

CORROSÃO INTERGRANULAR EM JUNTAS SOLDADAS DE AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS

Humberto Jorge Valosio valosio@hotmail.com
Jéferson da Silva jef.silva@bol.com.br
José Ivanildo Miranda Oliveira jose_ivanildo.oliveira@legrand.com.br
Wagner de Campos Sabor wagsag@ig.com.br
Orientador: Prof^o Luiz Gimenes Jr. gimenes@infosolda.com.br

1 – INTRODUÇÃO

A corrosão intergranular é talvez, o pior tipo de ataque que um material pode sofrer, pois a sua ocorrência, muitas vezes, só é possível de ser detectada quando da ruptura do material.

Como o próprio nome sugere, é o ataque preferencial na região do contorno do grão de uma liga. De uma maneira geral, somente as ligas metálicas estão sujeitas a este tipo de corrosão e a sua causa é, normalmente, atribuída as precipitações de alguns dos componentes da liga preferencialmente no contorno de grão.

Os materiais mais susceptíveis a este tipo de ataque são os aços inoxidáveis e as ligas de alumínio. Para o caso dos aços inoxidáveis, a suscetibilização ocorre devido à precipitação do carboneto de cromo na região do contorno de grão com conseqüente empobrecimento do cromo na matriz.

2- A CORROSÃO INTERGRANULAR

Os aços inoxidáveis cromo-níquel (tipos austeníticos) estão sujeitos, quando tratados termicamente ou aquecidos para trabalho a quente ou para soldagem numa certa faixa de temperaturas, a uma precipitação de um constituinte de contorno de grão que pode provocar um dos tipos mais danosos da corrosão, a chamada “corrosão intergranular”.

A faixa de temperaturas críticas é entre 400°C a 900°C, e quando o aço for aquecido dentro dessa faixa ainda que por um tempo muito curto (poucos minutos ou mesmo segundos) pode sofrer uma quase completa desintegração após algumas horas de exposição numa solução corrosiva.

A temperatura que produz o fenômeno varia com o tempo de aquecimento assim, por exemplo, num aço inoxidável do tipo 18-8 (18% de cromo e 8% de níquel) com 0,08% de carbono, com aquecimento de poucos segundos ou minutos, a temperatura mais perigosa é em torno de 750°C; com um tempo de aquecimento de uma hora, esta temperatura fica compreendida na faixa 550°C-740°C.

2.1- O MECANISMO DE CORROSÃO INTERGRANULAR

A explicação mais aceita do fenômeno é a seguinte:

- Certos constituintes, principalmente um carboneto complexo de cromo e ferro, dissolvem-se na austenita com facilidade cada vez maior, à medida que a temperatura sobe além de 900°C. Um aço inoxidável aquecido nessas condições apresenta, quando resfriado rapidamente, uma estrutura homogênea à temperatura ambiente;
- Esse estado estrutural é, entretanto, instável em temperaturas inferiores à

linha de solubilidade sólida do carbono na austenita (ver **gráfico 1**, correspondente aos aços 18-8), de modo que quando se reaquece o aço acima de 400°C, o carboneto, pelo aumento da solubilidade dos átomos de carbono, precipita-se e essa precipitação, mais acentuada na faixa entre 600°C a 800°C, se dá ao longo dos contornos dos grãos;

- Esses carbonetos, precipitados ao longo dos contornos dos grãos, não constituem em si zonas mais suscetíveis à corrosão, mas como eles são muito mais ricos em cromo (às vezes até 90%) que o metal do seio do qual precipitam, para sua formação houve uma retirada de cromo das regiões vizinhas. Essas regiões, que correspondem aos contornos dos grãos, empobrece-se, portanto, em cromo, tornando-se menos resistentes ao ataque químico por parte de certos reagentes: produz-se assim a corrosão entre os grãos, provocando sua separação e conseqüente desintegração da liga.

3- SOLDAGEM

Muitas falhas nos aços inoxidáveis 18-8, ocorridos desde o início da história destes materiais, antes do mecanismo da corrosão intergranular foram entendidos.

