



Aços Inoxidáveis

Aplicações e Especificações

Cadernos Técnicos Aperam - volume 1

Índice

Os aços inoxidáveis

Os diferentes tipos de aços inoxidáveis da aperam

- :: Série 400: ferríticos
- :: Série 400: martensíticos
- :: Série 300: austeníticos
- :: Duplex
- :: Série 200

Inox contra a corrosão

Os acabamentos dos aços inoxidáveis

Especificação, projeto e fabricação: cuidados

- :: Os aços inoxidáveis e os meios ácidos
- :: Os aços inoxidáveis e os meios que contêm cloretos
- :: A contaminação nos aços inoxidáveis
- :: Os pares galvânicos e os aços inoxidáveis
- :: As propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis e a resistência à oxidação em altas temperaturas
- :: O projeto de equipamentos de aços inoxidáveis



Os aços inoxidáveis

Os aços inoxidáveis são ligas de ferro, carbono e cromo, sendo este último elemento o responsável por sua elevada resistência à corrosão. Em ambientes com baixos índices de contaminação, como na zona rural, quanto maior a presença de cromo, menor a velocidade de oxidação. Nessas condições, com 10,50 % de cromo constata-se que a liga não sofre corrosão atmosférica – e este é o critério utilizado para sustentar a definição de aços inoxidáveis.

Outros elementos podem ser acrescentados para oferecer as variações necessárias às diferentes aplicações dos aços inoxidáveis: níquel, silício, manganês, vanádio, molibdênio, nióbio, etc.

Origem

Os aços inoxidáveis surgiram de estudos realizados em 1912, tanto na Inglaterra como na Alemanha. O aço estudado na Inglaterra era uma liga ferro-cromo com cerca de 13% de cromo, uma liga inoxidável muito próxima ao que hoje chamamos de 420. Na Alemanha, tratou-se de uma liga que, além de ferro e cromo, continha também níquel, uma liga inoxidável bastante parecida com o que hoje conhecemos como 302.



Como se formam os aços inoxidáveis: filmes passivos

Os aços inoxidáveis, diferentemente dos metais nobres como o ouro e a platina, reagem com o meio ambiente. Na verdade, os elementos químicos componentes dos aços inoxidáveis reagem com bastante facilidade. Um deles em particular, o cromo, possibilita a formação de filmes que protegem essas ligas contra a corrosão. Esse fenômeno, pelo qual o metal ou a liga deixam de ser corroídos, quando termodinamicamente deveríamos esperar o contrário, é conhecido como passividade.

O fenômeno da passividade é estudado há muitos anos.

A primeira experiência, realizada aproximadamente há 170 anos, foi feita com duas amostras idênticas de aço carbono, submersas em meios nítricos. A primeira, colocada em um béquer com ácido nítrico diluído, foi atacada rapidamente, o que pôde ser comprovado pela produção de vapores nitrosos. Mas a segunda, colocada em outro béquer com ácido nítrico concentrado, não foi atacada. E o mais interessante: quando o ácido nítrico do segundo béquer foi diluído com adição de água, até chegar à mesma concentração presente no primeiro, o material continuou intacto.

A conclusão dessa experiência foi a de que, provavelmente, o ácido nítrico concentrado havia formado um filme protetor na superfície do aço e que este filme havia blindado a amostra contra o ataque posterior do ácido nítrico diluído.

Para demonstrar a formação do filme protetor, a amostra foi riscada. Imediatamente vapores nitrosos se desprenderam dali, tornando a área riscada novamente vulnerável ao ataque do ácido nítrico diluído.

O que se sabe sobre os filmes passivos dos aços inoxidáveis:

- Os filmes passivos são extraordinariamente finos: possuem espessura aproximada de 30 a 50 angstroms (um angstrom = 10^{-7} mm)
- Quanto mais oxidável é um metal, maior é sua tendência para formar filmes.
- Os aços inoxidáveis apresentam boa resistência à corrosão em meios oxidantes (que facilitam a formação e a conservação dos filmes passivos).
- Os filmes formados em meios oxidantes (como é o caso do ácido nítrico, frequentemente utilizado em banhos de decapagem) são os mais resistentes.
- O filme passivo se forma, aparentemente, pela reação entre a água e o metal base, e está constituído por um oxi-hidróxido dos metais cromo e ferro.
- Este filme passivo possui duas regiões distintas: uma, mais próxima do metal, onde predominam os óxidos, e outra, mais próxima do meio ambiente, onde predominam os hidróxidos.
- Ele não é estático: com a passagem do tempo, existe uma tendência ao crescimento dos óxidos (não dos hidróxidos) e também a um enriquecimento de cromo.
- O filme passivo é muito aderente: essa propriedade explica a elevada resistência à corrosão dos aços inoxidáveis e abre campo para uma vasta gama de utilizações.



Os diferentes tipos de aços inoxidáveis Aperam

Comprometida com o propósito de desenvolver produtos feitos para durar e presentes na vida das pessoas, a Aperam South America fornece uma ampla gama de aços inoxidáveis para as mais diversas aplicações.

Em seu portfólio estão presentes os aços das séries 400, 300, 200 e duplex.

A **série 400** é a dos aços inoxidáveis ferríticos, aços magnéticos, com estrutura cúbica de corpo centrado, resultado de liga de ferro e cromo. Os aços inoxidáveis da série 400 podem ser divididos em dois grupos: os **ferríticos**, que apresentam cromo mais alto e carbono mais baixo, e os **martensíticos**, nos quais predominam cromo mais baixo e carbono mais alto.

A **série 300** é a dos aços inoxidáveis **austeníticos**, aços não magnéticos, com estrutura cúbica de faces centradas, formados por ligas de ferro, cromo e níquel. A adição de níquel transforma a estrutura ferrítica em austenítica e altera as propriedades desse aço.

Há também aços austeníticos da **série 200**, que apresentam boa soldabilidade, mas menor resistência à corrosão.

O portfólio se completa com os **aços duplex**, que combinam o melhor dos ferríticos e dos austeníticos: altas propriedades mecânicas e elevada resistência à corrosão.

Veja a
tabela técnica:



Série 400: ferríticos

Os aços inoxidáveis ferríticos (figura 1) contém, em geral, uma quantidade de cromo maior que 16%, o que eleva sua resistência à corrosão. Sua capacidade de conformação também é boa, desde que não sejam estampagens muito profundas.

Os ferríticos estabilizados

A soldabilidade dos aços ferríticos pode ser elevada adicionando-se elementos de liga estabilizadores, como o titânio e o nióbio: eles têm grande afinidade com o carbono, formando carbonetos destes elementos e impedindo-se, dessa maneira, a precipitação de carbonitretos de cromo e a formação de martensita. O crescimento de grão das regiões soldadas também é, em parte, limitado pela presença de elementos estabilizadores.



Aços inoxidáveis da Série 400

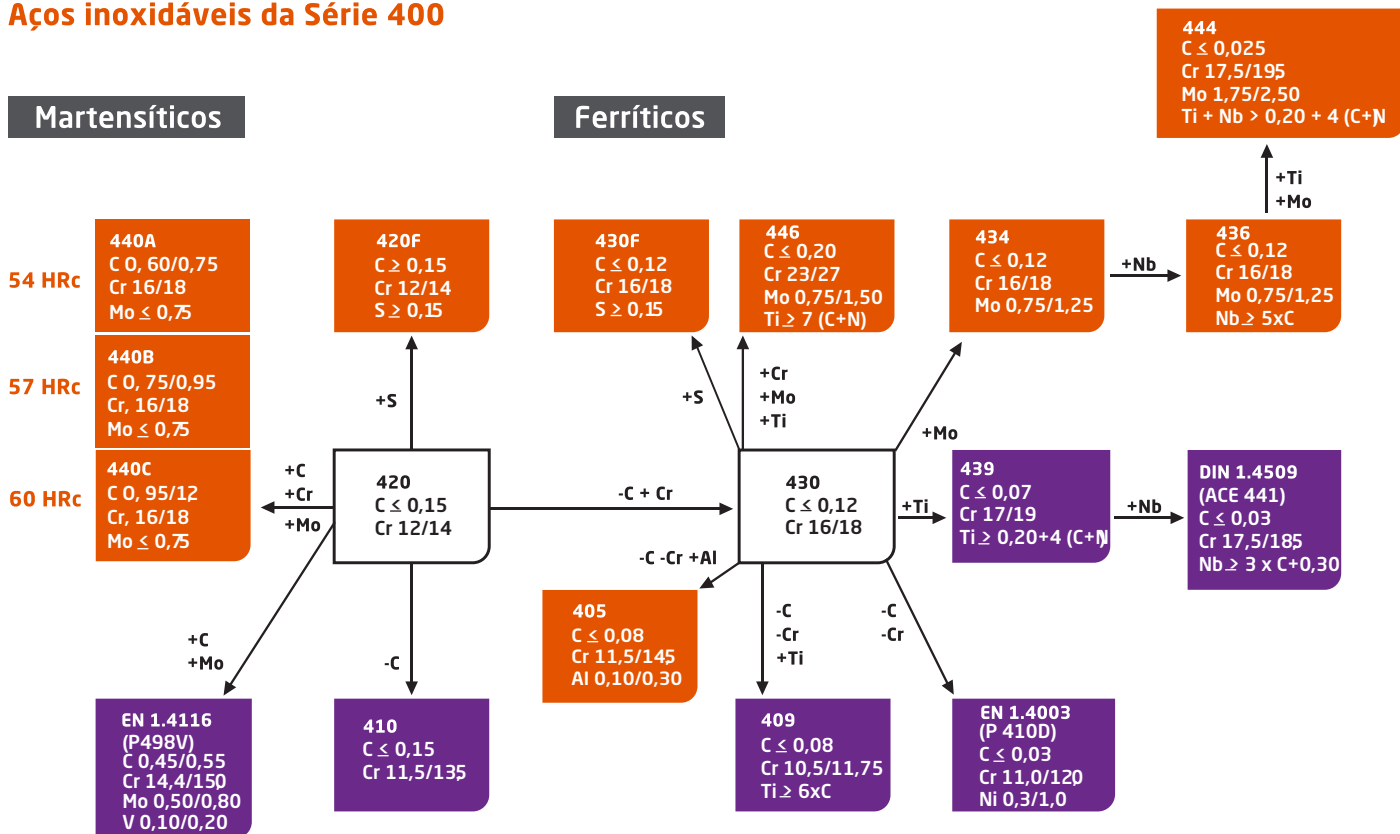


Figura 1

Aço 409

Apresenta grande maleabilidade e boa soldabilidade e é indicado para o sistema de escapamento dos gases de combustão de automóveis. Com 11% de cromo é o ferrítico estabilizado mais utilizado mundialmente nesta aplicação.

