

"**Corrosão** é um assunto bastante complexo e a compreensão dos mecanismos atuantes em diferentes condições de meio agressivo exige muitos conceitos com os quais nós (da soldagem) normalmente não estamos familiarizados. Mas os efeitos de corrosão preferencial em regiões soldadas são tão evidentes que não raro é nos depararmos com soldas que foram as responsáveis por falhas em meios corrosivos. Por isso o tema deste artigo é **Corrosão em Juntas Soldadas**, onde serão apresentadas, muito simplificada, as principais características dos processos corrosivos e porque as regiões soldadas são as mais susceptíveis à corrosão."

Annelise Zeemann

Corrosão em Juntas Soldadas

1 O que é corrosão ?

A corrosão é um **fenômeno superficial** que envolve a reação **entre o material e o meio**, durante um **tempo** suficiente para que haja a **degradação do comportamento** do material. Os **danos** podem ser **superficiais**, com ou sem a deposição visível dos produtos da reação com o meio, ou **internos**, necessariamente sem a presença dos produtos de corrosão.

Como mencionado acima a corrosão envolve a reação entre o **material** e o **meio**, de forma que a propriedade de resistência à corrosão não é intrínseca ao material, e sim à combinação material x meio, existindo ainda outra variável muito importante que é a **temperatura**. Logo, antes de selecionar um material para um equipamento resistente à corrosão deve-se sempre considerar as características específicas do meio ao qual o material deverá resistir.

2 Quais são os principais tipos de meios que favorecem a corrosão?

Os principais problemas de corrosão estão associados a:

- **Meios aquosos**, que são os responsáveis pela maior parte dos problemas de corrosão e que incluem águas naturais ou tratadas, chuva, atmosfera úmida, além das milhares de soluções aquosas em processos industriais;
- **metais líquidos e sais fundidos**; e
- **gases** (normalmente em elevada temperatura).

3 Como um material metálico se comporta quando em contato com um meio aquoso?

Primeiro é importante mencionar que um meio aquoso atua como um "eletrólito", que pode favorecer mais ou menos os processos corrosivos (que são reações eletroquímicas) dependendo de características como composição química, temperatura e condutividade.

Quando um material metálico entra em contato com um eletrólito cria-se nas adjacências do metal uma chamada "dupla camada" carregada, figura 1, que confere um **potencial** ao sistema (metal x eletrólito). Cada tipo de material em um meio específico apresenta um potencial, que pode ser efetivamente medido com eletrodos de referência, inclusive em campo, com equipamentos portáteis.

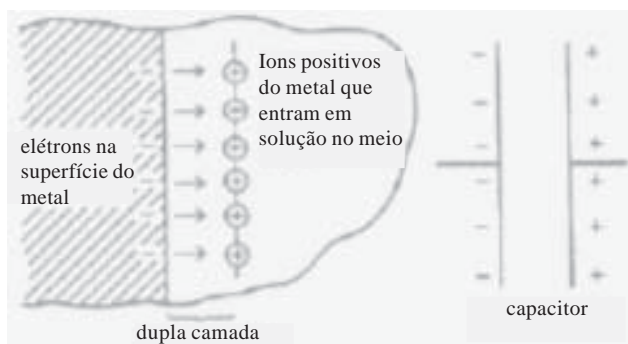


Figura 1 Dupla camada que se forma na superfície de um metal quando este entra em contato com um meio aquoso, conferindo ao sistema material x meio um potencial medido em relação a um eletrodo de referência.

Dependendo de diversas condições, entre elas o pH do meio (acidez) e o potencial do sistema, um material metálico pode assumir em meio aquoso um dos seguintes estados de equilíbrio (previstos termodinamicamente pelos diagramas de Pourbaix):

1. Ativo
2. Passivo
3. Estável

A figura 2 apresenta um diagrama de Pourbaix esquemático para um dado material ferroso em meio aquoso, onde se verifica que:

