

# Aços inoxidáveis para equipamentos e instalações farmacêuticas - 3ª Parte

Rodolfo Cosentino - Eduardo Bernasconi

**Um problema comum durante a fabricação de equipamentos de aço inoxidável é a contaminação superficial com partículas de ferro.**

**A passivação reforça a formação de Óxido de Cromo superficial tornando o aço, realmente inoxidável e garante a ausência de ferro na camada superficial.**



Rodolfo Oscar Cosentino  
e-mail [rodolfo.cosentino@terra.com.br](mailto:rodolfo.cosentino@terra.com.br)  
Eduardo Rafael Bernasconi  
Site: [www.labotest.com.br](http://www.labotest.com.br)

## CONTAMINAÇÃO SUPERFICIAL DO FERRO [1]

Um problema comum durante a fabricação de equipamentos de aço inoxidável é a contaminação superficial com partículas de ferro (embedded iron).

O ferro se corrói quando exposto ao ar úmido ou quando é molhado, deixando marcas de ferrugem.

Partículas grandes de ferro podem também iniciar ataque por corrosão por frestas (crevice corrosion).

A contaminação superficial com ferro não pode ser tolerada na fabricação de equipamentos destinados a indústria farmacêutica onde seja usado aço inoxidável para prevenir a contaminação do produto.



Contaminação superficial com ferro no interior de um tubo provocada por reparo sem cuidados.



Contaminação superficial com ferro no interior de um tanque de aço inoxidável, provocada por incidência de partículas de ferro durante o esmerilhamento de uma chapa de aço carbono.



Partícula de ferro incrustada vista com microscópio ótico.

## PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO [1]

As seguintes práticas são recomendadas para minimizar a contaminação por ferro durante a fabricação. Primeiro, chapas, tiras e tubos são usualmente comprados numa condição de acabamento superficial conhecida como AISI 2B. As chapas grossas são normalmente recozidas e

decapadas quando fornecidas com acabamento de usina 2B. Se for requerido um acabamento melhor isto deve ser especificado no pedido.

Quando a limpeza for muito importante as chapas deverão ser pedidas com uma proteção de papel adesivo que as protegerá durante o armazenamento e a fabricação.

Os tubos podem ser pedidos com proteção e capas, especialmente se são armazenados fora durante a montagem das instalações.

Segundo, as chapas deverão ser armazenadas em local interno e sobre racks, não horizontalmente sobre o piso. Arrastar e atritar as chapas entre si, e o tráfego de pessoas pisando sobre suas superfícies são freqüentemente a causa principal de contaminação por ferro e a produção de arranhões profundos.

O terceiro cuidado deverá ser durante o manuseio das chapas nas mesas de trabalho, rolos de conformação e bancadas. Estas deverão minimizar a contaminação por ferro.

Por ultimo o projeto dos equipamentos tem um papel importante na contaminação por ferro. Equipamentos e tubulações deverão drenar líquidos livremente. Se forem necessárias partes internas nos equipamentos estas não deverão interferir com a drenagem.

As conexões de fundo deverão permitir a drenagem completa dos equipamentos. O fundo dos

vasos em construção usados como área de trabalho durante a construção acumula sujeira o trafico provoca abrasão da sujeira contra o a superfície. Sugere-se que o fundo dos vasos em construção sejam lavados com água e completamente drenados no fim de cada dia de trabalho para remover a sujeira.

Se o fundo do vaso for muito grande deverá ser instalado um piso falso de madeira para reduzir o atrito da sujeira com a superfície do aço inoxidável.

## ENSAIOS [1] [2]

Os ensaios para verificação de contaminação por ferro nas instalações novas são relativamente fáceis. As superfícies deverão ser lavadas com água limpa, drenadas completamente e depois de um periodo de espera de 24 horas inspecionadas para verificar a existência de ferrugem e arranhões.

O ensaio de água deveria ser a exigência mínima a ser feita na ordem de compra de equipamentos novos.

Para itens a serem usados em plantas farmacêuticas um teste mais sensível – ferroxil test ASTM A 380 for free iron – pode ser solicitado e deve estar explicito na ordem de compra. Este teste pode ser feito facilmente tanto na fabrica como no campo.

## REMOÇÃO DA CONTAMINAÇÃO COM FERRO [1] [2]

A decapagem ácida é o método mais efetivo para remover contaminação por ferro. As superfícies deverão ser limpas de todo óleo, graxa e material orgânico para permitir que toda a superfície seja molhada pela solução decapante.

A solução decapante é uma mistura de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) ácido fluorídrico (HF) a 50 °C.

Esta solução remove todo o ferro e outros contaminantes deixando a superfície limpa e na melhor condição quanto à resistência à corrosão.

O ácido nítrico sozinho removerá somente o ferro superficial e deixará as partículas incrustadas profundamente.

Peças pequenas são usualmente decapadas por imersão. Tubulações e vasos muito grandes para serem decapados por imersão o são mediante circulação da solução decapante através deles.

É recomendável a contratação de uma firma especializada para fazer a decapagem ácida de grandes equipamentos.

Se o teste de ferroxil mostrar somente algumas áreas de contaminação por ferro, é recomendado o uso de pasta decapante a base de  $\text{HNO}_3$ -HF em lugar da decapagem completa.

