



## COLETÂNEA DE INFORMAÇÕES TÉCNICAS – AÇO INOXIDÁVEL

### AÇO INOXIDÁVEL: LIMPEZA DA SUPERFÍCIE

Por Arthur H. Tuthill, P.E.

*Este artigo descreve os procedimentos práticos para a limpeza de superfícies de aço inoxidável. Nele, estão destacados os tipos de contaminação e defeitos que podem ocorrer nas superfícies, como preveni-los e como remover defeitos inevitáveis. Este artigo também identifica as várias opções que os usuários têm para obter superfícies originalmente limpas.*

As indústrias farmacêuticas e demais indústrias estão preocupadas com a pureza de seus produtos e com a limpeza dos equipamentos de processo por elas utilizados. O presente autor é frequentemente consultado sobre como “passivar” o aço inoxidável. Invariavelmente, o que o cliente realmente quer saber é como “limpar” uma superfície que tenha sido contaminada. A partir do momento em que o termo “passivação”, um tanto quanto equivocado, tenha sido esclarecido e a natureza da contaminação determinada, o modo como limpar e restaurar a superfície torna-se muito simples.

#### **Limpeza da Superfície:**

O dicionário fornece várias definições de limpeza. No presente artigo, “limpeza” irá referir-se a superfícies de aço inoxidável livres de óleo, graxa, ferro encravado, impurezas e outras matérias estranhas, e com o filme de óxido de cromo intacto.

As usinas produtoras de aço inoxidável realizam um esforço combinado visando fornecer aço inoxidável com uma superfície livre de todas as formas de contaminação. Para chapas e lâminas, o padrão de acabamento superficial “2B” normalmente utilizado nas chapas representa uma superfície “limpa”. O padrão 2B pode ser utilizado como um padrão de referência prático para “limpeza” quando comparado a qualquer outro tipo de acabamento superficial. O equivalente a uma superfície 2B poderia satisfazer a maioria dos requisitos de limpeza das indústrias alimentícias e farmacêuticas se, e somente se, ela pudesse ser utilizada nas áreas de transporte, manuseio, fabricação e instalações em geral; e se o equivalente a uma superfície 2B pudesse ser obtida em placas, barras e peças fundidas.

A Figura 1 lista os defeitos mais comuns que ocorrem nas superfícies de aço inoxidável. A origem e os meios usuais de saná-los também estão indicados. De forma a melhor compreendermos a prevenção e a remoção dos defeitos da superfície, é comum termos uma boa compreensão da natureza da própria superfície em si.

DEFEITO	ORIGEM	SOLUÇÃO
Inclusões de MnS Incrustações	Fabricação na usina	Decapagem
Inclusões de Ferro Graxa Giz Arranhões	Manuseio	<b>Desengraxe</b> e Decapagem
Batidas de Arco de Solda Respingos de Solda Fluxo Zona Termicamente Afetada Marcas de Lixa	Soldagem	Limpeza Pós-Soldagem
Depósitos de Sedimentos	Processo	Limpezas Programadas

**Figura 1. Defeitos comuns das superfícies de aço inoxidável; origens e soluções.**

### **A Natureza da Superfície de Aço Inoxidável:**

Quando o aço inoxidável é removido do banho de decapagem na usina, um fino e aderente filme de óxido forma-se quase que instantaneamente. A laminação a frio, normal para chapas e lâminas, produz o acabamento 2B claro característico do aço inoxidável. O filme de óxido tem a espessura de cerca de 8 a 10 Angstroms, e é composto principalmente de óxido de cromo, e alguns óxidos de ferro e níquel.

Muito tem sido escrito sobre passivação. <sup>1,2,3</sup> Simplificando, o fino filme de óxido de cromo naturalmente formado sobre o aço inoxidável torna-o “passivado” e resistente à corrosão. A decapagem na usina remove a maior parte das inclusões de sulfeto de manganês e outras imperfeições da superfície. Assim que o aço inoxidável é removido do banho de decapagem na usina, forma-se o filme de óxido passivado quase que instantaneamente. De fato, é muito difícil evitar a formação do filme de óxido, apesar da formação de filmes poder ser evitada sob condições especiais controladas em laboratórios. Por todos os aspectos práticos, entretanto, a formação do filme que torna o aço inoxidável, ocorre naturalmente e quase que instantaneamente no ar. A exposição ao ar é o tratamento “passivante” básico.

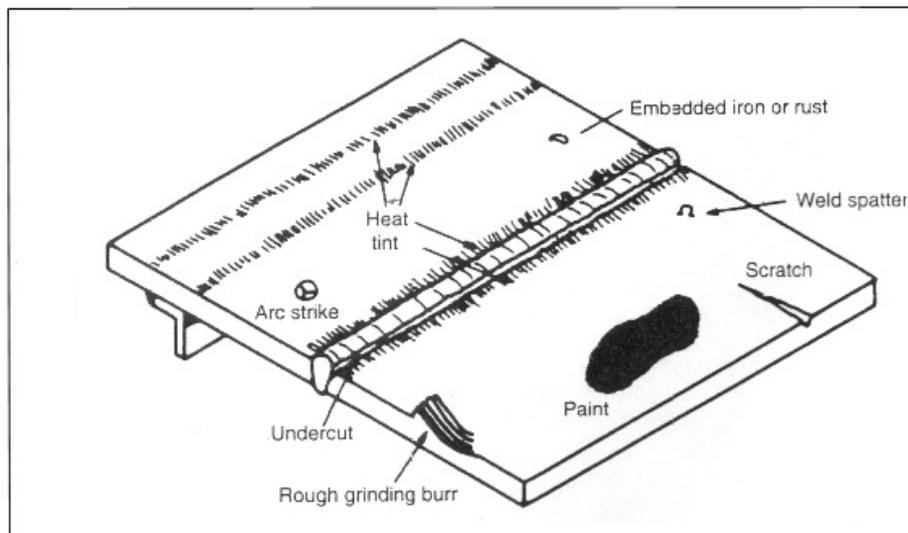
O filme, ainda que fino, é extremamente durável e facilmente mantido no ar ou em outros meios, nos quais esteja presente o oxigênio ou outros agentes oxidantes, tais como água ou ácido nítrico. Quando prejudicado, por exemplo por um arranhão, o filme é auto-regenerado no ar e em outros meios oxidantes. A recuperação, quase ao mesmo nível da formação inicial do filme, é quase que instantânea. A natureza óxida do filme é muito similar para todos os tipos comuns dos aços inoxidáveis austeníticos, inclusive para os tipos contendo molibdênio. Os aços inoxidáveis são naturalmente “passivados”.

