o hélio são gases inertes. A compensação para a tendência de oxidação dos outros gases é realizada pelas formulações especiais dos arames.

O argônio, o hélio e o dióxido de carbono podem ser empregados puros, em combinações ou misturados com outros gases para proporcionar soldas livres de defeitos numa variedade de aplicações e processos de soldagem.

➤ **Propriedades dos gases**

As propriedades básicas dos gases de proteção que afetam o desempenho do processo de soldagem incluem:

- propriedades térmicas a temperaturas elevadas;
- reação química do gás com os vários elementos no metal de base e no arame de solda;
- efeito de cada gás no modo de transferência de metal.

A condutividade térmica do gás à temperatura do arco influencia a tensão do arco bem como a energia térmica transferida à solda. Quando a condutividade térmica aumenta, maior tensão de soldagem é necessária para sustentar o arco. Por exemplo, a condutividade térmica do hélio e do dióxido de carbono é muito maior que a do argônio; devido a isso, aqueles gases transferem mais calor à solda. Portanto, o hélio e o dióxido de carbono necessitam de uma tensão de soldagem maior para manter o arco estável.

A compatibilidade de cada gás com o arame e o metal de base determina a adequação das diversas combinações de gases. O dióxido de carbono e a maioria dos gases de proteção contendo oxigênio não devem ser utilizados na soldagem do alumínio, pois se formará o óxido de alumínio (Al₂O₃). Entretanto, o dióxido de carbono e o oxigênio são úteis às vezes e mesmo essenciais na soldagem MAG dos aços. Eles promovem estabilidade ao arco e uma boa fusão entre a poça de fusão e o material de base. O oxigênio é bem mais reativo que o dióxido de

carbono. Conseqüentemente, as adições de oxigênio ao argônio são geralmente menores que 12% em volume, enquanto o dióxido de carbono puro pode ser empregado na soldagem MAG de aços doces. Os arames de aço devem conter elementos fortemente desoxidantes para suprimir a porosidade quando usados com gases oxidantes, particularmente misturas com altos percentuais de dióxido de carbono ou oxigênio e especialmente o dióxido de carbono puro.

Os gases de proteção também determinam o modo de transferência do metal e a profundidade à qual a peça é fundida — a profundidade de penetração. A transferência por aerossol não é obtida quando o gás de proteção é rico em CO₂. Por exemplo, misturas contendo mais que 20% CO₂ não exibem uma verdadeira transferência em aerossol.

Até certo ponto, misturas até 30% CO₂ podem apresentar um arco com um aspecto semelhante ao aerossol a altos níveis de corrente, mas são incapazes de manter a estabilidade do arco obtida com misturas de menores teores de CO₂. Os níveis de respingos também tenderão a aumentar quando as misturas forem ricas em CO₂.

➤ Arames

Um dos mais importantes fatores a considerar na soldagem MIG é a seleção correta do arame de solda. Esse arame, em combinação com o gás de proteção, produzirá o depósito químico que determina as propriedades físicas e mecânicas da solda. Basicamente existem cinco fatores principais que influenciam a escolha do arame para a soldagem MIG/MAG:

- a composição química do metal de base;
- as propriedades mecânicas do metal de base;
- o gás de proteção empregado;
- o tipo de serviço ou os requisitos da especificação aplicável;
- o tipo de projeto de junta.

Entretanto, a grande experiência na soldagem industrial levou a *American Welding Society* — AWS — a simplificar a seleção. Foram desenvolvidos e fabricados arames que produzem os melhores resultados com materiais de base específicos. Embora não exista uma especificação aplicável à indústria em geral, a maioria dos arames está em conformidade com os padrões da AWS.

➤ Arames de aço carbono

A Tabela 7 lista os requisitos químicos e as designações para todos os arames de aço doce cobertos pela especificação AWS A5.18. Embora as propriedades mecânicas e os requisitos de serviço influenciem fortemente a seleção do arame em alguns casos, considerações mais genéricas poderão ser mais úteis na maioria das aplicações e dos projetos de junta. Quando a corrente de soldagem, o tamanho da poça de fusão, a quantidade de ferrugem, a carepa de usina, e o óleo encontrado na superfície do metal de base aumentam, ou mesmo, quando os teores de dióxido de carbono ou de oxigênio aumentam, os teores de manganês e de silício do arame devem também aumentar para proporcionar a melhor qualidade à solda.

