



Nossos clientes
soldam melhor

Eletrodos Inoxidáveis



ÍNDICE

ELETRODOS INOXIDÁVEIS	1
CÁLCULO DE FERRITA – O DIAGRAMA DE DE LONG	6
ARMAZENAGEM DE ELETRODOS INOXIDÁVEIS EM EMBALAGENS ABERTAS ..	10
SOLDAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS COM ELETRODOS REVESTIDOS OK	12
PREPARAÇÃO DE BISÉIS.....	14
SOLDAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS – REGRAS GERAIS E RECOMENDAÇÕES	18
REVESTIMENTO COM AÇO INOXIDÁVEL – PREPARAÇÃO DE BISÉIS	19
SOLDANDO AÇOS INOXIDÁVEIS A OUTROS TIPOS DE AÇOS	23
REGRAS E PROCEDIMENTOS PARA A SOLDAGEM DE AÇOS COM REVESTIMENTO INOXIDÁVEL.....	26
TRATAMENTOS PÓS-SOLDAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS.....	28
AÇOS INOXIDÁVEIS RESISTENTES AO CALOR	30
AÇOS INOXIDÁVEIS AO CROMO	32
AÇOS INOXIDÁVEIS AO CROMO-NÍQUEL	36
ELETRODOS OK.....	45

Eletrodos inoxidáveis

Para atender às altas demandas de consumíveis para diferentes condições de soldagem, a ESAB desenvolveu tanto eletrodos básicos e rútilicos quanto eletrodos de elevado rendimento para os mais diversos tipos de aços inoxidáveis.

Tipos de revestimento – propriedades – nomenclatura

Eletrodos inoxidáveis podem ter tipos diferentes de revestimento: básico, rútilico ou um tipo misto rútilico-básico.

As diferenças entre eletrodos básicos inoxidáveis e eletrodos rútilicos inoxidáveis não são as mesmas se comparadas com eletrodos de aço carbono básico e rútilico. Veja a seguir.

Tipos de revestimento – eletrodos inoxidáveis

Diferenças para os eletrodos de aço carbono:

Eletrodos rútilicos	
aço inoxidável	alta qualidade do metal de solda; sensível à umidade.
aço carbono	baixa qualidade do metal de solda, menos sensível à umidade do que eletrodos básicos.
Eletrodos básicos	
aço inoxidável	altíssima qualidade de metal de solda; menos sensível à umidade do que os eletrodos rútilicos inoxidáveis.
aço carbono	sensível à umidade; alta qualidade do metal de solda.

Tabela I - Diferenças entre eletrodos revestidos para aços inoxidáveis e aços carbono

Eletrodos inoxidáveis *sintéticos* – baixo preço e alta taxa de deposição

Eletrodos inoxidáveis *sintéticos* possuem a alma do eletrodo de aço carbono e os elementos de liga no revestimento. Pelo fato de a condutividade da alma de aço carbono ser mais elevada do que a de aço inoxidável, os eletrodos inoxidáveis *sintéticos* podem ser soldados com corrente mais elevada, resultando em uma taxa de deposição maior.

Os eletrodos inoxidáveis *sintéticos* são os mais recomendados para soldagem nas posições plana e horizontal, onde é possível utilizar elevadas intensidades de corrente. Em função da espessura maior do revestimento desses eletrodos, tem-se uma poça de fusão maior, o que limita sua soldagem fora das posições plana e horizontal.

Rendimento de eletrodos sintéticos e de eletrodos ligados na alma

$$(1) \quad \text{Rendimento} = \frac{\text{metal de solda efetivamente depositado}}{\text{alma do eletrodo}}$$

O rendimento do eletrodo é expresso em percentual.

Rendimento do eletrodo ligado na alma < 130%

Rendimento do eletrodo sintético ≥ 130%

Rendimento do eletrodo ≠ eficiência de deposição

$$(2) \quad \text{Eficiência de deposição} = \frac{\text{metal de solda efetivamente depositado}}{\text{eletrodo (alma e revestimento)}}$$

Eletrodos sintéticos – alta taxa de deposição e outras vantagens

O eletrodo sintético OK 67.42 apresenta uma taxa de deposição de 50% a 90% mais alta do que o eletrodo ligado na alma do tipo correspondente. Como tais eletrodos depositam mais metal de solda por eletrodo do que os eletrodos ligados na alma, menos intervalos para troca de eletrodos são necessários para o mesmo volume de solda. O aporte térmico no metal base é normalmente mais baixo ao se soldar com eletrodos sintéticos do que com eletrodos ligados na alma.

As vantagens de se soldar com eletrodos sintéticos podem ser resumidas a seguir:

- ❑ maior produtividade;
- ❑ tempo de passe por eletrodo mais longo;
- ❑ menor distorção ou menores tensões de contração;
- ❑ menos perda de resistência à corrosão na zona termicamente afetada em aço inoxidável de baixo e médio teor de carbono.

Eletrodos especialmente desenvolvidos para soldagem na progressão descendente

O eletrodo revestido OK 63.34 foi especialmente desenvolvido para soldagem na progressão descendente. A soldagem na progressão descendente é feita com maior corrente e a uma velocidade de soldagem maior do que na progressão ascendente. Isto resulta numa alta taxa de deposição (= alta produtividade) com um mínimo de aporte térmico no metal de base. Por isso, é um ótimo método para a soldagem dos aços inoxidáveis.

Ferrita em metal de solda inoxidável austenítico: vantagem ou desvantagem

A maioria dos aços inoxidáveis conformados é monofásica, constituída por ferrita, austenita ou martensita. Por outro lado, a maioria dos metais de solda não é monofásica. Somente eletrodos para aços inoxidáveis totalmente austeníticos como, por exemplo, OK 69.33, depositam um metal de solda totalmente austenítico. Eletrodos para aços inoxidáveis 19Cr9Ni (AISI 304) e 18Cr12Ni2,5Mo (AISI 316) podem depositar um metal de solda contendo até cerca de 12% de ferrita, apesar de esse teor normalmente variar entre 2% e 8%.

A ferrita num metal de solda austenítico:

- ❑ aumenta a tensão limite de escoamento;
- ❑ aumenta a resistência à tração em menor proporção do que o limite de escoamento;
- ❑ aumenta a resistência à fadiga;
- ❑ aumenta a segurança contra trincas de solidificação, principalmente no tipo E347;
- ❑ reduz a sensibilidade à corrosão sob tensão;
- ❑ aumenta o risco de corrosão localizada, principalmente em meio corrosivo fortemente oxidante, tal como ácido nítrico a quente.

A maioria dos eletrodos inoxidáveis austeníticos resulta num teor de ferrita de 3-8%. Veja exemplos de teores de ferrita no metal de solda depositado de alguns eletrodos OK:

OK 61.30	19Cr10Ni	3-8% Fe- δ boa resistência contra a fissuração a quente
OK 63.30	19Cr12Ni2,7Mo	
OK 64.30	19Cr13Ni4Mo	
OK 69.33	20Cr25Ni4,5Mo	sem ferrita
OK 67.45	19Cr9Ni7Mn	
OK 67.73	23Cr12Ni0,3Mo	alto teor de ferrita (12-18% Fe- δ) ótima resistência contra trincas de solidificação
OK 67.74	23Cr12Ni2,6Mo	
OK 67.75	23Cr12Ni0,2Mo	

Tabela II - Teor de ferrita (% Fe- δ) do metal de solda depositado de eletrodos inoxidáveis OK

Cálculo de ferrita – o diagrama de De Long

Os teores de ferrita e de martensita em aços inoxidáveis e depósitos de solda dependem de suas respectivas composições químicas. O cálculo dos teores de ferrita e de martensita é feito num diagrama de constituição chamado Schaeffler-De Long. Ele foi originalmente construído por Schaeffler para o cálculo de ferrita em aços inoxidáveis laminados e forjados. Foi revisado por De Long para adequá-lo ao cálculo do teor de ferrita em depósitos de solda, mas é usado também para o cálculo do teor de ferrita em aços inoxidáveis laminados e forjados. Posteriormente começou também a ser aplicado aos aços inoxidáveis tratados termicamente. De Long modificou o diagrama incluindo o nitrogênio no conceito do níquel equivalente.

Esse diagrama não é adequado para soldas tratadas termicamente nem para a zona termicamente afetada do metal de base.

No diagrama de De Long (veja a Figura 1) o níquel equivalente no eixo vertical do diagrama consiste de elementos formadores de austenita. O carbono e o nitrogênio recebem um multiplicador de 30, o que significa que eles atuam 30 vezes mais fortemente do que o níquel como formador de austenita, enquanto que o manganês tem um multiplicador de 0,5. O cromo equivalente no eixo horizontal do diagrama consiste de elementos formadores de ferrita.

Definições:

A porcentagem de ferrita representa a massa percentual dos microconstituintes ferro-magnéticos no metal de solda inoxidável austenítico.

O número de ferrita (FN) é um valor padronizado para o teor de ferrita de um metal de solda inoxidável austenítico em conformidade com a especificação AWS A4.2.