Se os aços inoxidáveis são naturalmente passivados e resistentes à corrosão, qual será então o propósito dos tratamentos de passivação? Pela experiência do autor, 99,44% das situações a necessidade real não é tanto pela passivação, e sim a limpeza de impurezas e defeitos da superfície que ocorrem na manipulação, isto é, restauração ou

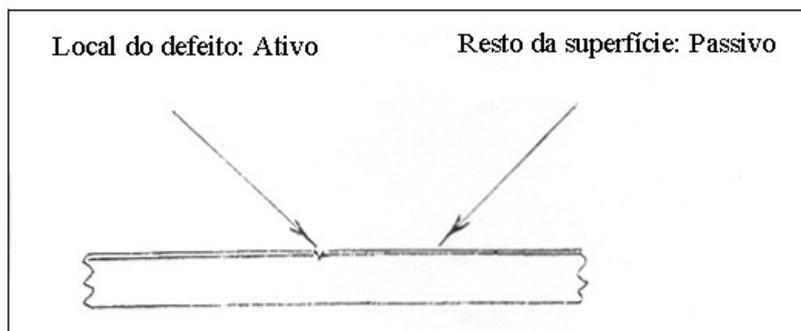
restabelecimento de um estado equivalente do bom e uniforme acabamento 2B que caracteriza a laminação a frio. Os tratamentos de passivação serão discutidos mais tarde neste artigo. Primeiramente, é mais útil entendermos como um acabamento 2B limpo pode tornar-se contaminado ou “sujo”.

### **Defeitos da Superfície que Surgem Durante os Processos de Fabricação com Solda:**

A Figura 2 ilustra, de forma figurativa, os defeitos mais comuns que aparecem durante a fabricação, como listado na Figura 1. A maior parte destes defeitos não são intencionais, mas todavia, causam danos ao filme de óxido. Uma vez que o filme é prejudicado ou enfraquecido, o metal base do aço inoxidável pode ter sua corrosão iniciada, geralmente não sobre toda a superfície, mas apenas nas proximidades do defeito. Quando tal corrosão localizada realmente ocorrer no aço inoxidável, diz-se que ele perdeu sua passividade nas proximidades do defeito onde iniciou-se a formação de “pitting”. O filme de óxido permanece intacto e passivado sobre a maior parte da superfície. Somente nos focos onde um defeito tenha iniciado a corrosão, o filme é ativo, isto é, corrosivo. (Figura 3.).



*Figura 2. Tipos de defeitos superficiais que surgem durante a fabricação.*



*Figura 3. Local do defeito: ativo; Resto da superfície: passivo*

### **Inclusão de Ferro:**

O defeito de superfície mais comum que surge durante a fabricação do aço e a construção de equipamentos de aço é a inclusão de ferro na superfície que pode aparecer. A partir dos fios de aço carbono da escova utilizada na superfície, ao invés do uso correto de escova com fios de aço inoxidável, ou um tubo de aço inoxidável a partir do jateamento de areia, a qual foi reaproveitada do jateamento de vigas de aço carbono utilizado para estruturas. O ferro também é facilmente incluído durante o manuseio e pelo ambiente contaminado com partículas de aço carbono, a menos que o aço inoxidável seja protegido do contato com braçadeiras, conexões ou conformadeiras de aço carbono, e rolos de madeira, borracha ou plástico utilizados na suportação ou na própria proteção do aço inox, mas já que tenham sido utilizados anteriormente com aço carbono. A inclusão de ferro   mais comum em caldeirarias que fabricam vasos tanto de aço carbono, como de aço inoxidável. Nem mesmo a mais minuciosa especifica o do equipamento pode prevenir a inclusão de ferro, apesar de que boas práticas de fabrica o possam minimiz la.

Especifica es corretas podem, e devem, exigir um simples teste com água para a detec o de inclusões de ferro na superfície. O teste com água consiste em manter a superfície do vaso ou tubo em contato com água durante 12 horas para verificar se ocorre a forma o de pontos de corrosão. Qualquer ponto de corrosão que venha a surgir deve ser removido com pasta de decapagem ou aplica o de eletropolimento, conforme será explicado posteriormente, e o teste deve ser repetido para confirma o. Para serviços críticos, os usuários podem especificar o teste de ferroxil, o qual   mais sensível ainda na detec o de contamina o por ferro. A ASTM A380   um excelente guia para reduzir a contamina o por ferro em caldeirarias, e descreve o teste de ferroxil para a detec o de ferro. O teste de ferroxil   mais sensível que o teste com água e normalmente são   especificado onde exige-se a máxima segurança contra a presença de contamina o por ferro.

A soluço do teste de ferroxil deveria ser renovada a cada dia para mantê-la sempre "fresca". A soluço   aplicada com um simples recipiente munido de spray manual (tipo desses de lavanderia ou produto de limpeza). A colora o azul escura indica a presença de inclusão de ferro. O teste   muito sensível. A superfície deve ser limpa novamente até que haja colora o nenhuma, ou somente um azulado muito claro, ao redor das bordas da área molhada com o ferroxil. Uma pequena familiariza o prática com o teste   suficiente para o treinamento do inspetor e para o estabelecimento do crit ria de aceita o-rejei o. A soluço de ferroxil deve ser removida da superfície secando-a com papel absorvente após 10-15 minutos, marcando-se as áreas que precisam de melhor limpeza ou repeti o do teste.