Tabela 7. composição química dos arames de aço doce cobertos.

➤ Arames de aço inoxidável

Na escolha do arame adequado para a soldagem de aços inoxidáveis existem geralmente alguns aspectos a serem considerados:

1. os gases de proteção são normalmente limitados a Ar / 1% O₂ para a soldagem em aerossol e A-1025 para curto-circuito. Todos os arames podem ser empregados com qualquer gás;
2. os arames são, na maioria das vezes, escolhidos para combinar com a composição química do metal de base;

3. os níveis de desoxidantes são de primordial importância. A Tabela 8 mostra os requisitos de composição química e as designações dos arames inoxidáveis abrangidos pela AWS. Diferentemente dos arames de aço carbono, não há requisitos de propriedades mecânicas para o metal de solda depositado.

Tabela 8. composição química dos arames de aço inoxidáveis.

19.PROCESSO DE SOLDAGEM TIG – GTAW

É um processo de soldagem por fusão, a arco elétrico que utiliza o calor gerado pelo arco formado entre o eletrodo de Tungstênio não consumível e a peça que se deseja soldar. A proteção da poça de fusão é conseguida com a adição de um gás inerte ou mistura de gases inertes sobre ela, sendo que o gás também tem a função de transmitir a corrente elétrica quando ionizado durante o processo e ainda auxiliar a resfriar o eletrodo; a soldagem pode ser realizada com ou sem metal de adição.

A abertura do arco pode ser facilitada pela sobreposição de uma corrente de alta frequência, para evitar que se tenha de riscar a peça com o eletrodo de Tungstênio. O arco inicial, obtido pela corrente de alta frequência, ioniza o gás possibilitando a abertura do arco principal.

O seu equipamento básico consiste de uma fonte de energia (CC e/ou CA), tocha com eletrodo de tungstênio, fonte de gás de proteção (Ar ou He) e um sistema para a abertura do arco (geralmente um ignitor de alta frequência). Este ignitor ioniza o meio gasoso, dispensando a necessidade de tocar o eletrodo na peça para a abertura do arco (o que pode causar a mútua contaminação do eletrodo e do metal base). O equipamento para GTAW é mais caro e complicado do que o usado na soldagem com eletrodos revestidos (SMAW).

A fonte de energia é similar à utilizada em SMAW, mas, devido às características do processo GTAW, deve apresentar uma melhor precisão no ajuste da corrente e permitir a soldagem com menores níveis de corrente (até cerca de 5A). O processo é mais utilizado com corrente contínua e o eletrodo de W no polo negativo (CC-). Esta configuração garante uma fusão mais eficiente do metal base e um menor aquecimento do eletrodo. Contudo, na soldagem de ligas de alumínio e de magnésio, que são recobertos por uma camada de óxido de elevado ponto de fusão, é importante que o metal base esteja ligado ao polo negativo da máquina, pois, nesta polaridade, a emissão de elétrons da peça para o arco permite a quebra e remoção da camada de óxido. Para garantir este efeito sem aquecer excessivamente o eletrodo, é comum se trabalhar com CA na soldagem desses materiais. Neste caso, como o arco tende a se apagar a cada inversão de polaridade de corrente, o ignitor de alta frequência deve operar

continuamente para manter o arco aceso. A figura 33 esquematiza o processo de soldagem TIG.

Figura 33. Esquemática do processo TIG

O eletrodo não consumível utilizado para soldagem é constituído de Tungstênio puro ou ligado a diversos elementos químicos, pois a presença desses elementos de liga aumenta a capacidade de emissão de elétrons, além de permitir uma maior vida útil ao eletrodo.