Falhas ainda acontecem, porque este efeito não é freqüentemente considerado. A região da solda fragilizada é freqüentemente uma faixa na chapa base, a qual, é mostrada nas figuras 1, 2 e 3.

Esta zona tem uma aparência esbranquiçada, devido aos pequenos grãos alongados que são quase expulsos. As amostras foram expostas a um ataque de ácido nítrico depois da soldagem. Não

havendo ataque apreciável no restante da amostra.

A **figura 3** mostra as faixas de temperaturas que foi exposto à peça de teste.

O tempo e a temperatura estão muito relacionados com o tamanho e/ou espessura do material soldado. Por exemplo, chapas finas são rapidamente soldadas, enquanto chapas espessas precisam de vários passes. Para chapas de mais ou menos 1/32", o tempo exposto na faixa de sensibilização é curto, portanto não causa a corrosão quando este está em meio agressivo.

O efeito do tempo e temperatura é a razão pela qual a soldagem a arco elétrico é mais usada do que a soldagem a gás para aços inoxidáveis. O primeiro produz aquecimento maior e mais intenso em tempos menores. O segundo mantém uma zona termicamente afetada mais larga por um tempo maior, o que significa maior precipitação do carbono.

Deve ser enfatizado que a sensibilização em aços inoxidáveis, não provocará corrosão sem um meio agressivo, porque muitos destes aços são utilizados onde a resistência total a corrosão não é requerida. Alguns exemplos são: equipamentos de culinária, pia de cozinha e peças automotivas decorativas. Entretanto, é aconselhável ter sempre o metal em sua melhor resistência a corrosão para as mais severas condições corrosivas.



A **figura 1** mostra a visão geral de uma amostra de tubulação de aço inoxidável SAE 316, com redução de 2X, a qual foi soldada pelo processo eletrodo revestido apresentando na região indicada a corrosão intergranular.

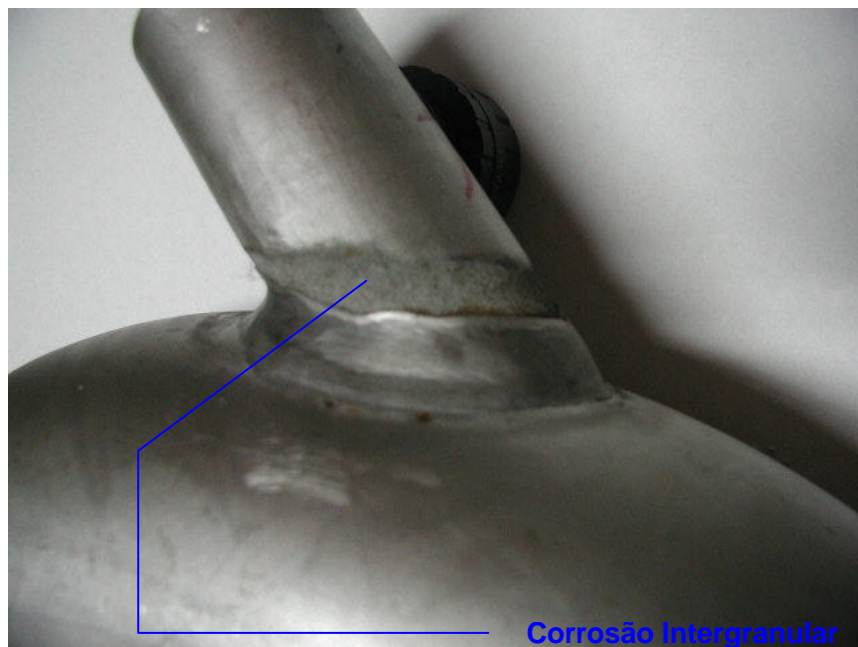


Figura 2

A **figura 2** mostra o detalhe de uma amostra de tubulação de aço inoxidável SAE 316, com aumento de 3X, a qual foi soldada pelo processo eletrodo revestido apresentando na região indicada a corrosão intergranular.