Um outro método para limpar as superfícies do aço inoxidável é o uso de jateamento com esferas de vidro. As esferas de vidro deverão ser limpas e de tamanho adequado para remover a contaminação sem erodir a superfície exageradamente.

O jateamento com abrasivos ou areia não são recomendados, eles deixam uma superfície muito áspera que faz com que o aço fique com tendência a desenvolver corrosão por frestas.

## CONTAMINAÇÃO ORGÂNICA [1]

A contaminação orgânica aumenta a corrosão por frestas. Os contaminantes mais comuns são graxa, óleo, marcadores, tintas e fitas adesivas.

A remoção destes contaminantes é a melhor solução, mediante o uso de solventes não clorados. É importante que solventes não clorados sejam utilizados, e devem ser analisados para

assegurar que não haverá contaminação por cloretos.

Cloretos residuais em frestas provocam corrosão sob tensão em aços inoxidáveis austeníticos.

## DEFEITOS DE SOLDA [1]

Os aços inoxidáveis austeníticos podem ser afetados por escoria proveniente do revestimento utilizado nos eletrodos, aberturas de arco, pontos de parada de solda, marcas de esmerilhamento e respingos de solda.

Estes fatores têm iniciado corrosão em meios agressivos que normalmente não atacam os aços inoxidáveis.

Aberturas de arco promovem a destruição do filme de óxido protetor do aço e promove fendimentos na própria ZTA e suas vizinhanças.

Os pontos de parada de solda criam defeitos pontuais no metal de solda. Aberturas de arco e pontos de parada de solda são na realidade piores do que contaminação por ferro porque eles ocorrem onde o filme protetor foi enfraquecido pelo calor da solda.

Os pontos de parada de solda podem ser evitados usando chapas apenas no fim dos cordões, começando a soldar imediatamente depois do ponto de parada do cordão anterior, e soldando sobre cada parada intermediária. Aberturas de arco são mais difíceis de eliminar. Inicialmente o arco pode ser aberto numa chapa apenas. Pode também ser aberto no metal depositado se o tipo de eletrodo o tolerar. Se não o tolerar o arco devera ser aberto ao longo da ZTA adjacente.

Os respingos de solda criam pequenas soldas nas quais o metal fundido toca e adere à superfície. O filme de oxido protetor é penetrado e pequenas fendas ou perfurações são formadas onde o filme foi enfraquecido.

A formação de uma área escurecida pelo calor também enfraquece o filme de óxido protetor. Este enfraquecimento é maior para alguns graus de aquecimento que para outros, o que é indicado pela extensão da mudança da cor. A necessidade de remover o escurecimento promovido pelo aquecimento é tanto maior quanto mais agressivo for o ambiente.

A decapagem ácida por imersão em solução standard de  $\text{HNO}_3$ -HF é o método mais simples e preferido para remover o escurecimento promovido pelo aquecimento.

Também pode ser usado o jateamento com esferas de vidro que deixa a superfície menos rugosa que a decapagem ácida. Pequenas inclusões de escoria provenientes do revestimento dos eletrodos são resistentes à limpeza e tendem acumular-se em pequenas mordeduras e outras irregularidades. Para remover escoria de aço inoxidável serie 300 deverão ser usadas escovas de aço inoxidável do mesmo tipo.

Para serviços críticos o uso de escovas deverá ser seguido de decapagem ácida localizada ou jateamento com esferas de vidro.

Esmerilhamento é freqüentemente utilizado para remover escoria, aberturas de arco, respingos de solda e outras imperfeições. As rodas de esmeril e fitas de lixa podem superaquecer as superfícies e reduzir a resistência à corrosão; conseqüentemente seu uso deve ser limitado.

Os discos abrasivos e rodas de lixa são menos agressivos que os esmeris para as superfícies.

Os discos devem ser mantidos limpos e ser substituídos com freqüência.

Estes procedimentos são boas praticas de fabricação comercial e deverão ser especificadas nos estágios iniciais da contratação para evitar custos com re-trabalho e performance de serviço deficiente.

## **CORROSÃO SOB ISOLAMENTO TÉRMICO [1]**

Problemas sérios de corrosão sob o isolamento térmico ocorrem com freqüência em equipamentos para industria farmacêutica quando o isolamento molha ou simplesmente umedece.

O isolamento usualmente cobre o metal corroído e o dano pode avançar sem ser detectado até ocorrer o vazamento da tubulação ou equipamento.

A corrosão sob depósitos tem resultado em custos elevados de manutenção com perda de tempo e produção, e tem requerido freqüentemente a substituição completa de equipamentos. Adicionalmente a segurança da planta e operadores pode ser posta em perigo.

O material para isolação térmica é fornecido seco. Quando instalado no equipamento se permanecer seco não causará nenhum problema. Conseqüentemente as soluções possíveis são manter o isolamento térmico, seco ou o metal protegido.

Infelizmente a aplicação destas soluções não é simples. O material para isolamento térmico pode umedecer durante seu armazenamento ou durante sua instalação em campo. As proteções ou barreiras contra umidade nem sempre são efetivas ou bem instaladas e deixam entrar água. As barreiras ou camadas protetoras para evitar este problema, se danificam com o tempo e não são mantidas adequadamente com freqüência.

O problema é complicado pelo fato do grau de corrosão ser dependente do material utilizado para isolamento assim como dos contaminantes atmosféricos e da umidade que entra das fontes externas.