O eletrodo serve apenas como ponto focal para o direcionamento do arco, sendo que para não haver fusão do mesmo na temperatura do arco, utiliza-se o Tungstênio, que possui ponto de fusão 3370°C; sua ponta deve ser convenientemente preparada para minimizar o diâmetro do arco conforme esquema figura 34.

Figura 34. Preparação da ponta do eletrodo de Tungstênio

Nos processos de soldagem da maioria dos materiais procura-se ligar o eletrodo em CC polaridade direta pois o calor gerado em sua extremidade é menor, comparadamente à polaridade inversa.

Na soldagem do Alumínio no entanto, muitas vezes utiliza-se a polaridade inversa, mesmo com o risco de fusão do eletrodo, pois para quebrar a camada de

óxido de alumínio, de alto ponto de fusão, é necessário que o fluxo de elétrons saia do Alumínio para o eletrodo (fenômeno que recebe o nome de dispersão); melhor que utilizar CC em Alumínio é optar pelo uso de corrente alternada, que quebra a camada de óxido e não aquece em demasia a ponta do eletrodo

Para soldagem com corrente acima de 130 A deve-se utilizar tochas refrigeradas a água; para correntes menores há tochas de diferentes tamanhos, que devem ser escolhidas em função da aplicação.

É um processo lento, usualmente manual, podendo ser automatizado (taxas de 0,2 a 2 kg/h) e as soldas produzidas são de excelente qualidade; não produz escória, gera poucos respingos, pouca fumaça, pequena Z.T.A. com poucas deformações e pode ser utilizado em todas as posições. Os cordões de solda são de ótimo acabamento, uniformes, geralmente não requerendo nenhum procedimento de acabamento ou limpeza posterior.

A soldagem TIG é bastante adequada para espessuras finas, pois possibilita o perfeito controle da fonte de calor, sendo que muitas vezes ela é utilizada sem metal de adição, somente caldeando-se as bordas do metal a ser soldado. É muito comum, também utilizar o TIG para o passe de raiz na soldagem de peças espessas e de grande responsabilidade.

É um processo que requer muita habilidade do soldador, uma limpeza perfeita dos metais a serem soldados, além de emitir grande quantidade de radiação ultravioleta. Estas radiações queimam rapidamente as partes da pele expostas, bem como as vistas e ainda tem capacidade de decompor solventes armazenados nas imediações, liberando gases bastante tóxicos; as radiações facilitam a geração de O₃ nas proximidades. Pode-se soldar aços carbono, inoxidáveis, alumínio, magnésio, titânio, cobre, zircônio e outros metais de difícil soldagem, nas espessuras de 0,5 a 50 mm. A figura 34 mostra o tipo de corrente e polaridade na solda TIG

Figura 34. Efeito do tipo de corrente e polaridade na soldagem TIG

Os gases de proteção mais utilizados são o Argônio e o Hélio, ou uma mistura de ambos; os gases são direcionados por bocais cerâmicos, metálicos ou por bocais

O Argônio é o gás mais utilizado, principalmente devido ao menor custo e maior disponibilidade, mas possui outras vantagens:

Arco mais suave e estável, sem turbulências; menor voltagem do arco, para um dado comprimento do arco; menor vazão de gás para uma boa proteção; facilita a abertura do arco (mais ionizável); resiste mais às correntes de ar.

O Hélio é utilizado para soldagem de materiais mais espessos, pois produz mais calor; por ter a densidade menor que a do ar, é utilizado para soldagens sobre cabeça; promove maior penetração do cordão; possui custo mais elevado que o Argônio.

20. SOLDAGEM AO ARCO SUBMERSO

A Soldagem ao Arco Submerso é um processo no qual a coalescência dos metais é produzida pelo aquecimento destes com um arco estabelecido entre um eletrodo metálico contínuo e a peça. O arco é protegido por uma camada de material fusível granulado (fluxo) que é colocado sobre a peça enquanto o eletrodo, na forma de arame, é alimentado continuamente. O fluxo na região próxima ao arco é fundido, protegendo o arco e a poça de fusão e formando, posteriormente, uma camada sólida de escória sobre o cordão. Este material pode também ajudar a estabilizar o arco e desempenhar uma função purificadora sobre o metal fundido. Como o arco ocorre sob a camada de fluxo, ele não é visível, daí

o nome do processo.

