

Soldas Especiais

ESAB BR
Assistência Técnica Consumíveis

www.esab.com.br

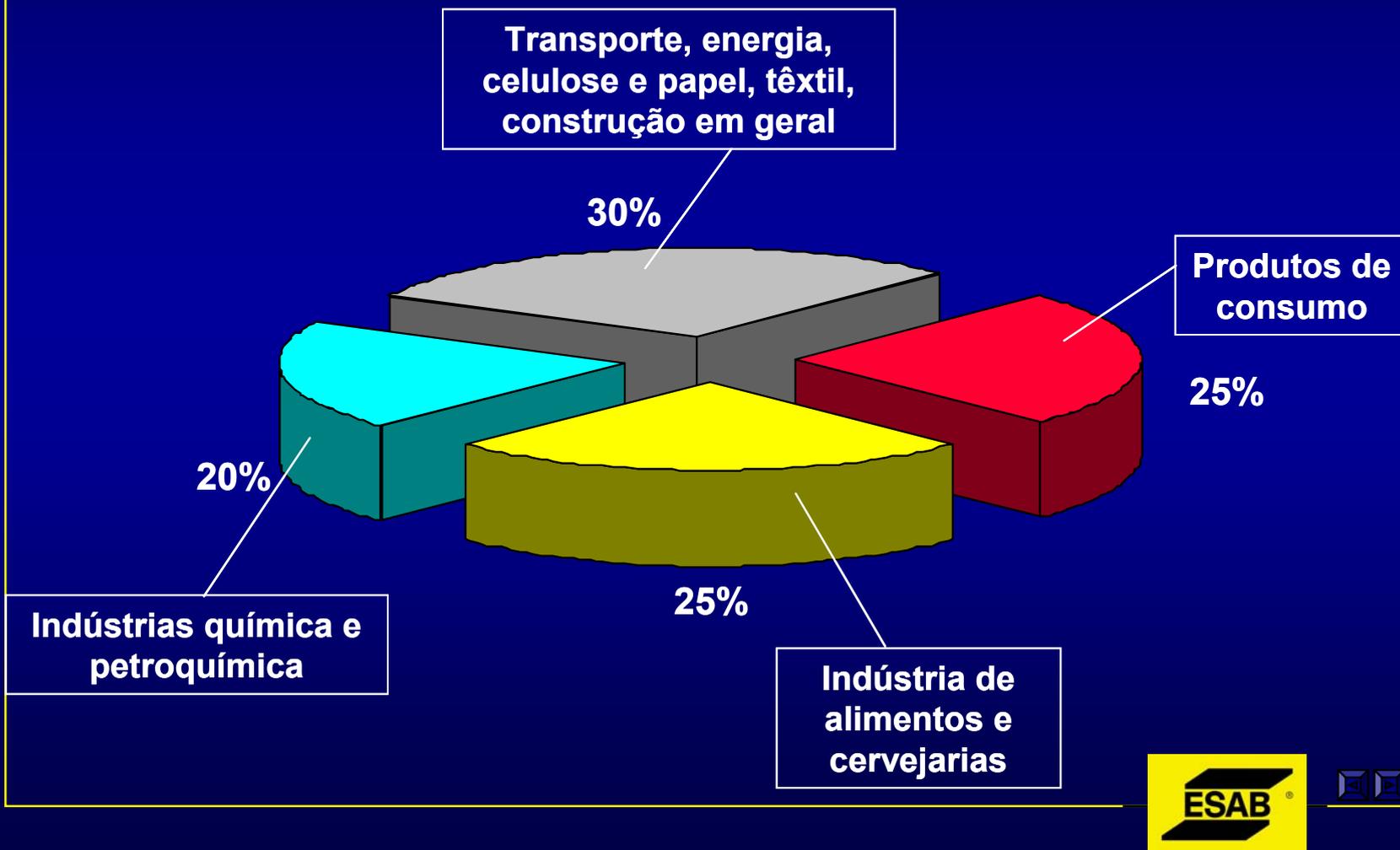


SOLDAS ESPECIAIS

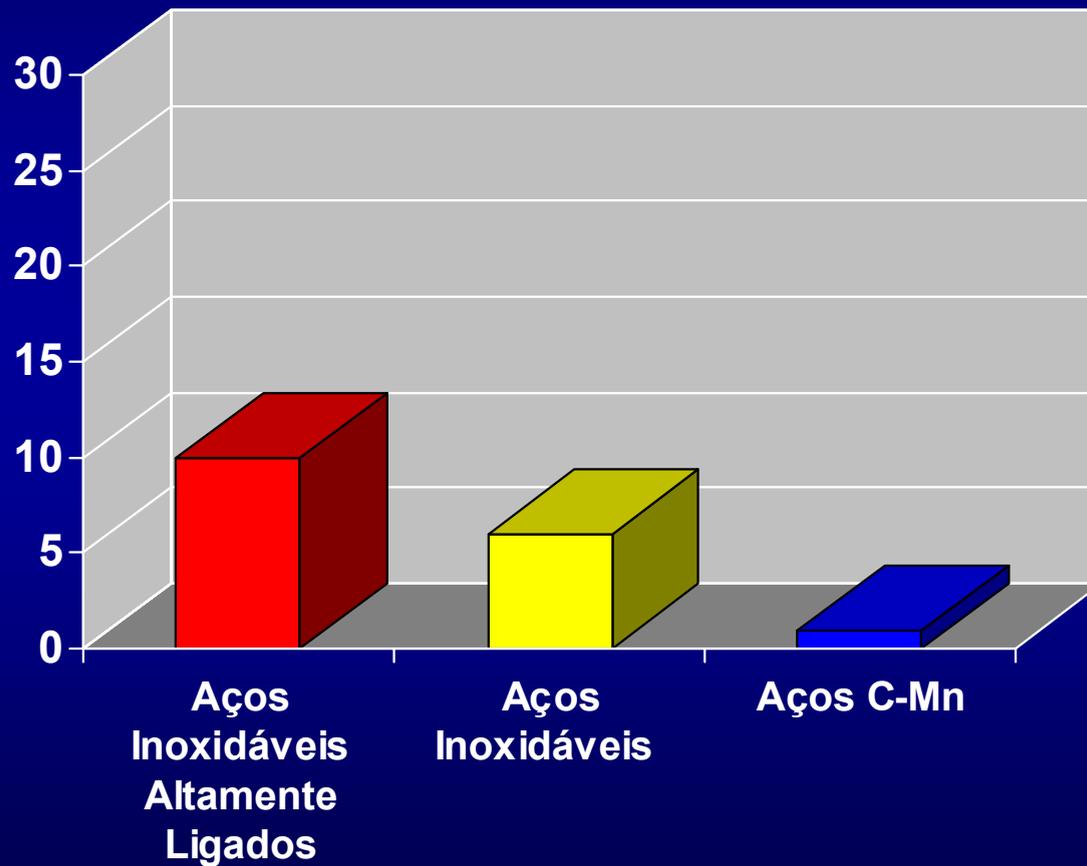
- **AÇOS INOXIDÁVEIS**
- **FERRO FUNDIDO**
- **REVESTIMENTO DURO**



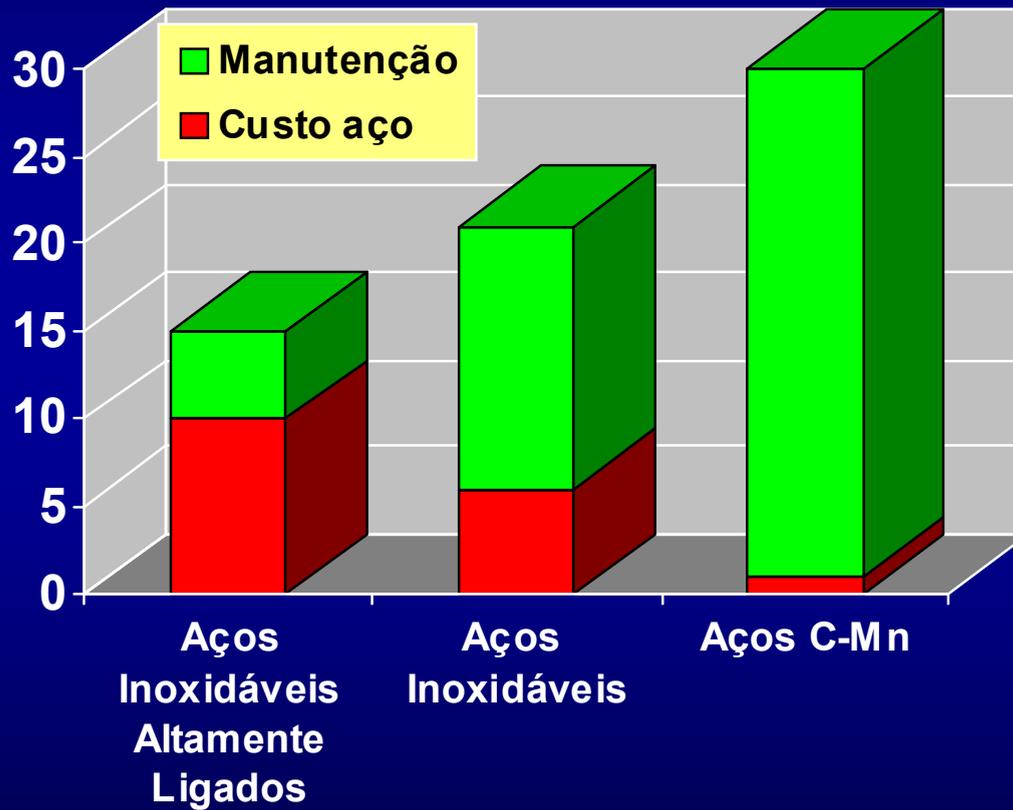
CONSUMO DE AÇOS INOXIDÁVEIS



CUSTO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS



CUSTO DO CICLO DE VIDA



AÇOS INOXIDÁVEIS

- O que é um aço inoxidável?
 - é uma liga metálica apresentando como elementos principais o ferro (Fe), o carbono (C), o cromo (Cr) e o níquel (Ni)
- Como é a proteção contra a corrosão?
 - geralmente, a proteção contra a corrosão é feita criando-se sobre a superfície do aço inoxidável uma película protetora formada por óxido de cromo que separa o metal do meio corrosivo



AÇOS INOXIDÁVEIS

- São utilizados quando há necessidade de:
 - resistência à corrosão
 - boa tenacidade a baixas temperaturas
 - resistência a altas temperaturas
- Tipos de aços inoxidáveis:
 - austeníticos
 - ferríticos
 - martensíticos
 - duplex (austeno-ferríticos)



AÇOS INOXIDÁVEIS



Celulose e papel



Indústria petroquímica



Indústria de alimentos



Trocadores de calor

COMPOSIÇÃO QUÍMICA

- Principais elementos

%	C	Cr	Ni	Mo
Austeníticos	< 0,25	16,0 - 26,0	8,0 - 40,0	0 - 5,0
Ferríticos	< 0,25	12,0 - 30,0	0 - 5,0	0 - 2,0
Duplex	< 0,15	18,0 - 30,0	4,0 - 10,0	0 - 2,0
Martensíticos	0,1 - 0,3	11,0 - 17,0	0 - 3,0	0 - 2,0

AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS

- Aplicações
 - trocadores de calor
 - vasos de pressão
 - tubulações para as indústrias
 - química
 - alimentícia
 - de energia
 - classificações – série 300
 - 301, 302, 303, 304, 308, 309, 310, 316, 317, 321, 347
 - sufixo L – baixo teor de carbono



AÇOS INOXIDÁVEIS FERRÍTICOS

- Aplicações
 - equipamentos e utensílios domésticos
 - peças para a indústria automobilística

 - classificações – série 400
 - 405, 406, 430, 442, 443, 446



AÇOS INOXIDÁVEIS DUPLEX

- Duplex = austeno-ferríticos
- Aplicações
 - indústria petroquímica
 - oleodutos
 - gasodutos

Seção reta de uma solda em um aço inoxidável duplex. O metal de solda está à esquerda e o metal de base à direita. A ferrita é azul e a austenita é branca (20x)



AÇOS INOXIDÁVEIS MARTENSÍTICOS

- Aplicações
 - ferramentas
 - peças de máquinas
 - cutelaria

- classificações – série 400
 - 403, 410, 414, 416, 431, 420, 440

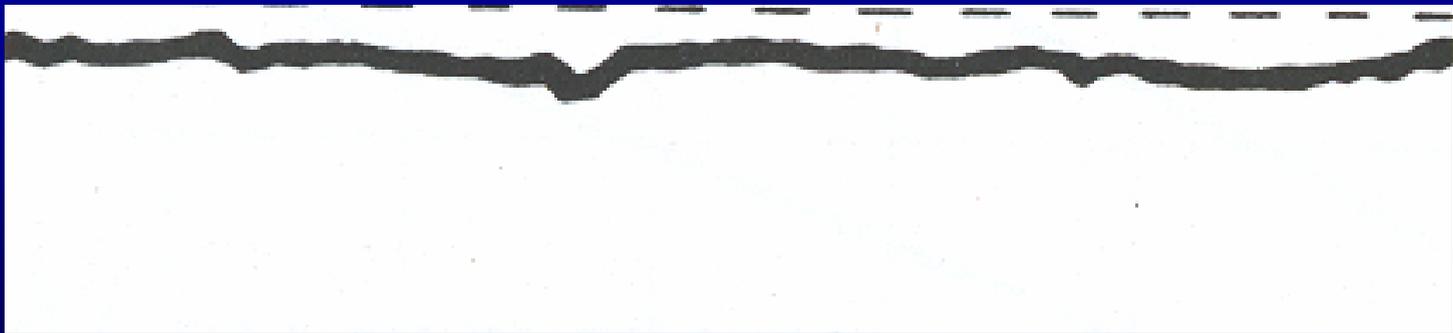


CORROSÃO

- Tipos de corrosão
 - generalizada (*general corrosion*)
 - intergranular (*intergranular corrosion*)
 - localizada (*pitting corrosion*)
 - galvânica (*crevice corrosion*)
 - trincamento por corrosão sob tensão (*stress corrosion cracking*)

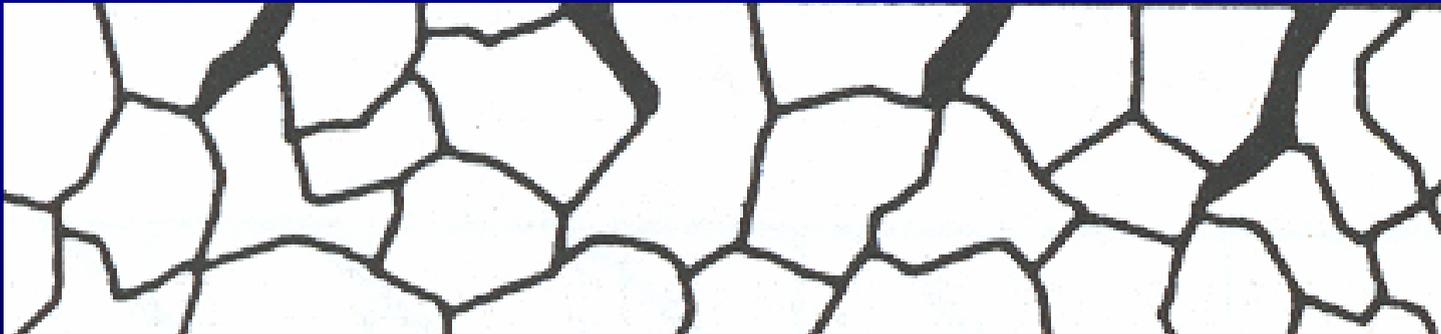
CORROSÃO GENERALIZADA

- Os aços inoxidáveis são protegidos contra a corrosão por uma camada muito fina de óxido de Cr que se forma na superfície do metal.
- Essa camada apassivada pode ser danificada por ação mecânica ou química.
- Se a camada de proteção for destruída em um ambiente agressivo, o material sofrerá corrosão.