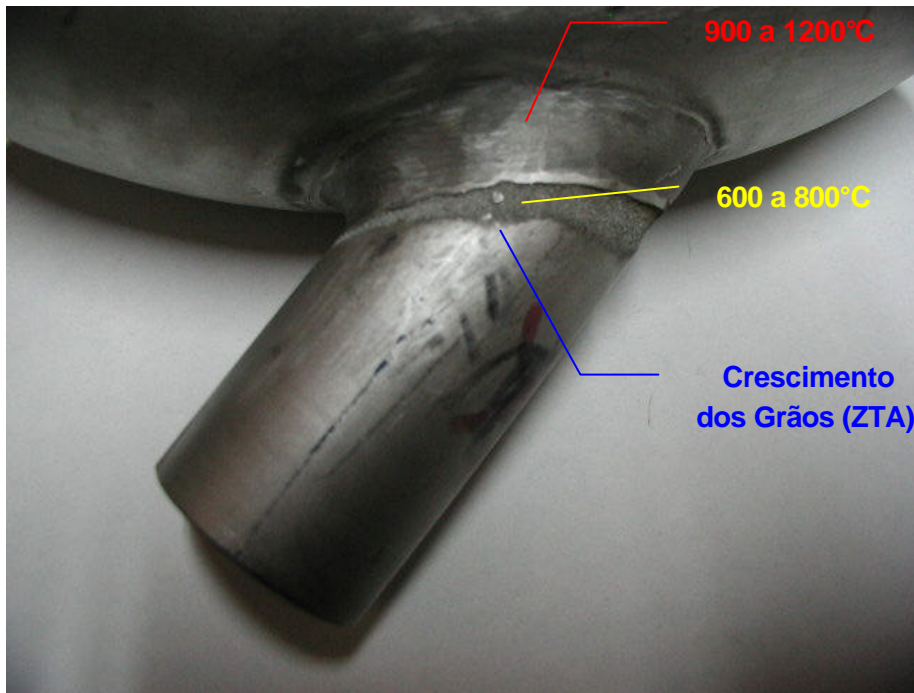


Figura 3

A **figura 3** mostra o detalhe de uma amostra de tubulação de aço inoxidável SAE 316, com aumento de 4X, na qual está indicada a faixa de temperaturas imposta pelo processo eletrodo revestido.

4- FATORES QUE INFLUENCIAM

Em face das explicações feitas a respeito do fenômeno da corrosão intergranular nos aços inoxidáveis do tipo austenítico, pode-se dizer que a suscetibilidade desses aços à corrosão intergranular depende de uma série de fatores, entre os quais poderiam ser enumerados os seguintes:

- Tempo de permanência dentro da faixa de temperaturas consideradas críticas;
- Teor de carbono;
- Granulação do aço;

- Deformação a frio;
- Presença de determinados elementos de liga.

A discussão da influência desses fatores será feita concomitantemente com os meios que podem ser empregados para combater o fenômeno.

Esses meios são, entre outros, os seguintes:

- Reaquecimento do aço, que havia sido anteriormente aquecido na faixa

perigosa 400°C-800°C, a temperaturas entre 950°C e 1150°C, de modo a ter-se uma redissolução dos carbonetos existentes nos contornos dos grãos. É preciso, para evitar sua nova precipitação, resfriar-se rapidamente através da faixa perigosa.

Esse reaquecimento, nem sempre é conveniente, pois pode ocorrer oxidação e empenamento ou mesmo deformação das peças a essas temperaturas.

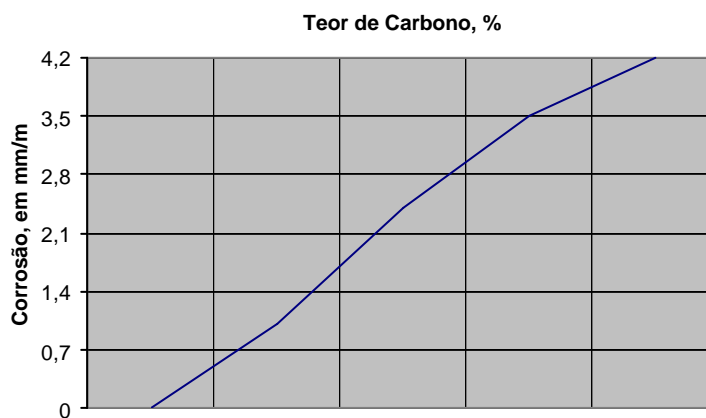
Por outro lado, toda vez que for preciso reaquecer o aço dentro daquela faixa de temperaturas, devido a uma soldagem, por exemplo, pode ocorrer nova precipitação de carboneto com as conseqüências indesejáveis já conhecidas.