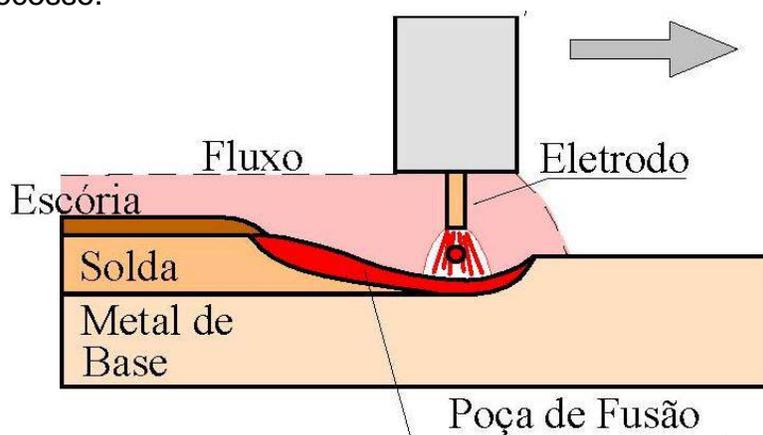


Figura 35: Ilustra o processo.

Este processo é muito usado na soldagem de estruturas de aço, na fabricação de tubulações e na deposição de camadas de revestimento tanto na fabricação como na recuperação de peças desgastadas. Trabalha frequentemente com correntes de soldagem elevadas, que podem ser superiores a 1000A, o que pode levar a taxas de deposição de até 45kg/h. Sua maior utilização é na forma mecanizada ou automática, existindo equipamentos para soldagem semi-automática.

Devido à camada de fluxo e às elevadas correntes de soldagem, este processo tem de ser utilizado na posição plana ou horizontal (para soldas de filete), o que torna importante o seu uso conjunto com dispositivos para o deslocamento e posicionamento das peças. A tabela 7 apresenta as principais vantagens, limitações e aplicações do processo SAW.

Tabela 10: Principais Vantagem e Aplicações do processo ao arco submerso

| | |
|-------------------------------|--|
| Vantagens e limitações | <ul style="list-style-type: none"> • Elevada produtividade e eficiência. • Soldagem em todas as posições. • Custo relativamente baixo. • Produz soldas de boa qualidade e aparência. • Equipamento relativamente caro. • Pode gerar elevada quantidade de fumos. • • Necessita limpeza após soldagem. |
|-------------------------------|--|

| | |
|-------------------|--|
| Aplicações | <ul style="list-style-type: none">• Soldagem de aços carbono e ligados.• Soldagem em fabricação, manutenção e em montagem no campo.• Soldagem de partes de veículos. |
|-------------------|--|

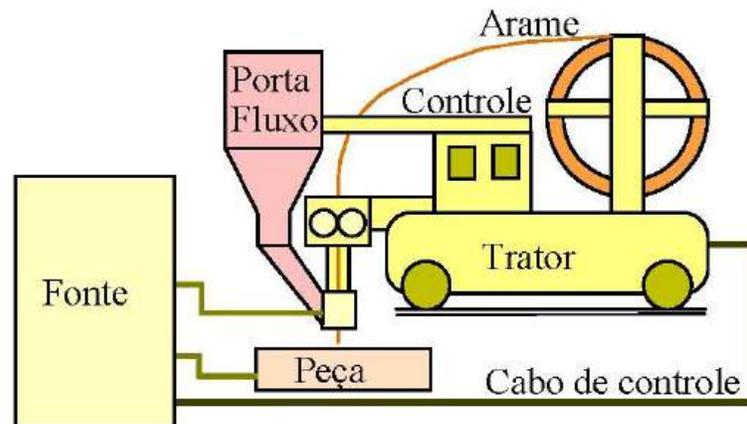


Figura 36: Ilustra o processo ao arco submerso

21. SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA

A soldagem por resistência (**R**esistance **W**elding, RW) compreende um grupo de processos de soldagem nos quais o calor necessário à formação da junta soldada é obtido pela resistência à passagem da corrente elétrica através das peças sendo soldadas. O aquecimento da região da junta pela passagem da corrente elétrica, abaixa a resistência mecânica do material permitindo, através da aplicação de pressão, a deformação localizada e, assim, a soldagem por deformação da junta. Em alguns casos, ocorre uma fusão localizada na região da junta. Assim, neste processo de soldagem pode ocorrer a formação da solda tanto por fusão como por deformação. Contudo, por razões puramente didáticas, a soldagem RW será considerada como um processo de soldagem por deformação.