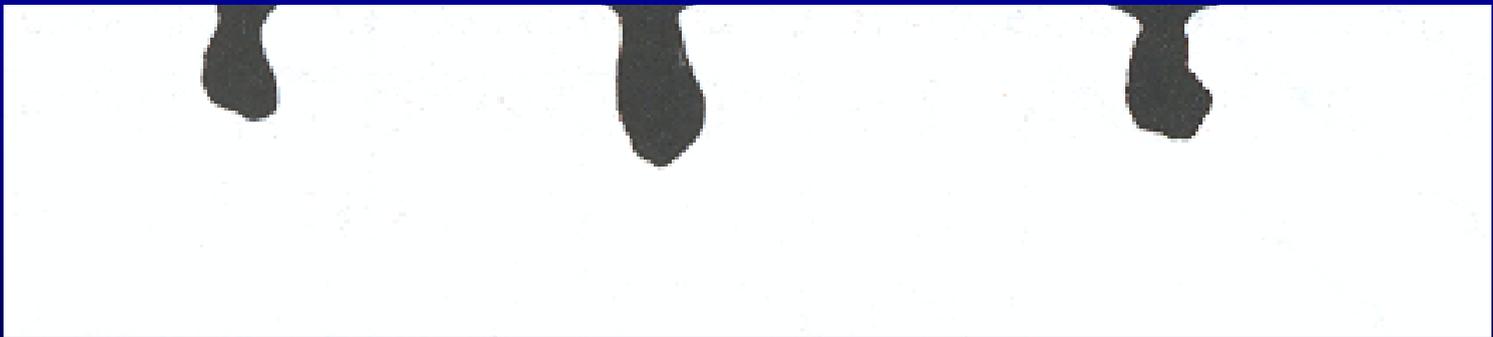
CORROSÃO INTERGRANULAR

- É um ataque localizado e adjacente aos contornos de grão.
- Alguns aços inoxidáveis são sensíveis à corrosão intergranular a temperaturas elevadas (500-900°C), onde ocorre a precipitação de carbonetos nos contornos de grão, resultando em regiões com baixo teor de Cr, que possuem resistência à corrosão inferior.
- A precipitação de carbonetos de Cr pode ser evitada baixando-se o teor de C ou adicionando elementos estabilizadores como o Nb e o Ti.



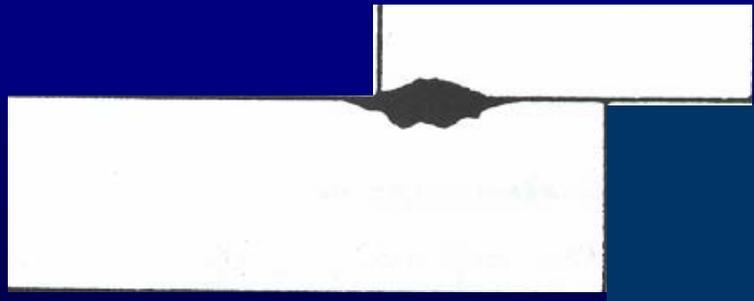
CORROSÃO LOCALIZADA (*PITTING*)

- É um tipo de ataque localizado altamente destrutivo, resultando em buracos no metal.
- Esse tipo de ataque é comumente encontrado em aços inoxidáveis em meios contendo cloretos.
- A resistência contra a corrosão localizada (*pitting corrosion*) é melhorada adicionando-se Cr, Mo e N.



CORROSÃO GALVÂNICA (CREVICE)

- É um tipo de corrosão (*crevice corrosion*) que ocorre em fendas estreitas preenchidas com um líquido e onde o nível de O_2 é muito baixo como, por exemplo, em superfícies de vedação, juntas sobrepostas e sob cabeças de parafusos e rebites.
- Uma forma especial de corrosão galvânica (*crevice corrosion*) é chamada de corrosão em depósito (*deposit corrosion*), quando a corrosão é encontrada sob depósitos não metálicos ou revestimentos na superfície do metal.
- Aços com boa resistência à corrosão localizada (*pitting corrosion*) também apresentam boa resistência à corrosão galvânica.

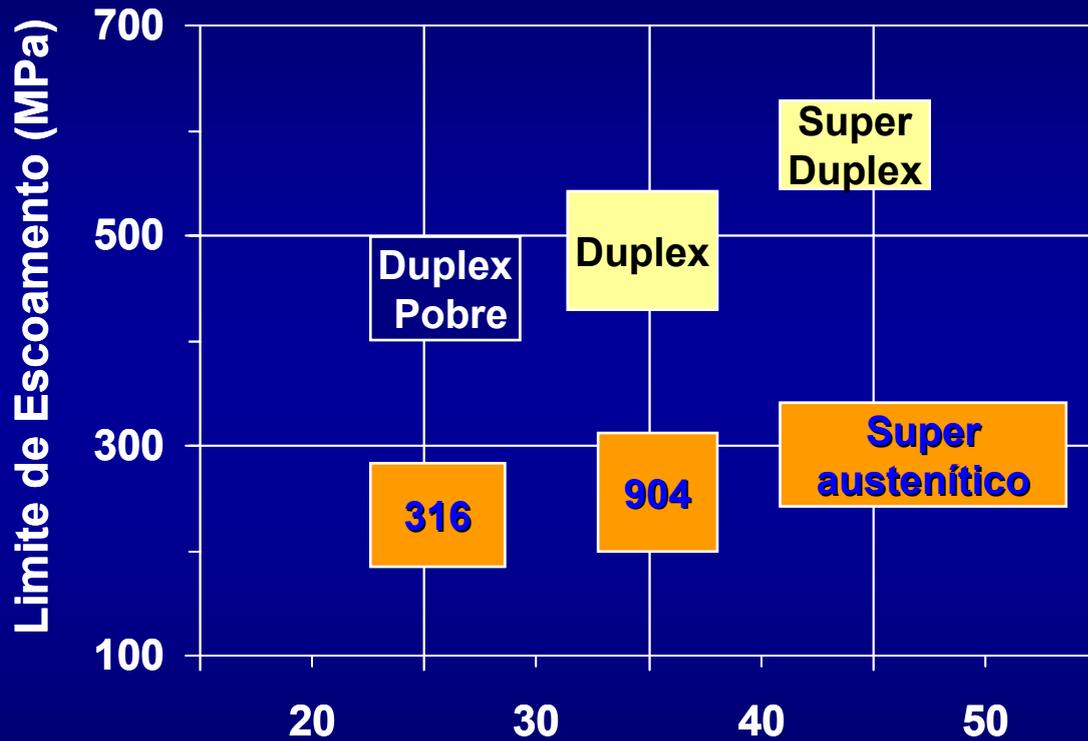


TRINCAMENTO POR CORROSÃO SOB TENSÃO

- É um tipo de ataque (*stress corrosion cracking*) em um metal sujeito a tensões trativas e exposto a um ambiente corrosivo.
- Durante o trincamento por corrosão sob tensão (*stress corrosion cracking*), o metal pode permanecer virtualmente ileso na maioria de sua superfície, enquanto finas trincas propagam-se através do metal.
- Para aços austeníticos, o risco de sofrer trincamento por corrosão sob tensão (*stress corrosion cracking*) é alto em soluções contendo cloretos ou outros halogenetos.
- O risco aumenta com o aumento da concentração de sal, tensão trativa e também com a temperatura. Raramente é encontrado em soluções com temperaturas abaixo de 60°C.
- A resistência dos aços inoxidáveis austeníticos ao trincamento por corrosão sob tensão (*stress corrosion cracking*) aumenta com o teor de Ni.
- Aços ferríticos ao Cr completamente sem Ni são insensíveis a esse fenômeno sob condições normais, bem como aços duplex (austeno-ferríticos).



PROPRIEDADES



Resistência à corrosão localizada
(*Pitting corrosion resistance*)

$$PRE_N = \%Cr + 3.3 \%Mo + 16 \%N$$

SOLDAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS

- Limpeza
 - a soldagem de aços inoxidáveis requer uma limpeza especial da junta a ser soldada e do local da soldagem
 - não se deve utilizar as mesmas ferramentas empregadas para a limpeza de aços carbono, para evitar contaminação
 - não se deve soldar aços inoxidáveis no mesmo local de soldagem de aços carbono

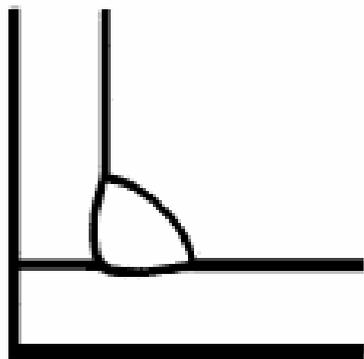


SOLDAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS

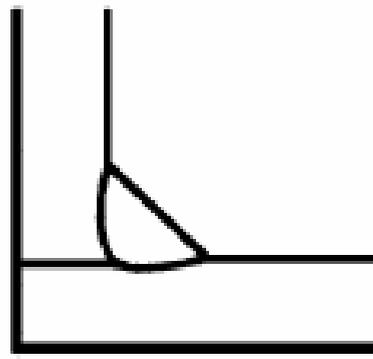
- Pré-aquecimento
 - aços inoxidáveis não são pré-aquecidos para evitar:
 - a precipitação de carbonetos nos contornos de grão, que pode levar à corrosão intergranular;
 - a formação de fase sigma, uma fase frágil e dura que aumenta sobremaneira o risco de trincamento.
 - exceção: aços ferríticos ou ferrítico-martensíticos 13%Cr e aços ferríticos 17-25% Cr, onde um pré-aquecimento de 150-200°C diminui o risco de trincamento.



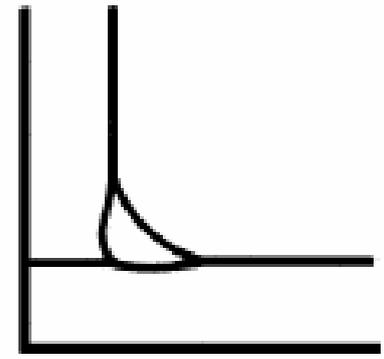
SUFIXOS -15 -16 -17



(-15)



(-16)



(-17)