- Redução do teor de carbono do aço a teores que o tornem ineficaz na formação de carbonetos ou na remoção do cromo dos grãos. O gráfico 1 ilustra de modo claro o efeito do carbono na resistência à corrosão do aço inoxidável austenítico tipo 18-8.

Para o traçado da curva representada no gráfico 1, amostras de aço 18-8 com carbono crescente foram propositalmente aquecidas a temperaturas que provocaram, no maior grau possível, a precipitação de carboneto.

Nota-se que à medida que o carbono decresce, diminui o ataque corrosivo, o mínimo verificando-se quando o mesmo atinge 0,03%. Até 0,03% de carbono, qualquer que tenha sido o tratamento térmico usado, o carbono ou permanece dissolvido sem qualquer efeito nocivo, ou precipita-se nos contornos dos grãos na forma de um carboneto de cromo, em quantidades, entretanto, ainda insuficientes para formar um invólucro contínuo em torno dos grãos, de modo que não resulta qualquer prejuízo. Acima de 0,03%, o carboneto de cromo formado começa a envolver de modo contínuo os grãos, ocorrendo então o empobrecimento do metal adjacente a tal ponto que sua inoxidabilidade fica prejudicada.

Gráfico 1 - Corrosão x Teor de Carbono



O **gráfico 1** foi compilado de Chiaverini, Vicente, Aços e Ferros Fundidos, página 391, 7ª edição, 1998, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Brasil.

4.1- A INFLUENCIA DOS ELEMENTOS DE LIGA

Estudos têm sido feitos para determinar o teor de carbono compatível com a resistência a corrosão intergranular. Verifica-se, por exemplo, que para uma probabilidade de 99,8% de resistência à corrosão intergranular, o teor de carbono deve ser inferior a 0,02% com 18% de cromo: aumentando-se o teor deste metal, o teor de carbono aumenta até cerca de 0,03%; para 20% de cromo, o aço ainda apresenta excelente resistência à corrosão intergranular, com cerca de 0,04% de carbono.

Em resumo, normalmente para os aços 18-8 comuns o máximo recomendável de carbono seria em torno de 0,03%.

- Manter um tamanho de grão pequeno, pois a granulação grosseira torna o aço mais suscetível à corrosão intergranular que a granulação fina.
- Promover deformação a frio após a solubilização; admite-se, de fato, que a precipitação de carbonetos, responsável aparente pela corrosão intergranular, se dará preferivelmente ao longo dos planos de escorregamento originados na deformação a frio no interior dos grãos e não nos seus contornos, resultando uma dispersão dos carbonetos dentro dos grãos, o que diminuirá a suscetibilidade à corrosão intergranular. É necessário, após a deformação a frio aquecer o aço dentro da faixa crítica para forçar a

precipitação dos carbonetos ao longo dos planos de escorregamento.

O método mais comum e mais satisfatório consiste na adição de um elemento de liga que tenha maior afinidade pelo carbono do que o cromo, evitando, pois, que este precipite como carboneto e deixando-o em condições de agir como elemento realmente promotor da passividade. Os elementos de liga empregados para esse fim são o titânio, o nióbio e o tântalo, os dois primeiros sendo os preferidos.

Por outro lado, a presença de 1% a 3% de molibdênio torna o aço inoxidável austenítico menos susceptível à corrosão intergranular, pois, sendo o molibdênio um elemento estabilizador da ferrita, favorece a formação de estrutura austenítico-ferrita. Sua ação, entretanto, é somente no sentido de diminuir ligeiramente a suscetibilidade dos aços ao fenômeno em discussão.