- Para potenciais muito **baixos o material se apresenta estável e não reage com o meio** (muito embora possam estar ocorrendo diversas reações em sua superfície), o que significa que não existe a possibilidade de ocorrer degradação do material. Este estado estável pode existir em um aço ao carbono quando se aplica proteção catódica, por exemplo com anodos de sacrifício ou corrente impressa, pois se leva o material a um potencial mais negativo, o que significa que existem elétrons de sobra para suprir as reações em sua superfície sem que haja uma perda de seus próprios elétrons;
- para potenciais mais altos, em pH ácido, o material se apresenta **ativo e com dissolução constante**, o que significa que pode estar ocorrendo corro-

são generalizada com perda de massa e afinamento da seção, geralmente com a perda de performance quando a espessura já não pode suportar o carregamento imposto. É comum verificar perdas de espessura durante processos de limpeza química, por exemplo, onde os produtos são muito ácidos e ativam o metal, dissolvendo-o ;

- para potenciais mais altos, em pH alcalino, o material forma uma **película de óxido** que pode protegê-lo do meio (tornando-o **passivo**). Este estado passivo pode ser verificado em aços ao carbono em quase todas as condições industriais onde se utiliza água tratada em sistemas fechados. Usualmente os tratamentos de água são realizados com produtos que formam uma película protetora na superfície de tubos ou equipamentos, com vistas a passivar os materiais, mas sempre com o cuidado de não alcalinizar demais a água para não favorecer encrustações. A corrosão em materiais que passivam é pontual e a mais crítica pois a falha pode ocorrer antes de que se possa detectar o processo corrosivo.

Mas é importante ressaltar que os diagramas de Pourbaix são termodinâmicos (diagramas de equilíbrio), e não apresentam indicativos da velocidade (cinética) das reações e nem das taxas de corrosão, que podem ser avaliadas através das leis da cinética e levantamento de curvas de polarização.

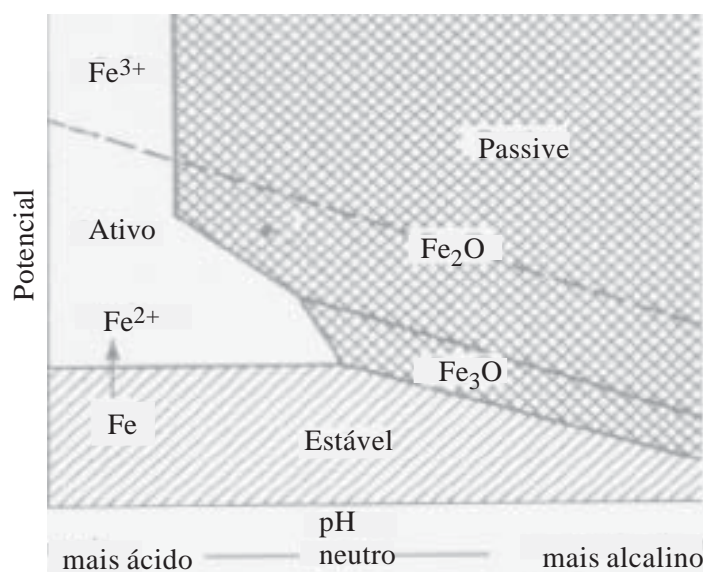


Figura 2 Diagrama de Pourbaix esquemático mostrando as regiões onde o ferro se apresenta nos estados estável, ativo e passivo, dependendo do potencial e do pH do meio.

5 Como se pode classificar resumidamente os processos corrosivos?

Existem dois tipos de processos corrosivos, que são os de:

- **Corrosão generalizada**, que ocorre quando o material se apresenta no **estado ativo**. Normalmente um material não é colocado em serviço no estado ativo, principalmente se a cinética das reações é rápida, pois isto significaria uma perda de material constante e degradação prematura. Mas existem condições onde o material pode ser ativado "sem querer", por exemplo como em um projeto mal estudado onde se coloca em contato materiais de potenciais muito diferentes, sendo mais crítico se o material menos nobre (anódico) se apresenta com menor área exposta, como por exemplo quando se fixa uma estrutura submersa de aço inox com parafusos de aço ao carbono. A este fenômeno chama-se corrosão galvânica;
- **corrosão localizada**, que ocorre quando o material se apresenta no estado passivo, e a camada (que é uma barreira protetora) sofre ruptura (sem recomposição). É o tipo de corrosão que traz maiores problemas pois não é facilmente detectada e pode promover a falha rapidamente, principalmente se a morfologia da corrosão for do tipo perfurante.