consumíveis inoxidáveis



DIAGRAMA DE SCHAEFFLER

- Cromo equivalente

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1,5x\%Si + 0,5x\%Nb$$

- Níquel equivalente

$$Ni_{eq} = \%Ni + 30x\%C + 0,5x\%Mn$$

DIAGRAMA DE SCHAEFFLER

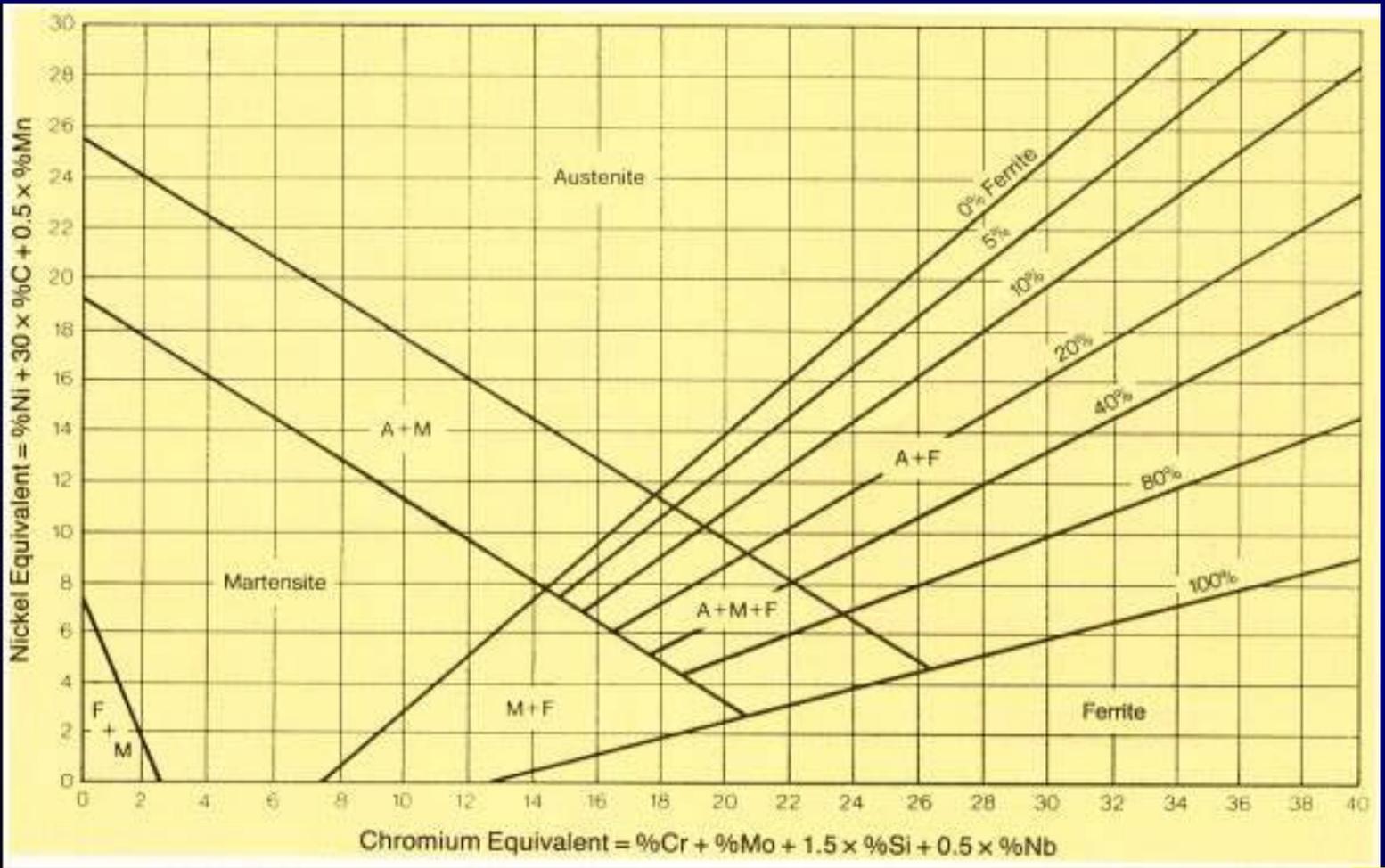


DIAGRAMA DE DeLong

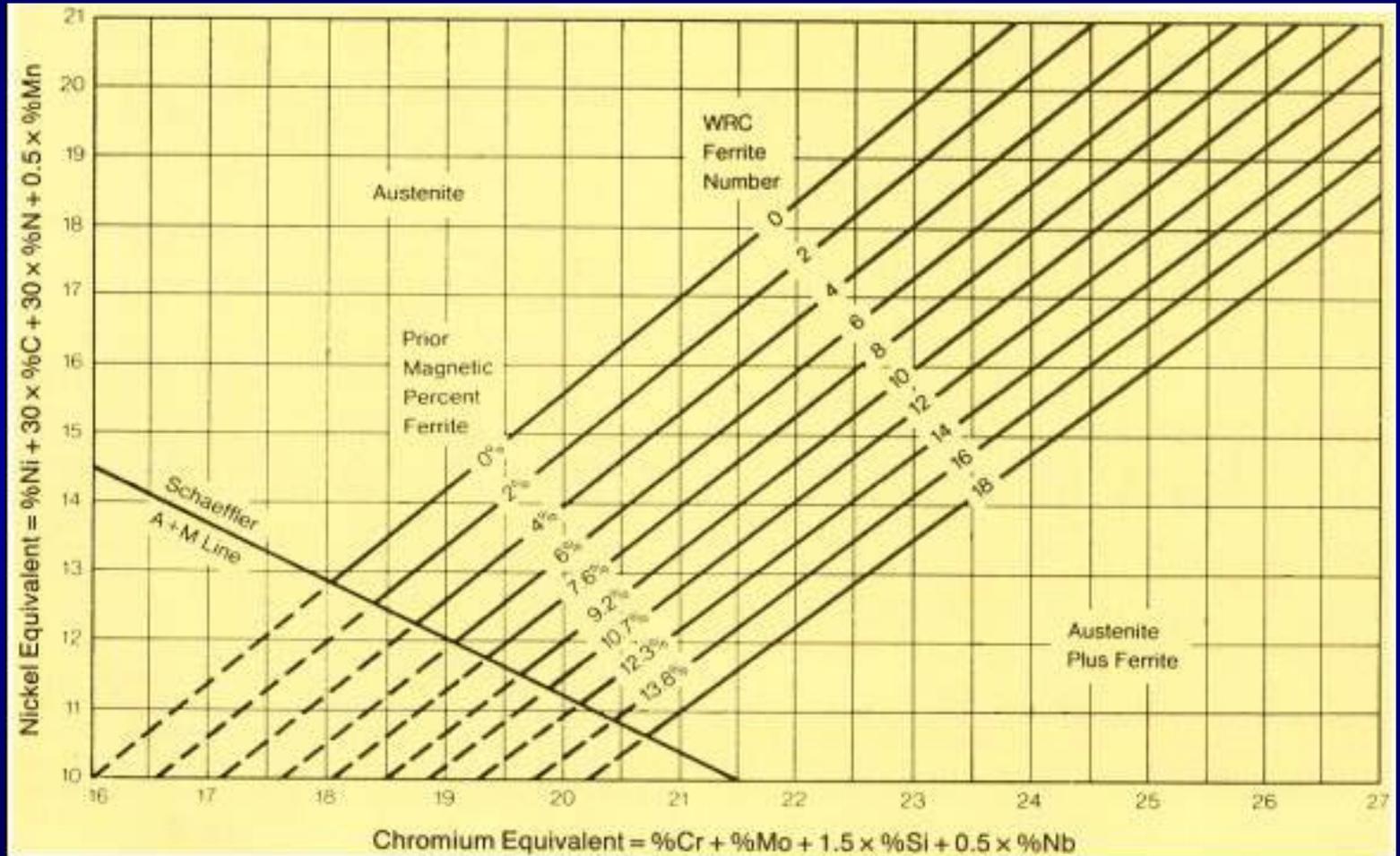
- Cromo equivalente

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1,5x\%Si + 0,5x\%Nb$$

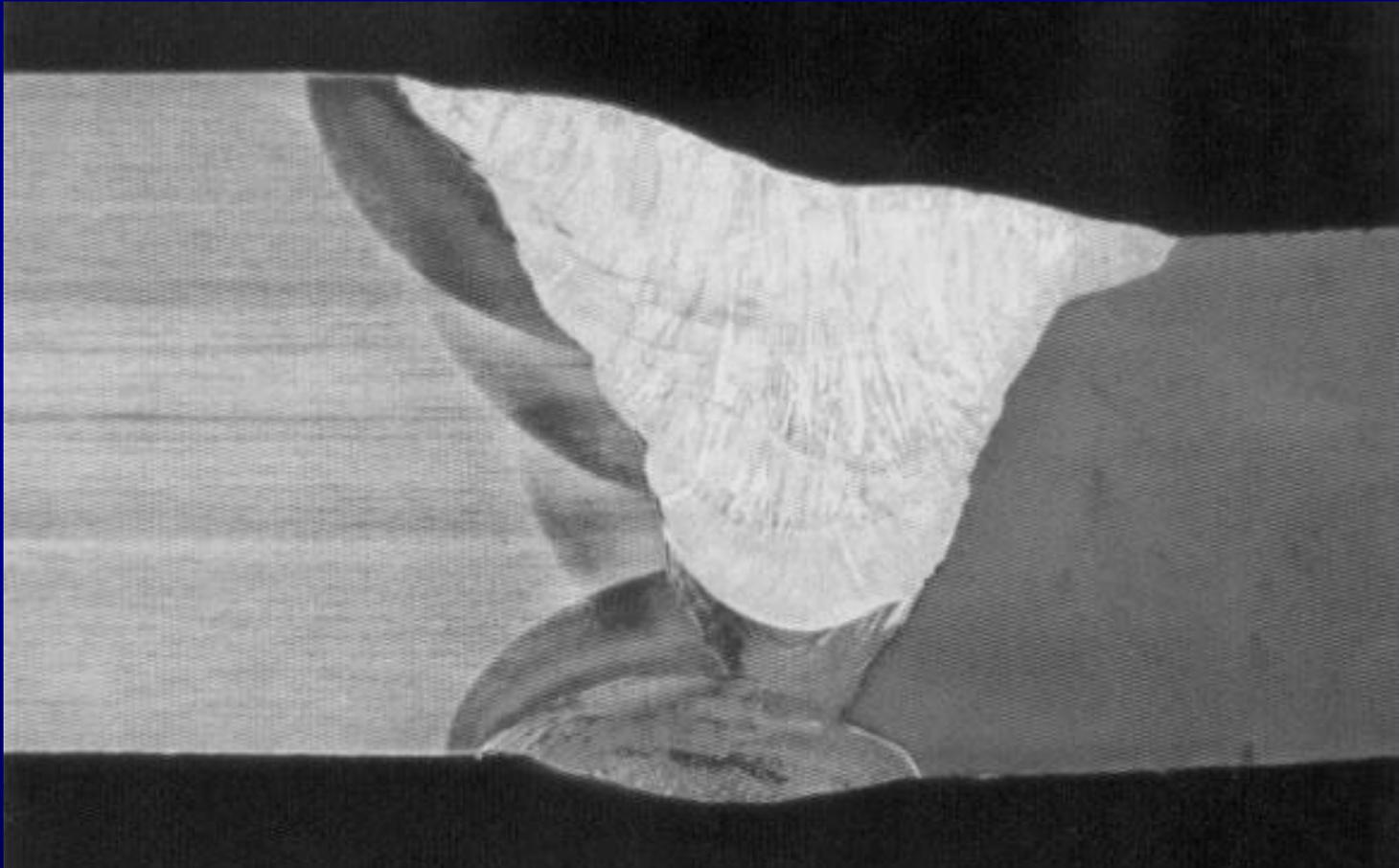
- Níquel equivalente

$$Ni_{eq} = \%Ni + 30x\%C + 30x\%N + 0,5x\%Mn$$

DIAGRAMA DE DeLong



SOLDAGEM DE AÇOS DISSIMILARES



SOLDAGEM DE AÇOS DISSIMILARES

- O metal de solda em uma junta dissimilar não deve criar fases intermediárias frágeis.
- Uma junta entre aços dissimilares não resultará em melhores propriedades de resistência mecânica nem de resistência à corrosão que o lado "mais fraco".
- Para evitar trincas induzidas por hidrogênio, recomenda-se na maioria dos casos o uso de consumíveis básicos.
- Na soldagem de juntas dissimilares, ambas as superfícies devem ser pré-aquecidas conforme requerido por cada aço individualmente.



CARBONO EQUIVALENTE

- A soldabilidade dos aços diminui com o aumento de sua temperabilidade, daí a importância da avaliação desse parâmetro.
- A maneira mais usada de calcular a temperabilidade é o "carbono equivalente" (C_{eq}).

$$C_{eq} = \%C + \% \frac{Mn}{6} + \% \frac{Cr + Mo + V}{5} + \% \frac{Ni + Cu}{15}$$

PRÉ-AQUECIMENTO

- O pré-aquecimento reduz:
 - o risco de trincas induzidas por hidrogênio
 - tensões de contração
 - dureza excessiva na zona termicamente afetada (ZTA)
- A necessidade de pré-aquecimento aumenta com os seguintes fatores:
 - teor de carbono do material de base
 - teor de liga do material de base
 - tamanho da peça
 - temperatura ambiente
 - velocidade de soldagem
 - diâmetro do consumível



TEMPERATURA DE PRÉ-AQUECIMENTO

- Controle de dois fatores:
 - teor de carbono do material de base
 - teor de liga do material de base
- Determinação da temperatura de pré-aquecimento
 - depende do C_{eq}
 - considerar tempo de encharcamento
 - considerar velocidade de resfriamento



DILUIÇÃO DO METAL DE SOLDA

- Velocidade de soldagem ↓
- Polaridade CC- ↓ AC ± CC+ ↑
- Aporte de calor ↑
- Técnica de soldagem
 - filetado ↓
 - trançado ↑
- Posição de soldagem VA ↑ P,H,VD ↓
- Número de camadas ↓
- Tipo de metal de solda
 - elementos de liga ↑ ⇒ sensibilidade à diluição ↓
- *Stick-out* ↓

SOLDAGEM DE AÇOS DISSIMILARES

- Na soldagem de aços carbono, de baixa liga, aços ferramenta e aços de composição desconhecida:
 - no caso de diferentes C_{eq} , os parâmetros de soldagem são determinados pelo aço com maior C_{eq} e os consumíveis pelo aço com menor C_{eq} ;
 - é importante evitar consumíveis com C_{eq} muito alto, pois isso aumenta o risco de trincamento;
 - com a escolha correta dos consumíveis e dos parâmetros de soldagem, a temperabilidade e as propriedades mecânicas do metal de solda ficarão entre as dos dois aços diferentes;
 - O C_{eq} também influenciará a temperatura de pré-aquecimento requerida, que deve ser escolhida de acordo com o aço de maior C_{eq} .



PRÉ-AQUECIMENTO

C_{eq}	Temperatura de pré-aquecimento recomendada
$< 0,4$	$< 100^{\circ}\text{C}$
$0,4 - 0,6$	$150 - 200^{\circ}\text{C}$
$> 0,6$	$250 - 300^{\circ}\text{C}$
Aços ferramenta, aços mola, aços de composição desconhecida	$\sim 300^{\circ}\text{C}$

AÇO INOXIDÁVEL + AÇO CARBONO

- Considerando o Diagrama de Schaeffler:
 - a composição química do metal de solda depositado não deve cair em nenhuma das áreas contendo martensita;
 - se o metal de solda cair em uma área totalmente austenítica, devem ser tomadas algumas precauções contra o trincamento a quente, a menos que o metal de solda seja ligado com mais de 4% Mn.
- Soldando aços inoxidáveis estabilizados ao Nb ou ao Ti com aços inoxidáveis não estabilizados:
 - os consumíveis devem ser ou estabilizados ou de aços de baixa liga;
 - jamais devem ser empregados consumíveis não estabilizados com alto teor de C.
- A soldagem deve ser executada com limitado aporte térmico.



AÇO INOXIDÁVEL + AÇO CARBONO

- Deve ser considerada a diluição do metal de solda pelo metal de base para evitar a formação de micro-constituintes frágeis:
 - isso é feito empregando-se um consumível com composição diferente de ambos os metais de base
 - um metal de adição de aço carbono resultará em uma microestrutura martensítica de alta liga na região da solda próxima do aço inoxidável
 - um metal de adição de mesma composição química do aço inoxidável resultará na mesma microestrutura martensítica na região da solda próxima do aço carbono
 - essa microestrutura resultará em trincamento generalizado, freqüentemente muito difícil de ser observado
- O metal de adição adequado deve ter alto teor de Ni para garantir um metal de solda dúctil.
- Esses metais de adição podem tolerar uma diluição considerável do aço carbono sem sofrer endurecimento.



AÇO INOXIDÁVEL + AÇO CARBONO



Soldagem de um aço inoxidável com um eletrodo de aço carbono: trincas no metal de solda (27x)



Soldagem de um aço carbono com um eletrodo E308L. Observe o aumento da dureza próximo ao aço carbono

AÇO INOXIDÁVEL + AÇO BAIXA LIGA

- Na soldagem de um aço inoxidável a um aço ao Cr-Mo resistente à fluência para temperaturas de serviço superiores a 200°C:
 - empregar preferencialmente metais de adição à base de Ni para evitar a migração de C do aço resistente à fluência para o aço austenítico, visto que a descarbonetação do aço ao Cr-Mo diminuirá sua resistência à fluência.

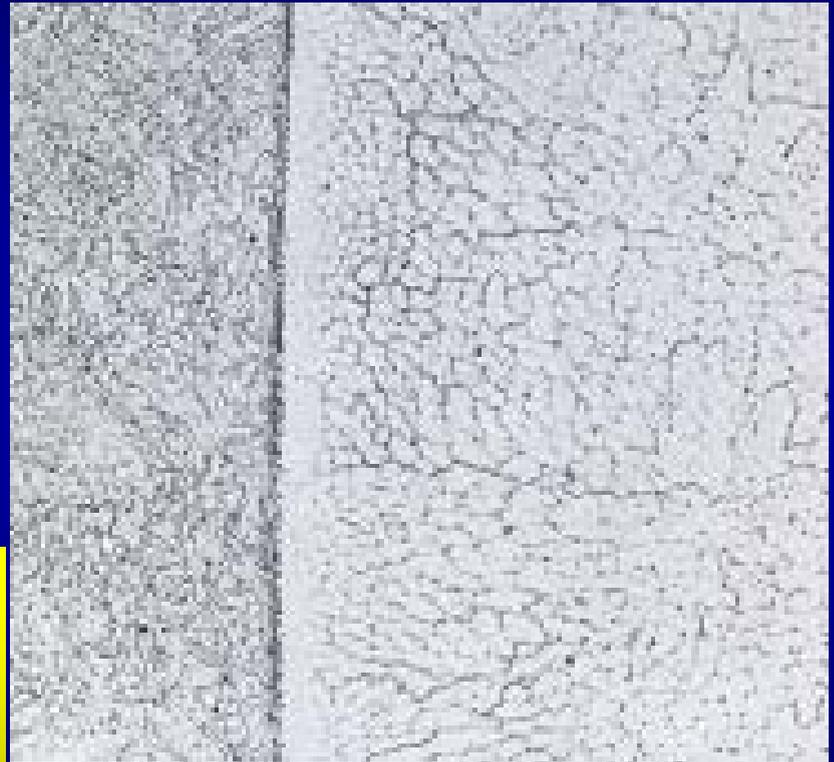


AÇO INOXIDÁVEL + AÇO BAIXA LIGA

Soldagem de um aço inoxidável 16Cr 10Ni Nb com um aço 2,3Cr 1Mo com um eletrodo de aço inoxidável 18Cr 10Ni Nb: zona de fusão frágil no metal de solda causada pela migração de C do aço ao Cr-Mo (100x).



AÇO INOXIDÁVEL + AÇO BAIXA LIGA



Soldagem de um aço inoxidável 16Cr 13Ni Nb com um aço 2,3Cr 1Mo com um eletrodo de liga incolloy (base Ni): nenhuma carbonetação na zona de fusão do metal de solda (300x).