Com a precipitação do carboneto de cromo na região de contorno do grão, o teor de cromo nesta região pode atingir teores inferiores a 13%, portanto perdendo as características inoxidáveis. O ataque será preferencial na região de precipitação, isto é no contorno do grão.

5- CONTROLE DE QUALIDADE DE AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS

Para caracterizar a agressividade de um determinado meio corrosivo e fornecer fundamentos básicos para o controle da corrosão, realizam-se os chamados ensaios de corrosão. A corrosão dos materiais metálicos é influenciada por vários fatores que modificam o ataque químico ou eletroquímico, não havendo, portanto, um único método de ensaio de corrosão; na prática os fenômenos de

corrosão se multiplicam, obrigando à variedade dos ensaios. Para satisfazer exigências de reprodutibilidade de resultados, os ensaios de corrosão só devem ser efetuados pós-consideradas as suas exatas possibilidades e o desenvolvimento do processo corrosivo. Para se evitar conclusões errôneas, e

visando a dar uma certa uniformidade à execução dos ensaios de corrosão, criaram-se especificações detalhadas para processamento.

Annual Book of ASTM Standards
A 262 - suscetibilidade de aços inoxidáveis a ataque intergranular.

6- TABELA DE MEIOS CORROSIVOS QUE INDUZEM A CORROSÃO INTERGRANULAR

Acido acético	Acido fosfórico
Acido acético + Acido salicilico	Acido fetalico
Acido crômico	Solução de sulfato
Acido férrico	Acido sulfúrico + acido nítrico
Acido hidrocianidrico	Acido sulfuroso
Acido hidrocianidrico + Dióxido de Enxofre	Água + amido + dióxido de enxofre
Acido hidrofúoridrico + sulfato férrico	Água + sulfato de alumínio
Acido láctico	Acido nítrico + acido hidrocloretrico
Acido maleico	Acido nítrico + acido hidrofúoridrico
Acido nítrico	Acido oxálico
Cloridrato de Cromo	Dióxido de enxofre
Cloridrato férrico	Acido sulfúrico + sulfato ferroso
Fenol + acido naftênico	Água do mar
Nitrato de amônia	Hipoclorito de sódio
Nitrato de cálcio	Acido sulfúrico + acido acético
Óleo cru	Acido sulfúrico + sulfato de cobre
Óleo gorduroso	Hidróxido de sódio + Sulfato de sódio
Suco de beterraba	Nitrato de prata + acido acético
Sulfato de amônia	Bisulfato de sódio
Sulfato de Amônia + H ₂ SO ₄	Acido sulfúrico
Sulfato de cobre	Acido sulfúrico + metanol
Sulfato férrico	

6- MEIOS DE MINIMIZAR

Para minimizar este tipo de corrosão, o que se faz normalmente, é utilizar aços inoxidáveis contendo nióbio (AISI-347) ou titânio (AISI-321) estes elementos possuem afinidade maior com o carbono, precipitando os respectivos carbonetos e evitando assim a precipitação do carboneto do cromo. Outra maneira de evitar a corrosão do tipo intergranular é diminuir, o conteúdo de carbono, abaixo do valor crítico que é de 0,03%. Os aços Inoxidáveis com teor de carbono abaixo deste valor são classificados como "aço de carbono extra baixo" e recebem a designação L (AISI 304 L ou AISI 316 L).



7- BIBLIOGRAFIA

Welding Handbook, American Welding Society, 8th edition, 1998, vol 4, USA.

Fontana, Mars Guy, Corrosion Engineering, 3rd edition, 1986, Mc Graw-Hill, USA.

Gentil, Vicente, Corrosão, 4^a edição, 1990, Brasil.

Coleção SENAI, vários autores, 1^a edição, 1997, São Paulo.

Chiaverini, Vicente, Aços e Ferros Fundidos, 7^a edição, 1998, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Brasil.

Weiner, Emilio, Brandi, Sergio D., Mello, Fabio D. H. de, Soldagem Processo e Metalurgia, 1^a edição, 1992, Edgard Blucher, Brasil.