Saiba mais 

Saiba mais 

Saiba mais 



Aço P410D

Com um teor de cromo de aproximadamente de 11%, é uma ótima opção para enfrentar o desgaste (principalmente por abrasão e corrosão). Assim, aumenta a vida útil dos componentes envolvidos em ambientes úmidos com alta abrasividade, como os vagões ferroviários e caminhões betoneiras, por exemplo. Também encontram espaço em aplicações estruturais, pois podem atingir elevados valores de propriedades mecânicas (como na aplicação em parte estrutural de ônibus, por exemplo). Além disso, a Aperam tem feito testes com esse produto para a fabricação das **taliscas** que compõem a esteira transportadora usada em indústrias sucroalcooleiras: os estudos indicam que o P410 proporciona às taliscas uma vida útil pelo menos três vezes maior do que quando fabricadas em aço carbono, reduzindo o número de paradas das esteiras transportadoras.

Saiba mais 

Aço 430

Dos aços inoxidáveis ferríticos, o mais popular é o 430. Em nosso cotidiano, o encontramos em talheres, baixelas, pias de cozinha, revestimento de balcões, fogões, tanques de máquinas de lavar roupa, lava-pratos, fornos micro-ondas e até em moedas.

O 430 é indicado para aplicações que dispensam soldagem, ou quando as soldas não são consideradas operações de alta responsabilidade. Os principais motivos para isso são a formação parcial da martensita, a precipitação de carbonitreto de cromo e o crescimento excessivo do tamanho do grão nas regiões soldadas.

A Aperam produz duas versões desses aços: o 430 típico e o estabilizado com nióbio, 430DDQ, que pode ser soldado e possui melhor comportamento em operações de estampagem e apresenta ótima resistência à corrosão, porque possui um teor de cromo muito mais elevado que o mínimo exigido.

Saiba mais 

Aço 439

O 439, com aproximadamente 17% de cromo, apresenta melhor comportamento que o 430 na estampagem e melhor resistência à corrosão. A adição de titânio o torna menos suscetível à corrosão por pites. É indicado também para aplicações na indústria automobilística, em tanques de máquinas de lavar roupa e em **fornos de micro-ondas**. Na indústria açucareira, está presente no revestimento interno de equipamentos fabricados em aço carbono.

Saiba mais 



Aço 441

O nióbio acrescentado a esse aço confere a ele maior resistência à fluência em altas temperaturas. Por esse motivo, é o aço mais adequado para as partes mais quentes do sistema de escapamento (perto da saída de gases do motor), e também para o corpo do catalisador e do silencioso. Além disso, também é utilizado em outros segmentos, como elevadores.

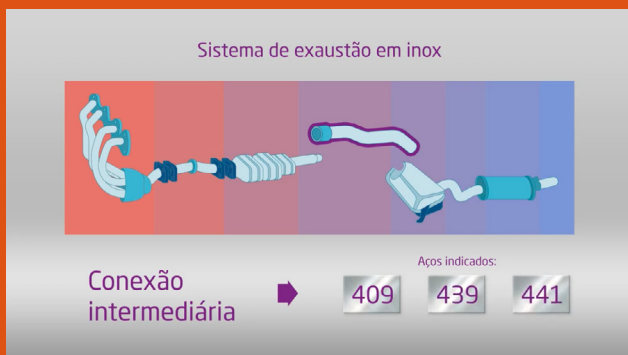
Saiba mais 

Aço 444

O 444 possui boa resistência à corrosão por pites e por frestas, consequência de sua composição química, com altos teores de cromo e adição de molibdênio. Seus principais usos são em caixas de água e aquecedores residenciais. Ele também agrega resistência a revestimentos internos de equipamentos fabricados em aço carbono que trabalham em altas temperaturas: nessas circunstâncias, um aço ferrítico é mais recomendável que um austenítico por apresentar coeficiente de dilatação térmico parecido com o do aço carbono.

O 444 - assim como o 439 - constitui uma alternativa interessante para tubos trocadores de calor e condensadores, já que a troca de calor em tubos ferríticos é melhor que em tubos austeníticos. Além disso, os inoxidáveis ferríticos são imunes à corrosão sob tensão, tornando-os ótimas opções para aplicações onde a soldagem está presente.

Assista aos vídeos



Aço 409 - Segmento automotivo



Aço 410 - Mineração



Aço 439 - Agronegócio

Série 400: martensíticos

Esses aços chegam ao mercado no estado recozido, com estrutura ferrítica, baixa dureza e boa ductilidade. Nesse estado, não possuem boa resistência à corrosão atmosférica. Somente depois de um tratamento térmico de têmpera terão uma estrutura martensítica, tornando-se então muito duros e pouco dúcteis.

Nestas condições - temperados - são resistentes à corrosão. Isso acontece porque o carbono forma parte da fase martensítica e torna-se indisponível para ser precipitado na forma de carboneto de cromo. Os martensíticos com teores mais altos de carbono atingem durezas mais elevadas na têmpera.

Aço 420

Entre os aços inoxidáveis martensíticos, o mais conhecido é o aço 420, com pouco mais de 12% de cromo e aproximadamente 0,35% de carbono. É indicado para a fabricação de facas, discos para corte e discos de freio de motocicletas, peças que precisam ter ótima resistência ao desgaste.

Aço P498

Apresenta teor de carbono de aproximadamente 0,47%, com o teor de cromo um pouco superior ao do aço 420. Entram em sua composição o molibdênio e o vanádio. Depois de temperado, apresenta dureza maior que o 420. O molibdênio melhora sua resistência à corrosão e o vanádio aumenta sua tenacidade. Pela elevada dureza obtida depois da têmpera, o P498 é usado exclusivamente em [facas de corte profissional](#).

Saiba mais



Saiba mais





Série 300: austeníticos

Os aços inoxidáveis austeníticos (figura 2) são excelentes em tudo: na resistência à corrosão, na ductilidade e na soldabilidade. Podem ser utilizados em uma gama muito variada de temperaturas: desde as baixíssimas (condições criogênicas) até os 1.150°C. Essas propriedades decorrem da adição de níquel, que transforma a estrutura ferrítica em austenítica, alterando profundamente esses aços.

A família 3XX da Aperam se destaca ainda pelos baixos teores de enxofre e carbono, o que resulta em um produto com menor nível de impurezas, colaborando para elevar seu desempenho.