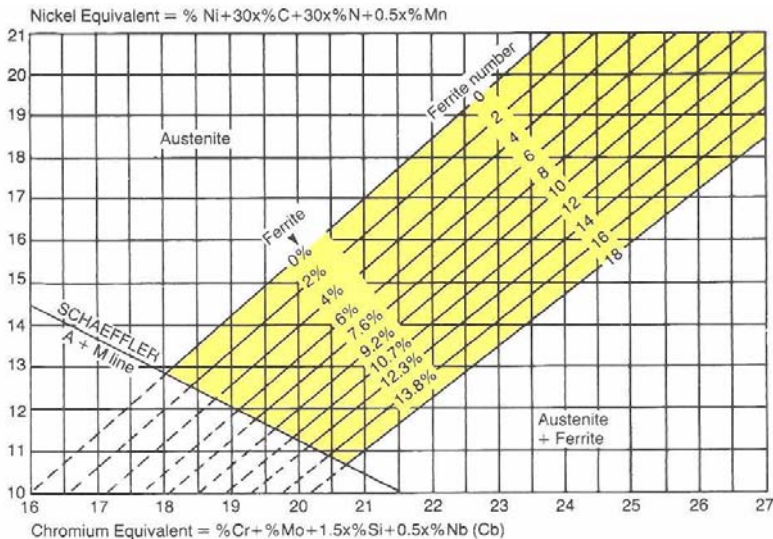


Figura 1 - Diagrama de De Long - diagrama de constituição modificado para metais de solda de aço inoxidável

Efeitos das condições de soldagem no teor de ferrita

O modo como se deposita o metal de solda de aço inoxidável austenítico pode alterar o teor de ferrita, que é modificado por variações nas taxas de resfriamento do metal de solda, no comprimento do arco e no grau de diluição com o metal de base. Variações do nitrogênio e do cromo podem influenciar significativamente o teor de ferrita. Soldar com um arco longo faz aumentar a captura de nitrogênio do ar, faz reduzir o teor de cromo e por sua vez também o teor de ferrita. A influência do comprimento do arco ao se soldar com um eletrodo rutílico AWS E316L de 2,5 mm de diâmetro é ilustrada na Figura 2. O nitrogênio é um formador de austenita eficaz, apresentando-se com um multiplicador 30 no diagrama de De Long.

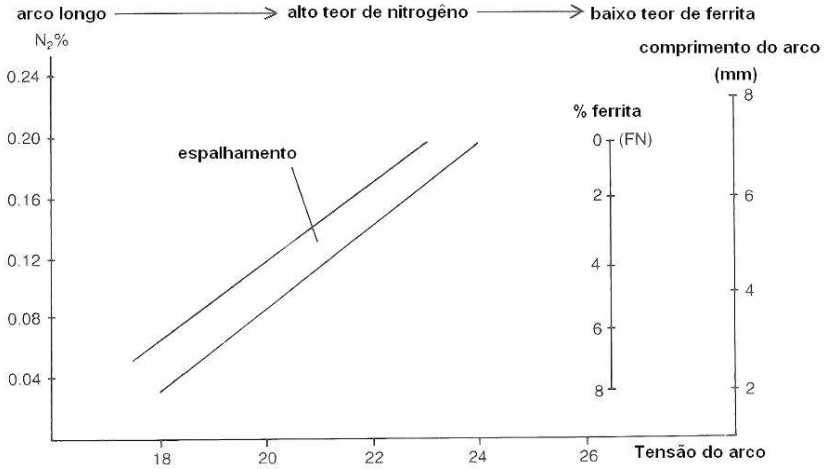


Figura 2 - Influência da tensão de soldagem e do comprimento do arco nos teores de nitrogênio e de ferrita do metal depositado de um eletrodo inoxidável rutílico 18Cr12Ni2,5Mo AWS E316L Ø2,5 mm

Influência do teor de carbono na resistência à corrosão

Um baixo teor de carbono é importante para uma boa resistência à corrosão de um depósito de solda inoxidável. A maioria das especificações para os aços inoxidáveis de melhor qualidade estabelece um teor de carbono máximo de 0,030%. A maioria dos eletrodos OK de classificação E308L, E316L e E317L possui normalmente um teor de carbono um pouco mais baixo que esse limite, ficando normalmente mais do que 0,01% abaixo do máximo de 0,04% de carbono especificado para esses eletrodos. A influência do teor de carbono na resistência à corrosão de um metal de solda de classificação E308L (18Cr10Ni) aparece na Figura 3.

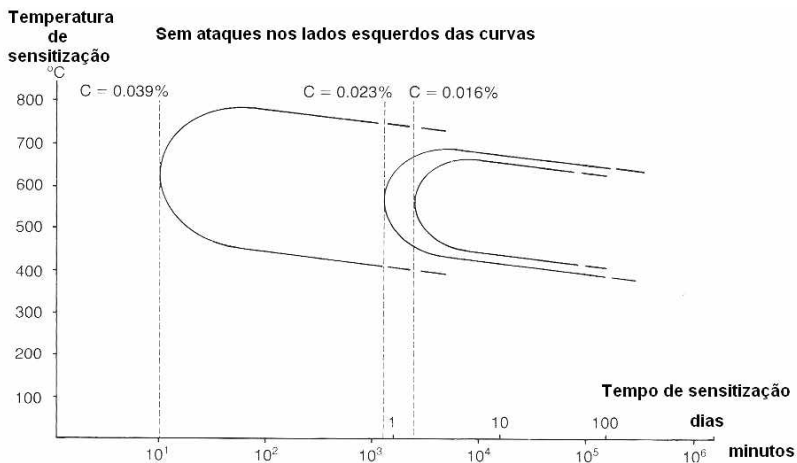


Figura 3 - Influência do teor de carbono na resistência à corrosão de um metal de solda E308L (18Cr10Ni)

Critério: ataques corrosivos a profundidades inferiores a 0,02 mm após sensibilização por recozimento seguida de imersão em solução de Strauss (10% CuSO_4 em 10% H_2SO_4) em ebulição.

Nota: uma redução do teor de carbono de 0,039% para 0,023% tem influência considerável na resistência à corrosão, enquanto a influência da redução de 0,023% para 0,016% é menos acentuada.

Armazenagem de eletrodos inoxidáveis em embalagens abertas

Todos os tipos de eletrodos inoxidáveis têm que ser cuidadosamente protegidos contra a umidade, principalmente após a abertura do pacote.

Em climas úmidos os eletrodos devem ser preferencialmente retirados dos pacotes de plástico e armazenados em uma estufa elétrica na faixa de temperatura 125-150°C.

As embalagens abertas contendo eletrodos secos podem ser estocadas em estufas elétricas na faixa de temperatura 70-80°C.

Observe que as embalagens de plástico não devem ser aquecidas a uma temperatura acima de 100°C, visto que o plástico derrete a uma temperatura de aproximadamente 120°C.

Nota:

Eletrodos que absorveram umidade nunca devem ser colocados em uma estufa de manutenção, já que eletrodos úmidos podem liberar umidade para outros eletrodos já secos na estufa.

Ressecagem de eletrodos inoxidáveis OK

A Tabela III mostra a faixa de temperatura efetiva e o período de tempo real recomendado para a ressecagem de eletrodos revestidos inoxidáveis OK.

Tipo de eletrodo	Temperatura efetiva no pacote de eletrodos (°C)	Tempo real à temperatura efetiva (h)
Inoxidáveis rútilicos	275 ± 25	1,5 ± 0,5
Inoxidáveis básicos	225 ± 25	1,5 ± 0,5

Tabela III - Recomendações de ressecagem de eletrodos inoxidáveis OK

Manutenção de eletrodos inoxidáveis OK

A Tabela IV apresenta a faixa de temperatura efetiva na estufa de manutenção e na estufa portátil (cochicho) recomendadas para os eletrodos revestidos inoxidáveis OK.

Temperatura efetiva na estufa de manutenção (°C)	Temperatura efetiva no cochicho (°C)
110 ± 10	100 ± 20

Tabela IV - Recomendações de manutenção de eletrodos inoxidáveis OK

Soldagem de aços inoxidáveis com eletrodos revestidos OK

Requisitos para a fonte de energia

Os aços inoxidáveis são normalmente soldados com tensões mais baixas do que os aços carbono de mesma espessura. A soldagem de aços inoxidáveis é feita na maioria das vezes dentro da faixa de corrente 50-100 A. A corrente mais elevada empregada em eletrodos de diâmetro 5 mm é de cerca de 200 A e, em eletrodos sintéticos, de 300 A até 330 A. Ao soldar passes de raiz em chanfros para soldagem unilateral e em peças de aço inoxidável de espessuras variando entre 1 mm e 3 mm é necessária uma fonte de soldagem com ajuste preciso entre 30 A e 125 A para que o soldador possa ter um bom desempenho na produção de soldas sem defeito.

Corrente alternada (CA) ou corrente contínua (CC)

A maioria das soldas em aços inoxidáveis é executada com corrente contínua (CC), provavelmente devido à possibilidade de um melhor ajuste de fontes de energia em CC. Além do mais, os eletrodos inoxidáveis de formulação antiga apresentavam melhor desempenho e geravam menos respingos com CC do que com CA. Atualmente, a maioria dos eletrodos de aço inoxidável rutílico permite o uso de CA. Alguns eletrodos mostram um desempenho um pouco melhor em CA como, por exemplo, o eletrodo sintético OK 67.42. De um modo geral, os eletrodos inoxidáveis relacionados como soldáveis a uma tensão em vazio na faixa 50-60 V possuem desempenho muito bom em CA.

Faixas de corrente recomendadas para eletrodos inoxidáveis OK

A Tabela V exibe a faixa de corrente de trabalho recomendada para os diversos tipos de eletrodos inoxidáveis OK.