Existem quatro processos principais de soldagem por resistência: (a) soldagem por ponto (Resistance Spot Welding, RSW), (b) soldagem de projeção (Resistance Projection Welding, RPW), (c) soldagem por costura (Resistance Seam Welding, RSEW) e (d) soldagem de topo por resistência (Upset Welding, UW),

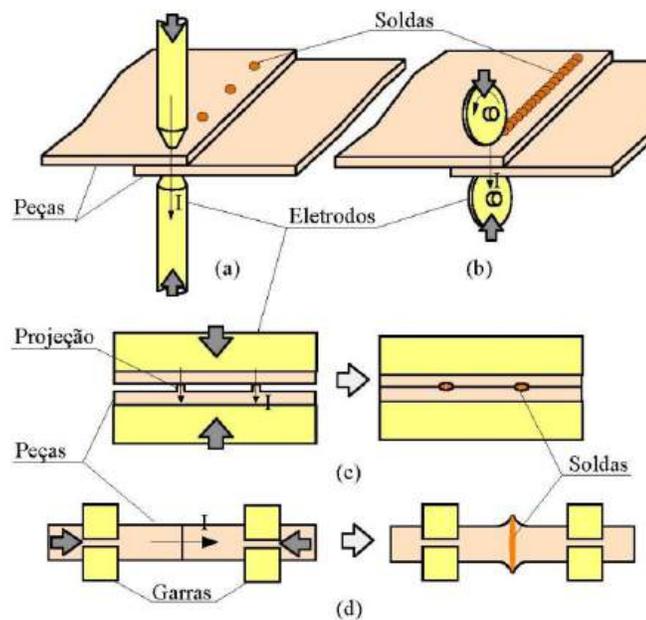


Figura 37: Ilustra os processos.

Na soldagem por ponto, dois eletrodos cilíndricos aplicam pressão e permitem a passagem de uma alta corrente elétrica em um ponto concentrado de uma junta sobreposta (figura 37.a). Em condições adequadas de soldagem, o aquecimento por efeito Joule da região entre os eletrodos permite a fusão localizada da região de contato entre as peças. A pressão aplicada pelos eletrodos no metal de base, causa a deformação plástica do material sólido em torno da “lente” de material fundido, o que impede, em condições adequadas de soldagem, o vazamento (“expulsão”) deste material fundido e, ainda, o protege do contato com o ar atmosférico. Com a interrupção da corrente, a temperatura cai rapidamente com difusão do calor para eletrodos (em geral, refrigerados a água) e para o restante do metal de base, formando-se, assim, um ponto de solda (figura 23). A formação de um ponto de solda é muito rápida, por exemplo, na soldagem de duas chapas de 1,6mm de espessura com uma corrente de cerca de 12.000A necessita-se de um tempo de aproximadamente 0,25s. O processo é mais usado na união de peças com espessura inferior a 3mm, em juntas sobrepostas quando a estanqueidade da junta não é muito importante. Encontra larga aplicação, por exemplo, na fabricação de carrocerias de veículos.

O processo de soldagem por costura é muito similar à soldagem RSW, as principais diferenças sendo a utilização de eletrodos na forma de disco, que podem se deslocar ao longo da junta com uma dada velocidade, e a aplicação de uma sequência de pulsos de corrente enquanto os eletrodos se movem (figura 22.b). Desta forma obtêm-se uma sequência de pulsos que se sobrepõem e formam a solda de costura. Este processo permite, assim, a soldagem rápida de chapas finas, podendo as soldas obtidas ser, diferentemente daquelas obtidas com RSW, estanques. Velocidades típicas de soldagem são 25mm/s para chapas de aço de 1,6mm e 17mm/s para chapas de 3mm.