6 Quais os principais efeitos que levam à corrosão localizada?

A barreira protetora pode ser rompida por diferentes tipos de efeitos, a saber:

- **Efeitos metalúrgicos**, quando existem regiões do material que não formam a película protetora, como em precipitados que fazem com que os óxidos percam a estabilidade. A corrosão intergranular do aço inox ou de ligas de alumínio é um bom exemplo, figura 3;
- **efeitos de superfície**, como por exemplo quando existem condições de erosão (com a remoção do óxido passivo); quando o meio favorece a redução localizada do óxido (por exemplo a corrosão por pites em meios redutores) ou quando existem depósitos na superfície onde a corrosão por frestas (ou crevice) é um bom exemplo;
- **efeitos de tensão**, onde devido à tensão trativa atuante existe uma deformação e quebra localizada do óxido passivo. Podem ser tensões trativas estáticas (corrosão-sob-tensão, figura 4) ou cíclicas (corrosão-fadiga, figura 5). Existe ainda um tipo de corrosão sob tensão que é até difícil de entender como corrosão, pois seus efeitos são internos ao material, porém gerados por um processo corrosivo.



Figura 3 Eixo Propulsor de Navio, confeccionado em aço baixa liga e revestido por solda de aço inoxidável nas regiões em contato com o meio agressivo, que sofreu corrosão por frestas em locais de água estagnada, devido à ação de bactérias que atacam o inoxidável e formam depósitos na superfície.



Figura 4 Flange de aço inoxidável AISI 316L que trabalha em temperaturas de ordem de 100°C e que sofreu processo de corrosão-sob-tensão pelo meio externo (isolamento térmico e atmosfera em local próximo ao mar, contendo cloretos). Cabe ressaltar que o aço inoxidável 316L apresenta, em relação ao inoxidável 304, a presença de molibdênio (que melhora a resistência à pites) e menor teor de carbono (que facilita a soldagem, melhorando a resistência à corrosão intergranular), mas que em relação à corrosão-sob-tensão não foi verificado neste caso melhor desempenho do 316L em relação ao 304.

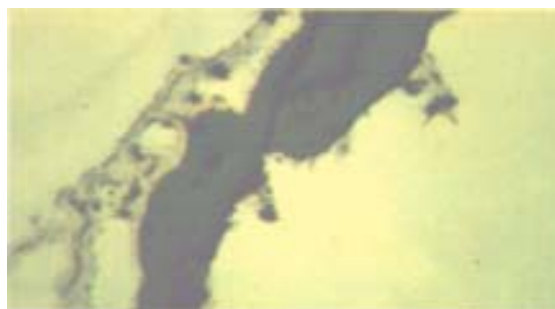
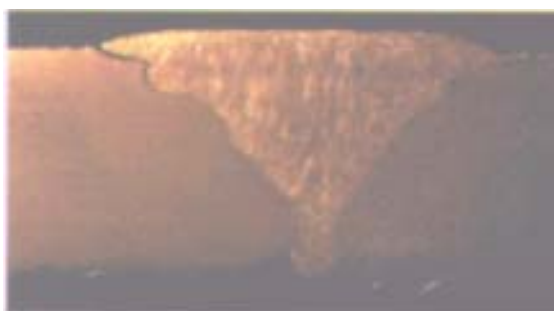


Figura 5 Tubos de caldeira de materiais dissimilares soldados (aço cromo molibdênio e aço inoxidável austenítico), que apresentam processo de corrosão-fatiga na interface entre a solda de inox austeno-ferrítico e o tubo de baixa liga, gerado no tensionamento causado pela ação térmica (diferentes coeficientes de dilatação) devido aos muitos ciclos de partida deste equipamento.

vo na superfície, aliado às tensões trativas e presença de estrutura endurecida. É a fragilização pelo hidrogênio, que causa trincas internas no material (com os mesmos mecanismos da trinca a frio da solda), mas cuja a origem do hidrogênio é proveniente do processo corrosivo.