### **Zonas Termicamente Afetadas (ZTA's):**

O processo de solda aquece o metal-base a temperaturas nas quais formam-se filmes de óxidos mais densos (proporcionalmente) nas chamadas Zonas Termicamente Afetadas (ZTA's), a menos que a superfície seja completamente protegida por gás inerte durante os períodos de soldagem e resfriamento. A colora o da ZTA varia desde o marrom claro até

o preto. A coloração da ZTA forma-se não somente em ambos os lados da solda, mas também no interior dos vasos nos quais alças de içamento, encamisamentos ou outros acessórios tenham sido soldados do lado externo. Tais ZTA's geralmente são mais prejudiciais do que aquelas formadas ao longo das regiões de solda, já que, normalmente, não se usa gás de proteção no interior do vaso quando a solda é feita do lado externo do mesmo.

A camada de óxidos formada na ZTA é mais espessa que o filme de óxido de cromo normal. O cromo que é usado na formação da camada de óxidos da ZTA provém do metal imediatamente adjacente à região de solda. A superfície logo abaixo da camada de óxidos é, portanto, deficitária em cromo, reduzindo sua característica resistência à corrosão, Figura 4. O filme de óxidos formado na ZTA, sendo anormalmente espesso e com microfissuras, tende a reter pequenas quantidades de espécies iônicas que são descarregadas mais tarde durante o decorrer do processo produtivo. O filme de óxidos formado deve ser evitado, ou removido, de forma a obter-se uma superfície limpa e uniforme.

A prevenção ou a remoção da camada de óxidos formada na ZTA é essencial para uma máxima limpeza. A remoção após a fabricação deve ser completa, inclusive reparos nas soldas, e tal procedimento deveria ser incluído em especificações para serviços com alimentos, produtos farmacêuticos e afins.

#### **Toques do Arco de Solda, Respingos de Solda e Solda com Eletrodos de Fluxo Protegidos:**

Quando o soldador encosta um arco no metal-base, um pequeno defeito em forma de X é criado na superfície. O arco penetra no filme protetor e forma pontos nos quais pode ocorrer corrosão, a menos que a falha formada pelo contato do arco seja removida. A prevenção é o melhor procedimento. O soldador deveria encostar seu arco no eletrodo, ou no lado da junção oposto à solda, e realizar a soldagem por sobre o ponto do toque do arco.

Respingos de solda são pequenas gotas de metais estranhos quentes provenientes do eletrodo, que aderem-se ao metal-base em ambos os lados da solda. O filme protetor é quebrado em cada ponto de aderência, criando pontos nos quais pode ocorrer corrosão. A prevenção é fácil. As montadoras mais experientes pintam ambos os lados ao redor da área de soldagem com tinta anti-respingos. A pintura anti-respingos é muito efetiva na prevenção da aderência dos respingos de solda à superfície, e é facilmente removida, com pouco ou nenhum dano a esta, após a conclusão da solda.

É difícil remover completamente os pontos de toques do arco de solda e os defeitos por

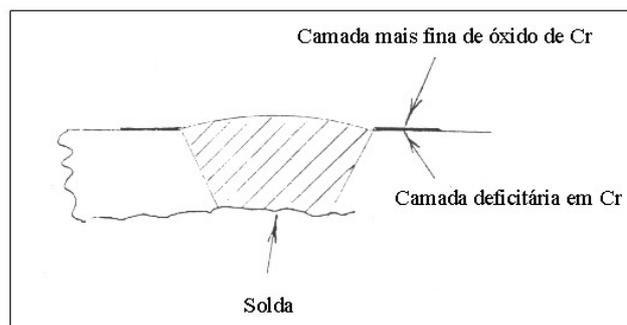


Figura 4. Zona termicamente afetada: camada mais fina de óxido de cromo na ZTA; camada inferior deficitária em cromo.

respingo de solda, uma vez que tais defeitos frequentemente avançam desde a superfície, adentrando pelo substrato do aço. A prevenção é fácil e deveria ser estimulada. A soldagem com eletrodos de varetas (fluxo protegido) foi o único método prático de soldagem até que a proteção com gás inerte fosse desenvolvida e viesse a ter seu uso difundido. O fluxo protegia o metal de soldagem da oxidação, mas era difícil removê-lo completamente da região da solda. Pequenas partículas do fluxo tendiam a resistir à operação de remoção do fluxo e criavam pontos nos quais podia iniciar-se a corrosão por fissura. Eletrodos de fluxo protegido deveriam ser evitados para serviços com produtos alimentícios, farmacêuticos e afins. Eles são mencionados aqui, de forma que os usuários vão familiarizar-se com o problema da remoção do fluxo, e os contratantes deveriam requisitar seu uso em situações especiais.

### **Marcas de Giz, Tinta, Óleo, Graxa e Dedos:**

Materiais orgânicos em contato com a superfície criam pontos onde a corrosão por fissura pode ocorrer. Todo material orgânico deve ser removido da superfície por um desengraxe. Isto deve ser efetuado principalmente para operações de decapagem e eletropolimento. Óleo, graxa, tinta ou outro material orgânico remanescente tende a proteger a superfície da decapagem e do eletropolimento. A ASTM A380 inclui um teste muito simples de “Contato com Água” para detectar a contaminação da superfície por matéria orgânica.<sup>4</sup> Uma lâmina de água escorrendo pelo topo de uma superfície vertical tende a “quebrar” ao redor daquelas áreas nas quais contaminação por matéria orgânica esteja remanescente na superfície.