SELEÇÃO DE ELETRODOS OK PARA AÇOS INOXIDÁVEIS

Metal de Base	201, 202, 301, 302, 302B, 303, 304, 305, 308	304L	309, 309S	310, 310S, 314	316	316L	317	317L	321, 347, 348	330	403, 405, 410, 412, 414, 420	430, 430F, 431, 440A, 440B, 440C	446	501, 502	505	Aços Carbono	Aços ao Cr-Mo
201, 202, 301, 302, 302B, 303, 304, 305, 308	OK61.30	OK61.30	OK61.30	OK61.30	OK61.30	OK61.30	OK61.30	OK61.30	OK61.30	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.15	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75
304L	OK61.30	OK61.30	OK61.30	OK61.30	OK61.30	OK61.30	OK61.30	OK61.30	OK61.30	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.15	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75
309, 309S			OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.15	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75								
310, 310S, 314				OK67.15	OK 63.30	OK 63.30			OK61.30	OK67.15	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.15	OK67.15	OK67.15	OK67.15	OK67.73 OK67.75
316					OK 63.30	OK 63.30	OK 63.30	OK 63.30	OK61.30	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.15	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75
316L						OK 63.30	OK 63.30	OK 63.30	OK 63.30	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.15	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75
317									OK61.30	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.15	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75
317L									OK61.30	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.15	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75
321, 347, 348										OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.15	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75
330										OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.73 OK67.75	OK67.15	OK68.81 OK68.85	OK68.81 OK68.85	OK68.81 OK68.85	OK68.81 OK68.85



AÇO BAIXA LIGA + AÇO CARBONO

- Parâmetros de soldagem de acordo com o aço de baixa liga.
- Consumíveis de acordo com o aço carbono.
- A limitada contribuição dos elementos de liga provenientes do aço de baixa liga durante a soldagem geralmente não aumentará muito a temperabilidade do metal de solda.
- Conseqüentemente, consumíveis de baixa liga de composição adequada podem perfeitamente ser usados para esta combinação.
- No entanto, esses consumíveis de baixa liga não terão influência positiva na resistência da junta.



AÇO BAIXA LIGA + AÇO CARBONO

Aço carbono com $C_{eq} \leq 0,4$	
Eletrodo revestido	OK 48.04
Arco submerso	OK Autrod 12.10 / OK Flux 10.61B OK Autrod 12.10 / OK Flux 10.62B
Arame tubular	OK Tubrod 75
Arame sólido	OK Autrod 12.51
Aço carbono com $C_{eq} \geq 0,5$	
Eletrodo revestido	OK 55.00
Arco submerso	OK Autrod 12.20 / OK Flux 10.71 OK Autrod 12.20 / OK Flux 429
Arame tubular	OK Tubrod 75
Arame sólido	OK Autrod 12.51

AÇOS BAIXA LIGA DIFERENTES

- Se ambos os aços forem do mesmo tipo, embora com C_{eq} diferente, os consumíveis devem ser similares ao tipo de aço de baixa liga.
- Se possível, o C_{eq} do consumível deve ser similar ao C_{eq} do aço menos temperável. Quanto mais temperável for o aço, menos adequado será o uso de outros processos de soldagem que não seja o eletrodo revestido.

AÇOS BAIXA LIGA DIFERENTES

- A soldagem deve ser realizada com limitado aporte térmico, já que aportes térmicos muito altos podem resultar em zonas termicamente afetadas (ZTA) muito largas, aumentando, portanto o risco de trincamento.
- Por isso, deve-se evitar uma velocidade de soldagem muito baixa.



AÇOS BAIXA LIGA DIFERENTES

- Aços ao Cr-Ni (Mo) de alta resistência e alta temperabilidade, que requerem altas temperaturas de pré-aquecimento, freqüentemente necessitam de tratamento térmico de recozimento para alívio de tensões, podendo causar problemas na soldagem devido às dificuldades com o tratamento térmico.
- Nesses casos, é melhor buscar o meio-termo e usar um eletrodo de aço inoxidável (OK 68.81 ou OK 68.85) e uma temperatura de pré-aquecimento inferior.



AÇOS BAIXA LIGA DIFERENTES

aço ao	ordem prefer.	aço ao CrNi(Mo)	aço ao CrMo(V)	aço ao NiMo(Mn)	aço ao MnMo
MnMo	I	OK 74.75	OK 74.75	OK 74.75	OK 74.75
	II		OK 76.18		
	III		OK 78.15		
NiMo(Mn)	I	OK 75.60	OK 78.15	OK 75.60	
CrMo(V)	I	OK 76.18	OK 76.18		
	II		OK 78.15		
CrNi(Mo)	I	OK 75.75			
	II	OK 75.77			

consumíveis de baixa liga



AÇO FERRAMENTA / MOLA + AÇO CARBONO / BAIXA LIGA

- Esses aços podem ser muito difíceis de soldar, já que as transformações de fase durante os ciclos de aquecimento ou de resfriamento aumentam o risco de distorção ou trincamento.
- A soldagem pode eventualmente envolver tratamentos especiais que são difíceis e às vezes impossíveis de executar em juntas dissimilares (por exemplo, soldagem intercalada).
- Contudo, com alguns consumíveis especiais, podem ser obtidas soldas de boa qualidade.



AÇO FERRAMENTA / MOLA + AÇO CARBONO / BAIXA LIGA

- Consumíveis recomendados:
 - OK 68.81
 - OK 68.85
 - OK 67.45
- Em alguns casos (por exemplo, peças de pequena espessura, ≤ 10 mm), a soldagem pode ser realizada sem pré-aquecimento mas, para a maioria das soldas, de ser mantida uma temperatura de pré-aquecimento em torno de 300°C durante a soldagem.
- O aporte térmico deve ser baixo para limitar a largura da ZTA e a poça de fusão deve ser pequena para limitar a diluição do metal de base no metal de solda.



AÇO INOXIDÁVEL + AÇO FERRAMENTA / MOLA

- Só devem ser usados consumíveis não temperáveis, insensíveis à diluição e com suficiente ductilidade, ou seja, consumíveis de aço inoxidável austenítico ou de ligas à base de Ni.
- Os eletrodos OK 68.81 e OK 68.85 são muito tolerantes quanto à diluição, sendo portanto superiores a outros consumíveis nessa combinação.
- No entanto, são sensíveis ao trincamento quando aquecidos a temperaturas entre 500-900°C devido à formação de fase sigma.
- Por isso, não devem ser utilizados se tiver que ser executado um recozimento para alívio de tensões, ou em seções espessas com juntas multipasses.
- Em casos onde a solda estará sujeita a flutuações de temperatura, é melhor aplicar o eletrodo OK 67.45.



AÇO INOXIDÁVEL + AÇO FERRAMENTA / MOLA

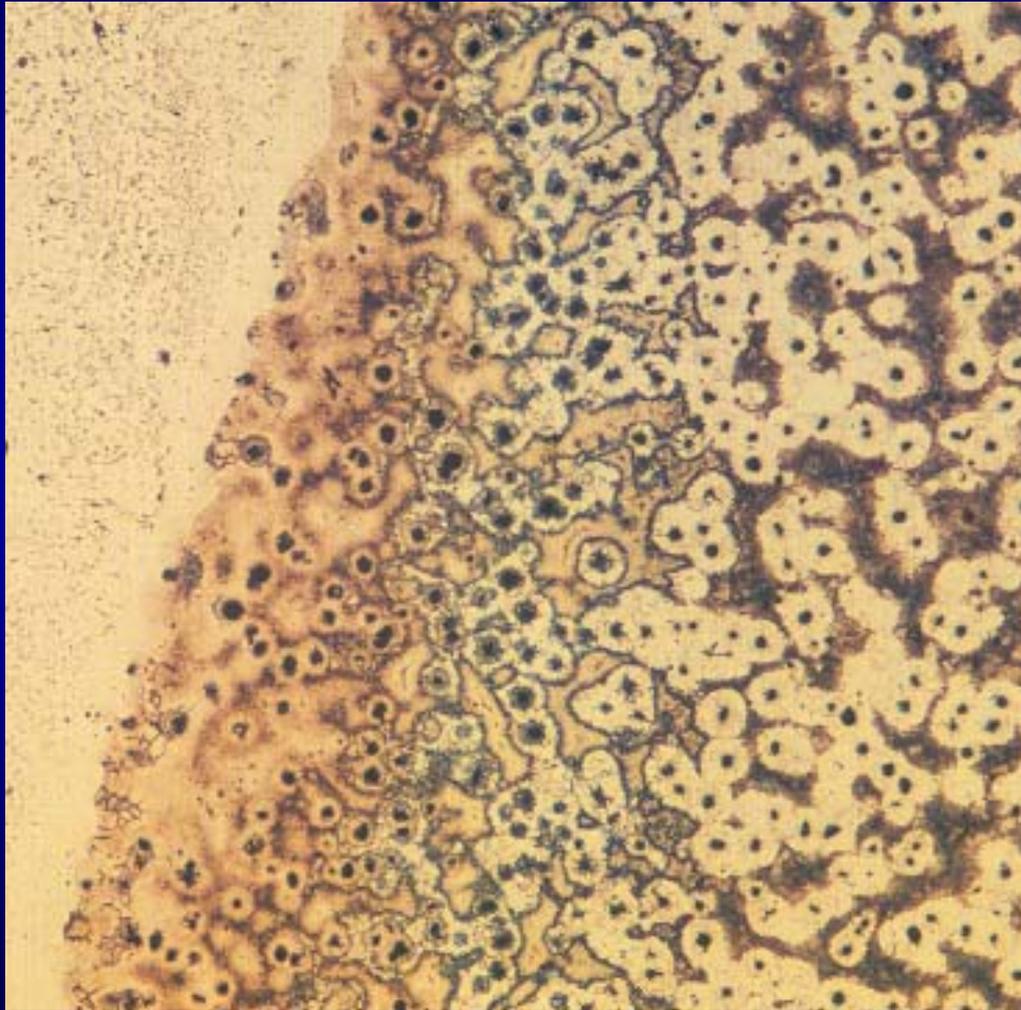
Sem recozimento para alívio tensões	Com recozimento para alívio de tensões
OK 68.81	OK 67.45
OK 68.85	
OK 67.75	

AÇOS DE COMPOSIÇÃO DESCONHECIDA

- Essa combinação ocorre, por exemplo, quando um aço antigo deve ser reparado ou quando a composição química do aço é impossível de ser determinada por razões técnicas ou econômicas.
- Aços de composição desconhecida devem sempre ser considerados como aços difíceis de soldar e tratados como tal.
- Por esta razão, os mesmos consumíveis para aços ferramenta e aços mola devem ser escolhidos. O processo de soldagem preferencial é o eletrodo revestido.
- Evitar pré-aquecimento de aços não magnéticos.
- Todos os outros aços de composição química desconhecida devem ser pré-aquecidos em torno de 300°C.
- Evitar poças de fusão grandes e manter a diluição baixa.



FERRO FUNDIDO



FERRO FUNDIDO

- O que é um ferro fundido (FoFo)?
 - liga metálica à base de ferro (Fe) com teores de 2-5% de carbono (C), 1-3% de silício (Si) e até 1% de manganês (Mn).
- Soldabilidade afetada por:
 - alto teor de carbono (C)
 - teores de fósforo (P) e de enxofre (S) acima dos teores usuais dos aços
- Características:
 - baixa ductilidade
 - baixa dureza
 - baixa resistência
 - alta fragilidade



FERRO FUNDIDO

- Melhoria das propriedades
 - tratamento térmico
 - adição de elementos de liga
- Tipos de ferro fundido:
 - cinzento
 - branco
 - maleável
 - dúctil
 - grafita compacta
 - ligado



FERRO FUNDIDO CINZENTO

- O mais comum (70%).
- Microestrutura:
 - veios de grafita distribuídos em uma matriz de ferrita e/ou de perlita;
 - grafita
 - resistência nula
 - a ruptura sempre iniciar-se-á nesta fase
 - como a grafita é cinza, a aparência da superfície de fratura será cinza
- Composição química:
 - 4,5% C
 - até 3,0% Si
- Fabricado por resfriamento lento do fundido.



FERRO FUNDIDO BRANCO

- Características:
 - dureza mais elevada que a do ferro fundido cinzento;
 - resistência ao desgaste;
 - composição química similar à do ferro fundido cinzento, porém com teor de Si menor;
 - algumas vezes ligado com elementos estabilizadores de carbonetos, tais como Cr, Mo e V.
- Microestrutura:
 - carbonetos distribuídos em uma matriz martensítica ou perlítica;
 - os carbonetos são duros e frágeis e tornam a superfície de fratura com uma coloração esbranquiçada.
- Fabricado com resfriamento rápido.
- Deve ser considerado como não soldável para juntas de união, podendo, em alguns casos, sofrer soldas de enchimento com OK Autrod 12.51.



FERRO FUNDIDO DÚCTIL

- Composição química similar à do ferro fundido cinzento, porém com maior pureza.
- Adição de magnésio (Mg)
 - transforma a grafita na forma esferoidal, uniformemente dispersa em toda a microestrutura, em vez dos veios que aparecem no ferro fundido cinzento
 - no estado recozido, torna as propriedades mecânicas similares às de um aço carbono
- Raramente a soldagem será difícil com este tipo de ferro fundido.
- No entanto, os tratamentos térmicos envolvidos na soldagem, juntamente com a diluição do ferro fundido, faz necessário ainda o uso de eletrodos especiais e um planejamento cuidadoso do procedimento de soldagem.



FERRO FUNDIDO GRAFITA COMPACTA

- Pode ser considerado como um intermediário entre o ferro fundido dúctil e o cinzento.
- Elementos de liga:
 - doses controladas de magnésio (Mg), titânio (Ti) e cério (Ce)
 - composição similar à do ferro fundido cinzento
- A soldagem deve ser executada de forma similar à do ferro fundido cinzento.

FERRO FUNDIDO MALEÁVEL

- Ferros fundidos maleáveis são produzidos por tratamento térmico de ferros fundidos brancos para torná-los mais dúcteis que os ferros fundidos cinzentos.
- Possuem menores teores de C e Si que os ferros fundidos cinzentos para assegurar a solidificação como ferros fundidos brancos.
- Microestrutura:
 - nódulos de grafita agregados e irregulares distribuídos em uma matriz de ferrita, perlita ou martensita revenida.
- Propriedades mecânicas similares às do ferro fundido dúctil.
- A soldagem do ferro fundido maleável pode produzir uma fina zona de ferro fundido branco na solda e na ZTA adjacente ao metal de solda.
- Normalmente, peças produzidas para serem soldadas sofrem um tratamento térmico de descarbonetação para evitar essa ocorrência.



FERRO FUNDIDO LIGADO

- Os elementos de liga são adicionados para melhorar propriedades como resistência à corrosão, ao desgaste e ao calor e para aumentar a resistência mecânica.
- Exemplos:
 - Ni-resist – resistente à corrosão
 - nicrosilal – resistente ao calor
 - meehanite – alta resistência à tração
- Esses ferros fundidos apresentam soldabilidade similar à dos ferros fundidos dúcteis.
- O ferro fundido ligado do tipo Ni-hard é semelhante a um ferro fundido branco e portanto é considerado como não soldável.