Aços inoxidáveis da Série 300

Austeníticos

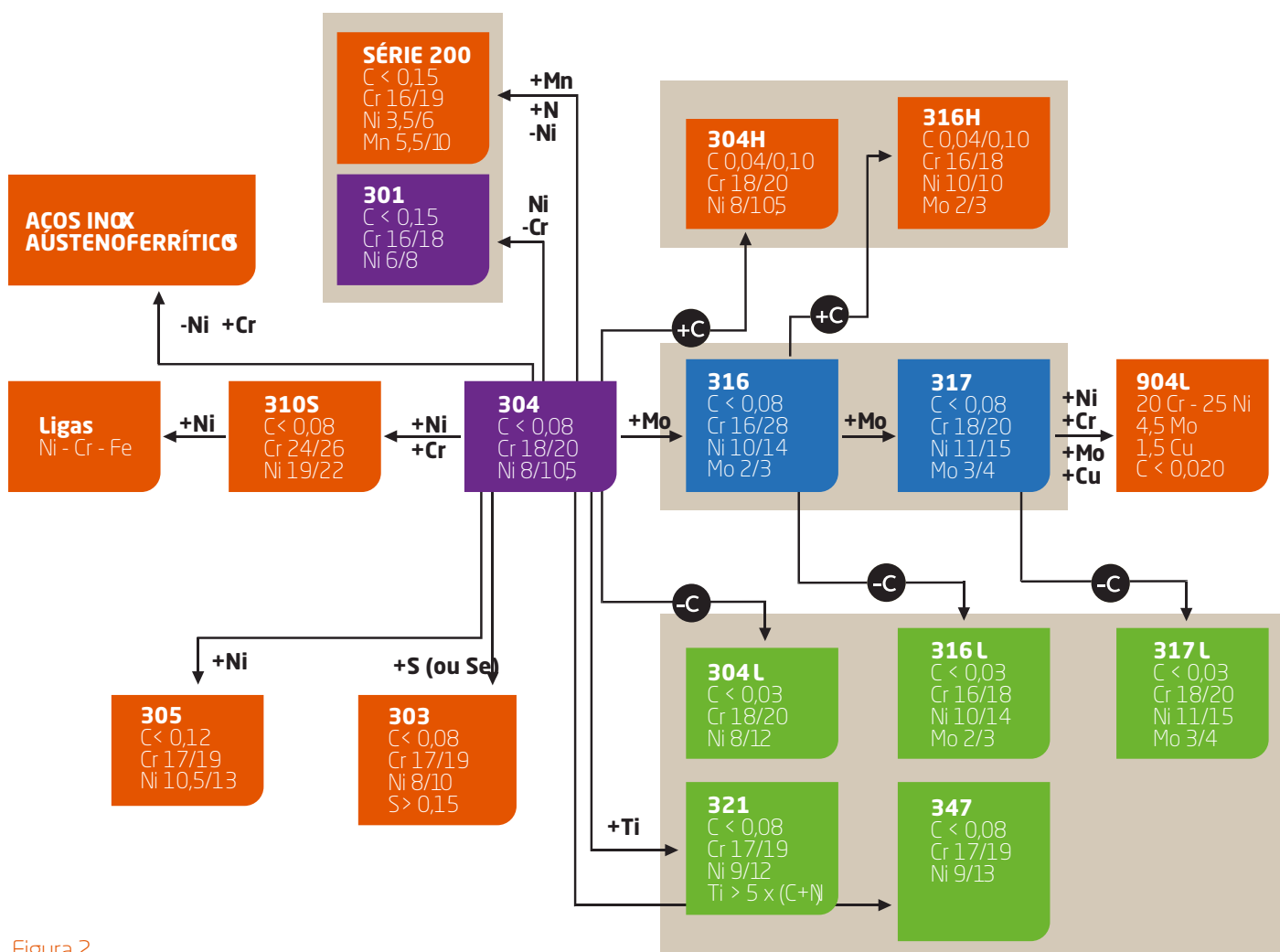


Figura 2

Aço 301

Embora possua menos níquel que os demais aços desta série, apresenta resistência à corrosão levemente inferior à do aço 304. Sua composição - cerca de 17% de cromo e 7% de níquel - reduz a estabilidade da austenita, permitindo uma maior formação de martensita na laminação a frio. Por esse motivo, em processos de estampagem, quando comparado com o 304, opõe mais resistência.

É fabricado e vendido laminado (sem tratamento térmico posterior), com diversos graus de propriedades mecânicas e graus de dureza que vão desde o 1/16 duro (com durezas entre 20 a 25 HRc) até o totalmente duro (dureza superior a 42 HRc). Por isso, tem sido utilizado para fins estruturais, em equipamentos para indústrias alimentícia, aeronáutica, ferroviária e **petrolífera**; e na confecção de facas e lâminas.

Aço 301 LN

Com menor teor de carbono e maior de nitrogênio, oferece mais soldabilidade, na comparação com o 301.

É muito utilizado na indústria ferroviária. Vagões de metrô podem ser fabricados com este material. Também é usado na parte estrutural dos ônibus, quase sempre na forma de tubos retangulares e quadrados, e também em peças pequenas que requerem altas propriedades mecânicas e durezas, como limpadores de para-brisas, calçados de segurança e molas.

Aço 304

O mais popular dos austeníticos, possui muitas aplicações, consequência direta de sua excelente resistência à corrosão, capacidade de conformação, ótima soldabilidade e excelentes propriedades mecânicas. Podemos encontrá-lo em nossas casas e também na indústria.

Com o 304, se fabricam talheres, baixelas e painéis, cubas e pias, cestos de máquinas de lavar roupa e muitos outros utensílios domésticos e eletrodomésticos.

Na construção civil, é usado em elevadores e no revestimento de edifícios (superfícies externas e internas). Nas aplicações industriais está presente em tubos, **tanques**, reatores, colunas de destilação, trocadores de calor, condensadores, em equipamentos das indústrias de papel e celulose, petroquímica, têxtil, frigorífica, farmacêutica, cosmética, sucroalcooleira e cervejeira, em vinícolas e laticínios, em aplicações aeronáuticas, ferroviárias, navais e hospitalares. Também é muito utilizado em caminhões, em tanques para transporte de produtos (alimentos e produtos químicos).

Aço 304L

O aço 304L é o escolhido quando a precipitação de carbonetos de cromo, que ocorre nas operações de soldagem no aço 304, pode provocar problemas de corrosão. Em outras palavras, se o meio é capaz de atacar regiões pobres em cromo devido ao fenômeno da sensitização. Por isso, uma importante utilização desse aço é nos tanques para conter ácido nítrico, substância que provoca corrosão intergranular em regiões soldadas e sensitizadas do aço 304.

As propriedades mecânicas (os valores mínimos estabelecidos pela norma ASTM A-240) do 304L são menores que as do 304. Por isso, um equipamento fabricado em 304L deverá ter uma espessura maior.



Saiba mais 

Saiba mais 

Aço 304DDQ

Essa versão do aço inoxidável 304 é indicada para estampagem extra-profunda, necessária, por exemplo, em painéis, jarras e pias. A propriedade é garantida por teores mais elevados de níquel, e a adição de cobre permite a obtenção de uma austenita mais estável.

Aço 304H

Quando não existe perigo de corrosão associada à precipitação de carbonetos de cromo, o 304H é o material recomendado para fabricação de equipamentos que trabalham em altas temperaturas. Uma fina rede de carbonetos de cromo precipitados nos contornos de grão faz com que o material conserve melhor suas propriedades mecânicas em altas temperaturas. Em contato com o ar, essa temperatura não pode exceder os 925°C.

A principal diferença entre esse aço e o 304 é que as normas não fixam um valor mínimo de carbono para o 304 e sim para o 304H (carbono mínimo 0,04%).

Aço 347

O acréscimo de nióbio a este aço tem efeito estabilizador, evitando o fenômeno da sensitização. Suas características são compatíveis com o uso em equipamentos da indústria aeronáutica, como anéis coletores de turbinas e sistemas de exaustão, juntas de expansão e ara equipamentos de processos químicos em alta temperatura. O 347 também vem sendo aplicado na indústria petrolífera, especialmente durante o refino, em forma de tubos, conexões ou chapas planas.

Saiba mais 

Aço 310

O 310 é um dos aços inoxidáveis refratários. Resultado de aumentos significativos de cromo e níquel, possui elevada resistência à oxidação em altas temperaturas. Em contato com o ar, suporta até 1.150°C. É matéria-prima sob medida para fabricação de equipamentos destinados a indústrias em que haja tratamento térmico, para uso em suporte de refratários, partes dos queimadores, correias transportadoras, forração de forno, ventiladores, ganchos de tubo, etc. Na indústria alimentícia, por ter contato direto com os ácidos cítrico e acético aquecidos, por exemplo.

Aço 316L

O acréscimo de molibdênio produz um aço inoxidável muito resistente à corrosão por pites e por frestas. Em temperatura ambiente, o 316L suporta águas contendo até 800 ppm (partes por milhão) de cloreto. Nas mesmas condições, o 304 suporta até 200 ppm de cloreto. E o 316L também apresenta melhor desempenho que o 304 na corrosão sob tensão.

As condições reais em que o equipamento deve trabalhar definem o aço que será utilizado. Por exemplo, nas destilarias de álcool, a primeira coluna de destilação opera em alta temperatura e com maiores teores de cloretos. Nesse caso, o 316L é necessário. Mas a segunda (álcool hidratado) e a terceira colunas (álcool anidro), onde as concentrações de cloretos são muito baixas, podem ser construídas com aço 304.

Aço 317L

Este aço possui maior concentração de molibdênio (de 3% a 4%) e por isso é especialmente indicado para meios onde a acidez é maior ou a quantidade de cloreto é mais alta ou onde as temperaturas são mais altas, mesmo se a concentração de cloreto for mais baixa.

O aço 317L fabricado pela Aperam possui baixa concentração de carbono (0,03%), o que favorece a operação de soldagem. É indicado para aplicações nas indústrias química, petroquímica e de papel e celulose ou para fabricação de condensadores utilizados em estações geradoras de energia à base de combustível fóssil e nuclear.

Saiba mais 

Aço 321

O acréscimo de titânio provoca um efeito estabilizador a este aço, evitando a sensitização. Por suas propriedades mecânicas, o 321 é o aço recomendado para equipamentos que operam em temperaturas maiores que 250°C, como componentes termorresistentes das indústrias elétricas, componentes soldados, indústria alimentícia, tubos e tanques em geral.

Assista aos vídeos



Aço 317L - Segmentos: Óleo e Gás, Químico e Petroquímico, Papel e Celulose e Usinas Nucleares



Usinas Sucroalcooleiras - Segmento sucroalcooleiro



Duplex

The background of the page is a photograph of an offshore oil rig at sunset. The rig's complex steel structure is silhouetted against a vibrant orange and yellow sky. The sun is low on the horizon, creating a strong glow. The rig is supported by several thick legs extending into the dark, rippling water of the ocean. A crane arm is visible on the right side of the rig, and another structure is visible in the distance. The overall scene is industrial and dramatic.

