

SOLDAGEM A ARCO COM ELETRODO REVESTIDO

10 Eletrodo: Consistia de arame de aço, que produzia uma solda frágil e cheia de defeitos.

Arco elétrico superaquecia o metal de solda, e este fragilizado devido reação com o ar.

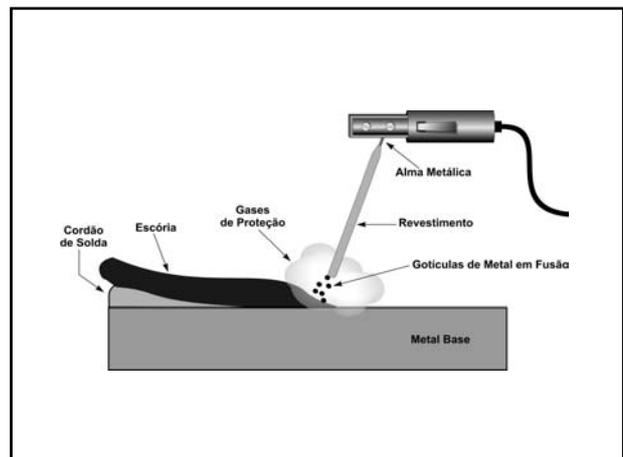
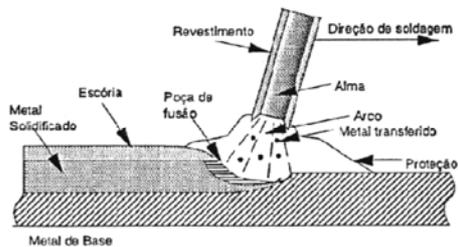
1907: Oscar Kjellborg (Suécia) desenvolveu eletrodo revestido, com imersão vareta de aço em solução de celulose.

Nesta época: revestimento para estabilizar o arco (não protegia ou purificava o metal de solda).

1912: primeira patente de eletrodo revestido com propriedades mecânicas adequadas.

Desde então, tornou-se processo de soldagem mais utilizado no mundo inteiro.

Soldagem a arco com eletrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding – SMAW), é um processo que produz a coalescência entre metais pelo aquecimento deste com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico revestido e as peças que estão sendo unidas



O eletrodo revestido consiste em um arame, chamado pelos soldadores de "alma", que conduz a corrente elétrica e fornece metal de adição para o enchimento da junta. Este arame é recoberto com uma camada formada pela mistura de diferentes materiais (a maioria ÓXIDOS), que formam o "revestimento".



- Formar uma camada de escória protetora;
- **Fornecer agentes para ionização do arco;**
- Fornecer agentes para formação de gases protetores;
- Fornecer materiais para realizar ou possibilitar reações de refino metalúrgico, tais como desoxidação, dessulfuração, etc.;
- Fornecer agentes que facilitem a remoção de escória ao controlar suas propriedades físicas e químicas;
- Facilitar a soldagem na diversas posições (cone, viscosidade);
- Reduzir o número de respingos e fumos;
- Possibilitar o uso de diferentes tipos de corrente e polaridade;
- Fornecer agentes que possibilitem o controle da taxa de deposição (quantidade de metal depositado por unidade de tempo);
- Controlar a temperatura do eletrodo.

- Proteger as gotas durante a transferência pelo arco;
- Realizar reações de refino metalúrgico, tais como desoxidação, dessulfuração, etc.;
- Controlar a soldagem na diversas posições;
- Moldar o cordão de solda;
- Dissolver óxido e contaminações na superfície da poça;
- Controlar a velocidade de resfriamento da solda.

Materiais

Efeitos

- Alumina (Al₂O₃)** Usada para formar escória e estabilizar o arco
- Argila (Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O)** Ajuda na extrusão e na formação de escória
- Cal** Agente fluxante. Controla a viscosidade da escória
- Carbonato - CaCO₃** Controlam a basicidade da escória e fornecem atmosfera protetora com sua decomposição;
- Celulose ((C₆H₁₀O₅)_x) e dextrina** substâncias orgânicas cuja queima no arco gera uma atmosfera redutora constituída principalmente de CO e H₂, que protege o arco;
- Fluoreto de cálcio - CaF₂** ajuda a controlar a basicidade da escória e diminui sua viscosidade
- Dióxido de titânio – TiO₂ (rutíla)** reduz a viscosidade da escória e seu intervalo de solidificação, além de estabilizar o arco;
- Feldspar (K₂O·Al₂O₃·6SiO₂)** Funciona como agente fluxante e formador de escória