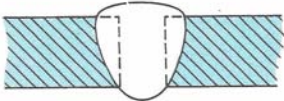
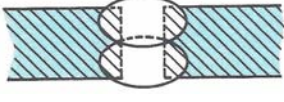
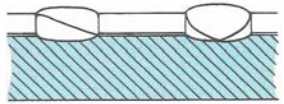
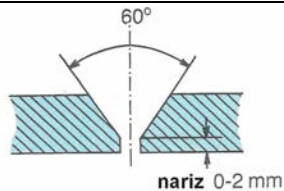
Eletrodo	Diâmetro (mm)	Corrente (A)
alma ligada	1,6	35 – 50
	2,0	45 – 65
	2,5	60 – 90
	3,2	80 – 125
	4,0	100 – 175
	5,0	150 – 240
sintético	3,2	100 – 185
	4,0	150 – 220
	5,0	180 – 320

Tabela V - Recomendações de parâmetros de soldagem para os eletrodos inoxidáveis OK

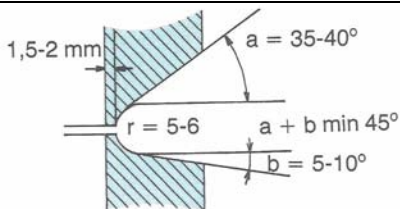
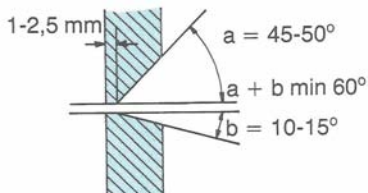
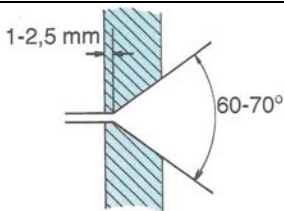
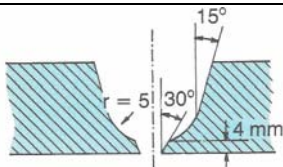
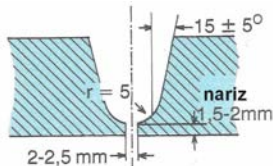
Preparação de biséis

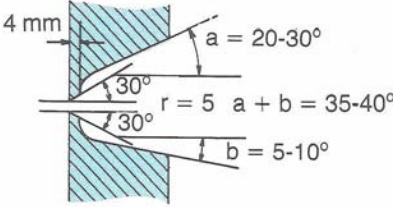
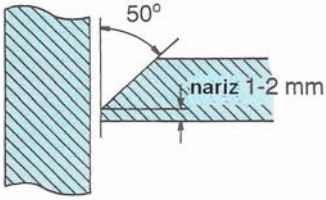
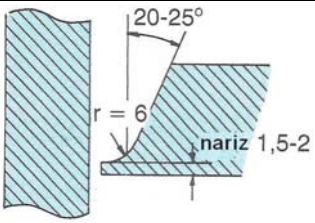
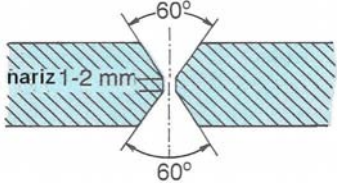
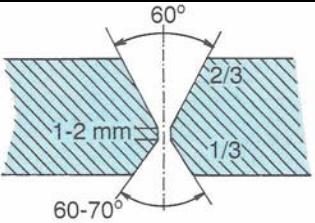
Os aços inoxidáveis são geralmente soldados com a mesma preparação de biséis normalmente realizada para os aços de baixo carbono. O ângulo normal do bisel é de 30° e o ângulo do chanfro é de 60° . A diferença na preparação está em que chanfros em duplo V são empregados já a partir de peças com espessura 12 mm para minimizar o volume de solda e o rechupe, enquanto que, em aços de baixo carbono, chanfros em duplo V não são normalmente empregados em espessuras menores que 15-20 mm.

Veja as figuras seguintes com as recomendações de preparação de chanfros para a soldagem de aços inoxidáveis com eletrodos OK.

Chanfros recomendados	Esp. (mm)	Ab. raiz (mm)	Soldagem
chanfro reto 	1-3	0-2	unilateral
chanfro reto 	2-3	0-2	ambos os lados
chanfro para revestimento interno 	1-3	6-10	dois ou três passes
chanfro em V 	3-12	1-3	um ou ambos os lados

Chanfros recomendados	Esp. (mm)	Ab. raiz (mm)	Soldagem
chanfro em U	12-20	2-2,5	um ou ambos os lados
chanfro em U nariz biselado	> 12	0-2,5	um ou ambos os lados
chanfro em V	3-15	2-2,5	um ou ambos os lados
chanfro em V assimétrico	8-25	2-2,5	um ou ambos os lados
chanfro em U assimétrico	> 12	2-2,5	um ou ambos os lados



Chanfros recomendados	Esp. (mm)	Ab. raiz (mm)	Soldagem
chanfro em U assimétrico nariz biseado 	> 12	1-2	um ou ambos os lados
chanfro em meio V 	4-12	1-2	um ou ambos os lados
chanfro em J 	> 12	2-2,5	um ou ambos os lados
chanfro em X ou duplo V simétrico 	12-30	2-3	ambos os lados
chanfro em duplo V assimétrico 	15-25	2-3	ambos os lados

Chanfros recomendados	Esp. (mm)	Ab. raiz (mm)	Soldagem
<p>chanfro em duplo U</p>	> 30	2-3	ambos os lados
<p>chanfro em K assimétrico</p>	13-30	2-2,5	ambos os lados
<p>chanfro em duplo J</p>	> 30	2-3	ambos os lados

Tabela VI - Exemplos de chanfros recomendados

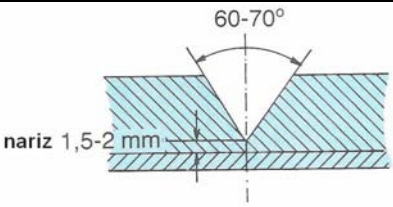
Soldagem de aços inoxidáveis – regras gerais e recomendações

A soldagem de passes de raiz e de enchimento em juntas de topo com chanfro em aços inoxidáveis é realizada da mesma forma que a soldagem de aços de baixo carbono, porém com algumas exceções significativas:

- ❑ o aporte térmico deve ser o mais baixo possível, principalmente ao soldar aços inoxidáveis que não apresentem teores de carbono extra-baixos;
- ❑ um baixo aporte térmico minimiza o risco de baixa resistência à corrosão na zona termicamente afetada e também a distorção causada pelas tensões de contração. Um aporte térmico excessivo causará uma distorção maior no aço inoxidável do que no aço de baixo carbono;
- ❑ soldar aços inoxidáveis de grande espessura com eletrodos sintéticos é benéfico para a resistência à corrosão porque tais eletrodos fornecem um aporte térmico menor ao metal de base do que eletrodos com alma ligada. Além do mais, pelo fato de menos passes serem necessários para preencher chanfros com os eletrodos sintéticos, as distorções de contração são menores do que ao soldar com eletrodos de alma ligada;
- ❑ grandes poças de fusão devem que ser evitadas, já que elas facilmente levam à formação de trincas de solidificação no metal de solda;
- ❑ o esmerilhamento durante a contra-solda deve ser realizado com muito cuidado porque um pequeno superaquecimento da superfície pode facilmente causar trincas de esmerilhamento;
- ❑ as superfícies goivadas devem ser esmerilhadas para livrar o metal da borra resultante da goivagem, que pode causar baixa qualidade da solda.

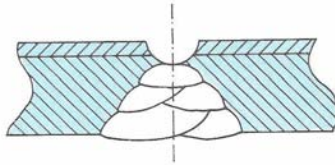
Revestimento com aço inoxidável – preparação de biséis

Como o revestimento com aço inoxidável consiste na soldagem de aços dissimilares, e cada um desses materiais deve ser soldado com um eletrodo similar, são normalmente necessários chanfros com geometria especial. O aço empregado como substrato é normalmente soldado primeiro, e o projeto da junta deve garantir que nenhum passe de solda de aço carbono penetre no revestimento. A soldagem do substrato pode ser executada de forma unilateral ou por ambos os lados, dependendo das condições. Juntas do substrato com acesso por ambos os lados devem preferencialmente ser em duplo *U* assimétrico ou duplo *V* assimétrico com a parte menor do chanfro localizada no lado revestido para limitar a largura da solda inoxidável. Veja a seguir uma tabela com algumas figuras contendo exemplos de chanfros comumente usados e também algumas seqüências de soldagem.

Chanfros recomendados	Esp. (mm)	Ab. raiz (mm)	Soldagem
<p>chanfro em V</p> 	10-16	0-2	veja a nota abaixo
<p>O nariz deve ser espesso o suficiente para evitar a fusão do revestimento inoxidável com os eletrodos de aço carbono ou de aço baixa liga. Devem ser empregados eletrodos de baixo hidrogênio (H_2O total $\leq 0,30\%$) no lado menos ligado.</p>			

Chanfros recomendados

Esp. (mm)	Ab. raiz (mm)	Soldagem
-----------	---------------	----------

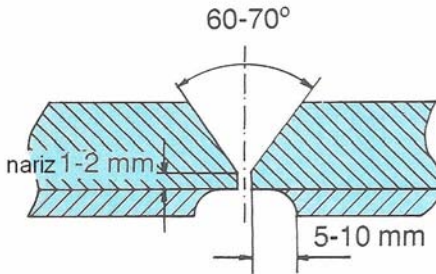


veja as notas abaixo

lado revestido preparado para a soldagem; esmerilhar na contra-solda o suficiente para abrir espaço para duas camadas de aço inoxidável.

o passe de selagem deve ser aplicado com um eletrodo 23/12 ou 23/12/2 (OK 67.75 ou OK 67.74); o revestimento deve ser soldado com um eletrodo de aço inoxidável similar.

chanfro em V com o outro lado usinado

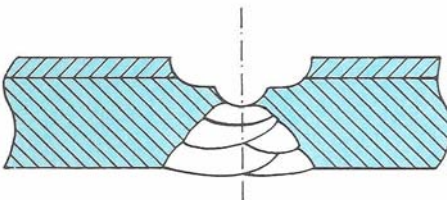


10-16

0-2

veja as notas acima

chanfro em U



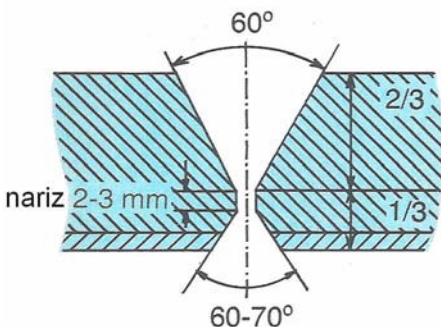
veja as notas acima e a nota abaixo

lado revestido preparado para soldagem por goivagem, esmerilhamento ou fresamento.