### **Contaminação por Remoção de Superfície – Limpeza Mecânica:**

Limpeza mecânica é o método de limpeza mais empregado nos canteiros de montagens e caldeirarias. Jateamento, escovamento e lixamento são os principais métodos de limpeza mecânica normalmente utilizados pelos fabricantes de equipamentos. O jateamento com chumbo, grânulos e areia parece fazer mais mal do que bem e deveriam ser proibidos. O jateamento com microesferas de vidro limpas é muito eficiente na remoção da camada de óxido formada na região de solda. O jateamento com cascas de nozes e materiais similares é aceitável. O jateamento feito com microesferas de vidro e cascas de nozes não tornam a superfície rugosa e não realizam trabalho a frio na superfície, ao passo que o jateamento com chumbo, grânulos e areia o fazem. O jateamento pode ser seguido de limpeza adicional.

O escovamento é o método de limpeza mais comum que vem logo atrás dos supracitados. Mesmo quando são utilizadas escovas de aço inoxidável limpas, fica na superfície uma camada marcada de baixa resistência à corrosão. Tais camadas marcadas deixadas pelas escovas de aço inox são fontes potenciais de material corrosivo.

Discos abrasivos limpos e rodas PG's limpas são métodos comumente utilizados para remover camadas de óxido formadas na região de solda e outras contaminações de superfície. Estes métodos de lixamento leve também deixam uma camada marcada na superfície de baixa resistência à corrosão. A Figura 5 identifica os problemas com camadas marcadas por operações de lixamento leves. Camadas superficiais marcadas têm menor resistência à corrosão e são uma fonte potencial de problemas de corrosão em serviços posteriores.

O lixamento com rodas PG's superaquece e deforma a superfície até camadas de profundidade considerável, como ilustra a Figura 6. O lixamento, mesmo feito com rodas PG limpas, deveria limitar-se a remover defeitos previamente ao retrabalho de soldagem; e para remover soldas reforçadas, quando a remoção é absolutamente necessária por razões de processo. O calor provocado pelo lixamento afeta a superfície até uma profundidade que só pode ser restabelecida por posterior eletropolimento.

O lasqueamento, se limitado a áreas que serão recobertas por solda, é geralmente aceitável.

A camada superficial resultante por estas operações de limpeza mecânicas comuns foi intensamente trabalhada a frio e encontra-se num estado muito elevado de tensão superficial. Ela é repleta de microfissuras e frequentemente contém martensita, um

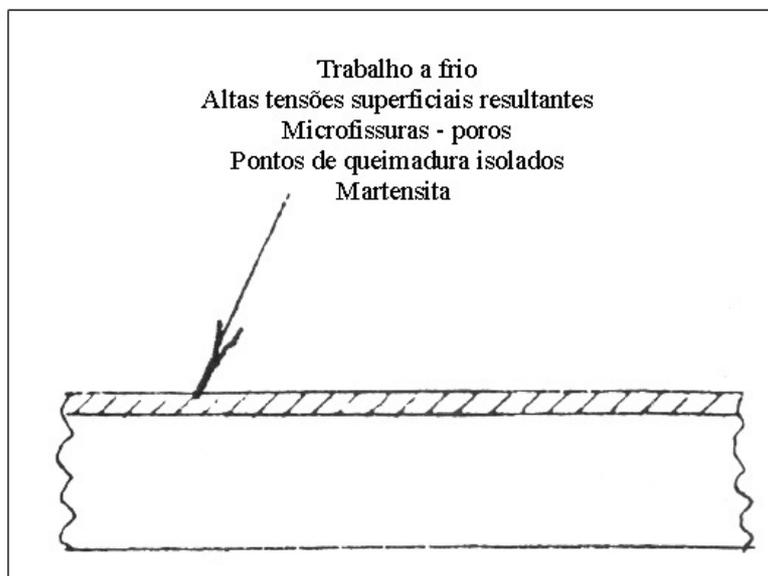


Figura 5. Camada superficial manchada produzida por lixamento leve, usinagem ou jateamento com microesferas de vidro.

produto da transformação da austenita, que apresenta uma consideravelmente menor resistência à corrosão. Apesar de ser tolerável em muitas aplicações, em plantas de

produtos alimentícios, farmacêuticos e outras aplicações que requerem alta pureza, as camadas da superfície marcadas mecanicamente são uma fonte potencial tanto de corrosão, quanto de contaminação cruzada entre produtos que podem ser adsorvidos e liberados por tais camadas.

### Remoção da Contaminação da Superfície: Limpeza Química:

Inclusões de ferro, camadas de óxido formadas nas regiões de solda e camadas marcadas por operações de limpeza mecânica podem ser facilmente removidas tanto por decapagem ou eletropolimento. Decapagem e eletropolimento são processos que corróem, de maneira controlada, a fina camada de óxido de 0,0002-0,0005" (pol) da superfície imediatamente abaixo. Pela corrosão desta fina camada da superfície, as inclusões de ferro; as camadas de óxido formadas nas regiões de solda; a camada deficiente em cromo da camada imediatamente inferior à camada de óxido formada nas regiões de solda; a camada marcada por operações de limpeza mecânica; e quaisquer inclusões de sulfeto de manganês presentes na superfície, são removidas. Ambos os tratamentos são designados para limpar meticulosamente a "sujeira" da superfície, restaurando e tornando o filme de óxido protetor uniforme e livre de defeitos.

Uma solução decapante de ácido nítrico/ácido fluorídrico são descritas na A380. Um banho decapante comum contém 10% de ácido nítrico e 2% de ácido fluorídrico. A adição de ácido fluorídrico é feita de forma que a solução irá corroer, de maneira controlada, uma pequena quantidade da superfície do aço inoxidável. Para equipamentos que não caibam no tanque de decapagem, utiliza-se a pasta de decapagem. A pasta de decapagem é aplicada com um rolo ou pincel ao longo das soldas, de onde deseja-se remover a camada de óxido formada pela solda, ou por toda a superfície do equipamento. A pasta decapante deveria ser lavada com água por 30 minutos, de forma que a corrosão não atacasse a superfície tão profundamente. A manipulação da pasta decapante requer o uso de equipamentos de proteção individual. A superfície torna-se áspera pela decapagem.