Materiais

Efeitos

- Ferro-manganês e ferro-silício** promovem a desoxidação da poça de fusão e ajustam sua composição;
- Mica (K₂O·3Al₂O₃·6SiO₂·2H₂O)** ajuda na Extrusão e a estabilizar o arco;
- Pó de ferro** aumenta a taxa de deposição e rendimento do eletrodo, além de estabilizar o arco (soldagem subaquática);
- Outras adições metálicas** controlam a composição do metal depositado;
- Silica** forma escória. Em grande quantidade pode esoxidar, porém formar inclusões;
- Silicatos** formam escória e, no caso de silicatos de potássio (K₂SiO₃), lítio (Li₂SiO₃) ou sódio (NaSiO₃), agem como aglomerante (cola) no revestimento
- Óxido de ferro (Fe₂O₃) e manganês (MnO)** formam escória, controlam a sua viscosidade e estabilizam o arco
- Titanato de Potássio (2K₂O·2TiO₂)** Ajuda na estabilidade do arco
- Zirconia (ZrO₂)** Ajuda a estabilizar o arco e facilita a destacabilidade da escória

Formulações

Composto	E6013	E6010	E7018
Argila	0 - 10	-	-
Carboneto de Cálcio	0 - 5	-	15 - 30
Celulose	2 - 12	25 - 40	-
Feldspato	0 - 20	-	0 - 5
Ferro - Manganês	5 - 10	-	2 - 6
Ferro - Silício	-	5 - 10	5 - 10
Fluorita	-	-	15 - 30
Magnetita	-	-	-
Mica	0 - 15	-	-
Óxido de manganês	-	-	-
Pó de Ferro	-	-	25 - 40
Dióxido de Titânio	30 - 55	10 - 20	0 - 5
Silicato de Potássio	5 - 15	-	5 - 10
Silicato de Sódio	5 - 10	20 - 30	0 - 5
Titanato de Potássio	-	-	0 - 5

Revestimento Básico - Características

Baixo potencial de Hidrogênio dissolvido no metal de solda.

Evitam fissuração em aços temperáveis (trinca frio), desde que durante o manuseio, o revestimento não absorva umidade.

Permite soldagem de aços com ↑ %S, devido ação dessulfurante da escória básica.

Soldas de elevada tenacidade ao impacto.

Usado em aços comuns, baixa liga, temperados e revenidos e ferro fundido.

Exemplos: E7016 E7018

Tipos de eletrodos

- Dependendo do revestimento os eletrodos podem ser classificados como:

- Revestimento oxidante;
- Revestimento ácido;
- Revestimento rutílico;
- Revestimento básico;
- Revestimento celulósico.

Revestimento Celulósico - Características

Revestimento contém materiais orgânicos (celulose).
 Arco penetrante, opera em todas as posições de soldagem.
 Escória fina e de difícil remoção.
 Tipo preferido para passe de raiz em oleodutos e gasodutos.
 Exemplos: E-6010 E7010 E-6011

Revestimento Rutílico - Características

Principal constituinte do revestimento é o rutilo.
 Muito fácil de ser operado.
 Usado em trabalhos sem muita responsabilidade:
 Serralheria, chaparia fina, enchimento de peças, reparos.
 Exemplo: E-6013

Fabricação do eletrodo

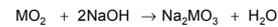


Fluxograma das etapas de fabricação de eletrodos revestidos

Índice de basicidade

- Forma utilizada para descrever o comportamento químico de um fluxo, através da razão entre as porcentagens em peso dos óxidos básicos e óxidos ácidos que compõem o fluxo.
- Óxidos básicos são aqueles que reage com ácidos para formar sais:

$$MO + 2HCl \rightarrow MCl_2 + H_2O$$
- Enquanto que óxidos ácidos são aqueles que reagem com bases para formar sais

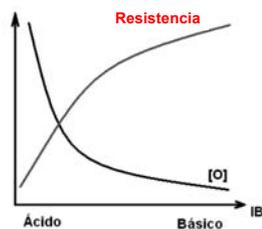


Índice de basicidade

$$I.B. = \frac{CaO + MgO + SrO + Li_2O + Na_2O + K_2O + CaF_2 + 0,5 (FeO + MnO)}{SiO_2 + 0,5 (Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2)}$$