A água extraída de isolações térmicas a base de silicato de cálcio, fibra de vidro, vidro celular, e fibra cerâmica são

geralmente alcalinas, com pH entre 7 e 11. As de vidro celular são livres de cloretos solúveis, enquanto as de silicato de cálcio, fibra de vidro e algumas de fibra cerâmica contem cloretos.

Lãs minerais são neutras quando umedecidas, usualmente com pH entre 6 e 7 com baixo conteúdo de cloretos (2 a 3 ppm).

A água extraída de espumas orgânicas pode ser quase acida com pH entre 2 e 3. Adicionalmente quando halogenadas para retardar sua ignição a água extraída apresenta elevado teor de halogênios livres.

O íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), proveniente do material do isolamento térmico ou de contaminantes transportados por ar ou água atacar a passivação localizadamente iniciando a corrosão por perfurações (pitting).

O mecanismo de corrosão mais significativo que ocorre no aço inoxidável austenítico sob isolamento térmico é corrosão sob tensão. Este mecanismo ocorre devido a que o teor de cloretos se concentra na medida que o isolamento umedece e seca alternativamente. Alcançando um teor elevado o suficiente para iniciar o dano os outros fatores que precisam estar presentes são a temperatura (entre 50 e 230 °C) e tensões estáticas de tração. A corrosão sob tensão no aço inoxidável austenítico se manifesta na forma de trincas transgranulares ramificadas.

## **MECANISMOS DE CORROSÃO**

### **Corrosão uniforme [3]**

A corrosão uniforme se caracteriza pela corrosão de toda a área exposta ao meio corrosivo. Conseqüentemente a taxa de corrosão uniforme pode ser expressa como perda de massa por unidade de

superfície por unidade de tempo (usualmente  $g/m^2h$ ) ou média de perda de espessura por unidade de tempo ( $mm/ano$ ). Corrosão uniforme em aço inoxidável ocorre quase exclusivamente em ambientes fortemente ácidos ou alcalinos. Os aços inoxidáveis austeníticos têm boa resistência a ácidos oxidantes como o ácido nítrico; em certos ácidos não oxidantes (principalmente ácido clorídrico e fluorídrico) sua utilização é limitada a baixas concentrações e temperaturas. Isto significa que a resistência à corrosão do aço inoxidável austenítico em ácidos fortes pode ser drasticamente afetada pela adição de impurezas de natureza redutora. Compostos redutores como dióxido de enxofre ou sulfeto de hidrogênio interferem com a manutenção da passividade em soluções ácidas, enquanto compostos oxidantes tais como sais de ferro trivalente e cobre bivalente, ácido nítrico e oxigênio dissolvido são passivantes.

### Corrosão Intergranular [3]

Os contornos de grão são regiões de mais alta energia e, por isto, sítios Preferenciais de precipitação de segundas fases. Quando aços austeníticos (como 304 ou 316) são aquecidos na faixa de  $425-815\text{ }^\circ\text{C}$  ou resfriados lentamente nesta faixa de temperatura, pode ocorrer precipitação de carbonetos de cromo nos contornos de grãos. O principal carboneto precipitado é o  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  e, portanto, cada átomo de carbono retira de solução na matriz austenítica, aproximadamente 4 átomos de cromo. Como resultado, a região da austenita ao redor dos precipitados fica empobrecida em cromo e, portanto, suscetível à corrosão. Este fenômeno se chama sensibilização. A sensibilização pode ocorrer no resfriamento lento após

solubilização (ou forjamento), alívio de tensões na faixa de precipitação de carbonetos de cromo ou na soldagem.

Quando a sensibilização ocorre durante a soldagem, permite, posteriormente, corrosão localizada na ZTA, na faixa que permaneceu por mais longo tempo na temperatura de sensibilização.

Os seguintes métodos podem ser aplicados para prevenir a presença de carbonetos de cromo nos contornos de grãos: Peças que não serão tratadas termicamente ou soldadas podem ser compradas na condição "solubilizada", isto é, submetidas a um aquecimento a temperaturas na faixa de  $1040-1150\text{ }^\circ\text{C}$ , para dissolver os carbonetos, seguindo de um resfriamento rápido para evitar a reprecipitação. Ensaaios de laboratório para comprovar o estado "solubilizado" são usuais, segundo ASTM A262 ou DIN 50914.

Seleção de aços de extra-baixo teor de carbono ( $\text{C} \leq 0.03\%$ ), como 304L, 316L, etc. A redução do teor de carbono normalmente é suficiente para prevenir a sensibilização. Estes aços são produzidos com facilidade através dos processos a vácuo e tem custos comparáveis aos aços com teor de carbono normal.

Como o carbono (soluto intersticial) tem uma contribuição importante na resistência destes aços, os aços de extra-baixo carbono tem propriedades mecânicas ainda mais baixas (limite de escoamento  $0.2\% \cong 210\text{ Mpa}$ ) que os materiais normais.

Seleção de aços estabilizados, como 321 (estabilizado ao Ti) ou 347 (estabilizado ao Nb). A proteção neste caso é obtida através da formação preferencial de carbonetos dos elementos estabilizantes que tem maior afinidade pelo carbono do que pelo cromo.