7 Porque as juntas soldadas são regiões de corrosão preferencial?

A figura 6 apresenta um desenho esquemático de uma junta soldada onde se verifica que:

- Como a composição química do metal de base é diferente da composição do metal de solda (mesmo que se utilize um consumível similar), sempre que a

junta estiver em meio aquoso pode existir a possibilidade de **corrosão galvânica**. Esta corrosão somente será problemática quando o metal de solda (de menor área) for anódico em relação ao metal de base e seus potenciais forem muito diferentes (maior cinética de reações e conseqüentemente maior taxa de corrosão);

- devido aos mais variados **ciclos térmicos impostos**, as adjacências das soldas são sempre regiões mais passíveis de sofrerem **precipitações**, que intensificam processos de corrosão localizada, principalmente **corrosão intergranular**;

- mesmo em condições de junta aliviada, o nível de **tensões residuais** ainda é maior nas adjacências da solda, favorecendo mecanismos de corrosão localizada do tipo corrosão-sob-tensão, **corrosão-fatiga e fragilização pelo hidrogênio**;



Figura 6 Diferentes tipos de efeitos presentes em juntas soldadas, que as tornam locais preferenciais de processos corrosivos.

- a presença de **descontinuidades superficiais**, se a solda não for posteriormente usinada, sempre favorece mecanismos de corrosão localizada **por frestas**. No caso dos aços inoxidáveis a própria oxidação durante a soldagem (em elevada temperatura) favorece a corrosão localizada caso não seja realizada a limpeza posterior (química ou mecânica).

Logo, não existem dúvidas de que a região soldada é aquela que, em um equipamento que opera em meio agressivo, é a mais susceptível à corrosão. Isto não significa que o material vai sofrer corrosão, mas sem dúvida significa que os cuidados na soldagem de uma junta para trabalho em meio agressivo devem ser muito maiores, e principalmente que o procedimento deve ser bem selecionado e a qualificação deve contar com testes de corrosão, pois se a soldagem realizada não for aquela adequada para garantir a resistência à corrosão do equipamento, você somente saberá quando seu equipamento já estiver degradado.

8 Quais os cuidados que se deve tomar ao selecionar e qualificar o procedimento de soldagem?

De uma forma geral deve-se tomar os cuidados de:

- Avaliar a agressividade do meio de serviço e identificar os principais tipos de processos corrosivos atuantes, com o objetivo de determinar quais os testes de corrosão que podem ser realizados na peça de teste para garantir que o material vai resistir ao serviço. Alguns exemplos de testes de corro-

ção são "salt spray" e ASTM G48 para resistência a pites e crevices, ASTM A 262 para resistência à corrosão intergranular, além de testes do tipo BTD (baixa taxa de deformação) para avaliar a resistência à fragilização pelo hidrogênio, ou testes de corrosão-sob-tensão, entre outros;

- selecionar um consumível que se apresente catódico em relação ao metal de base. A literatura de corrosão menciona alguns testes como o de ZRE (resistência nula) para avaliar as taxas de corrosão galvânica;
- selecionar um processo de soldagem, técnicas e alívio de tensões que garantam os ciclos térmicos necessários para promover microestrutura adequada, como por exemplo garantir que a dureza de um material para aplicação em meio H₂S se apresente inferior a 22 HRc (conforme norma NACE MR 0175), ou garantir que um aço inox austenítico não se apresente sensibilizado;
- selecionar e especificar um processo adequado de limpeza pós-soldagem (se necessário);
- realizar testes de qualificação que avaliem, além da integridade e propriedades mecânicas, o acabamento da solda para evitar perfis com frestas (inspeção visual e macrografias) e a resistência à corrosão no meio específico (cujo teste deve ser especificado segundo uma norma);
- garantir que a soldagem seja realizada conforme a qualificação;
- caso sejam necessários reparos, garantir que também seja seguido o procedimento qualificado e dar atenção especial ao acabamento, pois os reparos podem ser locais mais susceptíveis à corrosão;
- realizar sempre uma inspeção visual final com ênfase na resistência à corrosão.

Além disso o fornecedor de qualquer equipamento que opera em meio agressivo deve tomar o cuidado de fornecer ao seu cliente métodos de manutenção e conservação do equipamento.

Referência básica para a consulta dos leitores

ASM Handbook Volume 13 "Corrosion"