Se I.B. < 1 = Fluxo ácido
 Se I.B. > 1 = Fluxo Básico

Aplicação



Classificação dos eletrodos

Grupo de letras e números (nem sempre utilizados) que podem indicar a composição química ou resistência ao impacto do metal depositado e/ou as condições de tratamento térmico (para aço baixa-liga)

1 dígito (0 a 6) que indica o tipo de revestimento e as características operacionais do eletrodo.

1 dígito que informa as posições de soldagem recomendadas (1, 2 ou 4).

Conjunto de 2 ou 3 dígitos, que indicam o limite de resistência mínimo do metal depositado em ksi (1000 psi).

Eletrodo para soldagem a arco elétrico.

AWS E XXYZ - Q

Especificação AWS A 5.1 (aço baixo carbono) e A 5.5 (aços baixa liga)

Classificação dos eletrodos

Significado do quarto (ou quinto) dígito da classificação AWS de eletrodos revestidos de aço baixo carbono e aços baixa liga.

Eletrodo	Tipo de Revestimento	Tipo de Corrente (*)
EXX10	Celulósico (sódio)	CC+
EXX20	Ácido	CC-
EXXX1	Celulósico (potássio)	CC+, CA
EXXX2	Rutílico (sódio)	CC-, CA
EXXX3	Rutílico (potássio)	CC+, CC-, CA
EXXX4	Rutílico (pó de ferro)	CC+, CC-, CA
EXXX5	Básico (sódio)	CC+
EXXX6	Básico (potássio)	CC+, CA
EXXX7	Ácido (pó de ferro)	CC-, CA
EXXX8	Básico (pó de ferro)	CC+, CA

(*) CA: CORRENTE ALTERNADA;
CC+: CORRENTE CONTÍNUA, ELETRODO POSITIVO (POL. INVERSA)
CC-: CORRENTE CONTÍNUA, ELETRODO NEGATIVO (POL. DIRETA)

Classificação dos eletrodos

Significado do terceiro dígito (posição de soldagem) da classificação AWS de eletrodos revestidos de aço baixo carbono e aços baixa liga.

E XX1X Todas as posições de soldagem.

E XX2X Posição plana e horizontal.

E XX3X Apenas posição plana.

E XX4X Todas, menos vertical ascendente.

Classificação dos eletrodos

Código de composição química de eletrodos de baixa liga, segundo a norma AWS A5.5.

A1	Eletrodo de aço carbono-molibdênio (0,40-0,65% Mo)
B1	Eletrodo de aço cromo-molibdênio (0,40-0,65% Cr e Mo)
B2	Eletrodo de aço cromo-molibdênio (1,00-1,50% Cr e 0,40-0,65% Mo)
B2L	Igual ao anterior, com baixo teor de carbono (0,05%)
B3	Eletrodo de aço cromo-molibdênio (2,00-2,50% Cr e 0,90-1,20% Mo)
B4L	Eletrodo de aço cromo-molibdênio (1,75-2,25% Cr, 0,40-0,65% Mo e baixo teor de carbono)
B5	Eletrodo de aço cromo-molibdênio (0,40-0,60% Cr, 1,00-0,25% Mo e traços de vanádio)
C1	Eletrodo de aço níquel (2,00-2,75% Ni)
C2	Eletrodo de aço níquel (3,00-3,75% Ni)
C3	Eletrodo de aço níquel (0,80-1,10% Ni, Cr < 0,15%, Mo < 0,35% e V < 0,05%)
D1	Eletrodo de aço manganês-molibdênio (1,25-1,75% Mn e 0,25-0,45% Mo)
D2	Eletrodo de aço manganês-molibdênio (1,65-2,00% Mn e 0,25-0,45% Mo)
G	Outros tipos de eletrodos de aço baixa-liga
M	Especificações militares americanas

Classificação dos eletrodos

E6010:

Eletrodo de revestimento celulósico.
Ligante a base de silicato de sódio.
Permite soldagem em todas as posições.
Deve ser usado com CC eletrodo positivo.
Metal depositado: LR>60.000psi.