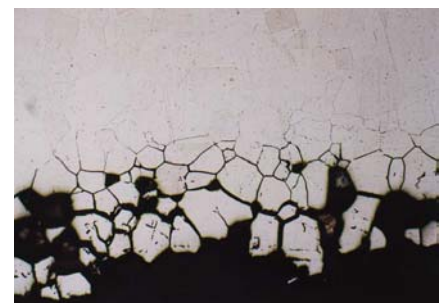
O controle do titânio, entretanto, pode ser difícil durante a soldagem, em função

de sua alta reatividade. Nos aços em que nióbio é usado, seu teor deve ser o mais próximo possível ao nível requerido para fixar o carbono (em peso,  $\text{Nb/C} = 8$ ). Nióbio em excesso pode tornar o aço suscetível a trincas na soldagem, especialmente em peças espessas.

A ocorrência de sensibilização em aços inoxidáveis pode reduzir significativamente sua resistência à corrosão em diversos meios.



Vista da superfície de um aço inoxidável austenítico com corrosão intergranular



Vista de um corte transversal da parede de um tubo de aço inoxidável austenítico afetado por corrosão intergranular

### Corrosão por perfurações (pittings) [3]

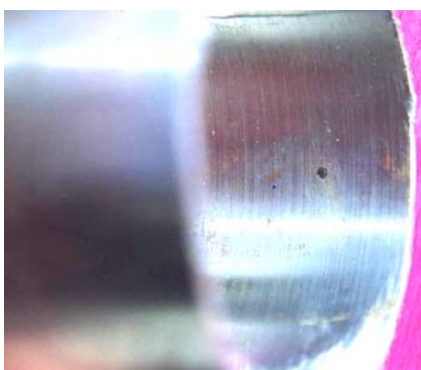
É um tipo de corrosão que consiste no ataque localizado que produz perfurações no aço inoxidável sujeito à ação de substâncias contendo cloretos. Mesmo teores muito baixos de cloretos podem provocar perfurações. A corrosão localizada ocorre porque os íons cloreto penetram na camada passivada em pontos fracos. Estes pontos se comportam como anodo e a área em volta (não penetrada) como catodo.

Desde que a área anódica é muito pequena em relação à catódica, a densidade de corrente e como consequência à taxa de corrosão se torna muito altas e provocam vazamentos rapidamente.

A ocorrência de ataques localizados requer que as soluções contenham agentes oxidantes em adição aos cloretos. Estes agentes podem ser o oxigênio do ar, ou íons metálicos como cobre e ferro. Quanto mais fortemente oxidante for a solução maior é o risco de pittings.



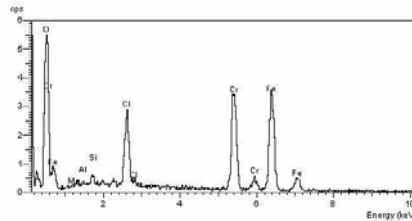
Perfurações na periferia interna de um tubo, numa região escurecida devido a aquecimento provocado por solda do lado externo feita para conter o vazamento



Perfuração isolada do lado interno de um tubo de aço inoxidável austenítico



Perfurações vistas com microscópio eletrônico de varredura



Espectro de composição química de resíduos de corrosão no interior dos pittings ao lado mostrando a presença de cloretos

### Corrosão por fendas (Crevice corrosion).[3]

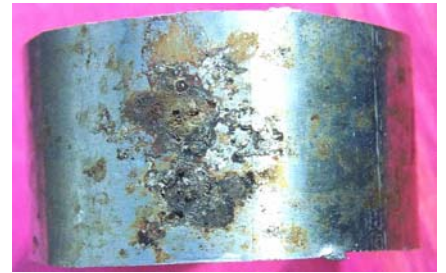
Este tipo de corrosão tem a mesma natureza que a corrosão por perfurações. A diferença reside no mecanismo de nucleação da perfuração que ocorre sob um depósito ou entre as superfícies de contato entre um material ou substância orgânica e o aço inoxidável. (ex. falta de penetração em soldas, em juntas flangeadas, e sob depósitos sobre a superfície do aço inoxidável).

Em princípio pitting e crevice corrosion são o mesmo fenômeno, mas o ataque começa mais facilmente sob depósitos (em fendas ou crevices) que em superfícies livres.

O risco de ocorrer tanto a corrosão por fendas quanto por pittings é maior em soluções estagnadas e decresce quando a vazão aumenta. Com velocidade acima de 1,5 m/s o risco de ataques localizados é muito pequeno.

A acidez (pH) da solução também afeta a suscetibilidade à corrosão. Um pH elevado reduz o risco de ataque

localizado. Com pH acima de 12 o risco de ataque localizado é desprezível.



Corrosão por fenda ou contato na periferia externa de uma tubulação de aço inoxidável austenítico provocada por contato com matéria orgânica aderida à superfície.



Corte transversal de uma pequena região da corrosão ao lado mostrando como propagou a perfuração afetando mais da metade da espessura da parede.



Corrosão por fenda em defeito de solda (falta de fusão) na costura de um tubo de aço inoxidável austenítico.



Perfuração associada à matéria orgânica (marrão) aderida à superfície de um tubo de aço inoxidável.