Resultado de um mix perfeito entre os aços inoxidáveis austeníticos e os aços inoxidáveis ferríticos, os aços duplex combinam as melhores características de ambas as ligas: elevada resistência mecânica, imunidade à corrosão sob tensão e boa soldabilidade.

O comportamento mecânico dos aços inoxidáveis duplex está intimamente relacionado com a característica de cada fase. Para maximizar suas propriedades mecânicas, o balanceamento entre as frações volumétricas de austenita e ferrita deve estar próximo de 50% para cada uma das fases.

Com baixo percentual de níquel, apresentam limite de escoamento muito superior aos dos aços inoxidáveis austeníticos, permitindo a fabricação de equipamentos com espessuras mais finas e com maior resistência à corrosão.

A adição de nitrogênio eleva a tenacidade e a resistência à corrosão da ZTA (Zona Termicamente Afetada) na comparação com o metal base na condição soldada.

A alta resistência mecânica, a resistência à corrosão e uma dilatação térmica próxima à dos aços carbono colocam os aços duplex em posição privilegiada do ponto de vista da execução de projetos, pois sua utilização permite a construção de equipamentos mais leves, mais seguros, que exigem menos manutenção - e com maior vida útil.

São especialmente indicados para digestores da indústria de papel e celulose, dutos de óleo nas indústrias química e petroquímica, pontes e viadutos, trocadores de calor e **tubos para manuseio de óleo e gás**, tanques de estocagem de material corrosivo, sistemas de dessalinização da água do mar, equipamentos de processamento de comida.



Segmento Óleo e Gás



UNS32205/31803

Com excelente resistência à corrosão e mecânica, é um aço sob medida para a fabricação de tubos flexíveis para a indústria de petróleo e gás e para extração de petróleo, podendo também ser aplicado em tanques para armazenagem de produtos químicos e equipamentos para o segmento de papel e celulose.

Saiba mais



UNS 32304/ DIN 1.4362

Também conhecido como lean duplex, é uma opção atrativa para aplicação em tanques de estocagem, tubos flexíveis, implementos rodoviários, tanques para navios e equipamentos para o segmento químico e de papel e celulose.

Saiba mais



Série 200

Utilizados em aplicações estruturais, os aços desta série são resultado de uma substituição parcial de níquel por manganês. A resistência à corrosão dessas ligas é, em geral, menor que a dos aços da série 300. O aço 201LN destina-se preferencialmente às aplicações estruturais.

Saiba mais



Inox contra a corrosão

A natureza transforma permanentemente os metais em compostos, por meio de reações espontâneas onde se libera energia. Por isso, encontramos os metais na natureza na forma de óxidos, hidróxidos e sais. A siderurgia tem uma missão oposta: transformar esses minérios em ligas ou em metais mais puros. As reações na siderurgia são opostas às que ocorrem na natureza e, por esse motivo, não são espontâneas: precisam de energia para acontecer.

Mas os mesmos metais e as ligas obtidos na siderurgia tendem, com o tempo, a se transformarem em compostos deles mesmos. Este processo natural, conhecido como corrosão, acarreta prejuízos que, em alguns países, podem chegar a 3% do PIB. Por isso, há séculos a humanidade desenvolve barreiras contra a corrosão buscando minimizar esses problemas, já que é impossível eliminá-los.

Pintar uma superfície metálica, utilizar revestimentos, fazer metalizações, são algumas das formas encontradas.

Outra maneira é desenvolver ligas mais resistentes à corrosão. Dessa frente de combate, participam os aços inoxidáveis.

Sensitização

Quando os aços 304, 316 e 317 são submetidos a temperaturas entre 425o e 850oC, o carbono e o cromo se combinam e se precipitam como carboneto de cromo. Esta precipitação ocorre preferencialmente nos contornos dos grãos, o que provoca um empobrecimento de cromo nas regiões adjacentes. Esse fenômeno é conhecido como sensitização. Esse tipo de corrosão é conhecido também como corrosão intergranular.

Essas regiões empobrecidas de cromo já não terão a resistência à corrosão dos aços inoxidáveis. Os materiais sensitizados são também mais propensos às demais formas de corrosão.

Saiba mais



Tipos de corrosão

Todos os metais - salvo raras e nobre exceções, como o ouro e a platina - têm grande tendência a reagir em presença do meio ambiente, formando óxidos, hidróxidos e outros compostos químicos. Observa-se essa tendência mesmo nos principais elementos encontrados nos aços inoxidáveis, como ferro, cromo e níquel, e nos demais, como magnésio, molibdênio, titânio, nióbio, alumínio e cobre.

Em sua vida útil, um dos problemas enfrentados pelos aços inoxidáveis é o da ação corrosiva provocada pelo ânion cloreto, Cl⁻. Dependendo da concentração de cloretos, da temperatura e do pH, três formas de corrosão podem ocorrer: por pites (figura 8), por frestas (figura 9) e sob tensão (figura 10).

A corrosão por pites e a corrosão por frestas são localizadas e bastante parecidas, pelo menos na forma como se propagam. Na corrosão por frestas é necessário que exista um interstício, criado na construção do equipamento (um problema de projeto) ou resultante do próprio processo produtivo (como uma incrustação ou depósito nas paredes do aço). Os austeníticos possuem melhor resistência que os ferríticos às corrosões por pites e em frestas.

A corrosão sob tensão envolve normalmente três fatores: meio agressivo (por exemplo, cloretos), temperatura e tensões, sejam estas aplicadas ou residuais do processo de fabricação. Um grande aumento no teor de níquel diminui o risco de corrosão sob tensão. Os aços inoxidáveis ferríticos são imunes a esta forma de corrosão (figura 6).

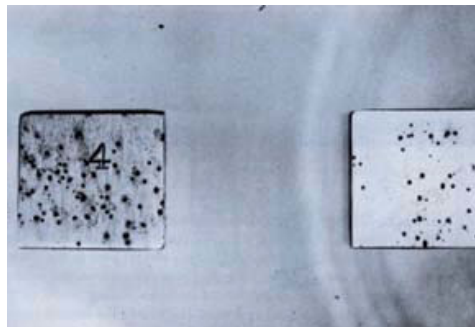


Figura 3

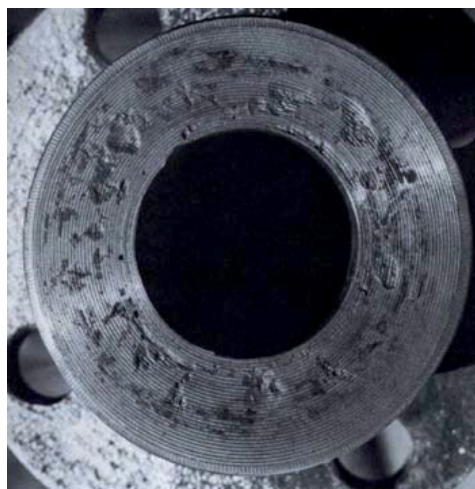


Figura 4



Figura 5

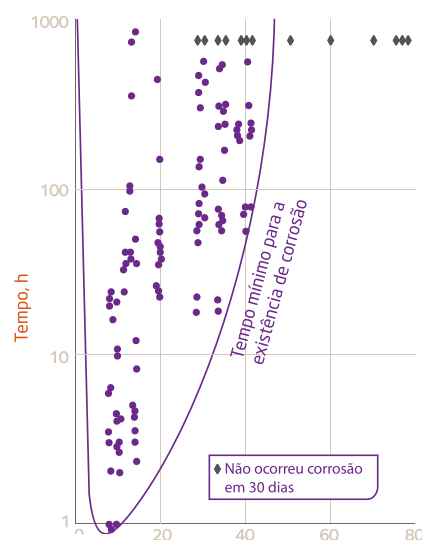


Figura 6

Os acabamentos dos aços inoxidáveis

O acabamento possui grande influência nas características dos aços inoxidáveis. Pode transmitir a ideia de limpeza e de facilidade de assepsia ou despertar um apelo estético.

Além disso, um mesmo aço inoxidável pode se comportar de diferentes maneiras, dependendo de seu acabamento. Entre os aços lixados, o que tem menor rugosidade é mais resistente a corrosão, principalmente a corrosão localizada.

A permanência em ácido nítrico, usado em banhos de decapagem, melhora muito a resistência à corrosão. Quanto mais tempo em solução de ácido nítrico, mais resistente o material se torna.

Em uma operação de lixamento, o filme passivo é removido. Considerando que este filme é formado pela reação entre a liga e a água, ele volta a se formar pela condensação da umidade do ar sobre a superfície metálica.

Mas o filme só é formado se as condições ambientais o permitirem. A água ataca a superfície metálica e dois mecanismos diferentes podem ocorrer: a formação do filme passivo ou a corrosão, dependendo do meio ambiente e dos contaminantes.

Por sua vez, o jateamento, por exercer um efeito de compressão, melhora a resistência à corrosão sob tensão dos aços inoxidáveis austeníticos mas, ao mesmo tempo, ao aumentar a rugosidade da superfície, faz com que a resistência à corrosão por pites diminua.

Os materiais lixados e também alguns acabamentos polidos possuem mais tendência a oxidação que os materiais com acabamento 2B, particularmente em aplicações com temperaturas superiores a 200°C.

O mesmo acabamento pode resultar em aspectos diferentes para cada tipo de aço. A espessura também deve ser levada em conta - materiais mais finos são sempre mais brilhantes.