E7018:

Eletrodo de revestimento básico.
Adição de pó de ferro ao revestimento.
Permite soldagem em todas as posições.
Pode ser usado com CC eletrodo positivo ou CA.
Metal depositado: LR>70.000psi.

Classificação dos eletrodos

E6013:

Eletrodo de revestimento rutílico.
Ligante a base de silicato de potássio.
Permite soldagem em todas as posições.
Pode ser usado com CC+, CC- e CA.
Metal depositado: LR>60.000psi.

E7024:

Eletrodo de revestimento rutílico com pó de ferro.
Permite soldagem apenas posição plana e horizontal.
Pode ser usado com CC+, CC- e CA.
Metal depositado: LR>70.000psi.

Classificação dos eletrodos

E7018-B2:

Eletrodo de revestimento básico.
Adição de pó de ferro ao revestimento.
Permite soldagem em todas as posições.
Pode ser usado com CC eletrodo positivo ou CA.

Eletrodo para soldagem de aços Cr-Mo (1-1,5%Cr ; 0,4-0,6%Mo)
Metal depositado: LR>70.000psi. Contém

Classificação dos eletrodos

Eletrodos revestidos são usados na fabricação e manutenção de diversos materiais metálicos.

AWS A5.1	Para aços carbono.
AWS A5.3	Para alumínio e ligas de alumínio.
AWS A5.4	Para aços inoxidáveis.
AWS A5.5	Para aços baixa liga.
AWS A5.6	Para cobre e ligas de cobre.
AWS A5.11	Para níquel e ligas de níquel.
AWS A5.15	Para ferros fundidos.

Armazenamento e Secagem dos eletrodos

O revestimento dos eletrodos absorvem umidade, particularmente os eletrodos básicos.

Armazenados na embalagem fechada e em ambiente com temperatura e umidade controlada.

Vários tipos necessitam secagem antes de serem usados.

Secados em fornos.

Mantidos em estufas

Manuseados em Cochichos.



Armazenamento e Secagem dos eletrodos

Classe do Eletrodo	Armazenamento em Embalagem fechada	Armazenamento em Estufa	Tratamento de Secagem
EXX10 e XX11	Temperatura ambiente	Em geral, não recomendado	Em geral, não recomendado
EXX12 EXX13 EXX14 EXX20 EXX24 EXX27	Umidade relativa abaixo de 50% e 100C acima da temperatura ambiente.	65 – 85°C	120 – 150°C 1h.
E7015 E7016 E7018 E7028		65 – 95°C	260 – 320°C 1h
E8015 E9015 E8016 E9016 E8018 E9018		95 – 120°C	320 – 370°C 1h
E90 a E12015 E90 a E12016 E90 a E12018		95 – 120°C	345 – 400°C 1h

Vantagens

- O processo é o mais simples, em termos de necessidades de equipamentos.
- O custo de investimento em equipamentos é relativamente baixo.
- Oferece maior flexibilidade entre todos os processos de soldagem, pois pode ser usado em todas as posições (plana, vertical, horizontal, etc)
- Praticamente todas as espessuras do metal base e em áreas de acesso limitado.
- O metal de solda e os meios de proteção desta solda são fornecidos pelo eletrodo revestido, não requerendo nenhum equipamento adicional.
- O processo é menos sensível a correntes de ar do que o processo de solda a arco de proteção gasosa (GMAW), um concorrente direto.
- É apropriado para a maioria dos metais e ligas metálicas comumente usadas.

Principais Limitações

- Por ser um processo tipicamente manual, o nível de habilidade do soldador é de fundamental importância para se obter uma solda de qualidade aceitável.
- Baixa taxa de deposição quando comparado com o processo GMAW.
- Como o eletrodo pode ser consumido até um comprimento mínimo, quando este comprimento é atingido, o soldador deve trocar a parte não consumida por um outro eletrodo.
- Baixa produtividade.