Chanfros recomendados

Esp. (mm)	Ab. raiz (mm)	Soldagem
-----------	---------------	----------

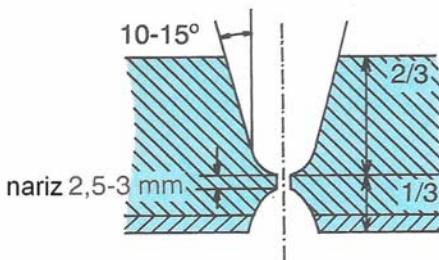
Chanfro assimétrico em duplo V



20-40	2-3	veja a nota abaixo
-------	-----	--------------------

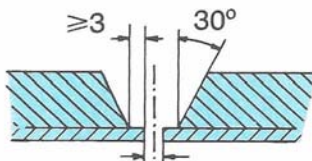
recomendado o primeiro passe de cada lado com eletrodo revestido; pode ser empregado o arco submerso para a maior parte da contra-solda; o lado do revestimento pode ser acabado em primeiro lugar se o revestimento for de um aço do tipo ELC 304L ou 316L.

chanfro assimétrico em duplo U



≥ 35	0-3	veja a nota acima
-----------	-----	-------------------

chanfro em V



10-16		veja as notas abaixo
-------	--	----------------------

juntas confeccionadas completamente do lado do aço carbono.

o aço do revestimento é soldado com um eletrodo similar; o metal de base deve ser soldado preferencialmente com os eletrodos OK 67.73, OK 67.74 ou OK 67.75; é recomendado soldar com cordões filetados para minimizar a diluição do metal de base.

Chanfros recomendados	Esp. (mm)	Ab. raiz (mm)	Solda- gem
chanfro em V em ân- gulo duplo	> 15		veja as notas a- cima

Tabela VII - Exemplos de preparação de biséis em aços revestidos

Soldando aços inoxidáveis a outros tipos de aços

Todos os aços inoxidáveis podem ser soldados a outros tipos de aços de boa soldabilidade empregando-se eletrodos inoxidáveis de alta liga como o OK 67.15 e OK 67.16 (25Cr20Ni), OK 67.61, OK 67.73 e OK 67.75 (23Cr12Ni), OK 67.74 (23Cr12Ni2Mo), OK 68.81 e OK 68.84 (29Cr9Ni), e eletrodos similares de maiores teores de elementos de liga do que os tipos E304 18Cr8Ni ou 19Cr9Ni.

Dois procedimentos diferentes são empregados:

- ❑ a técnica de almofadamento ou amanteigamento (*buttering*);
- ❑ a soldagem completa com eletrodos de alta liga.

A técnica de almofadamento é um método que emprega os eletrodos de menor custo, porém atualmente a maioria das juntas dissimilares entre aços inoxidáveis e outros aços é soldada com eletrodos inoxidáveis de alta liga. Cordões de solda filetados são recomendados para minimizar a diluição do metal de base no metal de solda, principalmente onde o depósito é feito na transição com o aço de menor teor de liga.

Soldas entre um aço inoxidável e um aço ao cromo-molibdênio resistente à fluência para trabalho acima de 200°C devem ser preferencialmente realizadas com um eletrodo à base de níquel como, por exemplo, o OK 92.26 para evitar a migração de carbono do aço resistente à fluência para o material austenítico, porque esse processo no aço Cr-Mo diminui sua resistência à fluência. O uso de eletrodo à base de níquel também minimiza os problemas da dilatação térmica de materiais dissimilares.

Procedimentos de soldagem de aços inoxidáveis com aços de baixa liga revestidos com aço inoxidável

A técnica do almofadamento

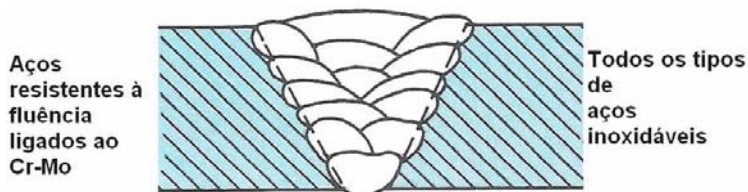


Soldagem de aços inoxidáveis com aços de baixa liga revestidos com aço inoxidável



soldar com cordões filetados, e preferencialmente com eletrodos inoxidáveis de alta liga; como segunda opção, utilizar eletrodos inoxidáveis austeníticos.

1. OK 67.73, OK 67.74, OK 67.75
2. OK 67.15, OK 67.16, OK 67.45, OK 68.84
3. OK 63.30

Soldagem de aços inoxidáveis com aços resistentes à fluência

soldar com cordões filetados com eletrodos inoxidáveis de alta liga, preferencialmente à base de níquel; como segunda opção, utilizar eletrodos de aço inoxidável.

1. OK 92.26
2. OK 67.73, OK 67.74, OK 67.75
3. OK 63.30

Nota. Nunca use eletrodos de baixa liga ou de aço de baixo carbono para as três juntas acima. A soldagem pode ser feita à temperatura ambiente. Nenhum pré-aquecimento é necessário ao soldar o aço resistente à fluência com os eletrodos listados acima.

Tabela VIII - Procedimentos de soldagem de aço inoxidável com aços de baixa liga revestidos com aço inoxidável

Regras e procedimentos para a soldagem de aços com revestimento inoxidável

- ❑ O aço do substrato deve ser soldado de preferência com eletrodos de baixo hidrogênio bem secos com um teor total de água no revestimento sem exceder 0,30%. Isto é muito importante para os passes próximos ao revestimento. Se o teor de água for maior, talvez seja necessário um pré-aquecimento e um aumento na temperatura entre passes em cerca de 100°C para evitar trincas induzidas pelo hidrogênio na zona mais diluída do primeiro passe com o eletrodo inoxidável.
- ❑ O revestimento de aço inoxidável não pode ser fundido com eletrodos de aço de baixa liga ou de baixo carbono.
- ❑ Se a preparação do chanfro do lado revestido for realizada por goivagem com eletrodo de carvão, as superfícies do chanfro devem ser esmerilhadas para remover a borra, que pode prejudicar a qualidade da solda.
- ❑ O passe de transição no lado revestido deve ser soldado de preferência com um eletrodo 23Cr12Ni ou 23Cr12Ni2Mo como o OK 67.75 ou OK 67.74.
- ❑ O revestimento deve ser soldado com eletrodos similares ao metal de base. Use eletrodos de diâmetro 2,5 mm ou 3,2 mm e aplique a técnica de cordões filetados, dirigindo o arco elétrico para o cordão anteriormente depositado e, onde for possível, minimize a diluição da solda mantendo o arco na poça de fusão à medida que se avança com a solda.

Atenção às observações, localizadas no item *Revestimento com aço inoxidável – preparação de biséis* na página 19, sobre a preparação recomendada para os biséis.

Procedimentos de soldagem de aços com revestimento inoxidável a aços inoxidáveis austeníticos

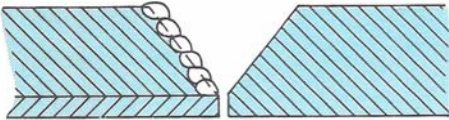

		Esp. (mm)	Ab. raiz (mm)	Solda- gem
chanfro em V		até 10	0-3	veja as notas a- baixo
<p>o almofadamento clássico entre uma chapa revestida e uma chapa de aço inoxidável. o bisel da chapa revestida é almofadado com os eletrodos OK 67.73, OK 67.74, OK 67.75, OK 67.15 ou OK 67.16.</p>				
todos os tipos de chanfro		todas	0-3	veja as notas a- baixo
<p>a junta de topo mais empregada entre uma chapa revestida e uma chapa de aço inoxidável para todos os tipos de chanfro. a junta é soldada com cordões filetados, empregando os eletrodos OK 67.73, OK 67.74 ou OK 67.75.</p>				

Tabela IX - Procedimentos de soldagem de aços com revestimento inoxidável a aços inoxidáveis austeníticos

Tratamentos pós-soldagem de aços inoxidáveis

A superfície da chapa adjacente à solda normalmente se oxida em uma largura de aproximadamente 5 mm. Por sua vez, o óxido reduz a resistência à corrosão do material. Este fato não traz grandes prejuízos para seu uso em ambientes agressivos, onde a corrosão pára após uma fina camada superficial ser atacada.

O pós-tratamento é necessário quando a resistência à corrosão nas áreas adjacentes à junta tem que ser a máxima possível. Este tratamento pode ser de limpeza mecânica ou química ou uma combinação de ambas. Veja a seguir um resumo dos procedimentos mais simples de pós-tratamento de soldas inoxidáveis.

Limpeza mecânica

A limpeza mecânica pode ser realizada através de:

- escovas de cerdas de aço inoxidável
- esmerilhamento
- jato de granalha

A limpeza com escovas de cerdas de aço inoxidável remove escórias, coloração térmica e película de óxido, mas não o material pobre em cromo sob a película de óxido.

As escovas devem ser feitas de cerdas de aço inoxidável e não podem ser usadas em materiais que não sejam aço inoxidável para evitar contaminações. Mesmo com essas precauções, a resistência à corrosão não será tão boa quanto num material decapado por ácido.