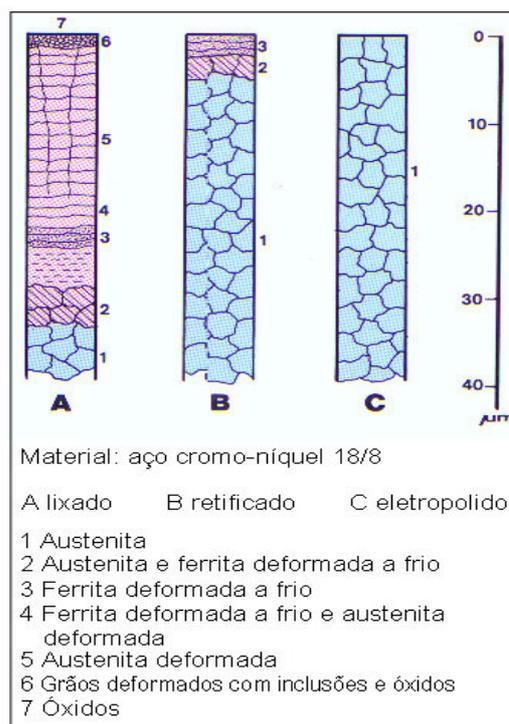


Figura 6.

A eletrolimpeza, ou eletropolimento, que não está descrita na ASTM A380, utiliza corrente elétrica para corroer a superfície. Este processo também é denominado “trabalho mecano-químico” e “banho de revestimento reverso” em alguns segmentos. Para a limpeza do aço inoxidável, este deve ser ligado como o anodo, em um circuito de corrente contínua, utilizando-se um bom eletrólito. A camada da superfície é corroída de forma controlada. O eletropolimento pode ser feito por imersão em um banho do tipo de revestimento de forma reversa, ou localizadamente utilizando-se um dispositivo manual de eletropolimento, o qual é mostrado na Figura 7.

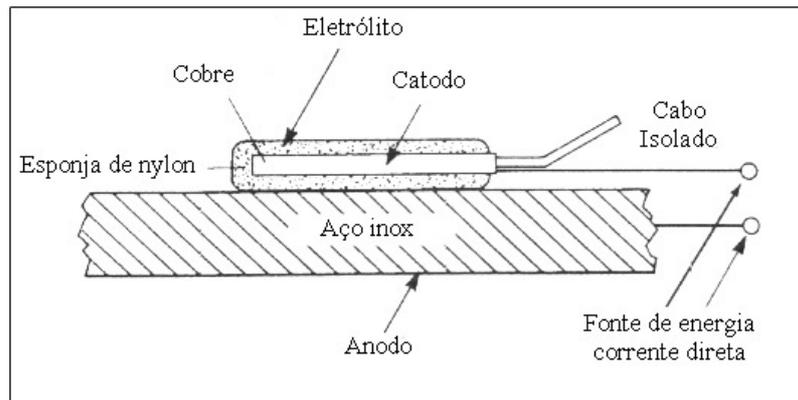


Figura 7. Dispositivo manual de eletropolimento.

Diversamente à decapagem, que torna a superfície áspera, o eletropolimento tende a suavizar a superfície, uma vez que o processo tende a corroer as minúsculas projeções da superfície, ou cristas, mais rapidamente do que os vales. Há limites de quanta “suavidade” pode ser obtida pelo eletropolimento. Uma aproximação prática é que o eletropolimento pode melhorar um acabamento RMS por cerca de 50%, isto é, suavizar um acabamento de 32 RMS para 16, ou um de 8 RMS para 4, mas não pode converter um acabamento de 32 RMS para 8, ou um acabamento de 8 RMS para 2.

Uma vez que a decapagem e o eletropolimento removem metal, ambos os processos irão alterar sensivelmente as dimensões da superfície tratada, as quais deverão ser consideradas em certas partes dos equipamentos onde as tolerâncias dimensionais forem menores. Tais partes deveriam ser decapadas ou eletropolidas antes da usinagem final. A passivação, que é descrita abaixo, não altera as dimensões. A decapagem e o eletropolimento também alteram o acabamento da superfície. Já a passivação tem pouco efeito sobre o acabamento da superfície.

Na aplicação do processo de decapagem, é importante evitar-se o excesso de decapagem por super-exposição ao banho de decapagem, ou deixando a pasta decapante em contato com o equipamento além do tempo adequado. A solução decapante deve ser lavada prontamente tão logo a peça seja removida do banho de decapagem. Já a pasta decapante deve ser lavada no máximo em até 30 minutos da aplicação.

Assim que a solução decapante ou a solução de eletropolimento são lavadas, o filme de óxido que passiva o aço inoxidável se refaz uniforme e instantaneamente sobre a superfície recém limpa. Alguns preferem realizar um tratamento de “passivação” após a decapagem ou eletropolimento. Tal procedimento não causa dano, porém se causa algum benefício ou não é um ponto no qual há grandes diferenças de opinião e muitos poucos dados a respeito.

O descarte de solução decapante usada é um problema crescente que tende a limitar a decapagem por imersão aos fabricantes que possuem os tanques de decapagem, e aos contratantes dos serviços de limpeza química que possuam instalações apropriadas para a dispensa de tais produtos. O eletropolimento, por poder ser feito com ácidos mais suaves, tal como o ácido fosfórico, não apresenta tantos problemas para seu descarte.

### **Passivação:**

A ASTM A380 descreve várias soluções químicas a base de ácido nítrico, e outras quatro soluções que podem ser usadas para a denominada “limpeza passivante” ou “solução de ácido nítrico” ou “outras soluções químicas” para aços inoxidáveis. O ácido nítrico e os outros tratamentos de “passivação” não removem o fino filme de óxido ou qualquer quantidade significativa de contaminantes que possam estar agregados à superfície. Estes tratamentos são destinados a fazer uma limpeza “leve”, remover materiais metálicos e materiais solúveis que estejam sobre ou levemente aderidos à superfície. Estes “tratamentos passivantes” não são destinados a fazer a “limpeza pesada” requerida para remover contaminantes agregados à superfície ou à camada de óxido das regiões de solda, uma vez que eles não removem metal, como fazem a decapagem ou o eletropolimento.