22. **Bibliografia**

Apostila de processos de soldagem, universidade federal de itajubá disponovel em:
<http://www.ppg.efei.br>.

ESAB, solda MIG / MAG, agosto de 2004.

Modenesi, Paulo. Introdução aos processos de soldagem, apostila, universidade federal de minas gerais. Disponível em <http://www.ufmg.br>

Hino Nacional

Ouviram do Ipiranga as margens plácidas
De um povo heróico o brado retumbante,
E o sol da liberdade, em raios fúlgidos,
Brilhou no céu da pátria nesse instante.

Se o penhor dessa igualdade
Conseguimos conquistar com braço forte,
Em teu seio, ó liberdade,
Desafia o nosso peito a própria morte!

Ó Pátria amada,
Idolatrada,
Salve! Salve!

Brasil, um sonho intenso, um raio vívido
De amor e de esperança à terra desce,
Se em teu formoso céu, risonho e límpido,
A imagem do Cruzeiro resplandece.

Gigante pela própria natureza,
És belo, és forte, impávido colosso,
E o teu futuro espelha essa grandeza.

Terra adorada,
Entre outras mil,
És tu, Brasil,
Ó Pátria amada!
Dos filhos deste solo és mãe gentil,
Pátria amada, Brasil!

Deitado eternamente em berço esplêndido,
Ao som do mar e à luz do céu profundo,
Fulguras, ó Brasil, florão da América,
Iluminado ao sol do Novo Mundo!

Do que a terra, mais garrida,
Teus risonhos, lindos campos têm mais flores;
"Nossos bosques têm mais vida",
"Nossa vida" no teu seio "mais amores."

Ó Pátria amada,
Idolatrada,
Salve! Salve!

Brasil, de amor eterno seja símbolo
O lábaro que ostentas estrelado,
E diga o verde-louro dessa flâmula
- "Paz no futuro e glória no passado."

Mas, se ergues da justiça a clava forte,
Verás que um filho teu não foge à luta,
Nem teme, quem te adora, a própria morte.

Terra adorada,
Entre outras mil,
És tu, Brasil,
Ó Pátria amada!
Dos filhos deste solo és mãe gentil,
Pátria amada, Brasil!

Hino do Estado do Ceará

Poesia de Thomaz Lopes
Música de Alberto Nepomuceno
Terra do sol, do amor, terra da luz!
Soa o clarim que tua glória conta!
Terra, o teu nome a fama aos céus remonta
Em clarão que seduz!
Nome que brilha esplêndido luzeiro
Nos fulvos braços de ouro do cruzeiro!

Mudem-se em flor as pedras dos caminhos!
Chuvas de prata rolem das estrelas...
E despertando, deslumbrada, ao vê-las
Ressoa a voz dos ninhos...
Há de florar nas rosas e nos cravos
Rubros o sangue ardente dos escravos.
Seja teu verbo a voz do coração,
Verbo de paz e amor do Sul ao Norte!
Ruja teu peito em luta contra a morte,
Acordando a amplidão.
Peito que deu alívio a quem sofria
E foi o sol iluminando o dia!

Tua jangada afoita enfune o pano!
Vento feliz conduza a vela ousada!
Que importa que no seu barco seja um nada
Na vastidão do oceano,
Se à proa vão heróis e marinheiros
E vão no peito corações guerreiros?

Se, nós te amamos, em aventuras e mágoas!
Porque esse chão que embebe a água dos rios
Há de florar em meses, nos estios
E bosques, pelas águas!
Selvas e rios, serras e florestas
Brotem no solo em rumorosas festas!
Abra-se ao vento o teu pendão natal
Sobre as revoltas águas dos teus mares!
E desfraldado diga aos céus e aos mares
A vitória imortal!
Que foi de sangue, em guerras leais e francas,
E foi na paz da cor das hóstias brancas!



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria da Educação