Esmerilhamento

Remove facilmente o óxido e a fina camada pobre em cromo. Um esmerilhamento mais pesado produz sulcos longitudinais, resultando numa menor resistência à corrosão. Um esmerilhamento mais suave aumenta a resistência à corrosão. Para maximizar a resistência à corrosão, a superfície esmerilhada de forma suave deve ser polida ou lavada com ácido nítrico a 15-20%.

Limpeza com jato de granalha

É um método de limpeza eficaz e deve ser feito com granalha de aço inoxidável com resistência à corrosão igual à do metal a ser limpo. O jateamento com granalha pode encruar a superfície o suficiente para reduzir a ductilidade e deve ser realizado com cuidado.

Limpeza química

Quando é necessário maximizar a resistência à corrosão, a área escovada deve ser lavada com ácido nítrico a 15-20% seguida de lavagem com água. A lavagem por ácido nítrico remove a contaminação, apassiva a superfície e aumenta a resistência à corrosão.

Limpeza mecânica ou pré-limpeza

Possibilita o uso de soluções de decapagem mais suaves, minimizando os riscos de segurança e problemas de poluição ambiental. A limpeza mecânica é, portanto, freqüentemente usada como uma preparação para a decapagem ácida e pode reduzir o custo total de limpeza, diminuindo o tempo de decapagem e possibilitando medidas de segurança menos rigorosas.

Aços inoxidáveis resistentes ao calor

Características dos aços inoxidáveis

Para tornar o ferro inoxidável, ele é ligado ao cromo, com um teor mínimo de 12%. A maioria dos aços inoxidáveis contém de 16% a 20% de cromo. Uns poucos graus especiais contêm até cerca de 35% de cromo, porém teores de cromo acima de 30% são incomuns.

Quanto maior o teor de cromo, maior a resistência à corrosão. O cromo também aumenta a resistência ao calor, principalmente a resistência à formação de carepa. Um alto teor de cromo resulta numa alta temperatura de formação de carepa.

O aço inoxidável mais usado contém 17-20% de cromo e 9-14% de níquel. O níquel aumenta a conformabilidade, a soldabilidade e a resistência à corrosão. Quando o teor de níquel alcança ou ultrapassa a metade do teor de cromo, o aço torna-se austenítico e não-magnético.

Designação

A designação dos teores de cromo, de níquel e de molibdênio é geralmente feita com um ponto ou uma barra entre os dígitos percentuais. Exemplo: 19/12/3 significa que um aço ou material de cordão contém 19% de cromo, 12% de níquel e 3% de molibdênio.

Agrupamento dos aços inoxidáveis

Os aços inoxidáveis podem ser agrupados com relação à:

- ❑ composição;

□ microestrutura

Nesse informativo os aços estão agrupados e especificados após a composição química, com referência à microestrutura de cada tipo de liga (de aço). Para cada tipo de aço, informações sobre sua soldabilidade e recomendações de soldagem são fornecidas. Para os tipos mais comuns, informações rápidas também são fornecidas sobre a influência dos elementos na resistência à corrosão e nas propriedades mecânicas.

Aços inoxidáveis ao cromo

Os aços inoxidáveis ao cromo são ferro-magnéticos.

Sua microestrutura pode ser:

- martensítica
- ferrítica ou
- ferrítico-martensítica

Aços inoxidáveis martensíticos ao cromo

Esses aços contêm de 12 a 20% de cromo e 0,15% de carbono. Eles são fortemente temperáveis.

Exemplos:

- Cr = 12 - 14% C = 0,18 - 0,25%
- Cr = 17% Ni = 2% C = 0,17 - 0,25%

Aços inoxidáveis ao cromo com teor de carbono maior do que 0,25% não devem ser soldados.

Aços inoxidáveis ferríticos ao cromo

Esses aços não são temperáveis. Eles contêm normalmente:

- 13-14% de cromo e $\leq 0,08\%$ de carbono ou
- 16-18% de cromo e $\leq 0,10\%$ de carbono ou
- 24-28% de cromo e $\leq 0,25\%$ de carbono

Aços com 17-18% de cromo, 2-2,5% de molibdênio, 0,2-0,8% de titânio e 0,025% de carbono e um teor muito baixo de elementos intersticiais como o carbono e o nitrogênio (ELI = *extra-low interstitials*) podem ser mais bem agrupados no item seguinte.

Aços inoxidáveis ferríticos não são sensíveis à corrosão sob tensão.

Aços inoxidáveis ferrítico-martensíticos ao cromo

Esses aços contêm 12-14% de cromo e de 0,09-0,15% de carbono. Em algumas especificações esses aços são classificados como martensíticos.

Soldabilidade

Os aços inoxidáveis ao cromo possuem soldabilidade limitada e requerem maior atenção e cuidado com seu comportamento quando se busca uma junta de qualidade satisfatória.

A temperabilidade dos aços com cromo na faixa 12-14% aumenta rapidamente na mesma razão que o teor de carbono. Um aumento no carbono de 0,01% na faixa 0,05-0,15% aumenta a dureza do aço em até 10-12 HB.

Soldagem de aços inoxidáveis martensíticos ao cromo

Para se soldar com sucesso aços inoxidáveis martensíticos com eletrodos cujo metal depositado seja correspondente ao metal de base (OK 68.15), é necessário um pré-aquecimento de 250°C a 350°C, que deve ser mantido durante a soldagem. A região de soldagem deve sofrer alívio de tensões entre 650-850°C imediatamente após a soldagem. **Atenção!** Se a junta soldada for resfriada abaixo de 150°C antes de ser colocada no forno, há grande risco de se formarem trincas na solda.

Por isso os aços inoxidáveis martensíticos são geralmente soldados com eletrodos austeníticos 19Cr12Ni3Mo, do tipo AWS E316, como o OK 63.30.

Ao escolher um eletrodo desse tipo, elimina-se a necessidade de alívio de tensões imediatamente após a soldagem. Em alguns casos, a necessidade de alívio de tensões é completamente eliminada quando

são empregados eletrodos do tipo 19Cr12Ni3Mo.

Soldagem de aços inoxidáveis ferrítico-martensíticos ao cromo

Esses aços devem ser preferencialmente soldados com os mesmos tipos de eletrodos e com as mesmas temperaturas de pré-aquecimento e pós-aquecimento utilizadas nos aços inoxidáveis martensíticos.

Soldagem de aços inoxidáveis ferríticos ao cromo

Os aços inoxidáveis ferríticos tornam-se frágeis na região superaquecida da zona termicamente afetada adjacente à solda. Por esta razão os aços inoxidáveis ferríticos são normalmente soldados com eletrodos austeníticos, tipo 19Cr9Ni (E308) ou 19Cr12Ni3Mo (E316), OK 61.30 e OK 63.30, respectivamente. Um pré-aquecimento de 150-200°C pode ser necessário para minimizar a ocorrência de fissurações, principalmente ao soldar com eletrodos inoxidáveis ferríticos.

Uma exceção ocorre quando a solda se expõe ao gás sulfídrico (H₂S) a uma temperatura alta. Em tais casos o metal de solda não deve conter níquel. Entretanto, o eletrodo OK 68.60, que deposita um metal de solda contendo cerca de 26% de cromo, 5% de níquel e 1% de molibdênio, é muito bom também em atmosferas sulfurosas a alta temperatura.

O aço inoxidável ferrítico ELI, padrão americano ASTM A268 (similar ao padrão sueco SS 2326), que contém 19% de cromo e 2% de molibdênio, resiste muito bem à corrosão sob tensão, enquanto o aço inoxidável austenítico possui uma resistência muito limitada. Esses aços inoxidáveis ferríticos apresentam também uma boa resistência à corrosão localizada em soluções salinas e são, pelo menos, tão bons

quanto os aços inoxidáveis austeníticos mais usados nos ácidos comuns. ELI significa *Extra Low Interstitials*, o que na verdade significa que os teores de carbono e de nitrogênio são extremamente baixos. Os aços ELI ferríticos são preferencialmente soldados com eletrodos 23Cr12Ni2Mo de baixíssimo carbono (E309MoL), OK 67.74 ou equivalente.

Aços inoxidáveis ao cromo-níquel

A maioria dos aços inoxidáveis ao cromo-níquel é austenítica, mas também austeno-ferríticos (duplex) como 25Cr5Ni e 25Cr5Ni1,5Mo e austeno-martensíticos contendo 13-16% de cromo e 5-6% de níquel. Os aços inoxidáveis austeníticos podem ser totalmente austeníticos ou conter uma pequena porcentagem de ferrita.

O níquel aumenta a ductilidade e, no caso dos tipos de ligas mais altas, também a resistência à corrosão. Os aços inoxidáveis austeníticos que contêm 25% de níquel possuem uma boa resistência à corrosão sob tensão. Os aços inoxidáveis austeníticos não são magnéticos nem temperáveis termicamente. Desta forma, as zonas termicamente afetadas desses aços não endurecem.

A resistência à corrosão dos aços inoxidáveis austeníticos não depende só dos teores de cromo e níquel, mas também fortemente do teor de carbono. A máxima resistência à corrosão é alcançada quando o teor de carbono não ultrapassa cerca de 0,02%. Na maioria dos padrões de aço inoxidável ELC (*extra-low carbon*) — aços de baixíssimo carbono — o teor de carbono fica limitado ao máximo de 0,030%. Se o teor de carbono não for baixo o suficiente, precipitam-se carbonetos contendo 60-70% de cromo na zona termicamente afetada de uma solda, onde o material foi aquecido a temperaturas na faixa 450-900°C. A temperatura mais crítica fica na faixa 500-800°C (até aproximadamente 5 mm da linha de fusão). Por causa desta formação de carbonetos de cromo, ocorre uma diminuição local de cromo, o que reduz enormemente a resistência à corrosão das áreas sujeitas ao ambiente corrosivo. O limite de 0,05% de carbono evita, sob quase todas as condições de soldagem, que a zona termicamente afetada fique *sensitizada*, principalmente em seções de menor espessura. Para soldas que devem sofrer alívio de tensões, é necessário empregar aços de baixíssimo carbono (grau ELC, $C \leq 0.030\%$).