A passivação com ácido nítrico é relatada como sendo muito efetiva no aumento da resistência à corrosão de peças usinadas. A resistência à corrosão de superfícies usinadas que não receberam tal tratamento, especialmente quando o corte é “através do grão cristalino” é aumentada pela passivação com ácido nítrico, de acordo com DeBold.<sup>5</sup>

### **Especificação Detalhada de Equipamento de Aço Inoxidável Limpo:**

Para um equipamento que deve ser fabricado, a degradação da superfície deve ser prevista nos documentos de especificação detalhada. O maior auxílio a esta tarefa está contido na ASTM A380, que descreve várias maneiras das caldeirarias poderem reduzir a contaminação da superfície durante a fabricação. Os documentos detalhados de fabricação deveriam incluir, pelo menos, os seguintes requerimentos:

1. Todas as superfícies que serão molhadas por fluidos de processo deveriam estar livres de óleo, graxa, marcas de dedos, giz, tinta, fitas adesivas e outros materiais orgânicos. Para assegurar que as paredes do vaso estão realmente livres de contaminação orgânica, deve-se especificar o teste de Contato com a Água, descrito na ASTM A380.
2. Todas as superfícies deveriam estar livres de contaminação por ferro. Há dois testes possíveis:

- Para serviços menos críticos, umedecer a superfície com água. Deixar em repouso durante uma noite. Remover quaisquer pontos ou vestígios de corrosão encontrados, repetindo o teste até que nenhum ponto seja mais encontrado.
- Para superfícies críticas, exigir o Teste de Ferroxyll descrito na ASTM A380. Uma coloração azul escura indica a contaminação por ferro. Remover qualquer contaminação indicada pela coloração azul, com pasta decapante ou dispositivo de eletropolimento, repetindo o teste até que não se detecte mais nenhum ponto com tal coloração. O Teste de Ferroxyll é muito sensível, mas uma pequena prática permitirá aos usuários e fabricantes a concordarem entre si em relação ao critério de aceitação-rejeição.

3. Observar o fechamento seguro de todas as aberturas do vaso após a obtenção da limpeza correta do mesmo. O fechamento deve ser mantido até a conclusão da instalação do equipamento.

4. Exigir que as regiões de solda estejam livres da camada de óxido provocado pela soldagem, sem respingos de solda e sem camadas marcadas por escovamento, e outras operações de corrosão leves, isto é, decapagem ou eletropolimento. Não há testes melhores do que a inspeção visual, para aprovação ou não.

5. Fazer a inspeção do equipamento no local de instalação, para observação quanto aos fatores discriminados nos itens 1, 2, 3 e 4 acima.

Falhas na incorporação de, pelo menos, 1 dos 4 itens da especificação detalhada recomendada acima podem ser as fontes de vários equívocos, seja nas especificações de fabricação, ou problemas com a facilidade de limpeza, ou dificuldades em serviços futuros que vierem a ser realizados nos equipamentos.

### **Placas, Tubos, Barras e Peças Fundidas:**

Placas, tubos, barras e peças fundidas apresentam problemas especiais como os já considerados na qualidade das superfícies. Seguem os comentários para cada um deles:

*Placas:* O bom acabamento 2B disponível para chapas não é disponível para placas. Mills define placa como materiais de 3/16" e mais grossos. A ASTM A480 descreve 5 acabamentos disponíveis para placas. Somente o polimento, ou acabamento No. 4, é realmente aplicável para serviços em equipamentos para as indústrias alimentícias e farmacêuticas. Os outros acabamentos para placas descritos na ASTM A480 são normalmente muito grosseiros, e podem conter poros, e outros defeitos, a menos que arranjos especiais possam ser feitos para as lixadeiras a fim de produzir o acabamento de superfície necessário, sem incorrer em custos extras para o polimento.

*Barras:* Inclusões de sulfeto de manganês foram identificadas na Figura 1 como imperfeições de superfície encontradas em produtos usinados. Acredita-se que as inclusões de sulfeto de manganês nas superfícies formam pontos de iniciação de corrosão (pitting). Inclusões em produtos fabricados a partir de chapas e lâminas podem ser removidas da superfície na operação de decapagem, e têm pouca expressão em tais produtos laminados a frio. As inclusões têm maior importância em barras. O enxofre algumas vezes é adicionado para melhora da usinabilidade, especialmente para o cerne da barra, aumentando a quantidade de inclusões. As inclusões são arrastadas na direção

da laminação formando uma estrutura de estrias paralelas, conforme ilustrado na Figura 8. Quando o cerne da barra é cortado, as extremidades das estrias das inclusões tornam-se muito vulneráveis à corrosão, e torna-se difícil o eletropolimento com bom resultado. As faces das seções de corte transversal da barra também formam pontos potenciais para corrosão.

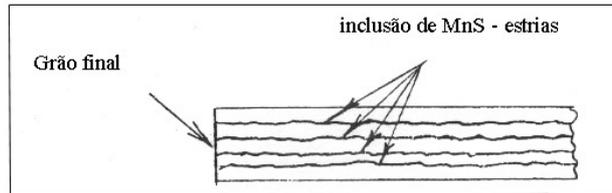


Figura 8. Estrias de inclusões de MnS alongadas na direção da laminação.

A remoção de inclusões do cerne da barra deve ser feita na usina, caso ela tenha que ser feita completamente. A tecnologia de produção de aço inoxidável vem aumentando até um ponto onde a obtenção de cerne de barras com baixo nível de enxofre, ou mesmo livre de inclusões, podem ser alcançada facilmente. A Car-Tech reconheceu a necessidade da mínima presença de inclusões no cerne de barras para facilitar o eletropolimento dos componentes de válvulas automobilísticas fabricadas a partir de barras, e hoje fabrica barras SCQ□ que atendem a tais requisitos de qualidade.<sup>6</sup>

**Tubos:** Fabricantes de tubos com costura geralmente fornecem tubos com solda ID removida, próximas ao acabamento 2B das lâminas ou chapas a partir das quais foram fabricados. Entretanto, se a espessura da parede for 3/16" ou maior, a matéria-prima para fabricação do tubo na usina é chapa, e deve ser polida, a menos que possa ser utilizado algum dispositivo especial para fornecer uma superfície plana e livre de defeitos.