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- A soldabilidade dos ferros fundidos depende principalmente dos seguintes fatores:
 - tensões de resfriamento
 - forma irregular do fundido
 - endurecimento da ZTA
 - migração de carbono do metal de base
 - impregnação por óleo do ferro fundido



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Tensões de resfriamento
 - o metal de solda contrai-se mais que o ferro fundido, devendo ser capaz de absorver as tensões de resfriamento resultantes sem trincar
- Como evitar:
 - usar parâmetros de soldagem corretos
 - cordões curtos e filetados, baixa corrente e planejamento da seqüência de passes
 - soldagem multipasse: os passes subseqüentes reaquecem os anteriores, aliviando as tensões resultantes da soldagem
 - progressão descendente – menor aporte térmico (OK 92.58)
 - usar consumíveis que produzam um metal de solda dúctil
 - pré-aquecer as peças para reduzir a influência das tensões de contração
 - martelamento dos cordões para introduzir tensões compressivas no metal de solda, que é o método mais efetivo para evitar trincas em soldas de ferro fundido

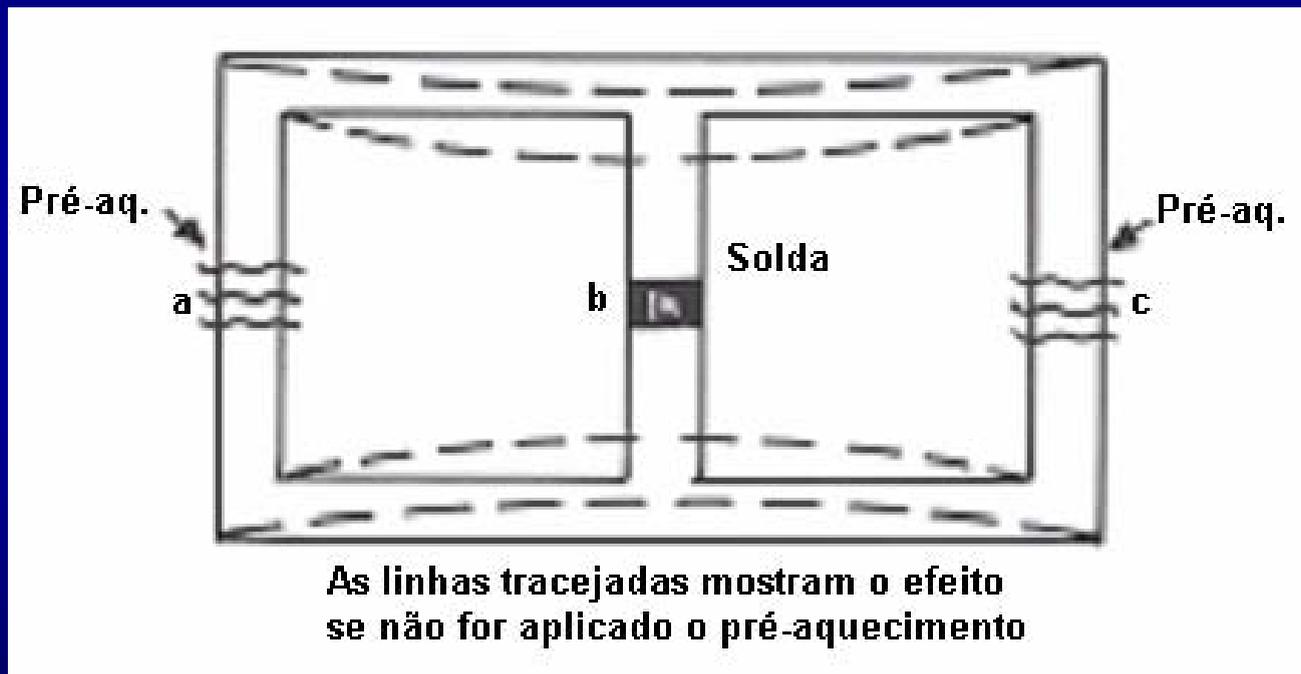


SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Forma irregular do fundido
 - para evitar trincas devido às tensões de contração provenientes da soldagem, é indicado pré-aquecer a peça de formato irregular para balancear essas tensões (pré-aquecimento indireto)
 - é preferível pré-aquecer uma grande área a uma baixa temperatura
 - no entanto, um pré-aquecimento localizado a alta temperatura pode ainda ser necessário se for requerida uma solda macia e usinável



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Endurecimento da ZTA
 - a ZTA do ferro fundido adjacente à solda endurecerá durante a soldagem devido ao alto teor de C
 - a dureza e a extensão da ZTA são principalmente dependentes da taxa de resfriamento, do aporte térmico e da temperatura de pico
- Como evitar:
 - a dureza da ZTA pode ser reduzida pelo pré-aquecimento
 - porém, para atingir uma redução de dureza considerável, é necessário aquecer o fundido a aproximadamente 500°C
 - a dureza da zona parcialmente refundida próxima à linha de fusão pode ser reduzida diminuindo-se o tempo de permanência à temperatura de pico durante a soldagem (por exemplo, aplicando baixas correntes)



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Migração de C do metal de base
 - a diluição com o metal de base causa a migração de C do metal de base (também do P e do S)
- Como evitar:
 - sempre ocorre na soldagem de ferros fundidos
 - há dois métodos para minimizar esse efeito:
 - pré-aquecimento combinado com resfriamento lento para evitar os efeitos deletérios da captura do C, sendo essa prática essencial quando se usam consumíveis à base de Fe
 - usar consumíveis insensíveis à captura de C, que é a prática mais empregada, com consumíveis à base de Ni



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Impregnação por óleo
 - o óleo pode ser absorvido pela grafita e por microporos, penetrando profundamente no ferro fundido
 - durante a soldagem, o óleo evapora e causa porosidade no metal de solda
- Como evitar:
 - quando o óleo já penetrou profundamente no ferro fundido, não há como removê-lo com um desengraxante, que só agirá na superfície
 - nesse caso, a remoção do óleo deve ser através de sua queima por tratamento térmico a $\cong 500^{\circ}\text{C}$ / 4-8h
 - nos casos em que esse tratamento térmico não for possível, pode-se goivar com o eletrodo OK 21.03



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Limpeza
 - óleo, graxa, etc.
 - evita porosidade
 - se a contaminação for recente, empregar desengraxante
 - caso contrário, tratamento térmico a $\cong 500^{\circ}\text{C}$ / 4-8h
 - se não for possível o tratamento térmico, goivagem com OK 21.03 para queima local do óleo
 - poeira, carepa, etc.
 - consumíveis à base de Ni são mais sensíveis a esses agentes
 - limpeza mecânica na região próxima à solda até 20 mm

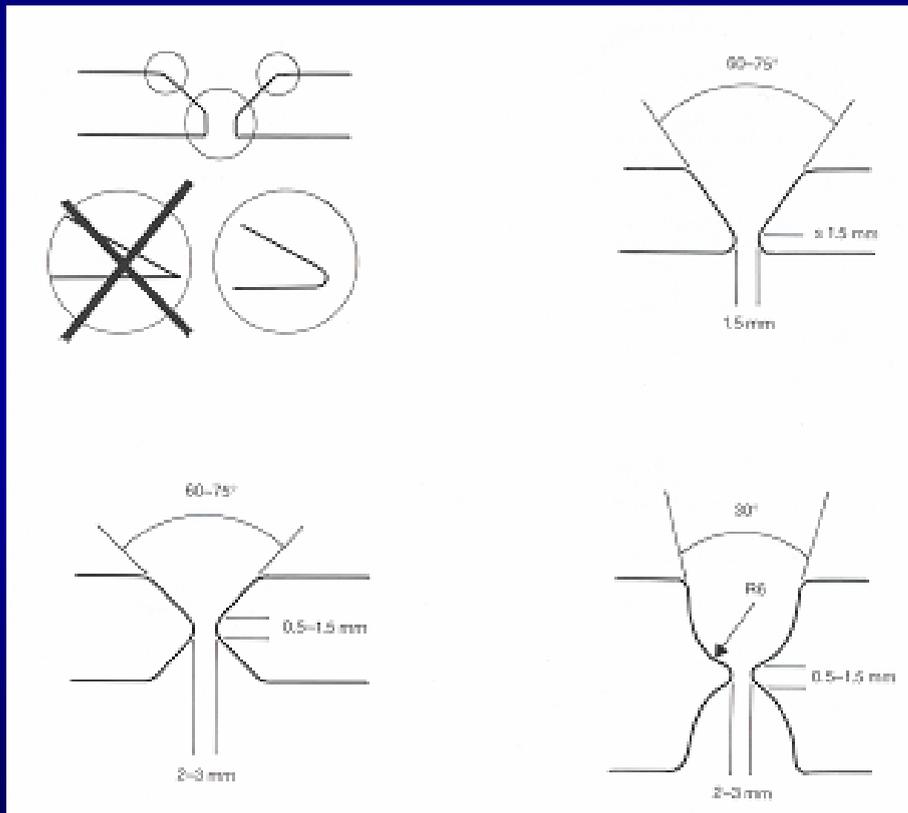


SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Preparação da junta
 - os ângulos da junta devem ser mais largos que os usuais para aços carbono, em torno de 80-90°
 - arestas devem ser adoçadas para minimizar as concentrações de tensões
 - chanfros em U são preferenciais aos chanfros em V
 - essa é o principal motivo porque a goivagem é melhor que o lixamento na preparação de juntas de ferro fundido
 - trincas devem ser totalmente abertas para permitir acesso, sendo recomendável empregar o eletrodo OK 21.03
 - abrir e limpar todas as cavidades



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Pré-aquecimento
 - local
 - reduz a taxa de resfriamento da junta soldada
 - geral
 - reduz as tensões internas
 - reduz a taxa de resfriamento da junta soldada
 - a partir de 450°C há aumento da ductilidade, reduzindo as distorções e, conseqüentemente, a tendência ao trincamento e a dureza da solda e da ZTA
 - indireto
 - balanceia as tensões de contração causadas pela soldagem



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Níveis de pré-aquecimento
 - temperatura ambiente
 - garante que não haverá condensação de vapor d'água
 - 80-100°C
 - garante que as superfícies fiquem secas e livres do hidrogênio
 - 200-250°C
 - útil no ferro fundido dúctil para evitar a formação de martensita na ZTA
 - não pré-aquecer esses ferros fundidos na faixa 300-500°C para evitar a formação de cementita pró-eutetóide, que reduz consideravelmente sua ductilidade
 - até 500°C
 - o pré-aquecimento indireto é aplicado em todas as faixas de temperatura; quanto mais alta a temperatura, melhor, desde que o aquecimento e o resfriamento sejam lentos
 - 500-600°C
 - aplicado aos ferros fundidos cinzento e grafita compacta para atingir a mínima dureza possível na ZTA



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Geral
 - Pré-aquecimento
 - temperatura ambiente (soldagem fria)
 - 250°C (soldagem morna)
 - 500°C (soldagem quente)
 - Tipos de soldagem
 - camadas de almofadamento
 - solda monopasse
 - solda multipasse



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Camadas de almofadamento
 - razões metalúrgicas
 - evitar a formação de constituintes frágeis em soldas dissimilares
 - razões mecânicas
 - transferir as tensões de contração da ZTA do ferro fundido para o almofadamento dúctil
 - as tensões de contração serão distribuídas por uma área maior
 - os constituintes duros da ZTA serão recozidos
 - empregadas principalmente em:
 - soldas multipasse
 - soldas entre ferro fundido e outros metais
 - reparos de defeitos em grandes superfícies
 - soldas executadas sob condições severas de restrição



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Soldagem fria
 - cordões curtos filetados (20-30 mm)
 - eletrodos de pequeno diâmetro
 - baixa corrente
 - soldar em CC-
 - menor diluição
 - particularmente benéfico na soldagem de ferros fundidos cinzentos com eletrodo de níquel puro (OK 92.18)
 - temperatura entressoldas abaixo de 100°C
 - soldar intercalado
 - martelar o cordão
 - com um martelo de bola
 - logo após a soldagem, com o cordão ainda rubro
 - não martelar perpendicularmente, mas do fim para o início do cordão
 - isso é para evitar trincas originadas pela operação de martelamento



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Soldagem morna
 - empregado principalmente para o ferro fundido dúctil
 - temperatura entressoldas até 250°C
 - cordões curtos e filetados (máximo 50 mm)
 - soldar preferencialmente intercalado
 - eletrodos de pequeno diâmetro
 - martelar o cordão
 - resfriamento lento é imperativo



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Soldagem quente
 - pequenos fundidos
 - melhor para ferros fundidos cinzento e grafita compacta
 - para o ferro fundido grafita compacta, não exceder 350°C no pré-aquecimento
 - seqüência de soldagem semelhante à de aços, porém martelar os cordões
 - OK 92.58 é preferencial ao OK 92.18
 - a alta temperatura de pré-aquecimento aumentará a diluição do metal de base, sendo o eletrodo OK 92.58 mais tolerante a esse respeito
 - resfriamento lento é imperativo



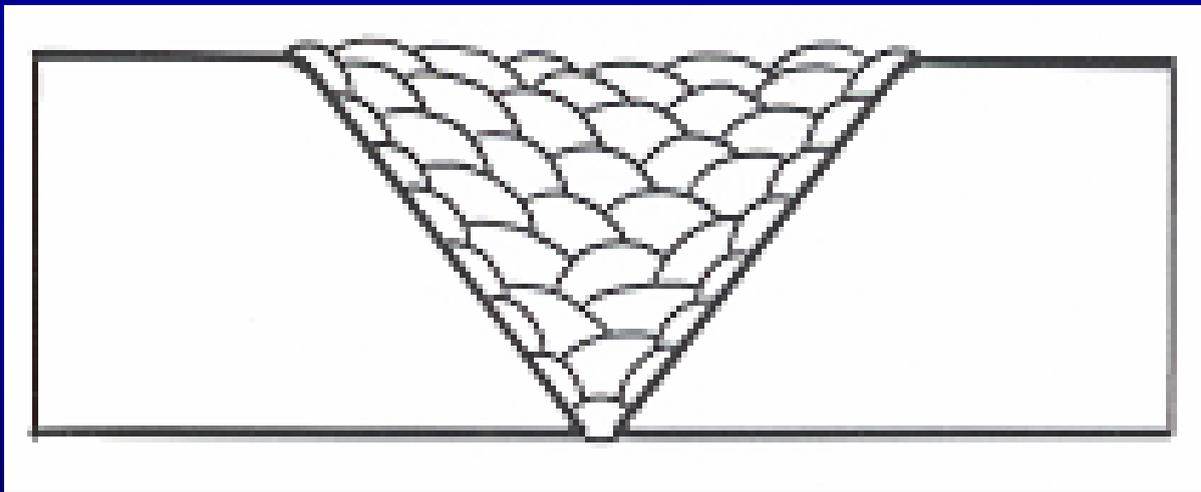
SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Soldagem multipasse
 - todos os cordões em contato com o ferro fundido devem ser soldados com o mesmo procedimento para a soldagem monopasse
 - o último cordão não deve ser soldado diretamente sobre o ferro fundido, mas no topo de um cordão previamente soldado (*temper bead*)
 - os melhores resultados na soldagem multipasse em ferros fundidos são sempre obtidos pela técnica de almofadamento



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Soldagem multipasse
 - camadas de almofadamento



SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Tratamento térmico pós-soldagem
 - o mais comum é o recozimento para alívio de tensões
 - o revenimento também é aplicado quando a soldagem é executada com consumíveis à base de Fe