Estabilização do carbono

A precipitação de carbonetos de cromo na zona termicamente afetada pode ser evitada combinando-se preferencialmente o carbono com o nióbio (AISI 347) ou com o titânio (AISI 321). Os aços inoxidáveis estabilizados ao nióbio e ao titânio são, contudo, ligeiramente inferiores aos aços inoxidáveis grau ELC com relação à garantia contra fissuração durante a soldagem e após exposição a certos meios corrosivos.

Influência do nitrogênio

Aços inoxidáveis austeníticos ao nitrogênio apresentam cerca de 70 N/mm² a mais de escoamento e 100 N/mm² a mais de resistência à tração quando comparados às composições químicas correspondentes mais próximas sem nitrogênio. Os aços inoxidáveis ao nitrogênio têm soldabilidade similar aos aços sem adição de nitrogênio e são, como estes, soldados com eletrodos correspondentes ao material base, OK 61.30, OK 63.30, OK 64.30 ou OK 64.63.

Adições de molibdênio

Aços inoxidáveis austeníticos ao molibdênio têm uma resistência à corrosão maior a certos ácidos do que os aços inoxidáveis correspondentes mais próximos sem molibdênio. Como regra geral, quanto maior o teor de molibdênio, melhor será a resistência ao ataque dos ácidos, exceto quando da exposição aos meios corrosivos fortemente oxidantes, como o ácido nítrico a quente.

Aços inoxidáveis austeníticos (sem ferrita) ao cromo-níquel-molibdênio-cobre

Um aço inoxidável austenítico muito interessante é o aço ELC 20Cr25Ni4,5Mo1,7Cu (ASTM B-625) SS 2562, UHB 904L, Sandvik 2RK65, usado em grande escala quando os aços AISI 316L e 317L são insuficientes, principalmente em indústrias que produzem ácido acético, ácido sulfúrico, ácido tartárico e cloreto de vinil, cujo eletrodo correspondente é o OK 69.33.

Recomendações para a soldagem de aços inoxidáveis austeníticos

Os aços inoxidáveis austeníticos são fáceis de soldar com todos os métodos de soldagem comuns, contanto que as regras abaixo sejam seguidas:

- ❑ evite grandes poças de fusão, principalmente quando estiver soldando aço totalmente austenítico, visto que tais poças podem facilmente causar trincas de solidificação na solda;
- ❑ Restrinja o aporte térmico ao material base, em parte para minimizar o rechupe e a distorção, e também para minimizar a redução da resistência à corrosão por sensitização. Isto é especialmente importante quando o teor de carbono do aço for maior do que 0,03%.

Aços inoxidáveis austeno-ferríticos (*duplex*)

Os aços inoxidáveis *duplex* tornaram-se uma importante alternativa aos aços inoxidáveis austeníticos. As propriedades que mais despertam o interesse são a combinação de alta resistência mecânica, boa resistência à corrosão e um nível razoável de preço. O número de a-

plicações para aços inoxidáveis *duplex* continua crescendo. Eles estão sendo usados em aplicações *offshore*, e pelas indústrias naval e petroquímica, por exemplo.

Eles são conhecidos como aços inoxidáveis austeno-ferríticos (daí o nome *duplex*, de duas fases). Tipicamente, os aços inoxidáveis *duplex* possuem uma microestrutura consistindo de aproximadamente 50% de ferrita e 50% de austenita. Em termos simplificados, a ferrita é a fase responsável pela alta resistência mecânica, a austenita pela boa tenacidade e as duas fases combinadas dão aos aços inoxidáveis *duplex* sua atraente resistência à corrosão.

Os elementos mais importantes dos aços inoxidáveis *duplex* são o cromo, o níquel, o molibdênio e o nitrogênio. O tipo original AISI 329 (padrão sueco SS 2324) contém no máximo 0,10% de carbono, 24-27% de cromo, 4,5-6% de níquel e 1,3-1,8% de molibdênio. O aço *duplex* 25Cr5Ni1,2Mo, comparado ao aço inoxidável austenítico, tem uma resistência melhor aos ataques sulfúricos a altas temperaturas e uma boa resistência à fissuração por corrosão sob tensão (SCC = *stress corrosion cracking*).

Atualmente existe uma gama de diferentes versões de aços inoxidáveis *duplex* disponíveis no mercado. O tipo mais comum no presente é o 22Cr5Ni3Mo0,15N (W.Nr. 1.4462, UNS S31803), que é empregado em uma larga faixa de aplicações. O eletrodo OK 67.50 foi especialmente desenvolvido para a soldagem desses aços.

Foram também introduzidos no mercado aços dessa categoria com maiores teores de elementos de liga, intitulados aços inoxidáveis *super-duplex*. O aço inoxidável *super-duplex* grau 25Cr7Ni4Mo0,25N (UNS S32750) é um exemplo dessa categoria. Esses aços são desenvolvidos para aplicações onde é necessária uma ainda maior resistência à corrosão ou maior resistência mecânica.

O aço inoxidável *duplex* é magnético (o teor de níquel é apenas $\frac{1}{4}$ do teor de cromo) e não temperável. Não há assim nenhuma região endurecida adjacente à solda. Um pouco de fragilização ocorre na zona

termicamente afetada além de uma redução da resistência à corrosão. Sob condições de altas tensões ou condições químicas agressivas, recomenda-se um tratamento térmico de recozimento para solubilização a partir de 980°C após a soldagem. Por causa da alta temperatura de formação de carepa ao ar, em torno de 1070°C, ele é usado como um aço para construção resistente ao calor. Nas condições como soldado e solubilizado, sua resistência à corrosão é próxima à do AISI 316. Por causa da fragilização e da redução da resistência à corrosão na zona termicamente afetada, sua soldabilidade não pode ser avaliada como sendo tão boa quanto a dos aços inoxidáveis austeníticos.

Pontos fortes:

- ❑ alta resistência mecânica e boa tenacidade;
- ❑ boa resistência à corrosão generalizada;
- ❑ boa resistência à corrosão localizada (*pitting*);
- ❑ insensível à fissuração por corrosão sob tensão.

Pontos fracos

- ❑ não deve ser utilizado sob temperaturas de trabalho maiores que 300°C. Acima dessa temperatura, pode ocorrer a fragilização 475°C ou a fragilização por fase sigma.

Todos os processos convencionais podem ser utilizados na soldagem dos aços inoxidáveis *duplex*, desde que sejam empregados procedimentos e consumíveis adequados. No entanto, processos de soldagem de baixa energia como plasma e laser devem ser aplicados com cautela, sendo recomendado normalmente um tratamento térmico após a soldagem. O processo de soldagem TIG (GTAW) é geralmente recomendado para os passes de raiz em soldagem unilateral.

Balanco ferrita/austenita das soldas

O balanço de fases do metal de solda e da zona termicamente afetada (ZTA) é vital para se obter boas propriedades nas soldas de aços inoxidáveis *duplex*. Teores excessivamente altos de ferrita causam fragilidade, enquanto a ausência dessa fase causa perda de resistên-

cia à fissuração por corrosão sob tensão. Teores ótimos de ferrita ficam normalmente na faixa FN 30-70.

O balanço de fases depende do tratamento térmico e da composição química. O aporte térmico (*heat input*), a temperatura entressoldagem e a composição química do metal de adição, portanto, possuem um efeito decisivo na obtenção de uma ZTA e de um metal de solda íntegros. Altos aportes térmicos e temperaturas entressoldagem durante o processo de soldagem significam também baixas taxas de resfriamento e vice-versa.

- *taxas de resfriamento muito altas* resultam num teor de ferrita muito alto e numa baixa tenacidade;
- *taxas de resfriamento muito baixas* podem resultar na formação de fases frágeis durante o resfriamento.

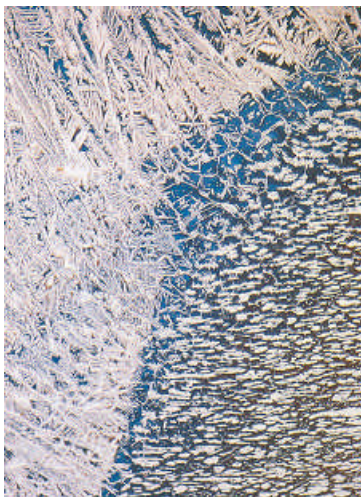


Figura 4 - Seção transversal (20X) de uma solda em aço inoxidável *duplex* ZERON 100 soldado com o eletrodo OK 68.53. O metal de solda está à esquerda e o metal de base à direita. A ferrita é azul e a austenita é branca.

Aporte térmico e temperatura entresspasses

As recomendações em geral de aporte térmico e temperatura entresspasses para a soldagem de aços *duplex* e *super-duplex* são:

- ❑ **0,5 - 2,5 kJ/mm** para aços ***duplex***,
exemplo: WNr. 1.4462, UNS S31803;
- ❑ **0,2 - 1,5 kJ/mm** para aços ***super-duplex***
exemplo: UNS S32750;
o aporte térmico não deve exceder 1 kJ/mm na soldagem de chapas finas.
- ❑ a temperatura entresspasses não deve exceder 150°C. Os aços inoxidáveis *super-duplex* são particularmente sensíveis a altos aportes térmicos e a altas temperaturas entresspasses.