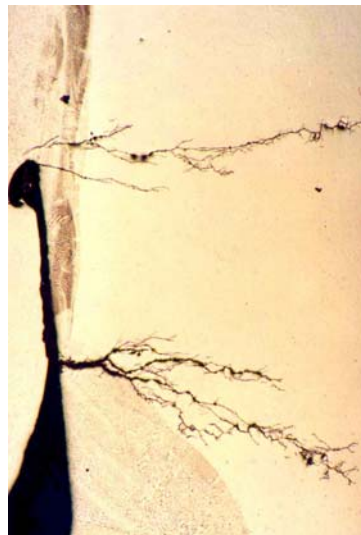
### Corrosão sob tensão (CST).[3]

O princípio deste mecanismo de ataque é o mesmo que dos anteriores com diferença que se manifesta na forma de trincas ao invés de perfurações.

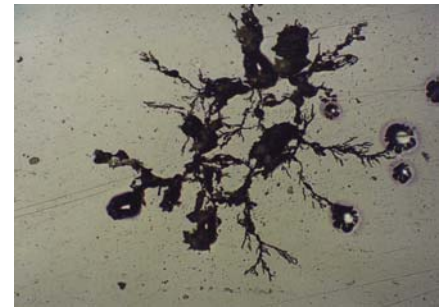
As trincas de corrosão sob tensão requerem para sua formação a presença de tensões de tração no material assim como temperatura elevada e solução líquida contendo cloretos em contato. As tensões são normalmente residuais, provocadas por operações de fabricação tais como solda dobramento, etc. também podem ser causadas por fatores operacionais.



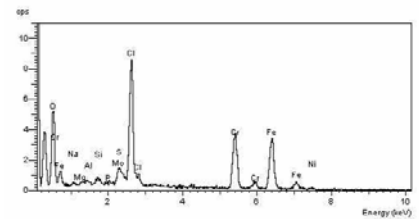
Trinca ramificada típica de CST



Trincas de CST partindo de soldas de fabricação numa região onde há uma fenda que favorece a concentração de cloretos



Vista superficial de trinca típica de corrosão sob tensão partindo de pittings



Espectro de composição química dos resíduos no interior da trinca mostrando a presença de cloretos.

### Comparação da resistência à corrosão localizada. [3]

A tabela abaixo dá uma classificação aproximada da habilidade de alguns aços inoxidáveis em resistir os três tipos de corrosão localizada, apresentados acima, em ambiente contendo cloretos.

Aço	Resistência a pittings e crevice corrosion		Resistência a CST
	Iniciação	Propagação	
17Cr	1	1	10
18Cr-2Mo	6	5	10
25-5-1,5Mo	7	6	9
18-9	2	4	1
17-12-2,5Mo	6	7	3
20-25-4,5Mo-1,5Cu	10	10	8

Pontuação: 1 = pior, 10 = melhor.

## PASSIVAÇÃO DE SOLDAS E SISTEMAS

Os aços inoxidáveis utilizados nas instalações farmacêuticas estão compostos principalmente por Ferro, Carbono, Cromo, Níquel e Molibdênio em percentagens definem as características das diferentes qualidades de cada um. O aço inoxidável 316L tem uma concentração de Carbono muito baixa que confere uma característica de estabilidade do material.

Devido à precipitação dos compostos de carbono, há uma perda de propriedades pois a estrutura de metal é modificada em forma de cristalização.

A finalidade da passivação, é devolver a superfície do material as características de resistência a través da formação de óxidos controlados.

### Proteção à corrosão

Toda instalação sanitária precisa estar protegida contra corrosão, tanto nas superfícies externas como internas para não contaminar os ambientes que as rodeiam.

Esta proteção pode ser conferida de muitas formas diferentes, desde uma simples pintura, um recobrimento mecânico com algum outro material protetor como o caso da metalização, galvanização, ou até um tratamento químico mais apropriado como a passivação.

O estado da superfície no que se refere a acabamento, é de vital importância para que a corrosão não se manifeste.

Quanto maior seja o grau de polimento, mais lisa e mais brilhante seja a superfície, menor será a probabilidade de contaminação por aderência de elementos estranhos tais como graxas, resíduos de metais, sujeira em geral, produtos químicos, etc. que provocariam corrosão localizada ou galvânica.

Em muitos casos a corrosão é interrompida espontaneamente

pelos próprios resíduos da corrosão já formada.

Este fenômeno é conhecido como passivação e tem a função de remover da superfície, o Ferro livre, os óxidos indesejáveis e outras contaminações.

Alguns elementos como o Alumínio, Titânio, Cromo ou Níquel, formam uma película de óxido que é altamente aderente e que ainda são impermeáveis a determinados ataques químicos, isolando o material base da atmosfera que o rodeia.

No caso do Ferro e dos Aços comuns, não existe esta película protetora já que os Óxidos de Ferro formados não são aderentes e ainda são extremamente porosos, o que não protege o material base do contato com o meio que o rodeia, progredindo indefinidamente a corrosão até não existir mais material a ser oxidado.

Pode-se dizer também que um aço inoxidável não passivado, poderá sofrer corrosão da mesma maneira que um aço comum de baixa liga.

Para que um material possa ser passivado, é indispensável a presença do meio oxidante, porém, esta superfície passivada pode ser violentamente atacada por outro meio altamente redutor.

### Considerações sobre passividade

Nosso estudo refere-se exclusivamente a passividade de aços inoxidáveis austeníticos utilizados na construção de instalações sanitárias, geralmente da série AISI 300.

O simples contato físico de aços inoxidáveis com aços comuns, pode provocar corrosão.

O teor de Cromo nas ligas de aço inoxidável, é fundamental para a estabilidade da camada passivada.