Características

Taxa de fusão

- É talvez um dos fatores mais importantes no custo do processo. Os fatores que afetam a taxa de fusão:
 - Corrente e tensão do arco;
 - Ângulo de ataque;
 - Diâmetro do núcleo do arame;
 - Temperatura de fusão do núcleo do arame;
 - Temperatura do eletrodo durante a soldagem;
 - Espessura e concentricidade do revestimento;
 - Composição química do revestimento;
 - Polaridade da corrente.
- A taxa de fusão (TF) de um eletrodo é definida pela razão da massa do metal consumida (M) em gramas pelo tempo de soldagem (t) em minutos. Esta taxa de fusão é expressa da maneira seguinte:

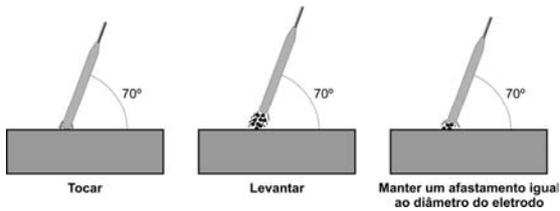
$$TF = M/t$$

Características operacionais

Abertura do Arco:

Pelo toque: toque e levante o eletrodo em altura correspondente ao seu diâmetro.

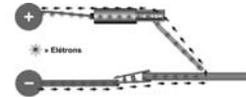
Pelo resvalo: risque como um fósforo o eletrodo na peça. Após abrir o arco, direcione no local da soldagem.



Características operacionais

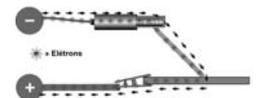
Polaridade Direta: (negativa):

Porta eletrodo conectado no terminal negativo da máquina. O cabo terra no terminal positivo.



Polaridade Inversa: (positiva):

Porta eletrodo conectado no terminal positivo da máquina. O cabo terra no terminal negativo.



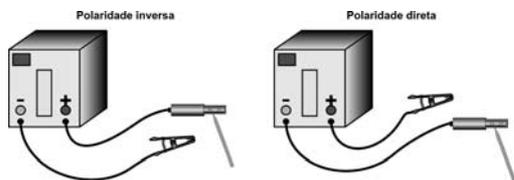
Características operacionais

Polaridade:

Influencia a penetração e taxa de deposição do eletrodo.

Penetração: maior com CC+

Deposição: maior com CC-



Características operacionais

Diâmetro do Eletrodo:

↑ Diâmetro do eletrodo ↑ Corrente de soldagem

Seleção do diâmetro: Função espessura do metal base. posição de soldagem. tipo de junta.

Soldagem fora da posição plana: eletrodos de menor diâmetro que na posição plana. Devido a dificuldade em controlar a poça de fusão.

Passe de raiz: eletrodos pequeno diâmetro, para permitir que penetre até a raiz da junta, evitando falta de penetração.

Passes de acabamento: Maior diâmetro do eletrodo (maior deposição).

Características operacionais

Faixa típica de corrente e tensão em função do diâmetro:

Obs: estes diâmetros são padronizados.

Bitola (mm)	E 6010		E 7018	
	Corrente (A)	Tensão (V)	Corrente (A)	Tensão (V)
2,4	40 – 80	23-25	70-100	17-21
3,2	75-125	24-26	110-160	18-22
4,0	110-170	24-26	150-220	20-24
4,8	140-210	26-30	200-275	21-25

Características operacionais

Intensidade de Corrente

↑ Diâmetro do eletrodo ↑ Corrente de soldagem

Soldagem na posição plana: corrente próxima do máximo da faixa

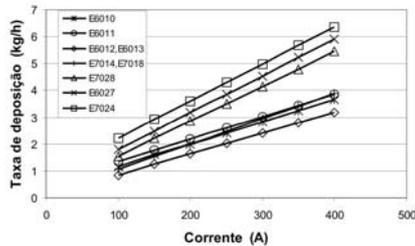
Soldagem na posição vertical e sobrecabeça: corrente próxima do mínimo da faixa.

Corrente de soldagem:

Controla o volume da poça de fusão.
Controla a penetração no metal base.

Características operacionais

Taxa de Deposição para Diversos Tipos de Eletrodos



Baixa deposição: eletrodos com revestimento celulósico.
 Média deposição: eletrodos rutilicos.
 Alta deposição: eletrodos básicos e rutilicos, ambos com adição de pó de ferro.

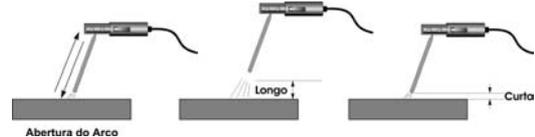
Características operacionais

Comprimento do Arco:
 Deve-se sempre trabalhar com arco curto.