A norma ASTM A-480 define os acabamentos mais utilizados nos aços inoxidáveis.

No 0: Laminado a quente e recozido.

Apresenta a cor preta dos óxidos produzidos durante o recozimento, pois é um material não decapado. São vendidas desta forma as chapas de grande espessura, particularmente de aços inoxidáveis refratários, que serão utilizados em altas temperaturas.

No 1: Laminado a quente, recozido e decapado.

A superfície é um pouco rugosa e fosca. É um acabamento frequente nos materiais com espessuras geralmente não inferiores a 3,00 mm, destinados a aplicações industriais. Muitas vezes, na fabricação da peça final, o material é submetido a outros acabamentos, como por exemplo o lixado.

2D: Laminado a frio, recozido e decapado.

Muito menos rugoso que o acabamento no 1, mas mesmo assim apresenta uma superfície fosca, mate. Esse acabamento não é adequado ao aço 430, no qual dá lugar ao aparecimento de linhas de Lüder. A rugosidade é de aproximadamente 0,27 microns Ra.

2B: Laminado a frio recozido e decapado seguido de um ligeiro passe de laminação em um laminador com cilindros brilhantes (skin pass).

Apresenta brilho superior ao acabamento 2D e é o mais utilizado na laminação a frio. Como a superfície é mais lisa, o polimento resulta mais fácil que nos acabamentos N° 1 e 2D. A rugosidade é normalmente inferior a 0,17 microns Ra.

No 3: Material lixado em uma direção.

Normalmente o lixamento é feito com abrasivos de grana de cerca de 100 mesh. Quando fornecido em bobina, a rugosidade varia entre 0,41 e 0,80 microns Ra. Em chapas, a rugosidade entre 1,20 e 1,50 microns Ra.

No 4: Material lixado em uma direção

Acabamento menos rugoso que o do N° 3. Quando fornecido em bobina, a rugosidade varia entre 0,15 e 0,40 microns Ra. Em chapas, a rugosidade varia entre 1,00 e 1,20 microns Ra.

No 6: Acabamento no 4 tratado posteriormente com panos embebidos com pastas abrasivas e óleos.

O aspecto é fosco, satinado, com refletividade inferior à do acabamento N° 4. O acabamento não é dado em uma única direção e o aspecto varia um pouco, porque depende do tipo de pano utilizado.

No 7: Acabamento com alto brilho.

A superfície é finalmente polida, mas conserva algumas linhas de polimento. É um material com alto grau de refletividade obtido com polimentos progressivos cada vez mais finos.

Acabamento TR: Obtido diretamente na laminação a frio, de maneira que o material tenha propriedades mecânicas especiais.

Geralmente as propriedades mecânicas são mais elevadas que as dos outros acabamentos e a principal utilização é em aplicações estruturais. Os acabamentos N° 0 e N° 5 não são mencionados na norma ASTM A-480, mas são incluídos aqui.

ST: satin finish

Acabamento com Scotch Brite (sem uso de pastas abrasivas) que resulta em uma rugosidade entre 0,10 e 0,15 microns Ra, mesmo que sua aparência seja fosca.

BB: Buffing Bright.

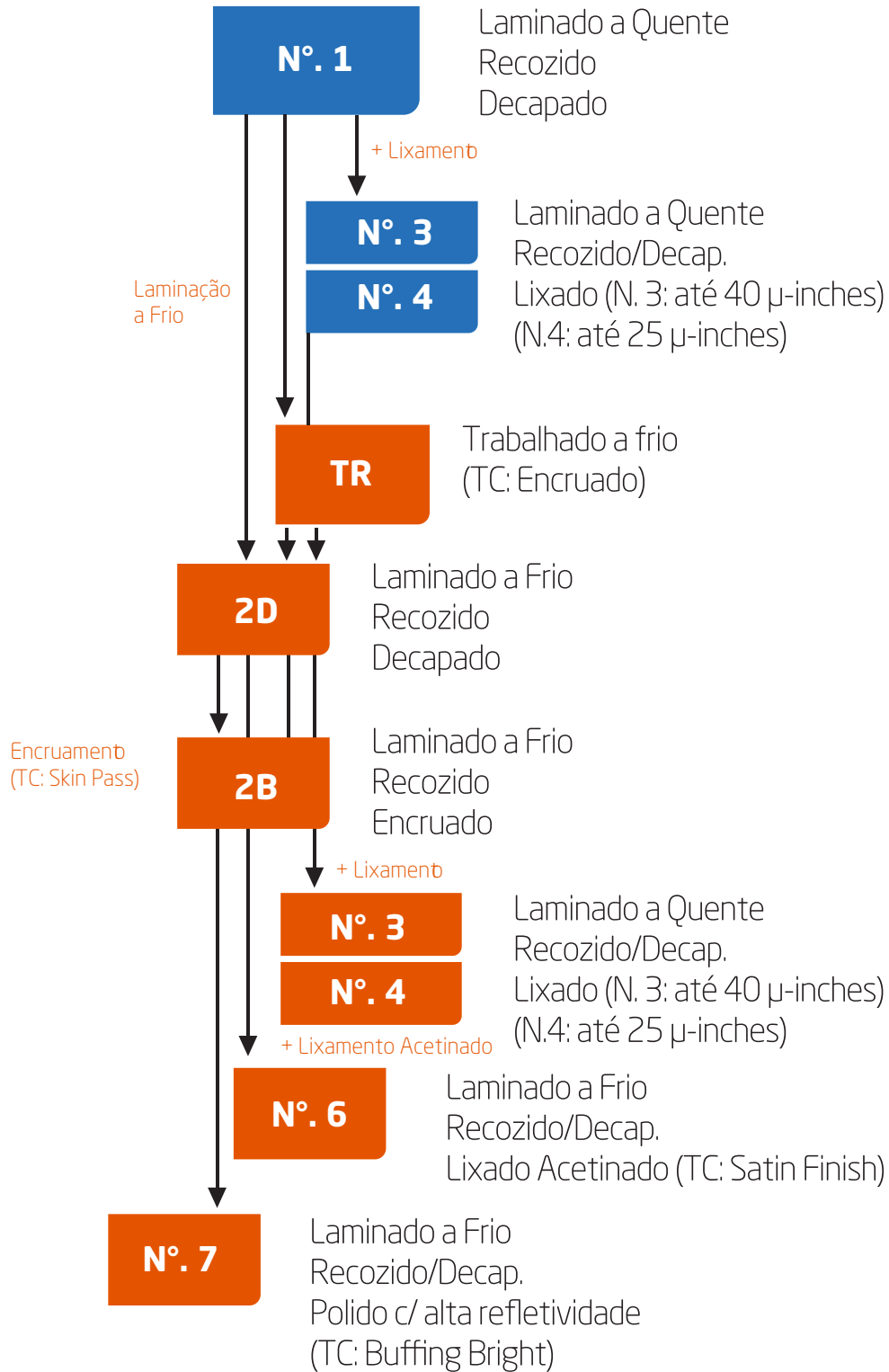
Polimento feito com granas que variam entre 400 e 800 mesh. É um material muito brilhante (o No 7 da classificação dada anteriormente pela Norma ASTM A-480), cuja rugosidade é inferior a 0,05 microns Ra.



Rolos usados para obtenção dos acabamentos ST e BB



Etapa de produção X acabamento





Especificação, projeto e fabricação: Cuidados

As orientações a seguir estão relacionadas com os tipos de corrosão, os diferentes acabamentos, as propriedades mecânicas e as operações a que os aços inoxidáveis são submetidos. Foram selecionadas em nosso dia-a-dia com base nas principais dúvidas surgidas na especificação, projeto ou fabricação de produtos a partir dos aços inoxidáveis.

Saiba mais 

Os aços inoxidáveis e os meios ácidos

Nos meios ácidos, existe uma diferença fundamental no comportamento dos aços inoxidáveis.

Os meios ácidos oxidantes ajudam a formar (ou a conservar) o filme passivo. É o caso dos ácidos nítrico e fosfórico, este último com algumas limitações que dependem da concentração e da temperatura (ver figuras 7 e 8).

Os meios ácidos redutores não permitem a formação do filme passivo (ou o destroem). Os aços inoxidáveis nunca podem ser especificados para os ácidos clorídrico e fluorídrico. Em ácido sulfúrico, um ácido bastante redutor, aços inoxidáveis como o 304 e o 316 resistem somente em soluções muito diluídas ou muito concentradas, mas somente em baixas temperaturas (figura 9).

A corrosão dos aços inoxidáveis nos meios ácidos redutores apresenta sempre um caráter generalizado, uniforme. Se o aço inoxidável já possuía um filme passivo, o ataque provoca lacunas de oxigênio no filme, como pode ser notado no esquema da figura 10.