Quanto maior o teor de Cromo, maior a estabilidade.

O Molibdênio também ajuda a manter a camada passivada em presença de soluções cloradas.

A passividade e a capacidade típica de certos metais ou ligas

metálicas de permanecerem inalterados no meio que os cercam.

Estes meios podem ser:

Oxidantes que tendem a tornar a sua superfície mais passiva.

Redutores que diminuem a sua passividade.

Sendo assim, o Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) é oxidante, o Ácido Sulfúrico ( $\text{SO}_4\text{H}_2$ ) esta no limite e os ácidos Clorídrico (HCl) e Fluorídrico (HF) são redutores, por tanto o aço inoxidável nestes meios não é apropriado.

Como o Cromo é mais reativo que o Ferro, forma uma camada de Óxido de Cromo de no máximo dois centésimos de micron que protege a superfície.

Este Óxido de Cromo somente pode ser removido da superfície por meios mecânicos ou por produtos químicos especificamente redutores como o Cloro.

Quer dizer que o Óxido de Cromo tem pouca capacidade de resistir ao ataque de redutores, por tanto é necessário adicionar Níquel na liga para manter a passividade.

A passivação reforça a formação de Óxido de Cromo superficial tornando o aço, realmente inoxidável e garante a ausência de ferro na camada superficial.

### Aplicação

Em toda instalação deverão ser cuidadosamente aplicados os métodos de limpeza e passivação em pelo menos duas etapas da montagem:

1- Em todas e cada uma das soldas de campo ou oficina, sejam elas feitas por procedimentos manuais ou automáticos e com ou sem material de aporte.

2- Na superfície interna do sistema propriamente dito.

A aplicação de estes métodos dependerá fundamentalmente do fluido que será conduzido a través da instalação, das exigências do Cliente e/ou contrato, e da garantia que o montador ofereça sobre seu trabalho.

Determinados sistemas construídos em aço inoxidável que

formam parte de instalações consideradas sanitárias, não necessariamente deverão ter tratamentos químicos posteriores à solda já que o motivo de serem de este material, deva-se exclusivamente a que serão instalados em áreas limpas e que não devem contaminar ou poluir o ambiente externo, e não por causa do fluido que conduzem que pode ser impuro e não oxidante.

Estes tratamentos químicos podem ser aplicados localmente, ou por imersão das peças em banhos que contenham os agentes passivadores.

## **MÉTODOS DE LIMPEZA E PASSIVAÇÃO DE SOLDAS DE CAMPO**

Este processo consiste em limpeza, decapagem e passivação das soldas nos aços inoxidáveis logo após serem executadas.

A finalidade é restaurar os estados de superfície originais do material soldado tanto externa como internamente.

### **Produtos Utilizados**

Geralmente são utilizados produtos químicos vendidos comercialmente como “Pastas decapantes e passivantes” que propiciam a eliminação dos óxidos formados a quente durante a execução da soldas e das inclusões metálicas superficiais.

A composição básica de este tipo de pastas tem valores máximos aceitáveis de 5% de Ácido Fluorídrico e 30% de Ácido Nítrico e a sua aparência é um líquido espesso de cor esbranquiçado, sendo seu rendimento médio de um litro de produto para decapar aproximadamente 50 metros lineares de cordões de solda.

Antes da sua utilização deverá ser observado na embalagem que o prazo de validade não esteja vencido, pois se bem

continuará a decapar por algum tempo extra, não o fará de forma completa.

Também deverá ser observado o modo de usar recomendado pelo fabricante.

Os solventes clorados ou halogenados, a soda cáustica e a potassa cáustica não são recomendados para esta finalidade.

## **PROCEDIMENTO DE APLICAÇÃO DAS PASTAS**

1- Escovar a superfície a tratar com uma escova de aço inoxidável em quanto ainda estiver quente no caso de soldas com adição de material ou limpar com pano para retirada de graxas ou impurezas no caso de soldas sem adição de material.

2- Aplicar a pasta sobre a superfície a tratar assim que esta atingir uma temperatura suportável no contato com a pele (40 / 50°C), por meio de um pincel ou de uma escova.

3- Deixar agir o produto durante 40 minutos, dependendo da temperatura da peça a tratar a qual não poderá ultrapassar os limites de  $+5^{\circ}\text{C} < T < +50^{\circ}\text{C}$ .

4- Escovar a superfície tratada com uma escova de aço inoxidável previamente molhada com água limpa.

5- Enxaguar cuidadosamente com água limpa.

6- Deixar secar por evaporação natural.

Após tratamento, deverá ser feito um controle visual dos estados de superfície onde o metal deve parecer limpo e de cor uniforme.

Filmes de óxido muito finos resultantes das operações de soldagem que poderão ser verificados também visualmente pela interferência de cores assim como manchas de oxidação, mesmo isoladas, inclusive manchas superficiais de ferrugem, ou resíduos de produtos ou traços de água de lavagem são inaceitáveis.

No final da operação, deverá ser emitido um Laudo discriminando os métodos e produtos utilizados e os resultados do controle.

Este Laudo deverá ser assinado pelo soldador, pelo supervisor e pelo fiscal do Cliente para inclusão no relatório final de fabricação.

Deverá ser emitido um Laudo por peça ou por lote de peças tratadas.