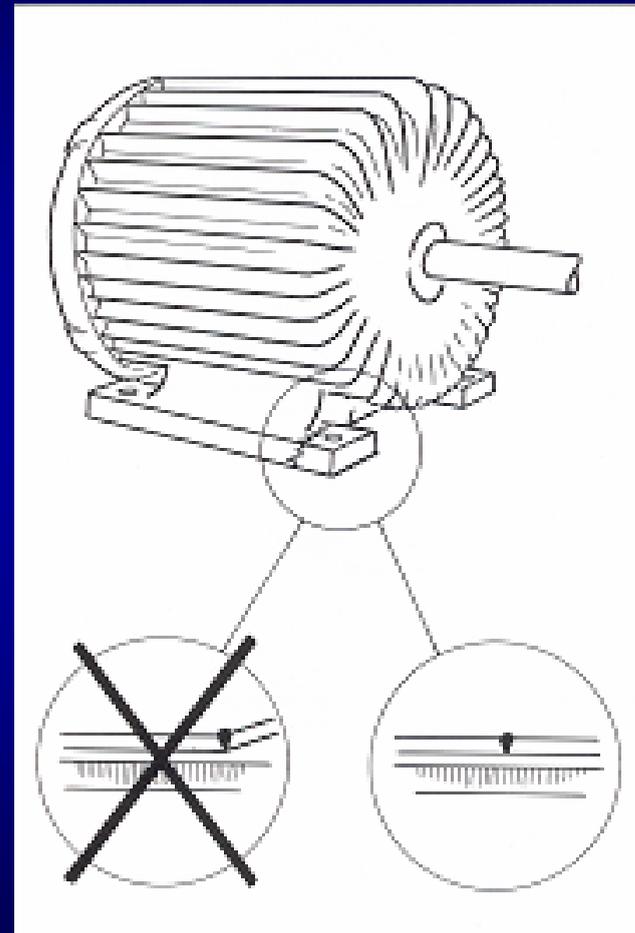
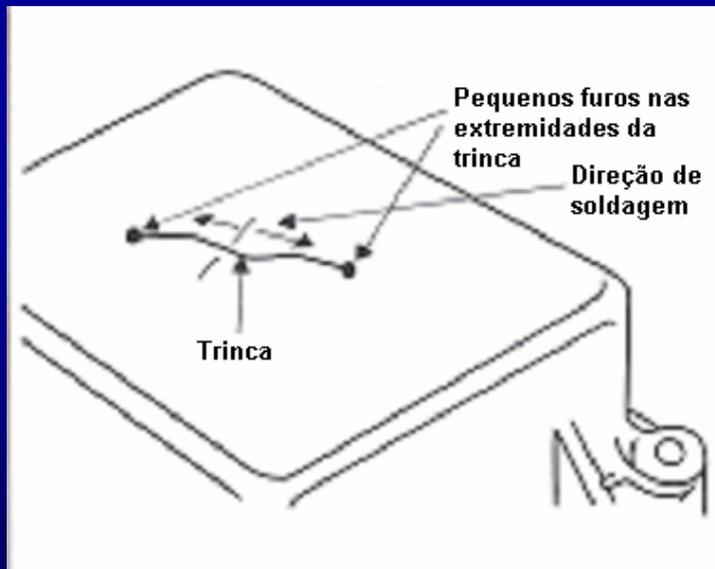


SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

- Resfriamento
 - resfriamento lento
 - ferros fundidos apresentam baixa dilatação térmica em comparação com a maioria dos metais de solda empregados
 - forma complexa dos fundidos



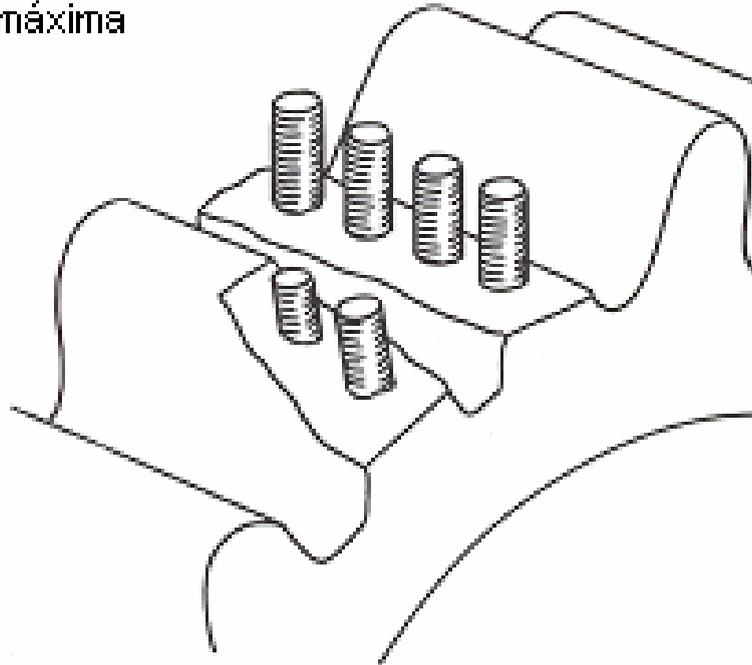
SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS



consumíveis de ferro fundido

SOLDAGEM DE FERROS FUNDIDOS

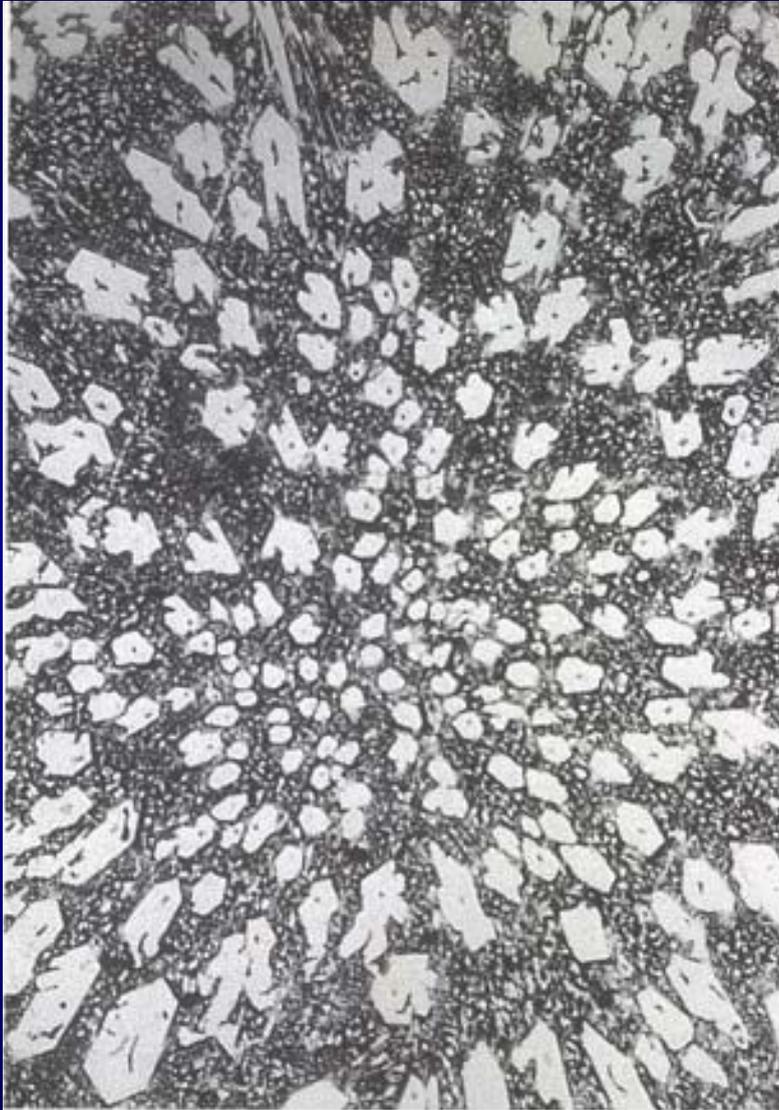
Inserir estojos a várias profundidades para garantir a resistência máxima



GOIVAGEM – CORTE – PERFURAÇÃO

- Procedimento Recomendado
 - O OK 21.03 é um eletrodo para goivagem, corte e preparação de juntas de aço carbono, aço inoxidável, ferro fundido, aços ao manganês e metais não-ferrosos como alumínio e ligas de cobre.
 - O eletrodo é utilizado com transformadores comuns ou retificadores. Não é necessário o uso de ar comprimido, gases ou porta-eletrodo especiais. Siga a amperagem recomendada na embalagem.
 - Um corte bastante limpo é obtido com pequena ou nenhuma limpeza final necessária antes da soldagem.
 - O arco é aberto da mesma forma que um eletrodo para soldagem, mas ele é empurrado para frente a um ângulo baixo ($5-15^\circ$), utilizando-se um movimento de serra. Para cortes mais profundos, este procedimento é repetido.
 - O OK 21.03 pode ser utilizado em todas as posições e é um eletrodo CA / CC-.
- Consumível
 - OK 21.03





**Microestrutura do metal de revestimento duro:
OK 84.78, carbonetos de cromo.**

REVESTIMENTO DURO

CAMADAS DE AMANTEIGAMENTO

- Depósitos intermediários entre o material de base e o revestimento duro
 - garantir uma boa ligação com o material de base
 - evitar trincas sob cordão induzidas por hidrogênio mesmo em peças pré-aquecidas
 - limitar o efeito da diluição
 - evitar abaulamento nas camadas duras subseqüentes
 - evitar possíveis trincas na camada de revestimento duro depositada no material de base
- Consumíveis austeníticos são largamente empregados em camadas de amanteigamento



NORMA DIN 8555

DIN 8555 E X UM YYY Z

Dureza

HB	± 25
HRc	-3 / + 2

Processo de soldagem

G	soldagem a gás
E	soldagem manual
MF	soldagem com arames tubulares
TIG	soldagem TIG
MSG	soldagem com gás de proteção
UP	soldagem ao arco submerso

Método de Produção

GW	laminado
GO	fundido
GZ	trefilado
GS	sinterizado
GF	tubular
UM	revestido

Grupo de liga

Grupo de liga Tipo de metal de adição ou de metal de solda

- | | |
|----|--|
| 1 | Não ligado até 0,4%C ou baixa liga até 0,4%C e até um máximo total de 5% de Cr, Mn, Mo, Ni |
| 2 | Não ligado com mais de 0,4%C ou baixa liga com mais de 0,4%C e até um máximo total de 5% de Cr, Mn, Mo, Ni |
| 3 | Ligado, com as propriedades dos aços para trabalho a quente |
| 4 | Ligado, com as propriedades dos aços rápidos |
| 5 | Ligado com mais de 5%Cr, com no máximo 0,2%C |
| 6 | Ligado com mais de 5%Cr com 0,2 a 2,0%C |
| 7 | Aços austeníticos com 11 a 18%Mn, mais de 0,5%C e até 3%Ni |
| 8 | Aços austeníticos ao Cr-Ni-Mn |
| 9 | Aços ao Cr-Ni (resistentes à carepa, aos ácidos e ao calor) |
| 10 | Com alto %C e %Cr e sem elementos adicionais formadores de carbonetos |

Propriedades do metal de solda

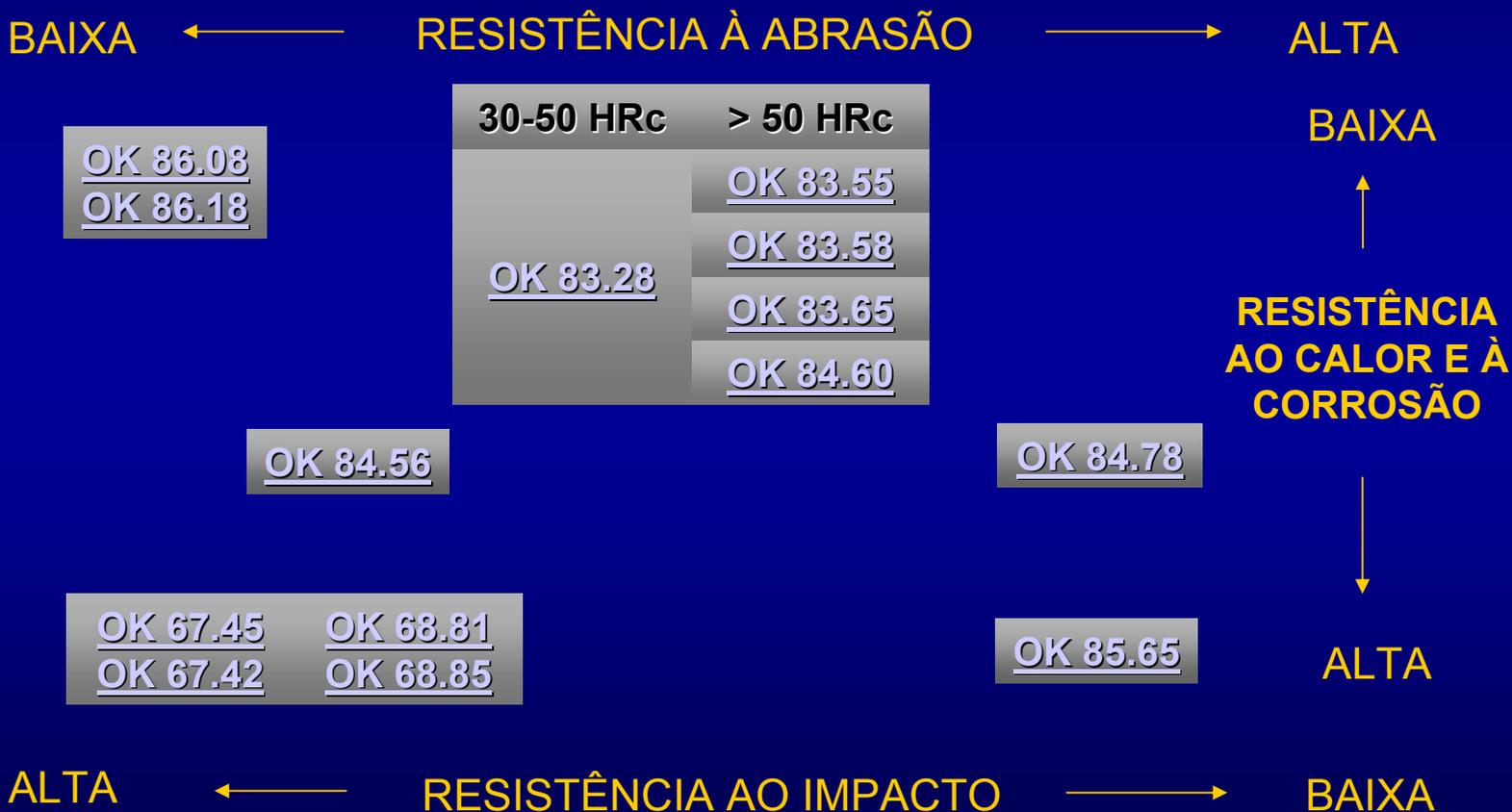
C	resistente à corrosão
G	resistente à abrasão
K	capaz de encruar
N	não magnetizável
P	resistente ao impacto
R	resistente à carepa
S	para corte (aços rápidos)
T	resistência a alta temperatura (aços ferramenta para trabalho a quente)
Z	resistente ao calor (sem carepa) para temperaturas > 600°C



SELEÇÃO DE ELETRODOS REVESTIDOS

Desgaste	Eletrodo	DIN 8555
Metal – Metal	OK 83.28	E1-UM-350
Metal – Metal Corrosão	OK 84.56	E6-UM-55-R
Impacto	OK 86.08	E7-UM-200-K
	OK 86.18	E8-UM-200-K
Abrasão Mineral	OK 84.78	E10-UM-60-Z
Abrasão + Impacto	OK 83.55	E2-UM-60
	OK 83.58	E6-UM-60-R
	OK 83.65	E2-UM-60
	OK 84.60	E6-UM-55-R
Calor, Corrosão, Oxidação	OK 85.65	E4-UM-60-S

SELEÇÃO DE ELETRODOS REVESTIDOS



PRODUTOS OK

- Eletrodos Revestidos
- Arames Tubulares
- Fluxos

aços dissimilares

ferro fundido

revestimento duro



ELETRODOS REVESTIDOS OK

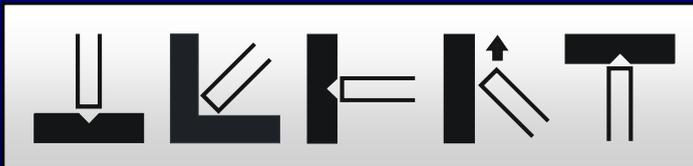
- OK 61.30
- OK 63.30
- OK 67.15
- OK 67.42
- OK 67.45
- OK 67.73
- OK 67.75
- OK 68.81
- OK 68.85
- OK 74.75
- OK 75.60
- OK 75.65
- OK 75.75
- OK 75.77
- OK 76.18
- OK 78.15
- OK 92.18
- OK 92.58
- OK 83.28
- OK 83.55
- OK 83.58
- OK 83.65
- OK 84.56
- OK 84.60
- OK 84.78
- OK 85.65
- OK 86.08
- OK 86.18



OK 61.30

- Eletrodo rutílico
- Classificações:
 - ASME SFA-5.4 E308L-17
 - ASME SFA-5.4 E308-17
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Ni	L.R. (MPa)	A (%)
0,03	0,80	0,80	19,60	9,90	560 - 600	38 - 42