A Divisão de Tubos Especiais da Crucible Steel Corp. fornece tubos de aço inoxidável soldados com diâmetro de 1/2" a 4" com acabamento eletropolido. Outros fabricantes podem fornecer tubos eletropolidos sob encomenda.

Máquinas de solda orbital, as quais fazem soldas circunferenciais, podem ser utilizadas e produzem um bom acabamento, sendo uma das razões primordiais pela qual a solda orbital é preferida, especialmente para tubos de diâmetros muito pequenos.

Tais produtos relativamente novos, barras SCQ□, tubos eletropolidos e solda orbital, são indicativos do reconhecimento pelos fornecedores dos crescentes requerimentos de qualidade das indústrias alimentícias, farmacêuticas e de semi-condutores, e das outras que produzem equipamentos com superfícies limpas e planas, cujos fabricantes estão tendo, cada vez mais, boa vontade em fornecer produtos que vão de encontro a tais requerimentos.

Há outros dois tipos de produtos que estas indústrias deveriam ter ciência, embora ainda não amplamente conhecidos, porém úteis em algumas aplicações:

☞ Aço Inoxidável AISI 316L, com 2,75% de Molibdênio (Mo), está disponível no mercado, e vem sendo especificado de forma crescente por consumidores

preocupados com o aumento da resistência à corrosão. A mesma melhora na tecnologia de fabricação dos aços inoxidáveis, que tem permitido a produção dos aços com baixo teor de enxofre e barras com baixa contagem de inclusões, também tem permitido a produção em larga escala de aço AISI 316L, com teor mínimo de Mo próximo a 2,0%, numa faixa de especificação entre 2,0 e 3,0%. A especificação de um teor mínimo de Mo em 2,75% assegura ao usuário que ele estará obtendo a completa resistência do AISI 316L à corrosão.

☞ Aço Inoxidável AISI 316L ESR em perfis, lâminas e chapas também estão disponíveis no mercado. ESR refere-se a Eletro-Recozimento de Escória (Electro Slag Remelt). Este produto permite ao usuário obter perfis, lâminas e chapas com os mesmos baixos teores de enxofre e pouca presença de inclusões das barras SCQ discutidas acima. Apesar da maior parte das inclusões serem removidas da superfície durante a operação de decapagem, na operação de eletropolimento de alguns casos críticos, há uma vantagem quando se utiliza o material ESR, mais limpo, na fabricação da peça ou equipamento.

*Peças Fundidas:* Ainda que muitas válvulas para tais indústrias sejam feitas a partir de barras, muitas bombas e válvulas ainda são fabricadas por fundição. Cada aço inoxidável induzido tem uma contra-parte de fundição com leve diferença de composição, para assegurar boa fusibilidade, boa soldabilidade e evitar pontos quentes, isto é, microfissuras durante o resfriamento através da faixa de temperatura média. Não há diferença significativa na resistência à corrosão entre os aços inoxidáveis induzido e o fundido. A contra-parte de fundição do aço inoxidável AISI 304 é o CF8; do AISI 304L é o CF3; do AISI 316 é o CF8M, e do AISI 316L é o CF3M. Os números 3 e 8 referem-se ao conteúdo de carbono.

Aços inoxidáveis austeníticos fundidos exibem 12 – 15% de ferrita, a fase magnética, e apresentam grau de magnetismo variável, dependendo da real porcentagem de ferrita. O metal de adição de solda utilizado com aços inoxidáveis austeníticos também deve exibir uma pequena quantidade de ferrita. Nos aços inoxidáveis austeníticos fundidos, bem como no metal de adição da solda, a ferrita deve estar presente para assegurar boa soldabilidade e prevenir microfissuras. A resistência à corrosão entre os aços inoxidáveis induzido e o fundido são comparáveis na maioria das circunstâncias. A resposta magnética dos aços inoxidáveis mede a quantidade de ferrita presente, mas não mede a resistência à corrosão.

A experiência do autor tem mostrado que a corrosão das superfícies dos aços inoxidáveis fundidos CF3M e CF8M pode ocorrer, a menos que seja tomado o cuidado de assegurar que:

- 1) a química da superfície do aço fundido esteja dentro das faixas especificadas;
- 2) o aço fundido seja decapado após a limpeza mecânica;
- 3) o recozimento seja feito no mínimo a 100°F acima dos 1900°F permitidos pela norma ASTM.

Muitas fundições observam tais precauções rotineiramente, mas algumas não o fazem. As altas temperaturas de recozimento são necessárias para homogeneizar o Mo, que é o elemento que mais contribui para a resistência do AISI 316L ao pitting.

### **Limpeza CIP (Cleaning In Place):**

Equipamentos que tenham sido contaminados durante a fabricação e não tenham sido cuidadosamente limpos como mostrado acima, são uma fonte potencial de corrosão e podem gerar problemas de limpeza durante seu serviço. A limpeza da contaminação ocorrida durante a fabricação, se adiada até depois que o equipamento já tenha sido colocado em operação, é raramente tão efetiva quanto a limpeza feita antes do início de seu funcionamento. Tal atraso na limpeza do equipamento requer consideração especial em cada caso.

A limpeza CIP refere-se à remoção de precipitados, depósitos ou outros materiais aderidos à superfície, e não à limpeza inicial realizada após a fabricação do equipamento. A sequência usual é a seguinte:

1. Drenagem e enxágue com água.
2. Lançamento de água a alta pressão.
3. Aspersão de vapor a baixa ou alta pressão.

Estes são benéficos ao aço inox, e não prejudiciais. Entretanto, a injeção direta de vapor pode introduzir partículas de ferro da tubulação de aço carbono pela qual o vapor é conduzido. Estas partículas são uma fonte comum de material corrosivo, a menos que estes sejam filtrados.