Consumíveis

Normalmente, os aços inoxidáveis *duplex* devem ser soldados apenas com consumíveis que possuam um teor de níquel mais elevado que o do metal de base. Um composição química típica de um consumível desenvolvido para soldar o aço inoxidável *duplex* 22Cr5Ni3Mo0,15N (WNr. 1.4462, UNS S31803) é, portanto, o 22Cr9Ni3Mo0,17N (OK 67.50 e OK 67.53). O teor mais elevado de níquel garante a formação de uma quantidade suficiente de austenita. Tipicamente, um teor de ferrita de FN 30-70 pode ser considerado como ótimo. Entretanto, a soldagem sem material de adição ou a excessiva diluição com o metal de base pode produzir um teor excessivo de ferrita e resultar num metal de solda frágil. A soldagem sem material de adição deve, portanto, ser evitada, a menos que seja executado um tratamento térmico de recozimento para solubilização após a soldagem.

Gases de proteção e de purga

Os gases adequados para a soldagem de aços inoxidáveis *duplex* são:

- ❑ TIG Ar ou misturas Ar-He
- ❑ MIG misturas Ar-O₂ (1-3%), Ar-CO₂ (1-3%) ou Ar-He-O₂

- FCAW misturas Ar-CO₂ (25%) ou CO₂ puro

É essencial na soldagem de passes de raiz em aços inoxidáveis *duplex* um bom gás de proteção. Gases de purga adequados são o argônio (Ar) de alta pureza e misturas contendo nitrogênio (N₂) e hidrogênio (H₂).

Os gases de proteção e de purga possuem um efeito no teor de nitrogênio do metal de solda. Esses gases podem conter adições de nitrogênio que podem ser utilizados em aplicações críticas para melhorar a resistência à corrosão.

Aços austeno-martensíticos e austeno-ferrítico-martensíticos, 13-16% de cromo, 4-6% de níquel

Aços desse tipo estão disponíveis há mais de vinte anos, mas ainda não alcançaram o estágio de aços inoxidáveis padronizados.

Esses aços possuem um baixo teor de carbono ($\leq 0,05\%$), um teor de cromo de 13-16% e 4-6% de níquel. Algumas variações desses aços possuem também aproximadamente 1% de molibdênio. Apresentam uma resistência à tração maior do que a do aço martensítico clássico com 13% de cromo e 0,15-0,20% de carbono, e já praticamente o substituiu na construção de turbinas de água e grandes estruturas similares nas quais são soldados fundidos. Sua soldabilidade pode ser geralmente considerada como boa, porém em alguns casos apresenta uma soldabilidade limitada.

Com eletrodos que depositam um metal de solda de composição química similar à do material base tal como o OK 68.17, o material pode ser soldado se houver pré-aquecimento e, de preferência, se a região soldada for mantida aquecida após a soldagem (250-260°C por 4-6 horas). Revenimento ou alívio de tensões a aproximadamente 600°C imediatamente após a soldagem é um procedimento seguro.

Com eletrodos inoxidáveis austeníticos, tais como OK 63.35 ou

OK 67.75, obtém-se um metal de solda mais resistente e, conseqüentemente, o risco de fissuração durante o resfriamento é menor. O pré-aquecimento, assim como o alívio de tensões, pode ser deixado de lado. Nem sempre é necessário executar alívio de tensões logo após a soldagem para eliminar o risco de fissuração. Assim, quando soldados com o OK 63.35 ou com o OK 67.75, os aços inoxidáveis austeno-martensíticos apresentam uma soldabilidade muito boa, porém com a ressalva de que a baixa resistência à tração do seu metal de solda possa ser aprovada.

Eletrodos OK

As tabelas seguintes mostram os eletrodos ESAB disponíveis e também as recomendações para a soldagem de uma gama de materiais, incluindo as classificações dos materiais de base em conformidade com as especificações mais utilizadas.

ELETRODO OK	METAL DEPOSITADO		OBSERVAÇÕES
	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	PROPRIEDADES MECÂNICAS	
OK 61.30 rutílico E308L-17 E308-17	C 0,03 Si 0,80 Mn 0,80 Cr 19,60 Ni 9,90	T 560-600 MPa A 38-42%	FBTS
OK 61.84 rutílico E347-17	C 0,03 Si 0,63 Mn 0,86 Cr 19,30 Ni 9,35 Mo 0,20 Nb 0,44	T 600-650 MPa A 31-33%	
OK 63.30 rutílico E316L-17 E316-17	C 0,03 Si 0,70 Mn 0,70 Cr 18,70 Ni 11,70 Mo 2,70	T 550-600 MPa A 33-38%	FBTS
OK 63.34 ácido-rutílico E316L-16	C <0,03 Si 0,70 Mn 0,70 Cr 18,00 Ni 12,00 Mo 2,80	T 600 MPa E 440 MPa A 40% 65 J @ 20°C 38 J @ -120°C FN 3-8	importado

ELETRODO OK	METAL DEPOSITADO		OBSERVAÇÕES
	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	PROPRIEDADES MECÂNICAS	
OK 63.35 básico-rutílico E316L-15 E19 12 3 L B 20 +	C <0,04 Si 0,50 Mn 1,70 Cr 18,50 Ni 12,00 Mo 2,80	T 580 MPa E 435 MPa A 40% 95 J @ 20°C 75 J @ -60°C 60 J @ -120°C 30 J @ -196°C FN 3-8	importado
OK 63.80 ácido-rutílico E 19 12 3 Nb R 23	C <0,03 Si 0,80 Mn 0,80 Cr 18,00 Ni 12,00 Mo 2,80 Nb 0,40	T 620 MPa E 490 MPa A 35% 65 J @ 20°C 50 J @ -70°C	importado
OK 64.30 ácido-rutílico E317L-16 E 18 13 4 L R 23	C <0,03 Si 0,7 Mn 0,7 Cr 19,00 Ni 13,00 Mo 3,70	T 600 MPa E 450 MPa A 40% 55 J @ 20°C FN 5-10	importado
OK 64.63 básico-rutílico E 18 16 5 L R 26	C <0,04 Si 0,50 Mn 2,70 Cr 18,00 Ni 17,0 Mo 4,7 N 0,13	T 640 MPa E 450 MPa A 40% 80 J @ 20°C 45 J @ -140°C FN 0	importado
OK 67.15 básico E310-15	C 0,10 Si 0,25 Mn 1,65 Cr 25,60 Ni 20,90	T 550-590 MPa A 30-32%	FBTS

ELETRODO OK	METAL DEPOSITADO		OBSERVAÇÕES
	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	PROPRIEDADES MECÂNICAS	
OK 67.16 rutílico E310-16	C 0,14 Si 0,76 Mn 1,74 Cr 26,00 Ni 20,00 Mo 0,18	T 650-700 A 31-33%	
OK 67.42 rutílico sintético E307-26	C 0,06 Si 0,65 Mn 3,90 Cr 20,00 Ni 10,00 Mo 0,80	T 580-620 MPa A 40-45%	altíssimo rendimento
OK 67.45 básico E 18 8 Mn6 B20	C 0,07 Si 0,25 Mn 6,95 Cr 18,10 Ni 9,45	T 600-620 MPa A 40-45%	
OK 67.50 ácido rutílico E 22 9 3 L R 23	C <0,03 Si 0,8 Mn 0,8 Cr 22,5 Ni 9,0 Mo 3,0 N 0,17	T 800 MPa E 645 MPa A 25% 60 J @ 20°C 40 J @ -40°C FN 30-45	aporte térmico 0,5-2,5 kJ/mm entrepases 125-150°C importado
OK 67.53 rutílico E 22 9 3 L R 23	C <0,03 Si 0,9 Mn 0,8 Cr 22,5 Ni 9,0 Mo 3,0 N 0,17	T 780 MPa E 630 MPa A 25% 60 J @ 20°C 40 J @ -40°C FN 30-45	aporte térmico 0,5-2,5 kJ/mm entrepases 125-150°C importado
OK 67.61 rutílico E309L-17	C 0,03 Si 0,85 Mn 1,03 Cr 23,66 Ni 12,26 Mo 0,19	T 700-750 MPa A 31-33%	importado

ELETRODO OK	METAL DEPOSITADO		OBSERVAÇÕES
	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	PROPRIEDADES MECÂNICAS	
OK 67.73 rutílico E309-16	C 0,10 Si 0,40 Mn 1,30 Cr 24,00 Ni 13,25 Mo 0,30	T 600-630 MPa A 32-36%	FBTS
OK 67.74 rutílico E309MoL-17	C 0,03 Si 0,80 Mn 0,70 Cr 23,00 Ni 12,30 Mo 2,60	T 700-750 MPa A 31-33%	
OK 67.75 básico E309-15	C 0,05 Si 0,30 Mn 1,70 Cr 24,45 Ni 13,10 Mo 0,25	T 600-630 MPa A 30-38%	
OK 68.15 básico E410-15 E 13 MPB 20 + 120	C 0,06 Si 0,50 Mn 0,50 Cr 13,00	após TTAT @ 750°C T 520 MPa E 370 MPa A 25% 55 J @ 20°C	importado
OK 68.17 básico-rutílico E410NiMo-16 E 13 4 MPR 23 120	C 0,05 Si 0,50 Mn 0,70 Cr 12,00 Ni 4,30 Mo 0,50	T 850 MPa E 710 MPa A 15% >45 J @ 20°C >45 J @ -10°C >45 J @ -40°C	importado
OK 68.53 básico-rutílico E 25 10 4 2	C <0,03 Si 0,6 Mn 0,7 Cr 25,5 Ni 9,5 Mo 4,0 N 0,25	T 850 MPa E 700 MPa A 25% 50 J @ 20°C FN 30-50	aporte térmico 0,2-1,5 kJ/mm entrepases 100-150°C importado