**HOMOLOGADO
FBTS**

CA / CC+



OK 61.30

- Aplicações

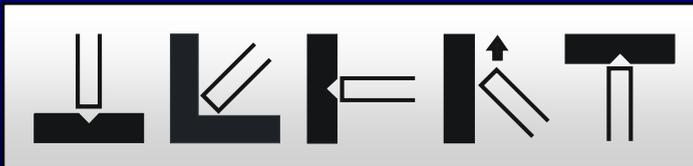
- deposita aço inoxidável tipo 19/10
- baixíssimo teor de Carbono
- soldagem de aços com composição química similar
- também usado em aços endurecíveis ao ar, aços ferríticos e martensíticos
- resistente à corrosão intergranular



OK 63.30

- Eletrodo rutílico
- Classificações:
 - ASME SFA-5.4 E316L-17
 - ASME SFA-5.4 E316-17
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	L.R. (MPa)	A (%)
0,03	0,70	0,70	18,70	11,70	2,70	550 - 600	33 - 38



**HOMOLOGADO
FBTS**

CA / CC+



OK 63.30

- Aplicações

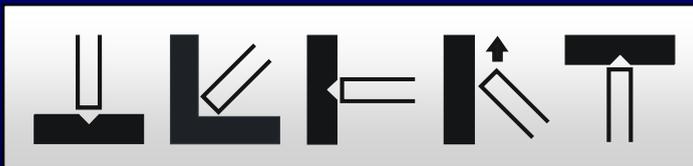
- deposita aço inoxidável tipo 19/12 Mo
- baixíssimo teor de Carbono
- soldagem de aços com composição química similar
- usado em aços estabilizados não sujeitos a ataque corrosivo muito severo
- resistente à corrosão intergranular



OK 67.15

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - ASME SFA-5.4 E310-15
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Ni	L.R. (MPa)	A (%)
0,06	0,25	1,65	25,60	20,90	550 - 590	30 - 32



**HOMOLOGADO
FBTS**

CC+



OK 67.15

- Aplicações

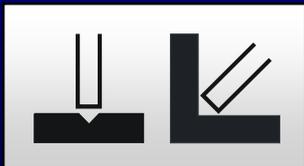
- deposita aço inoxidável tipo 25/20
- soldagem de aços com composição química similar
- usado em aços de soldabilidade limitada e na união de materiais diversos como, por exemplo, aço inoxidável ao aço carbono
- sensível à corrosão sulfúrica em altas temperaturas



OK 67.42

- Eletrodo rutílico
- Classificação:
 - ASME SFA-5.4 E307-26
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	L.R. (MPa)	A (%)
0,06	0,65	3,90	20,00	10,00	0,80	580 - 620	40 - 45



**SINTÉTICO
ALTÍSSIMO
RENDIMENTO**

CA / CC+



OK 67.42

- Aplicações

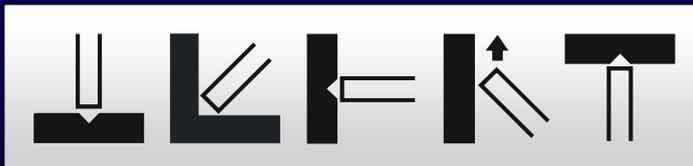
- deposita aço inoxidável tipo 19/9 Mn
- soldagem de aços de soldabilidade limitada, principalmente aços ao Mn do tipo Hadfield
- produção e manutenção e equipamentos de terraplenagem e mineração
- revestimento de ferramentas para trabalho a quente
- válvulas e peças em aço carbono e baixa liga resistentes ao desgaste
- restauração de turbinas sujeitas à cavitação



OK 67.45

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - DIN 8555 E 18 8 Mn6 B20
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Ni	L.R. (MPa)	A (%)
0,07	0,25	6,95	18,10	9,45	600 - 620	40 - 45



CC+



OK 67.45

- Aplicações

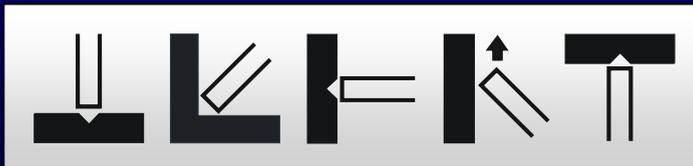
- deposita aço inoxidável tipo 19/9 Mn
- soldagem de aços de soldabilidade limitada, principalmente aços ao Mn do tipo Hadfield
- aços ligados sujeitos a tratamento térmico
- produção e manutenção e equipamentos de terraplenagem e mineração
- revestimento de ferramentas para trabalho a quente
- válvulas e peças em aço carbono resistentes ao desgaste
- restauração de turbinas sujeitas à cavitação



OK 67.73

- Eletrodo rutílico
- Classificação:
 - ASME SFA-5.4 E309-16
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	L.R. (MPa)	A (%)
0,10	0,40	1,30	24,00	13,25	0,30	600 - 630	32 - 36



**HOMOLOGADO
FBTS**

CA / CC+



OK 67.73

- Aplicações

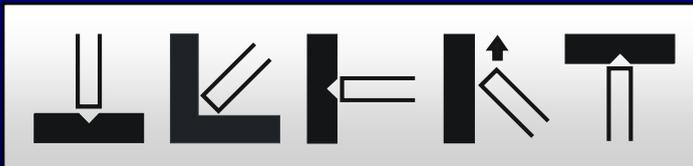
- deposita aço inoxidável tipo 23/12
- soldagem de aços com composição química similar em estado fundido ou forjado
- soldagem de aços dissimilares como, por exemplo, aço inoxidável tipo 18/8 ao aço carbono
- soldagem do lado placado em aço inoxidável tipo 18/8
- revestimentos inoxidáveis



OK 67.75

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - ASME SFA-5.4 E309-15
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	L.R. (MPa)	A (%)
0,05	0,30	1,70	24,45	13,10	0,25	600 - 630	30 - 38



CC+



OK 67.75

- Aplicações

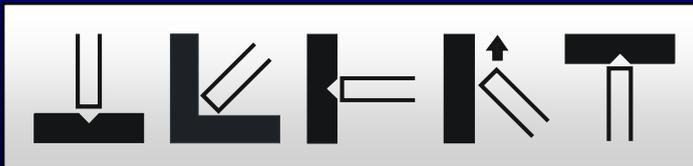
- deposita aço inoxidável tipo 23/12
- considerando-se uma diluição de até 20% do metal de base não ligado, proporciona um passe com composição química aproximadamente do tipo 18/10
- soldagem da zona de transição em chapas placadas com aço inoxidável
- união de aço inoxidável ao aço carbono ou de baixa liga



OK 68.81

- Eletrodo rutílico
- Classificação:
 - ASME SFA-5.4 E312-17
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Ni	L.R. (MPa)	A (%)
0,07	0,70	1,40	29,30	9,45	780 - 830	22 - 24



CA / CC+



OK 68.81

- Aplicações

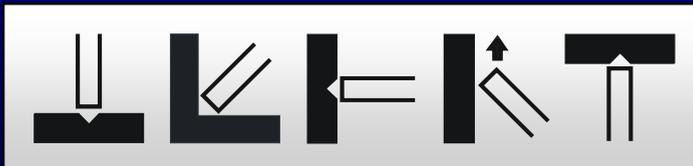
- deposita aço inoxidável tipo 29/9
- especialmente indicado na soldagem de aços de composição desconhecida, de escassa soldabilidade ou dissimilares
- aços inoxidáveis em geral
- aços ao manganês
- aços para molas
- aços ferramenta
- ideal para a camada de amanteigamento antes do revestimento duro



OK 68.85

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - ASME SFA-5.4 E312-15
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Ni	L.R. (MPa)	A (%)
0,06	0,35	1,50	29,00	9,0	760 - 800	22 - 24



CC+



OK 68.85

- Aplicações

- deposita aço inoxidável tipo 29/9
- soldagem de aços com composição química similar
- aços de difícil soldabilidade
- aços dissimilares
- aços ao manganês
- recuperação de engrenagens, eixos e virabrequins
- revestimento de ferramentas, cilindros, matrizes para plásticos, almofada em fresas, brocas, engrenagens, etc.

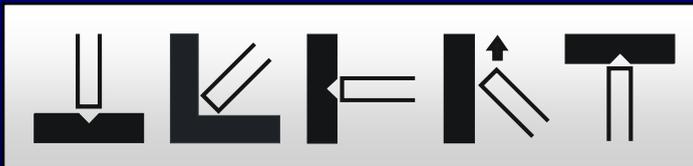
soldagem de aços inoxidáveis



OK 74.75

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - ASME SFA-5.5 E9018-D1
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Mo	L.R. (MPa)	A (%)	Ch V (J)
0,06	0,30	1,40	0,40	620 - 670	26 - 28	35 - 70 @-51°C



CA / CC+



OK 74.75

- Aplicações

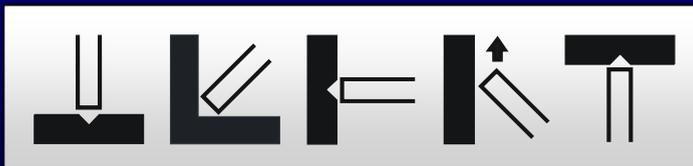
- soldagem de grande responsabilidade em aços estruturais de baixa liga de mesma composição ou propriedades mecânicas
- também para certos aços resistentes ao calor, aços sujeitos a tratamento térmico após soldagem
- especialmente indicado para a soldagem de trilhos



OK 75.60

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - ASME SFA-5.5 E9018-M
 - ASME SFA-5.5 E9018-G
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Ni	Mo	L.R. (MPa)	A (%)	Ch V (J)
0,05	0,50	1,10	1,60	0,20	630 - 700	24 - 26	35 - 60 @-51°C



CA / CC+



OK 75.60

- **Aplicações**

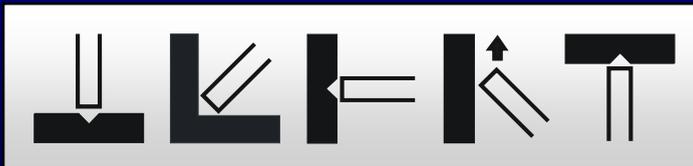
- soldagem de grande responsabilidade em aços de elevada resistência e baixa liga, com propriedades mecânicas equivalentes, com ou sem tratamento térmico de alívio de tensões
- especialmente indicado para a soldagem de aço do tipo USI SAR-60
- aplicável no ponteamto e na soldagem de passes de raiz e juntas de ângulo em aços do tipo T1, N-A-XTRA-70, HY-80 e HY-90
- aplicável também aos demais aços de altíssima resistência, temperados e revenidos, onde é requerida ótima ductilidade



OK 75.65

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - ASME SFA-5.5 E10018-G
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Ni	Mo	V	L.R. (MPa)	A (%)
0,05	0,25	0,80	1,85	0,70	0,25	740 - 840	18 - 22



CC+



OK 75.65

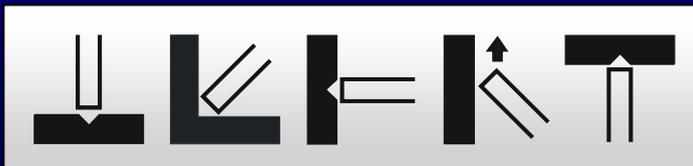
- Aplicações
 - soldagem de grande responsabilidade em aços revenidos e outros com elevada resistência à tração, onde não é possível pré-aquecimento e tratamento térmico posterior



OK 75.75

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - ASME SFA-5.5 E11018-G
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	L.R. (MPa)	A (%)
0,06	0,25	1,70	0,35	1,70	0,40	760 - 840	17 - 22



CA / CC+



OK 75.75

- Aplicações

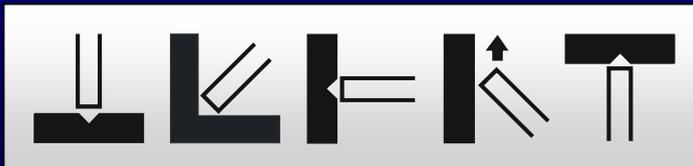
- soldagem de grande responsabilidade em aços de construção de altíssima resistência e baixa liga, com ou sem pré-aquecimento
- especialmente indicado em aços USS T-1 e similares
- o metal depositado é insensível à fragilidade do revenido



OK 75.77

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - ASME SFA-5.5 E12018-G
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	L.R. (MPa)	A (%)	Ch V (J)	
0,06	0,35	1,50	1,50	1,80	0,40	890 - 950	19 - 22	40 - 60 @-20°C	35 - 55 @-30°C



CC+



OK 75.77

- **Aplicações**

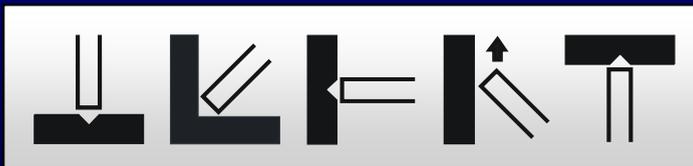
- soldagem de aços de altíssima resistência onde são requeridas tensões mínimas de 830 MPa
- especialmente indicado para soldagem de aços SAE 4340, peças forjadas, placas fundidas de alta resistência e vasos de pressão
- apresenta baixo hidrogênio, sendo também indicado para aplicações onde são requeridas soldas de alta resistência com propriedades de impacto a baixas temperaturas



OK 76.18

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - ASME SFA-5.5 E8018-B2
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Mo	L.R. (MPa)	A (%)
0,06	0,50	0,60	1,30	0,50	660 - 740	22 - 25



**HOMOLOGADO
FBTS**

CA / CC+



OK 76.18

- Aplicações

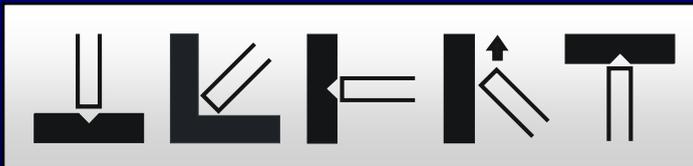
- soldagem de aços de baixa liga resistentes ao calor, do tipo 1% Cr - 0,5% Mo, usados na fabricação e reparo de caldeiras, tubos, super-aquecedores, etc., que trabalham entre 400°C e 500°C
- recomenda-se pré-aquecimento e tratamento térmico posterior



OK 78.15

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - ASME SFA-5.5 E9018-G
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Mo	L.R. (MPa)	A (%)
0,13	0,25	0,70	0,95	0,20	640 - 700	18 - 22



CC+



OK 78.15

- **Aplicações**

- soldagem de aços de alta resistência e de baixa liga, do tipo 1% Cr - 0,2% Mo, sujeitos a tratamento térmico após soldagem
- recomenda-se pré-aquecimento e tratamento térmico posterior
- indicado em aços SAE 4130 e similares

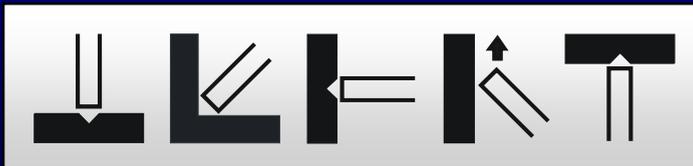
soldagem de aços baixa liga



OK 83.28

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - DIN 8555 E 1-350
 - não temperável
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Dureza média
0,14	0,25	0,60	3,60	350 HB