4. Limpeza química com solventes e álcalis.

Estes são raramente prejudiciais ao aço inox. Consultar referências à corrosão para certificação.

5. Limpeza química com ácidos.

Proibir o uso de HCl inibido, um favorito quando se trata de limpeza química, e, geralmente, a primeira recomendação dos técnicos na área. Cloretos são capazes de esconderem-se nas fendas da superfície, podendo tornar-se o agente ativo das corrosões intergranulares, corrosões por forças de tensão superficiais e mesmo pitting, quando o equipamento retorna à operação.

Ácido nítrico não corrói aços inoxidáveis. Tratamentos repetidos com ácido nítrico, conforme descrito na ASTM A380, não causam-lhes nenhum tipo de dano. Há aqueles que sentem que repetidos tratamentos de passivação com ácido nítrico são necessários. A experiência do autor indica que, uma vez que o aço inoxidável está limpo, repetidos tratamentos de passivação com ácido nítrico são desnecessários, a menos que sejam efetuados com o propósito de remover depósitos de processo, mas estes causam pouco ou nenhum dano ao aço inox.

### **Água para Injeção (WFI):**

Água com alta pureza normalmente é contida em recipientes de aço inoxidável limpo. Materiais não-metálicos são em alguns casos substituídos por equipamentos construídos

a base de aços inoxidáveis de baixo custo. Materiais não-metálicos adsorvem água em pequenas quantidades. Alguns materiais não-metálicos adsorvem mais água do que outros. A água adsorvida tende a incorporar-se ao fluxo de produto processado. Sistemas onde tal adsorção e incorporação de água podem ser tolerados tendem a utilizar materiais não-metálicos. O aço inoxidável é geralmente preferido para sistemas nos quais deve ser mantido o mais alto grau de limpeza, isto é, a mínima adsorção de água pelo recipiente, e a mínima incorporação desta ao produto.

### **Resumo:**

- 1.O tratamento básico de passivação para aço inoxidável é sua exposição ao ar. O padrão de acabamento 2B de usina nas chapas de aço inoxidável é um acabamento uniforme, limpo e durável, o qual alcança a maior parte dos requerimentos relativos a limpeza, mas somente se ele puder ser preservado durante seu transporte, manuseio, fabricação, construção e serviço.
- 2.Ácido nítrico não corrói aços inoxidáveis. Portanto, tratamentos de passivação com ácido nítrico e outros tratamentos de passivação são designados somente para limpeza leve de depósitos e outras contaminações fracamente aderidas.
- 3.Decapagem e eletrolimpeza/eletropolimento corróem, de forma controlada, e removem a camada mais externa da superfície na qual estão contidos os contaminantes.
- 4.Métodos de limpeza mecânica deixam uma camada superficial marcada, de baixa resistência à corrosão, a qual é uma fonte potencial de corrosão durante o serviço, a menos que a limpeza mecânica seja seguida de decapagem ou eletropolimento.
- 5.A decapagem difere do eletropolimento pelos diferentes níveis de comportamento da rugosidade da superfície obtidos por cada um destes tratamentos de superfície. A decapagem deixa a superfície mais rugosa. O eletropolimento deixa a superfície mais lisa.
- 6.A decapagem e o eletropolimento podem ser feitos por imersão ou localizadamente, através da aplicação de pasta decapante, ou pela utilização de dispositivo manual, respectivamente.
- 7.A camada de óxidos formada por aquecimento nas regiões de solda é uma fonte potencial de corrosão e contaminação cruzada, a menos que seja corretamente removida.
- 8.Documentos de especificação de equipamentos devem ser cuidadosamente elaborados. Os equipamentos devem ser cuidadosamente inspecionados, de forma a eliminar pontos potenciais de corrosão durante o serviço.

9. Atenção especial deve ser dada à especificação das chapas e à parede dos tubos fabricados a partir de tais chapas para assegurar que a superfície é suficientemente lisa para o tipo de serviço desejado.
10. Novos produtos, com melhores acabamentos de superfície, estão tornando-se disponíveis no mercado: tubos eletropolidos, barras com baixa presença de inclusões, e soldas orbitais.
11. Materiais fundidos são projetados com pequenas quantidades de ferrita, a qual é magnética, para assegurar boa fusibilidade, boa soldabilidade, e para obter-se a resistência mecânica desejada. O magnetismo é medido para assegurar que a quantidade suficiente de ferrita esteja presente, e não para medir a resistência da peça fundida à corrosão.
12. Repetidos tratamentos de passivação com ácido nítrico causam poucos danos aos aços inoxidáveis, mas podem ser desnecessários, a menos que sejam parte do procedimento utilizado para remover da superfície depósitos de processo.

#### **Referências Bibliográficas:**

1. Banes, P. H., "Passivation: Understanding and Performing Procedures on Austenitic Stainless Steel Systems", **Pharmaceutical Engineering**, Nov./Dec. 1990 Vol. 10, No. 6 pg 41.
2. Coleman, D. C., and Evans, R. W., "Fundamentals of Passivation and Passivity in the Pharmaceutical Industry", **Pharmaceutical Engineering**, March/April 1990, Vol. No. 2, pg 43.
3. Tuthill, A. H. and Avery, R. E., "Specifying Stainless Steel Surface Treatments", **Advanced Materials and Processes**, Dec. 1992.
4. "Cleaning and Descaling Stainless Steel Parts, Equipment and Systems", ASTM A380-88, American Society for Testing Materials, Philadelphia, PA.
5. DeBold, T., "Passivation of Stainless Steel Parts", **TAPPI Journal**, Jan. 1988, pgs 196-198.

Registered trademark, Carpenter Technology Inc. Reading, PA.