Saiba mais

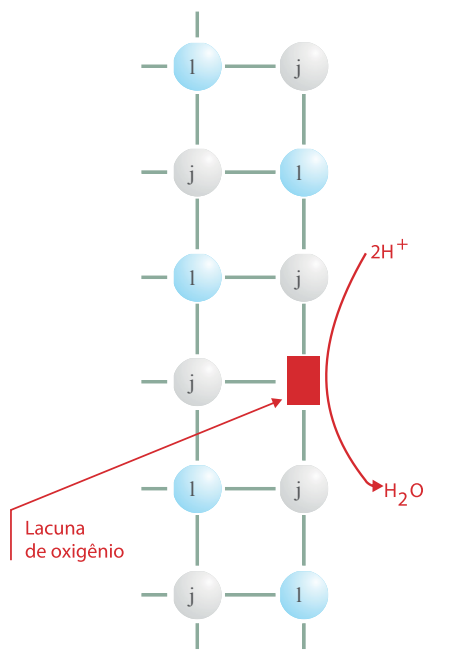
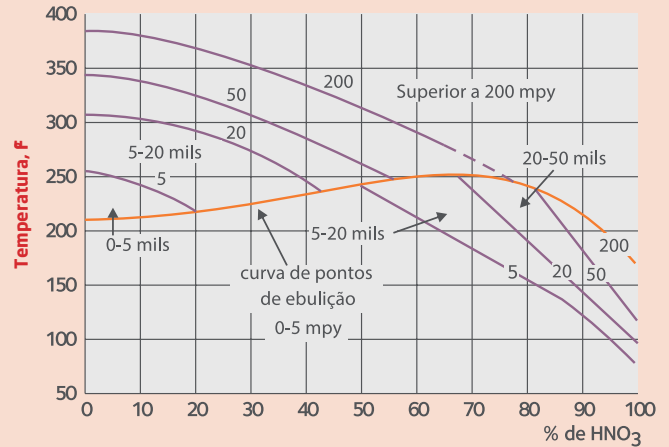


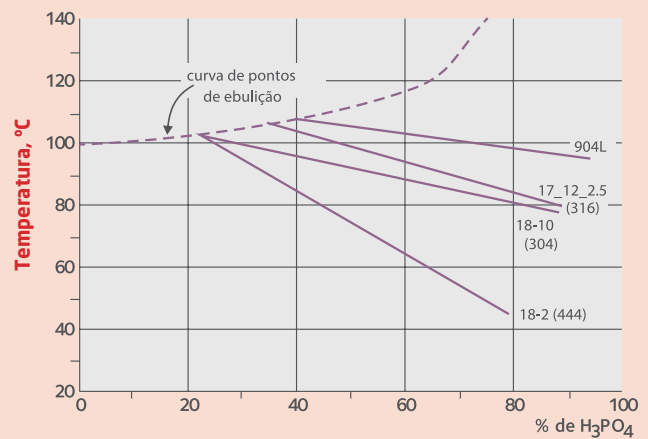
Figura 10



Curvas de isocorrosão para aço 304 em ácido nítrico.

Figura 7

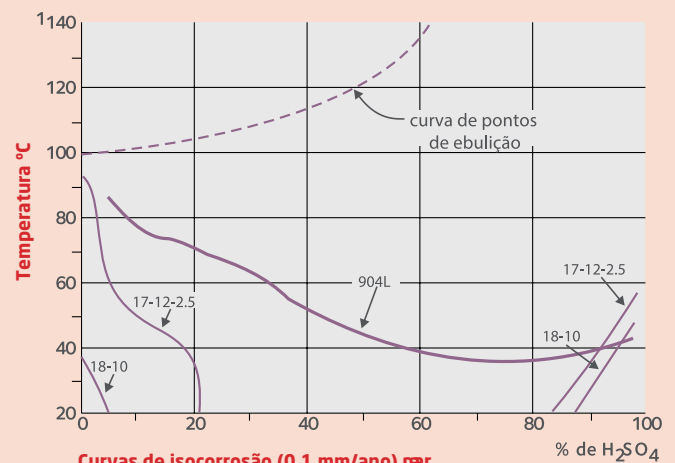
Ácido Fosfórico



Curvas de isocorrosão (0,1 mm/ano) para vários aços inox em ácido fosfórico.

Figura 8

Ácido Sulfúrico



Curvas de isocorrosão (0,1 mm/ano) para vários aços inox austeníticos em ácido sulfúrico.

Figura 9

Os aços inoxidáveis e os meios que contêm cloretos

Em meios que contêm o ânion cloreto, os aços inoxidáveis correm o risco de apresentar formas localizadas de corrosão (como as corrosões por pites e em frestas). O ataque provoca lacunas metálicas no filme passivo, como pode ser visto na figura 11. A velocidade de criação de lacunas aumenta com a concentração de cloretos no meio. O metal base migra, ocupando essas lacunas, eliminando-as. A concentração de lacunas metálicas depende das velocidades de criação e de eliminação dessas lacunas. Se predominar a velocidade de criação de lacunas, o filme passivo perde coesão e acaba sofrendo rupturas localizadas.

	SOLUÇÃO NEUTRA	ÁCIDOS REDUTORES
AUSÊNCIA DE CLORETOS	Não	Possível corrosão uniforme
PRESENÇA DE CLORETOS	Possível corrosão localizada	Perigo!

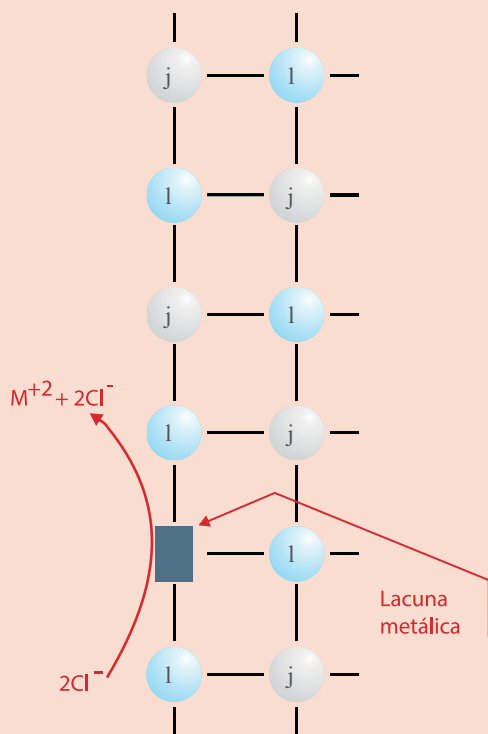


Figura 11

A contaminação nos aços inoxidáveis

O contato físico com os aços carbono provoca a contaminação dos aços inoxidáveis. Isso pode se dar de diversas maneiras:

- no lixamento com lixas não adequadas, como as que contêm abrasivos de óxido de ferro;
- no lixamento com lixas adequadas, mas que foram usadas antes para lixar aços comuns;
- no corte e na conformação de aços inoxidáveis em equipamentos que são também utilizados para trabalhar com aços carbono;
- durante o lixamento de aços inoxidáveis, em ambientes que contêm partículas de ferro sólidas em suspensão. Por serem de aço carbono, essas partículas não resistem à corrosão atmosférica. Quando aderidas à superfície dos aços inoxidáveis, provocam uma situação ainda mais grave: formam um par galvânico. Por isso, tendem a se corroer mais rapidamente. Nesses casos, a superfície de aço inoxidável contaminado apresenta pontos com ferrugem. O aço inoxidável não está sofrendo a corrosão, mas a imagem transmitida é a de uma superfície com corrosão. Como o produto da corrosão do aço carbono contém cátion férrico (Fe^{3+}), um cátion muito oxidante, o problema pode passar para o aço inoxidável, corroendo-o.

Se a contaminação for inevitável, o jeito é tratar o aço inoxidável com um produto que dissolva as partículas de aço comum e que não ataque o aço inoxidável. Em outras palavras: um tratamento com uma solução de ácido nítrico, que elimina a contaminação, além de reforçar o filme passivo.

Para saber se um aço inoxidável está contaminado, basta pulverizá-lo com uma solução que contenha ácido nítrico e ferricianeto de potássio. Se aparecerem pontos de um azul muito intenso, está confirmada a contaminação. Eles são o resultado da formação de ferrocianeto férrico, que se apresenta numa cor azul conhecida como "azul de Prússia".

Os pares galvânicos e os aços inoxidáveis

Entre os metais ou ligas que estão em contato em um determinado eletrólito, existe sempre uma diferença de potencial, que provoca migração de elétrons do mais ativo para o mais nobre. A corrosão ocorre sempre no mais ativo (chamado anodo) dos elementos do par galvânico, ficando o elemento mais nobre (catodo) protegido.

Na figura 12, mostra-se uma série galvânica de diferentes metais e ligas em água do mar. Para evitar problemas de corrosão galvânica, os materiais devem ser escolhidos de maneira que fiquem mais próximos uns dos outros na série galvânica mostrada. Na figura, os materiais que se encontram dentro do mesmo colchete não formam pares galvânicos capazes de provocar corrosão galvânica. Particularmente, aços inoxidáveis diferentes, como os indicados na série galvânica, quando em contato, não provocam problemas de corrosão galvânica. A importância da passividade está também destacada nessa figura (ver as diferentes posições dos aços inoxidáveis nas condições de passivos e ativos na figura 12).