ELETRODO OK	METAL DEPOSITADO		OBSERVAÇÕES
	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	PROPRIEDADES MECÂNICAS	
OK 68.55 básico B25 10 4 LN B 20+	C <0,04 Si 0,4 Mn 0,9 Cr 25,5 Ni 9,5 Mo 4,0 N 0,25	T 900 MPa E 700 MPa A 25% 90 J @ 20°C 55 J @ -40°C 45 J @ -60°C FN 30-50	aporte térmico 0,2-1,5 kJ/mm entressapses 100-150°C importado
OK 68.60 ácido-rutílico	C 0,10 Si 0,80 Mn 0,80 Cr 26,00 Ni 5,00 Mo 1,50	T 680 MPa E 620 MPa A 6% 50 J @ 20°C FN 60-80	importado
OK 68.81 rutílico E312-17	C 0,07 Si 0,70 Mn 1,40 Cr 29,30 Ni 9,45	T 780-830 MPa A 22-24%	
OK 68.84 rutílico E312-17	C 0,04 Si 0,84 Mn 0,78 Cr 28,20 Ni 10,30	T 700-750 MPa A 23-24%	
OK 68.85 básico E312-15	C 0,06 Si 0,35 Mn 1,50 Cr 29,00 Ni 9,00	T 760-800 MPa A 22-24%	
OK 69.33 básico-rutílico E 20 25 6 L Cu R 23	C <0,03 Si 0,50 Mn 1,00 Cr 20,50 Ni 25,00 Mo 5,00 Cu 1,5	T 575 MPa E 400 MPa A 35% 80 J @ 20°C 45 J @ -140°C FN 0	importado

ELETRODO OK	METAL DEPOSITADO		OBSERVAÇÕES
	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	PROPRIEDADES MECÂNICAS	
OK 69.63 básico-rutílico E 20 25 6 L Cu R 23	C <0,04 Si 0,40 Mn 2,80 Cr 20,00 Ni 25,00 Mo 6,50 Cu 1,20 N 0,15	T 680 MPa E 460 MPa A 40% 80 J @ 20°C 50 J @ -140°C FN 0	importado
OK 92.26 básico E NiCrFe-3 EL-NiCr15FeMn	C <0,10 Si 0,80 Mn 8,00 Cr 15,00 Ni 70,00 Nb 2,00 Fe 6,00	T 640 MPa E 410 MPa A 40% 100 J @ 20°C 80 J @ -196°C FN 0	importado
OK 92.45 básico E NiCrMo-3	C <0,03 Si 0,40 Mn 0,40 Cr 21,00 Ni 64,00 Mo 9,50 Fe 3,00 Nb 3,30	T 800 MPa E 480 MPa A 40% 70 J @ 20°C 50 J @ -196°C	importado
FILARC BM310Mo-L básico E310Mo-16 E 25 22 2 N L R 1 2	C <0,04 Si 0,50 Mn 4,30 Cr 25,00 Ni 22,00 Mo 2,20 Cu <0,30 N 0,15	T 620 MPa E 440 MPa A 34% 54 J @ 20°C FN 0	arco curto entresspasses < 150°C importado

ELETRODOS ESAB RECOMENDADOS												
CATEGORIA	W.Nr.	AISI (UNS)	BS	AFNOR	SS	JIS	AWS	C	Cr	Ni	Mo	OK
Ferrítico-martensítico												
13Cr	1.4000	403	403S17	Z6C13	2301	SUS403	E316L	<0,08	13			61.30
13Cr	1.4006	410	410S21	Z12C13	2302	SUS410	E316L	0,1	13			61.30
Ferrítico												
17Cr	1.4016	430	430S15	Z8C17	2320	SUS430	E308L	<0,08	17			61.30
17Cr	1.4521	S44400	-	-	2326	-	E308L	<0,03	18	2,5		61.30
26Cr	1.4762	446	-	Z10C24	2322	-	E310	<0,20	26			61.15
Austeno-ferrítico												
Duplex	1.4460	329	-	-	2324	-	-	<0,10	26	6	1,5	67.50 67.53
23Cr4Ni + N												
SAF 2304	1.4362	S32304	-	Z2CN23.4.AZ	-	-	-	<0,03	23	4	N 0,10	67.50 67.53
UR 35N Duplex												
Duplex	1.4417	S31500	-	-	-	-	-	<0,03	18	5	3	67.50 67.53
22Cr5Ni3Mo + N												
SAF 2205 UR 45N Duplex	1.4462	S31803	-	Z2CND22.5 AZ	2377	-	-	<0,03	22	5	3	N 0,15 67.50 67.53
Duplex												
25Cr7Ni3Mo + N DP3 Duplex	-	S31260	-	-	-	-	-	-	25	7	3	N 0,14 68.53 68.55
25Cr7Ni3Mo + N UR 47N Duplex	1.4460	S31200	-	Z2CND25.7 AZ	-	-	-	-	25	7	3	N 0,18 68.53 68.55
25Cr6Ni3Mo+Cu+N UR 52N Duplex	1.4460	S32550	-	Z2CNDU25.7 AZ	-	-	-	-	25	6	3	Cu 2,0 N 0,20 68.53 68.55
25Cr6Ni3Mo+Cu+W +N Zeron 100 Duplex	-	S32760	-	-	-	-	-	-	25	6	3	W 0,7 68.53 68.55 N 0,25
Super-duplex	-	S32750	-	-	-	-	-	<0,03	25	7	4	N 0,2 68.53

ELETRODOS ESAB RECOMENDADOS

CATEGORIA	W.Nr.	AISI (UNS)	BS	AFNOR	SS	JIS	AWS	C	Cr	Ni	Mo	OK	
Austenítico													
18Cr8Ni	1.6900	302	302S25	Z10CN18.09	2331	SUS302	E308L	<0.12	18	8		61.30	
18Cr8Ni	1.4301	304	304S21	Z6CN18.09	2332	SUS304	E308L	<0.07	18	10		61.30	
18Cr8Ni	1.4301	304	304S15	Z6CN18.09	2333	SUS304	E308L	<0.05	18	10		61.30	
18Cr8Ni + Ti	1.4541	321	321S12	Z6CNT18.10	2337	SUS321	E347	<0.08	18	11	Ti 0,7	61.84	
18Cr8Ni + Nb	1.4550	347	347S17	Z6CNNb18.10	2338	SUS347	E347	<0.08	18	11	Nb 0,7	61.84	
18Cr8Ni + S	1.4305	303	303S21	Z10CNF18.09	2346	-	E312	<0.12	18	9	S 0,2	68.84	
18Cr8Ni	1.4306	304L	304S12	Z2CN18.10	2352	SUS304L	E308L	<0.03	18	10		61.30	
18Cr8Ni	1.4311	304LN	304S62	Z2CN18.10.AZ	2371	-	E308L	<0.03	18	10	N 0,15	61.30	
18Cr8Ni + N	-	304N	304S65	Z5CN18.09.AZ	-	-	E308L	<0.08	18	9	N 0,15	61.30	
18Cr8Ni	1.4310	301	301S21	Z12CN17.07	-	SUS301	E308L	0,1	17	8		61.30	
18Cr8Ni + Mo	1.4420	-	345S16	-	2340	-	E316	<0.10	18	9	1,5	63.30	
18Cr8Ni + Mo	1.4436	316	316S16	Z6CND17.12	2343	SUS316	E316	<0.05	18	12	2,5	63.30	
18Cr8Ni + Mo	1.4401	316	316S16	Z6CND17.11	2347	SUS316	E316	<0.05	18	12	2,5	63.30	
18Cr8Ni + Mo	1.4404	316L	316S12	Z2CND17.12	2348	SUS316L	E316L	<0.03	18	12	2,5	63.30	
18Cr8Ni + Mo	1.4435	316L	316S12	Z2CND17.13	2353	SUS316L	E316L	<0.03	18	13	2,5	63.30	
18Cr8Ni + Mo + Ti	1.4571	316Ti	320S17	Z6CND17.12	2350	-	-	<0.08	18	12	2,5	Ti 0,7	63.80 (63.30)
18Cr8Ni + Mo + N	1.4429	316LN	316S62	Z2CN17.13.AZ	2375	-	E316L	<0.03	18	12	2,5	N 0,15	63.30
18Cr5Ni7Mn	1.4371	202	-	-	-	-	-	<0.15	18	5	Mn 8	67.45 (61.30)	
23Cr12Ni	1.4828	309	-	Z15CNS20.12	-	-	E309L	<0.20	23	13		67.75	
Resistente ao calor													
25Cr20Ni	1.4845	310S	310S24	Z12CN25.20	2361	SUS310S	E310	<0.08	25	20		67.15	
Grau ureia													
25Cr22Ni + Mo + N	1.4466	310MoLN	-	-	-	-	E310Mo	<0.03	25	22	N 0,12	FILARC BM310Mo-L*	

ELETRODOS ESAB RECOMENDADOS

CATEGORIA	W.Nr.	AISI (UNS)	BS	AFNOR	SS	JIS	AWS	C	Cr	Ni	Mo	OK
Super-austenítico												
18Cr16Ni + Mo	1.4438	S31703	-	-	-	-	E317L	<0,03	18	16	3,5	64.30
17Cr14Ni + Mo	1.4449	-	-	-	-	-	-	<0,07	17	14	4,5	64.63
20Cr25Ni + Mo +Cu UR B6	1.4539	N08904	-	Z1NCDU25.20	-	-	-	<0,2	20	25	4,5	69.63
20Cr18Ni+Mo+Cu+N-	-	S31254	-	-	-	-	-	<0,02	20	18	6,2	Cu0,8 N 0,2 92.45
27Cr31Ni+Mo+Cu	1.4563	N08028	-	-	-	-	ENiCrMo-3	<0,02	27	31	3,5	Cu 1,2 92.45
Cr25Ni25 + Mo + N UR SB8	-	-	-	-	-	-	-	<0,02	25	25	5	N 0,2