Pelas características do produto utilizado, todas as operações de decapagem/passivação deverão ser efetuadas ao ar livre ou num local muito bem ventilado. O porte de roupas protetoras, luvas, botas de borracha, avental, máscara ou anteparo protetor para o rosto ou óculos de segurança é obrigatório.

## **MÉTODOS DE LIMPEZA E PASSIVAÇÃO INTERNA DE SISTEMAS**

Uma vez concluídos os trabalhos de montagem e testes, deverá ser cuidadosamente lavada e passivada toda a superfície interna da instalação antes de começar a produção.

Este processo inclui:

1- Limpeza com água tratada para arrastar toda e qualquer partícula sólida que tenha ficado dentro do sistema logo depois de concluída a montagem.

Não deve ser utilizada água industrial (ou não tratada), pois contaminará o sistema com os íons nela dissolvidos tais como Cl, Ca, Mg, etc. assim como com contaminação microbiológica.

A água deverá passar por todo o circuito a uma temperatura de 80°C durante no mínimo 15 minutos e depois de concluída esta etapa, deverá ser drenada completamente antes de começar a próxima.

A utilização de água a temperatura ambiente poderá ser considerada



somente nos casos em que seja absolutamente impossível ou extremamente oneroso o aquecimento da mesma.

Neste caso o tempo de circulação da água deverá aumentar para 30 minutos.

- 2- Fluxo com solução de 3% a 10% de Soda Cáustica (Hidróxido de Sódio: NaOH).

Esta solução deverá ser circulada pela instalação durante 30 minutos a temperatura ambiente (máximo 40°C) e logo depois deverá ser drenada tomando todas as precauções relativas ao destino do dreno por se tratar de uma solução agressiva.

- 3- Opcionalmente poderá ser feita uma limpeza intermediária com água tratada a temperatura ambiente para remover a maior parte da solução alcalina da etapa anterior.

O tempo necessário para completar esta etapa é muito variável.

Se fosse a ser removido todo e qualquer vestígio, a água tratada já contaminada deverá ser drenada do sistema e ao mesmo tempo deverá ser reposta na mesma quantidade.

Os pontos de reposição e drenagem deverão ser definidos estrategicamente a fim de obter o maior rendimento da limpeza e ainda, cuidados especiais deverão ser tomados com o destino do dreno já que nos primeiros minutos a água conterà uma concentração de Soda Cáustica importante.

Deverão ser feitas amostras a cada duas horas para analisar o pH da água de lavagem até atingir o mesmo valor de pH da água na alimentação do sistema.

Em quanto isto não ocorrer deverá continuar-se com a lavagem pois ainda existirão traços da Soda Cáustica.

Se fosse apenas a ser rinsado o sistema, bastarão 15

minutos de circulação de água tratada a temperatura ambiente. Esta lavagem, apesar de não ser completa, ajuda a não utilizar parte do Ácido Nítrico da etapa seguinte para neutralizar a Soda Cáustica remanescente no sistema.

- 4- Fluxo com solução de 3% a 10% de Ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>).

Esta solução deverá ser circulada pela instalação durante 30 minutos a temperatura ambiente (máximo 40°C) e logo depois deverá ser drenada tomando todas as precauções relativas ao destino do dreno por se tratar de outra solução agressiva.

- 5- Limpeza final com água tratada a temperatura ambiente para remover qualquer vestígio das soluções utilizadas nas etapas anteriores.

O tempo necessário para completar esta etapa é muito variável.

Durante todo este período, a água tratada já contaminada deverá ser drenada do sistema e ao mesmo tempo deverá ser reposta na mesma quantidade.

Os pontos de reposição e drenagem deverão ser definidos estrategicamente a fim de obter o maior rendimento da limpeza e ainda, cuidados especiais deverão ser tomados com o destino do dreno já que nos primeiros minutos a água conterà uma concentração de Ácido Nítrico importante.

Deverão ser feitas amostras a cada duas horas para analisar o pH da água de lavagem até atingir o mesmo valor de pH da água na alimentação do sistema.

Em quanto isto não ocorrer deverá continuar-se com a lavagem pois ainda existirão traços dos produtos passivantes.

Da mesma forma que nas soldas, no final da operação, deverá ser emitido um Laudo discriminando os métodos,

produtos, tempos utilizados e os resultados do controle de pH.

Este Laudo deverá ser assinado pelo supervisor responsável pela operação e pelo fiscal do Cliente para inclusão no relatório final de montagem e entrega da unidade.

Nas etapas de fluxo de soluções, é onde se eliminam os sais, óxidos e incrustações remanescentes na superfície interna da instalação, o que a torna eletricamente neutra.

Uma vez completadas a limpeza e a passivação, a unidade já está perfeitamente condicionada para o Start-up, qualificação e validação.

### **MÉTODOS DE LIMPEZA E PASSIVAÇÃO DE SOLDAS DE CAMPO E PARTES DE SISTEMAS POR IMERSÃO**

Em algumas circunstâncias, resulta impossível fazer a passivação pelos métodos descritos acima, tornando-se necessário dar alguma alternativa para este processo.

Se bem não é muito prático, principalmente em peças ou partes de sistemas muito grandes, permite manter homogênea a qualidade da instalação em todos seus pontos.

Este método, como seu próprio nome assim o indica, consiste em submergir a peça por inteiro numa solução passivante.

Este processo inclui:

- 1- A superfície a ser tratada deverá ser cuidadosamente lavada para remover quaisquer vestígios de graxas, óleos, ou outras partículas sólidas (como por exemplo escórias).