Série Galvânica em água de mar

Nobre ou catódico ↑	Platina
	Ouro
	Grafite
	Titânio
	Prata
	Chlorimet 3 (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo)
	Hastelloy C (62 Ni, 17 Cr, 15 Mo)
	316 (passivo)
	304 (passivo)
	Aços inoxidáveis 1 1-30% Cr (passivo)
Inconel (passivo) (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe)	
Níquel (passivo)	
Solda de prata	
Monel (70 Ni, 30 Cu)	
Cuproníquel (60-90 Cu, 40-10 Ni)	
Bronzes (Cu-Sn)	
Cobre	
Latões (Cu-Zn)	
Chlorimet 2 (66 Ni, 32 Mo, 1 Fe)	
Hastelloy B (60 Ni, 30 Mo, 6 Fe, 1 Mn)	
Inconel (ativo)	
Níquel (ativo)	
Estanho	
Chumbo	
Solda chumbo-estanho	
316 (ativo)	
304(ativo)	
Aços inoxidáveis, 13% Cr (ativo)	
Ferro fundido	
Aço, ferro	
Cádmió	
Alumínio	
Zinco	
Magnésio e ligas de magnésio	
Ativo ou anódico ↓	

Figura 12

As propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis e a resistência à oxidação em altas temperaturas

Tanto os aços carbono como os aços inoxidáveis sofrem uma diminuição nos valores de suas propriedades mecânicas em altas temperaturas. Nos aços comuns, a perda nas propriedades mecânicas é mais significativa que nos aços inoxidáveis austeníticos. Este aspecto nunca pode ser esquecido no momento de escolher o aço que será usado na construção de equipamentos submetidos a altas temperaturas.

Na figura 13, podemos comparar os diferentes comportamentos dos aços inoxidáveis 304 e 430 e do aço carbono, especialmente quando trabalham em temperaturas superiores a 425° C. As vantagens do aço 304 são evidentes.

A partir dessa temperatura, quando está aplicada uma certa carga ou tensão, os materiais sofrem uma deformação plástica gradual e permanente. Quanto mais tempo nessas condições, maior é a deformação conhecida como creep. As figuras 14 e 15 mostram as temperaturas e tensões necessárias para provocar a ruptura de vários aços inoxidáveis em tempos de 10.000 e 100.000 horas. As temperaturas e tensões que provocam creep, com uma taxa de 1% em 10.000 e 100.000 horas, são mostradas nas figuras 16 e 17.

Em altas temperaturas, a resistência à oxidação é, normalmente, o aspecto mais importante na escolha de um material. Os aços inoxidáveis são superiores ao aço carbono em altas temperaturas, considerando tanto a resistência à oxidação como as propriedades mecânicas.

Isso pode ser notado na figura 18, onde o aço 430 e vários inoxidáveis austeníticos são comparados com o aço carbono e com outros aços ligados (mas não inoxidáveis).