↑ Comprimento do Arco:

Desperdício sob forma de salpicos.
 Velocidade + lenta e > tempo de serviço.
 Sensibilidade ao sopro magnético.
 Reduz a penetração. Chances para falta de fusão.
 Aumenta chances de porosidade.

Controle do comprimento do arco: função da habilidade do soldador.



Características operacionais

Velocidade de Soldagem

↑ Corrente de Soldagem ⇒ ↑ Velocidade de avanço.

Controla o acabamento e aparência do cordão.

Deve estar entre o máximo sem deposição insuficiente e o mínimo sem excesso de reforço.

Soldagem fora de posição: depende da habilidade do soldador em manter a poça de solda em posição e evitar mordeduras e defeitos de acabamento do cordão.

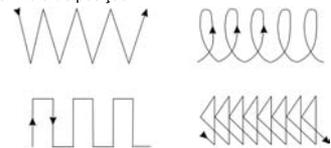
Características operacionais

Durante a execução da solda, o soldador deve fazer 3 movimentos principais:

Movimento de mergulho: avanço do eletrodo em direção a poça de fusão, de modo a manter constante o comprimento do arco.

Movimento de translação: é a velocidade de soldagem.

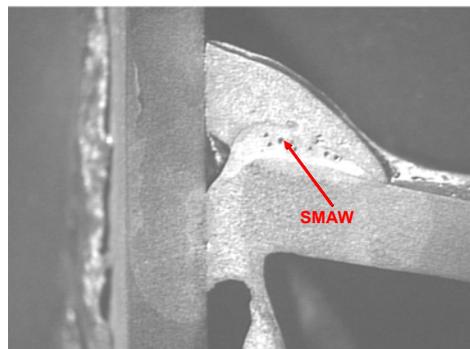
Movimento de tecimento: deslocamento lateral do eletrodo em relação ao eixo do cordão, com os seguintes objetivos:
 produzir um cordão mais largo.
 fazer flutuar a escória.
 garantir a fusão nas paredes do chanfro.
 muito usado na soldagem fora de posição.



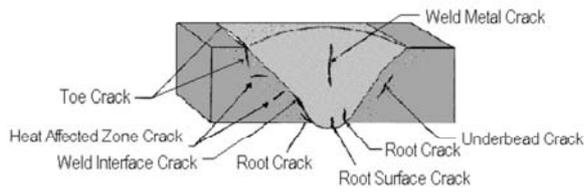
Qualidade da solda

- Defeitos mais comuns
- Porosidades: Podem ser evitadas com uma boa amperagem, um comprimento do arco adequado e o uso de eletrodos secos;
- Inclusão de escória: Consegue ser evitada com a perícia do soldador;
- Fusão incompleta: Evitável com uma preparação adequada da superfície a ser soldada, mantendo-a limpa e homogênea. O uso de corrente adequada e velocidade não muito alta ajudam a evitar este defeito;
- Mordedura: Pode ser corrigida com deposição de um cordão adicional. A solução para evitar é reduzir a corrente e a tensão;
- Trincas: O pré-aquecimento do metal de base pode contornar este problema. Correto armazenamento do eletrodo também. Além de evitar sujeira nas peças a serem soldadas

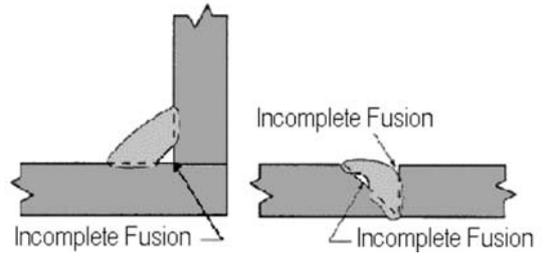
Porosidade



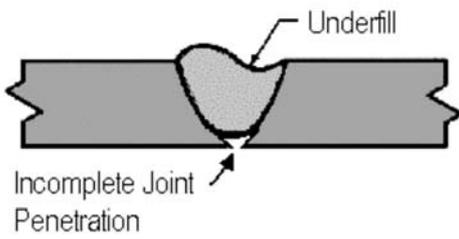
Trincas



Falta de Fusão



Fusão Incompleta e falta de preenchimento



Mordedura e sobreposição