As graxas e óleos reagem quimicamente com o Ácido Nítrico formando borbulhas de gases que ficam depositados na superfície a ser tratada, impedindo a ação deste e provocando pontos que não serão tratados, e ficarão com uma cor cinza ou preta.

Esta primeira lavagem deverá ser feita utilizando algum solvente e logo após deverá ser completamente enxaguado com água limpa.

Depósitos sólidos mais rebeldes, deverão ser removidos utilizando escovas ou métodos mecânicos (lixamento ou jateamento) onde o elemento abrasivo não contenha ferro.

Pelas características dos produtos a serem utilizados nas próximas etapas, os banhos emanarão gases tóxicos, portanto todas as operações de passivação deverão ser efetuadas ao ar livre ou num local muito bem ventilado.

O porte de roupas protetoras, luvas, botas de borracha, avental, máscara ou anteparo protetor para o rosto ou óculos de segurança é obrigatório.

- 2- Imersão da peça em uma solução de 5% de concentração de Soda Cáustica (Hidróxido de Sódio: NaOH) durante 30 minutos a uma temperatura de 50 °C.

Caso não seja possível obter uma bacia com a temperatura desejada, a solução poderá ser utilizada a temperatura ambiente aumentando o tempo de permanência da peça dentro do banho.

Não é recomendável aumentar muito a concentração para suprir a falta de temperatura.

- 3- Limpeza da peça com água tratada a temperatura ambiente para remover a maior parte da solução alcalina da etapa anterior.

O tempo necessário para completar esta etapa é muito variável, dependendo das características do sistema utilizado: água pressurizada com fluxo contínuo, água sem pressão com fluxo contínuo, enxágüe por imersão, etc.

Cuidados especiais deverão ser tomados com o destino

do dreno já que nos primeiros minutos a água conterà uma concentração de Soda Cáustica importante.

- 4- Imersão da peça em uma solução de até 20% de concentração de Ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>) durante 30 minutos a uma temperatura de 40 °C.

Caso não seja possível obter uma bacia com a temperatura desejada, a solução poderá ser utilizada a temperatura ambiente aumentando o tempo de permanência da peça dentro do banho.

Não é recomendável aumentar muito a concentração de Ácido Nítrico para suprir a falta de temperatura, neste caso poderá ser adicionado 22 gramas por litro de solução, de Dicromato de Sódio (Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-2H<sub>2</sub>O).

- 5- Limpeza da peça com água tratada a temperatura ambiente para remover a totalidade da solução ácida da etapa anterior.

O tempo necessário para completar esta etapa é muito variável, dependendo das características do sistema utilizado: água pressurizada com fluxo contínuo, água sem pressão com fluxo contínuo, enxágüe por imersão, etc.

Cuidados especiais deverão ser tomados com o destino do dreno já que nos primeiros minutos a água conterà uma concentração de Ácido Nítrico importante.

### TESTES DE COMPROVAÇÃO DE UMA PASSIVAÇÃO EFETIVA

Em determinados casos é necessário certificar que a passivação foi bem sucedida.

A avaliação pode ser dada utilizando as técnicas indicadas na norma ASTM Standard Method A 380 que consiste em

umedecer as partes passivadas com uma solução de Sulfato de Cobre (CuSO<sub>4</sub>-5H<sub>2</sub>O) e Ácido Sulfúrico (SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>) e manter esta condição durante 6 minutos.

Caso ainda exista Ferro livre, o Cobre será separado da solução mudando a cor da área umedecida.

### INSPEÇÃO

Todas as Soldas de campo, tanto as manuais como as orbitais, deverão ser inspecionadas através de controle visual.

Os Sistemas deverão ser passivados integralmente, incluindo válvulas, acessórios, equipamentos e reservatórios.

Deverão ser tomados os cuidados necessários de retirar da instalação os instrumentos sensíveis aos produtos passivantes a ser utilizados durante a mesma.

A inspeção deverá ser feita através de controle visual e pontual com a retirada de elemento de sacrificio do sistema definido com antecedência de forma a permitir a inspeção. A quantidade de pontos a serem verificados geralmente fica a critério do Cliente.

### CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO

A passivação poderá ser aceita quando a superfície tratada tenha uma aparência limpa e de cor uniforme.

A passivação não deverá ser aceita quando a superfície tratada tenha as seguintes características:

Filmes de óxidos muito finos resultantes das operações de soldagem, verificados por interferência de cores

Manchas de oxidação, mesmo que isoladas ou manchas superficiais de ferrugem.

Resíduos de produtos ou traços de água de lavagem.

## **DESTINO DOS PRODUTOS UTILIZADOS**

Deverá ser tomado um cuidado muito especial na neutralização e destino dos produtos utilizados na passivação do sistema, de forma tal de atender as normas vigentes de Médio Ambiente.

### **Glossário:**

ZTA: zona termicamente afetada pelo calor da solda.

### **Referências bibliográficas**

[1] Corrosion in the Pharmaceutical Industry – METALS HANDBOOK – Ninth Edition – Volume 13 – Corrosion.

[2] Standard Practice for Cleaning, Decaling, and Passivation of Stainless Steel Parts, Equipment, and Systems – ASTM A 380

[3] Corrosion tables for stainless steel and titanium – Publicação da Jernkontoret 1979.