CA / CC+



OK 83.28

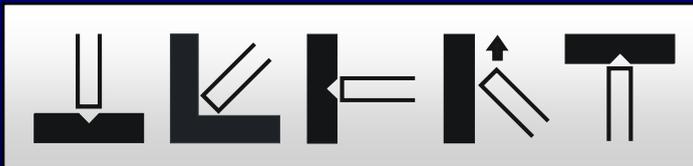
- Aplicações
 - recuperação de:
 - material ferroviário
 - sapatas de freio
 - trilhos
 - agulhas e cruzamentos
 - piso e friso de rodas
 - material rodante de máquinas
 - roletes
 - rodas de guia
 - pinos
 - elos
 - peças gastas em aços de baixa liga ou aços fundidos
 - eixos
 - cilindros
 - ferramentas de forja
 - grandes engrenagens



OK 83.55

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - DIN 8555 E 2-60
 - temperável ao ar, resistente ao calor (450-500°C)
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Dureza média
0,55	1,10	1,50	1,60	58 HRc



CA / CC+



OK 83.55

- Aplicações

- recuperação de:

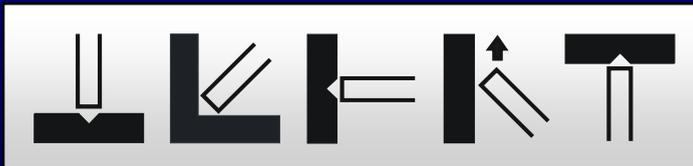
- material ferroviário
 - sapatas de freio
 - trilhos curvos
 - agulhas e cruzamentos
 - peças de máquinas de terraplenagem
 - elos
 - dentes de caçamba de escavadeiras
 - peças de máquinas diversas
 - rodas de ventiladores
 - braços misturadores
 - sem-fim de alimentadores
 - chapas de desgaste



OK 83.58

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - DIN 8555 E 6-60 r
 - temperável ao ar, resistente ao calor (450-500°C)
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Mo	Dureza média
0,60	0,60	0,70	6,80	0,50	58 HRc



CA / CC+



OK 83.58

- **Aplicações**

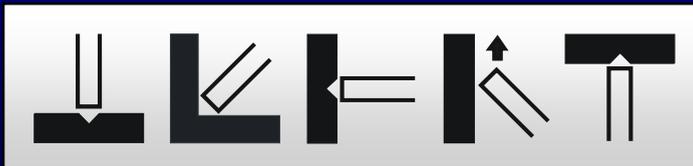
- revestimento tipo xadrez em caçambas e dentes de escavadeiras
- recuperação de
 - várias peças para britadores, moinhos e misturadores
 - sem-fim de alimentadores
 - chapas de desgaste para revestimento duro em partes de máquinas expostas ao desgaste por minérios, pedra, areia, solo, coque, etc.



OK 83.65

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - DIN 8555 E 2-60
 - temperável ao ar, resistente ao calor (450-500°C)
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Dureza média
0,70	3,70	0,40	2,65	58 HRc



CA / CC+



OK 83.65

- Aplicações

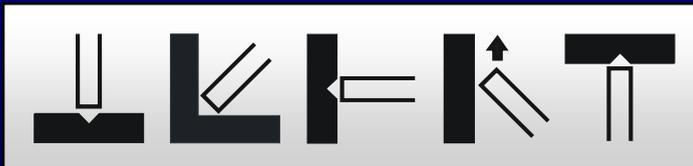
- revestimento tipo xadrez em caçambas de pá carregadeira e dentes de escavadeiras
- recuperação de várias peças para
 - britadores
 - moinhos
 - viradores de vagões
 - rodas de ventiladores
 - braços e pás de misturadores
 - sem-fim de alimentadores
 - chapas de desgaste



OK 84.56

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - DIN 8555 E 6-55 r
 - temperável ao ar, resistente ao calor (450-500°C)
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Dureza média
0,30	0,20	0,40	15,00	55 HRc



CA / CC+



OK 84.56

- Aplicações

- recuperação de peças de máquinas em geral:

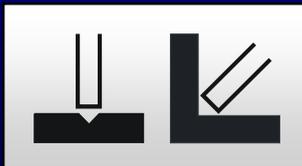
- eixos
 - engrenagens de baixa liga
 - sede de válvulas em aço fundido
 - braços e pás de misturadores
 - sem-fim de alimentadores
 - facas
 - caçambas de pá carregadeira
 - rodas motrizes
 - pinos
 - elos



OK 84.60

- Eletrodo rutílico
- Classificação:
 - DIN 8555 E 6-55 r
 - temperável ao ar, resistente ao calor (450-500°C)
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Dureza média
0,55	0,80	0,60	9,00	55 HRc



CA / CC+ / CC-



OK 84.60

- **Aplicações**

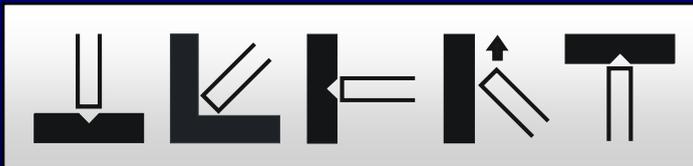
- revestimento de peças sujeitas a desgaste abrasivo severo por solo, pedra, minérios e carvão
- aplicável em máquinas / equipamentos agrícolas e de terraplenagem
- este produto pode ser usado facilmente em qualquer máquina de solda, inclusive pequenos transformadores com baixa tensão em vazio



OK 84.78

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - DIN 8555 E 10-60 z
 - temperável ao ar, resistente ao calor (700°C)
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Dureza média
4,00	2,40	0,40	25,00	60 HRc



CA / CC+



OK 84.78

- **Aplicações**

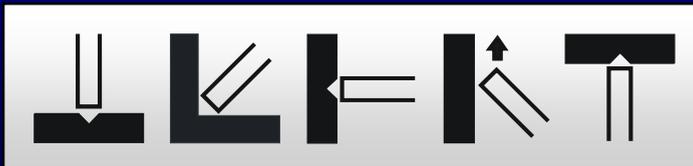
- revestimento rico em carbonetos de cromo altamente resistente ao desgaste abrasivo de metais e minérios, especialmente desenvolvido para revestimento de partes móveis na indústria de mineração
- aplicável a:
 - transformadores helicoidais
 - facas trituradoras
 - partes de escavadoras
 - britadores e moinhos
 - misturadores
 - perfuratrizes



OK 85.65

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - DIN 8555 E 4-60 s
 - temperável ao ar, resistente ao calor (550-600°C)
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Dureza média
0,90	1,60	1,60	4,50	7,10	1,40	1,80	58 HRc



CA / CC+



OK 85.65

- Aplicações

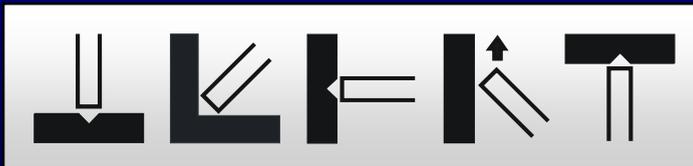
- revestimento em ferramentas para trabalhos a frio:
 - corte
 - plaina
 - fresa
- ferramentas similares para:
 - usinagem
 - estampagem
 - perfuração
- recuperação de ferramentas de aço rápido



OK 86.08

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - DIN 8555 E 7-200 k
 - temperável ao ar, resistente ao calor (550-600°C)
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Mo	Dureza média
0,80	0,10	13,00	1,10	58 HRc



CA / CC+



OK 86.08

- Aplicações

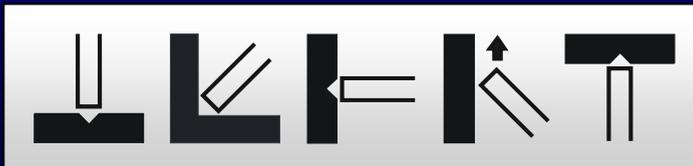
- revestimento em aço ao manganês ou partes de aços ao carbono que requerem resistência ao desgaste no trabalho a frio
- exemplos:
 - dentes de carregadeiras e escavadeiras
 - mandíbulas de britadores para minério e pedra
 - martelos de moinho



OK 86.18

- Eletrodo básico
- Classificação:
 - DIN 8555 E 8-200 k
 - endurecível por trabalho a frio
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Ni	Dureza após trabalho a frio
0,60	0,40	12,00	3,80	45 HRc



CA / CC+



OK 86.18

- Aplicações

- revestimento em aço ao manganês ou partes de aços ao carbono que requerem resistência ao desgaste no trabalho a frio
- exemplos:
 - dentes de escavadeiras
 - cones e placas de britadores
 - trilhos
 - sapatas de freio
 - desembobinadeiras
- também usado para soldagem de aço ao manganês entre si ou com aço ao carbono



OK 92.18

- Eletrodo com alma de Ni
- Classificação:
 - ASME SFA-5.15 E Ni-CI
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Ni	L.R. (MPa)	Dureza	Ch V (J)
0,32	0,20	0,20	98,00	380	160 HB	30 @+20°C



**HOMOLOGADO
FBTS**

CA / CC+ / CC-



OK 92.18

- Aplicações

- alma de níquel puro
- soldagem de ferro fundido a frio ou com moderado pré-aquecimento, quando o metal depositado necessita de usinagem posterior
- também usado para enchimento de falhas de fundição e união de ferro fundido ao aço



OK 92.58

- Eletrodo com alma à base de Ni
- Classificação:
 - ASME SFA-5.15 E NiFe-CI
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Ni	L.R. (MPa)	Dureza	Ch V (J)
1,14	0,85	0,80	60,00	450	180 HB	30 @+20°C



**HOMOLOGADO
FBTS**

CA / CC+



OK 92.58

- Aplicações

- alma de níquel-ferro
- soldagem de ferro fundido
 - cinzento
 - maleável
 - nodular

a frio ou com moderado pré-aquecimento, quando o metal depositado necessita de usinagem posterior

- também usado para enchimento de falhas de fundição
- o depósito apresenta a mesma coloração da peça fundida



ARAMES TUBULARES OK TUBROD®

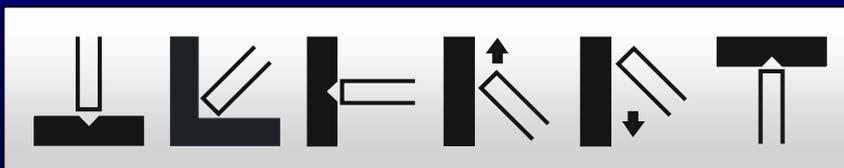
- com gás de proteção
 - OK Tubrod® 409 Ti
 - OK Tubrod® 410 NiMo
 - OK Tubrod® 410 NiMo MC
- para arco submerso
 - OK Tubrod® 316 L
 - OK Tubrod® 430 S



OK TUBROD® 409 Ti

- Arame tubular metálico
 - \varnothing 1,2 mm
- Classificação:
 - ASME SFA-5.9 EC409
- Composição Química / Propriedades Mecânicas
 - Gás de Proteção: 98% Ar / 2% CO₂ ou 96% Ar / 4% CO₂

C	Si	Mn	Cr	Ti	L.R. (MPa)	L.E. (MPa)	A (%)	Dureza (HB)
0,05	0,60	0,70	11,0	1,00	515	400	32	130



CC+



OK TUBROD® 409 Ti

- Aplicações:
 - soldagem de conversores catalíticos, sistemas de exaustão para indústria automotiva, *manifolds* tubulações, flanges e conectores flexíveis onde são requeridos resistência à oxidação, à alta temperatura, tensão por fadiga e coeficiente de expansão térmica



OK TUBROD® 410 NiMo

- Arame tubular rutilico
 - \varnothing 1,6 mm
- Classificação:
 - ASME SFA-5.22 E410 NiMoT0-1/4 (aprox.)
 - DIN 8556: SG 13 4
- Composição Química / Propriedades Mecânicas(*)
 - Gás de Proteção: Ar + 20-25% CO₂ ou 100% CO₂



C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	L.R. (MPa)	L.E. (MPa)	A (%)	Ch V (J)
0,04	0,40	1,50	12,4	5,0	0,45	950	880	19	45 (Amb.) 38 (-20°C)

(*) Ar + 20-25% CO₂ – T.T. 580-600°C / 8h



CC+



OK TUBROD[®] 410 NiMo

- Aplicações:
 - soldagem de componentes de turbinas hidroelétricas Francis e Pelton
 - soldagem de aços de composição química semelhante

- Microestrutura:
 - como soldado: martensítica
1-2% ferrita δ e 1-2%
austenita retida
 - após T.T.: martensítica com
20-25% de austenita
finamente dispersa



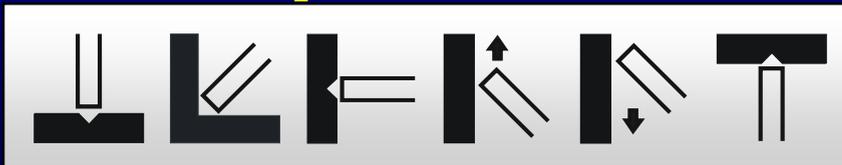
OK TUBROD® 410 NiMo MC

- Arame tubular metálico
 - \varnothing 1,2 – 1,6 mm
- Classificação:
 - ASME SFA-5.9 EC410 NiMo (aprox.)
 - DIN 8556: SG 13 4
- Composição Química / Propriedades Mecânicas
 - Gás de Proteção: 98% Ar / 2% CO₂ ou 96% Ar / 4% CO₂



C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	L.R. (MPa)	L.E. (MPa)	A (%)	Ch V (J)
0,04	0,52	1,70	13,2	4,5	0,49	940	570	21	50 (0°C) 45 (-20°C)

(*) Ar + 4% CO₂ – T.T. 580-600°C / 8h



CC+



OK TUBROD[®] 410 NiMo MC

- Aplicações:
 - soldagem de componentes de turbinas hidroelétricas Francis e Pelton
 - soldagem de aços de composição química semelhante

- Microestrutura:
 - como soldado: martensítica
1-2% ferrita δ e 1-2%
austenita retida
 - após T.T.: martensítica com
20-25% de austenita
finamente dispersa



OK TUBROD[®] 316 L

- Arame tubular metálico
 - Ø 2,4 mm
- Fluxo: OK Flux 10.61B
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
0,03	0,50	0,90	18,50	11,50	2,70



OK TUBROD[®] 316 L

- Aplicações
 - designado para aplicações de ciclagem térmica, ataque corrosivo severo e resistência à corrosão intergranular
 - soldagem de aços de composição química similar
 - revestimento de rolos de lingotamento contínuo
 - revestimentos anti-corrosivos



OK TUBROD[®] 430 S

- Arame tubular metálico
 - Ø 2,4 – 3,2 mm
- Fluxo: OK Flux 10.61B
- Composição Química / Propriedades Mecânicas

C	Si	Mn	Cr	Dureza (HB)
0,05	0,50	1,20	16,50	250



OK TUBROD[®] 430 S

- Aplicações
 - soldagem de aços similares
 - revestimento contra processos corrosivos, ciclagem e fadiga térmica
 - amanteigamento e/ou camada intermediária entre o metal de base e revestimentos duros que contêm teor de Cromo em torno de 12% (OK Tubrodur[®] 410 NiMo, 410 M e 412 N)



FLUXOS OK

- OK Flux 10.92 B



OK FLUX 10.92 B

- Fluxo aglomerado ligado
- Composição Química

Arame	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
ASME SFA-5.9 ER 308L	0,03	0,80	1,50	18,0	10,0	-
ASME SFA-5.9 ER 309L	0,03	0,90	1,50	22,0	12,0	0,09
ASME SFA-5.9 ER 316L	0,03	0,90	1,50	18,0	12,0	2,0

CC+



OK FLUX 10.92 B

- Aplicações
 - fluxo aglomerado ligado ao Cr
 - baixo teor de carbono
 - soldagem em CC+ de aço inoxidável
 - placagem em aços carbono
 - combinação com arames e fitas
 - compensa a perda de Cr no arco elétrico durante a soldagem
 - produz cordões com excelente acabamento e fácil remoção de escória





**Seu parceiro em
soldagem e corte**