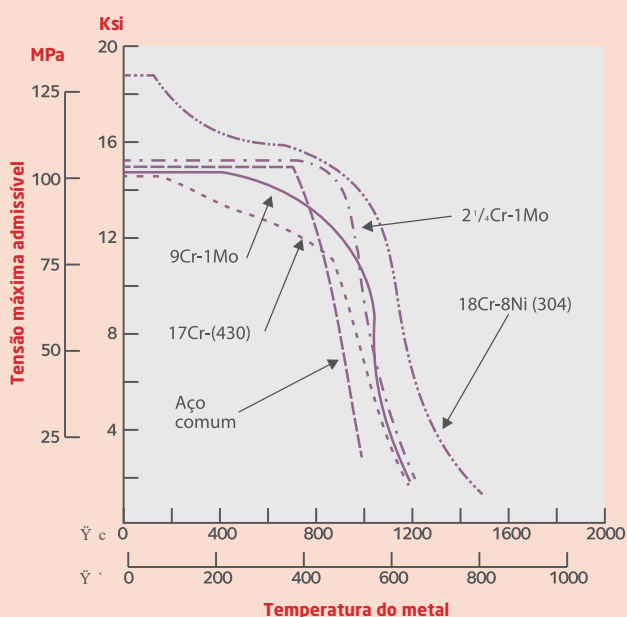


Figura 13

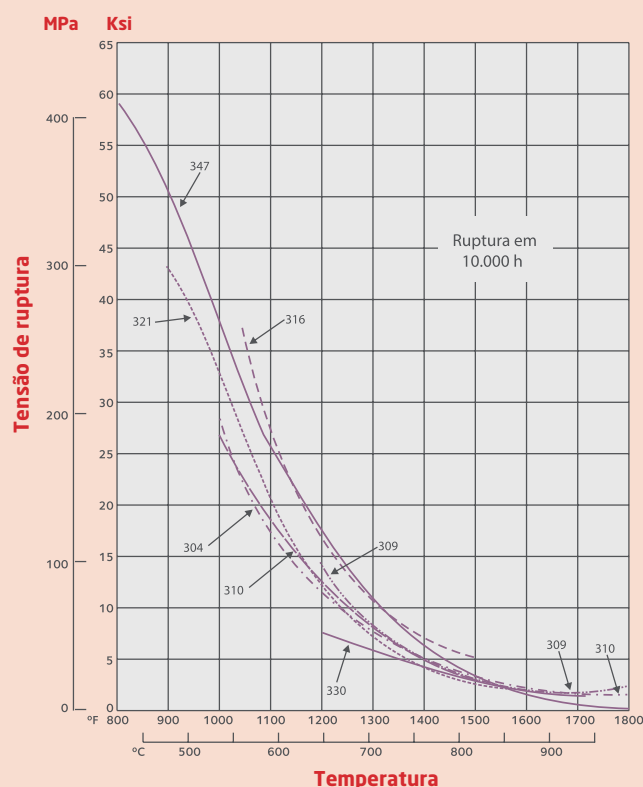


Figura 14

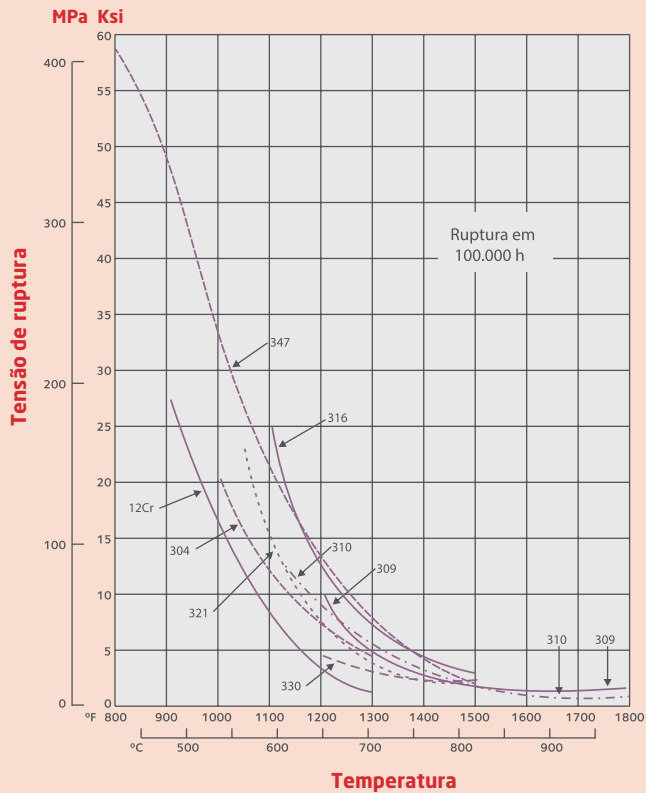


Figura 15

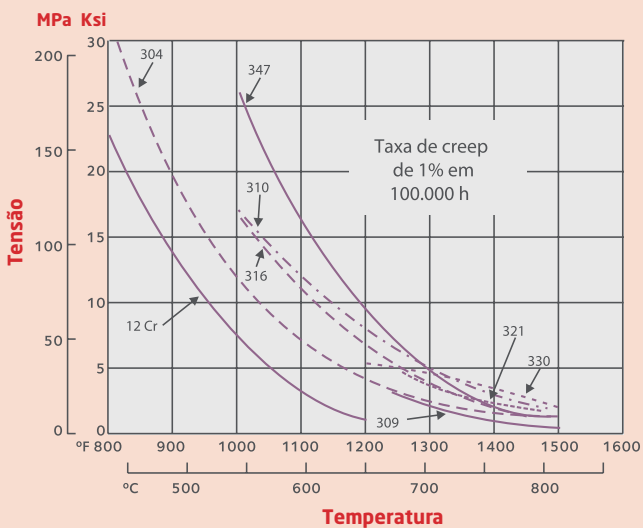


Figura 17

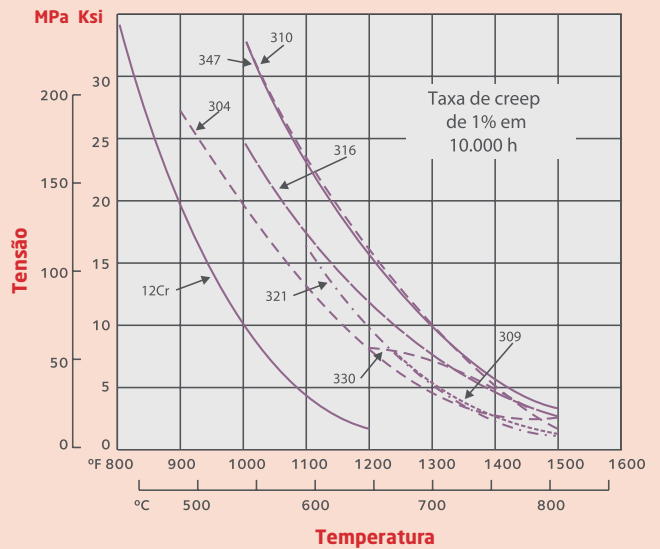


Figura 16

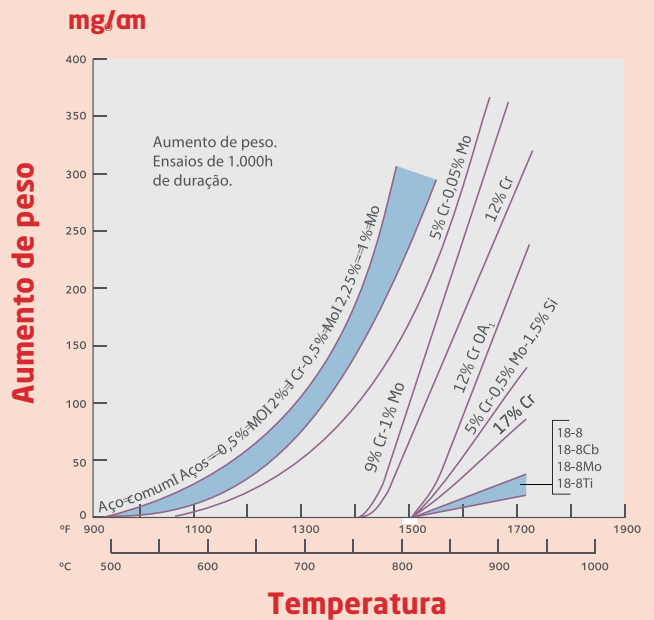


Figura 18

O projeto de equipamentos de aço inoxidável

Os projetos de equipamentos feitos de aço inoxidável devem levar em consideração as temperaturas de trabalho, as composições químicas do meio e a resistência mecânica dos materiais. Mas até mesmo o formato desses equipamentos têm grande importância no comportamento do material frente à corrosão. Condições com pouco movimento de fluidos e com baixas velocidades são, em particular, prejudiciais para os aços inoxidáveis, porque favorecem formas localizadas de corrosão, como a corrosão por pites e por frestas. Neste último caso, as baixas velocidades dos fluidos ou fluidos estagnados provocam com maior facilidade depósitos sobre a superfície dos materiais. Em outras situações, o projeto pode favorecer formas de corrosão associadas a processos de cavitação e erosão.

A figura 19 reúne formas não adequadas (a) e adequadas (b) para fabricação de recipientes que contenham líquidos, soluções ou líquidos com sólidos em suspensão.

A facilidade de drenagem, a forma dos cantos dos recipientes e os espaços mortos são aspectos que merecem atenção. Nos recipientes com a forma indicada por (a), depósitos podem provocar corrosão em frestas.

A figura 20 mostra três recipientes que recebem um líquido corrosivo. Em dois deles (a) e (b), o líquido corre pela parede do tanque ou cai perto da parede, respingando nela. A forma correta é a (c).

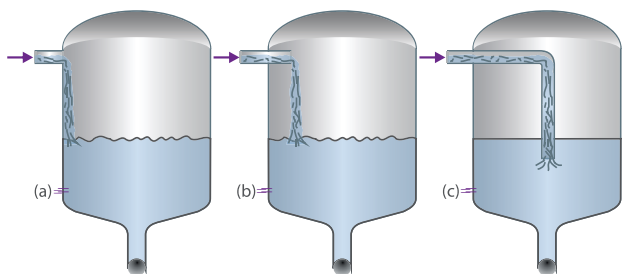


Figura 20

A figura 22 mostradas formas incorretas (a) e corretas (b) de colocar os tubos em um trocador de calor. A forma (a) favorece a formação de depósitos.

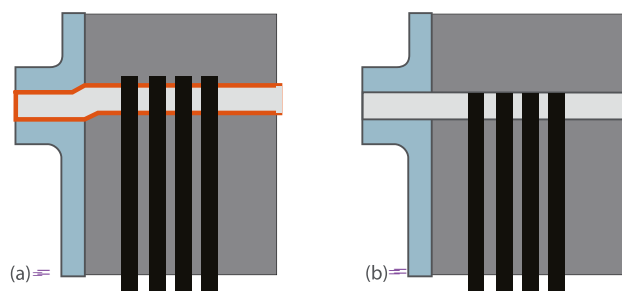


Figura 22

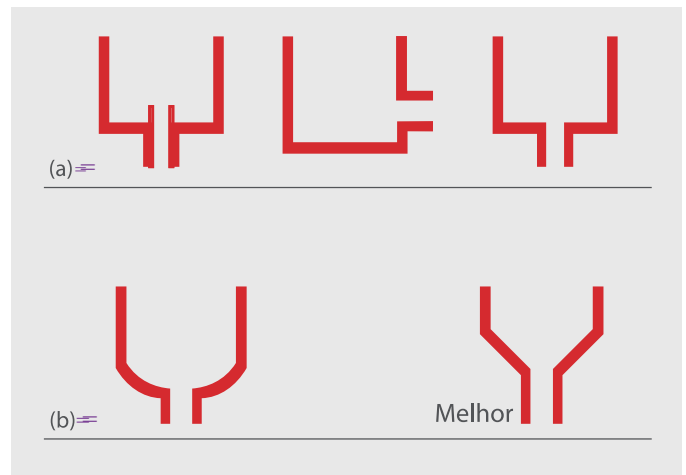


Figura 19

O modo como a solução será aquecida no recipiente também é importante. Na figura 21, a maneira como foram colocados os dispositivos para aquecimento pode produzir ebulição na parte inferior do recipiente (a), o que não ocorre em (b).

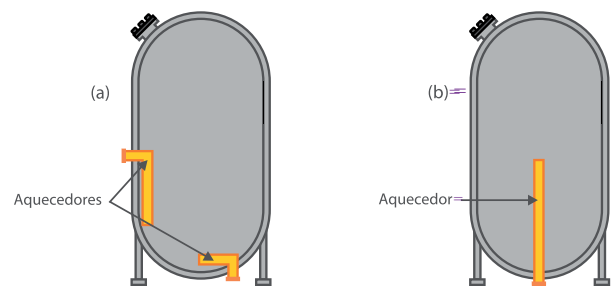


Figura 21

Algumas vezes, são utilizadas juntas dielétricas (como por exemplo teflon e neopreno) para separar dois materiais metálicos diferentes. Na figura 23, o dielétrico mostrado em (a) cria condições que favorecem a corrosão em frestas, situação bem diferente da mostrada em (b), que é a correta.

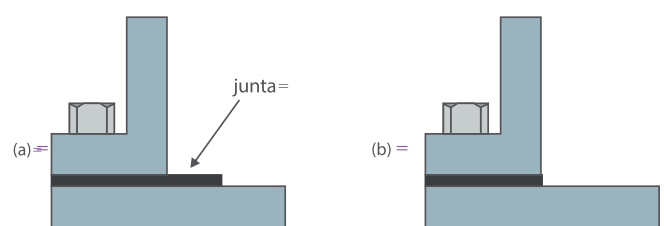


Figura 23

As últimas figuras estão relacionadas com tubos e fluidos em movimento. Na figura 24, em (a), a rápida redução do diâmetro de um tubo ou o ângulo de dobramento provocam turbulência, o que pode ocasionar um maior desgaste do material.

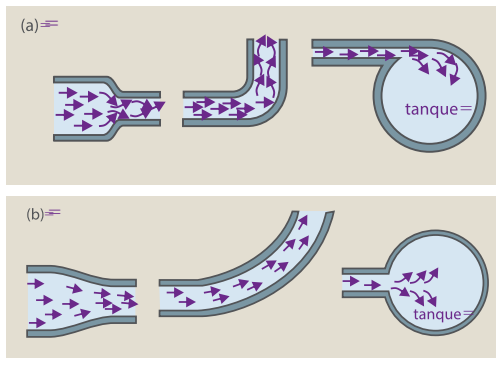


Figura 24

Também em (a), a forma de transportar o fluido por um tubo até um tanque não é adequada, porque ele chega diretamente a uma das paredes, favorecendo a erosão. Nas mesmas situações, em (b) temos as formas mais corretas para evitar os problemas mencionados.

Na figura 25, para evitar turbulência excessiva, (b) é mais adequado que (a).

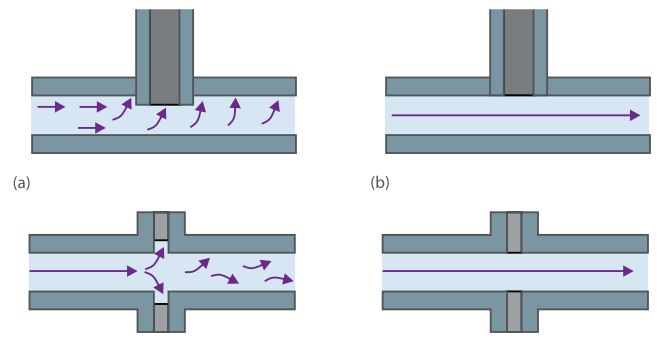


Figura 25

As informações contidas nesta publicação foram obtidas a partir de resultados de laboratório e de referências bibliográficas tradicionais e respeitáveis. O comportamento dos aços inoxidáveis pode sofrer alterações devido a mudanças de temperatura, pH, teores de contaminação e também devido ao estado de conservação de equipamentos utilizados na soldagem e conformação. Por estas razões, as informações desta publicação devem ser utilizadas como uma referência inicial para ensaios ou para uma especificação final por parte do comprador. A Aperam South America não se responsabiliza por perdas ou prejuízos que sejam consequência do uso não adequado das informações apresentadas. Para confirmar sua escolha, recomendamos que entre em contato diretamente com um de nossos especialistas. Dúvidas podem ser esclarecidas com a equipe técnica da Aperam.



aperam