

CORROSÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS  
AUSTENÍTICOS NA INDÚSTRIA

Deniol Katsuki Tanaka<sup>1</sup>  
Stephan Wolyne<sup>2</sup>  
Zehbour P. Kajimoto<sup>3</sup>  
Francisco Di Giorgi<sup>4</sup>  
Risomã Chaves<sup>5</sup>  
Neusa Alonso<sup>6</sup>

RESUMO

São apresentados os diferentes tipos de corrosão ocorridos em equipamentos construídos com aços inoxidáveis austeníticos, discutindo-se as suas características e as possíveis medidas preventivas a fim de alertar os projetistas, montadores e usuários deste tipo de aço para possível deterioração prematura.

Cada tipo de corrosão é ilustrado com casos estudados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - IPT no período de 1963 a 1988.

1. Introdução

Os aços inoxidáveis foram desenvolvidos no início deste século com a finalidade de aumentar a resistência contra a corrosão generalizada dos metais. Esta maior resistência é obtida graças à passivação que o metal sofre na maioria dos meios a que é exposto.

---

(1) Eng. Mec., M.Sc., Dr. Eng., Pesquisador do IPT.

(2) Eng. Met., PhD., Prof. Titular da EPUSP., Membro da ABM.

(3) Fis., Dra. Ciências, Pesquisadora do IPT.

(4) Quim., M.Sc., Pesquisador do IPT.

(5) Eng. Met., M. Eng., Pesquisadora do IPT.

(6) Eng. Met., M. Eng., Pesquisadora do IPT.

O fenômeno da passivação tem fascinado tanto os cientistas como os engenheiros por mais de 150 anos, desde os tempos de Faraday<sup>(1)</sup>, no entanto, o seu mecanismo de formação e a sua natureza ainda não são bem conhecidos. É extremamente difícil definir exatamente o que é a passividade, entretanto pode-se defini-la grosseiramente como sendo a propriedade dos metais ou das ligas metálicas de, através da formação de uma barreira por reação com o meio a que estiverem expostos, tornarem-se mais resistentes à corrosão generalizada, com a taxa de corrosão assumindo valores extremamente pequenos. Para que a passividade seja criada e mantida, as características do meio deverão ser bastante específicas e, caso haja qualquer desvio ou perturbação do meio em que o material estiver exposto, a passividade poderá ser localmente quebrada levando à corrosão localizada e, conseqüentemente, comprometendo o material.

O aço inoxidável austenítico é um desses materiais passiváveis que apresenta taxas de corrosão desprezíveis na maioria dos meios mais comuns. Para garantir esta propriedade há a necessidade de uso criterioso deste material, além de cuidados especiais no seu manuseio, particularmente com relação aos tratamentos térmicos, processos de soldagem, desenho, etc., para evitar a ocorrência da corrosão localizada. Além disso, em certos meios a passividade não ocorre e, neste caso, o aço inoxidável pode sofrer uma acentuada corrosão generalizada.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar, de forma sumária, os principais tipos de falhas por corrosão que os aços inoxidáveis podem sofrer, ilustrando-os com casos de falhas estudados no IPT.

## 2. Alguns dados sobre a incidência da corrosão em equipamentos industriais

A maior aplicação dos aços inoxidáveis se dá nos meios em que os metais menos nobres ( aço carbono, ferro fundido ) apresentam taxas

de corrosão relativamente elevadas e o uso de metais ou ligas mais nobres (cobre, inconel, monel) é proibitivo pelo seu elevado custo. É o caso das indústrias químicas, petroquímicas, de papel e celulose, de alimentos, entre outros. Mesmo assim, os casos de corrosão são numerosos existindo na literatura levantamentos de casos de corrosão de diferentes tipos em indústrias químicas, conforme mostrados na Tabela I. Nesta Tabela estão também incluídos os casos de falhas por corrosão de componentes em aço inoxidável austeníticos estudados no IPT no período de 1963 a 1988.

Tabela I - Falhas por corrosão de materiais metálicos em equipamentos industriais.

TIPO DE CORROSÃO	E.U.A (17) (Nota 1) %	ALEMANHA(2) (Nota 2) %	IPT (Nota 3) %
Generalizada	27,5	33	-
Corrosão-sob-tensão	23,7	25	26,0
Intergranular	14,6	4	10,9
Pite	14,3	5	14,0
Erosão-Corrosão/Cavitação	7,4	6	2,2
Fadiga-sob-Corrosão	2,7	11	6,5
Altas temperaturas	2,4	3	4,5
Frestas	1,6	-	19,6
Hidrogênio	1,5	3	-
Seletiva	1,1	-	-
Galvânica	0,7	-	-
Outros	2,3	10	-

Nota 1 - Dados coletados numa indústria química nos E.U.A. Num total de 685 casos sendo 378 falhas por corrosão e o restante apenas de natureza mecânica<sup>(17)</sup>.

Nota 2 - Dados coletados numa indústria química na Alemanha. O número total de casos não foi mencionado<sup>(2)</sup>.

Nota 3 - Casos estudados no IPT por solicitação de clientes. Referem-se apenas aos aços inoxidáveis austeníticos num total de 46 casos.

Os valores computados das falhas por corrosão nos E.U.A e na Alemanha, apresentados na Tabela I, referem-se a todos os materiais metálicos utilizados naquelas indústrias. Da análise das duas primeiras colunas observa-se que cerca de 1/4 a 1/3 dos problemas de corrosão são do tipo generalizado, principalmente dos aços carbono, e o restante (de 2/3 a 3/4) refere-se a metais passiváveis, sendo cerca de 90% de aços inoxidáveis.

Neste trabalho não cabe uma análise estatística de cada um dos tipos de corrosão listados na tabela, mas cabe ressaltar que exce-tuando-se os casos de corrosão em frestas, de uma maneira geral os casos analisados no IPT são aqueles que também apresentam um grau relativamente elevado de incidência tanto nos E.U.A como na Alemanha.

### 3. Corrosão Intergranular

A corrosão intergranular é um tipo de corrosão que se manifesta nos contornos dos grãos, sem a necessidade de esforços mecânicos de tração. A sua principal causa é a sensitização provocada pelo empobrecimento do teor de cromo nos contornos de grão devido à precipitação de carbonetos de cromo ( $Cr_{23}C_6$ ). Esta precipitação é termicamente ativada, conforme verifica-se na Figura 1, e ocorre tanto como consequência de tratamentos térmicos (por exemplo, de alívio de tensões residuais conforme ilustrado nas Figuras 2 e 3) como de soldagem nas zonas termicamente afetadas (Figura 4). Os meios em que ocorre a corrosão intergranular são os mais variados possíveis, conforme mostrado na Tabela II (3).

O caso de corrosão intergranular mostrado na Figura 2 refere-se a um rotor de bomba centrífuga, fundido em aço inoxidável AISI 316, que bombeava água contendo negro de fumo a uma temperatura não superior a 50°C.

Tabela II - Meios em que a corrosão intergranular de aços inoxidáveis austeníticos foi detectada<sup>(3)</sup>.

Ácido acético	Ácido sulfúrico + Ácido nítrico
Ácido salicílico	Ácido sulfuroso
Ácido cianídrico	Água + Amido + Dióxido de enxofre
Ácido cianídrico + Dióxido de enxofre	Água + Sulfato de Alumínio
Ácido cianídrico + Sulfato férrico	Água do mar
Ácido crômico	Bisulfato de sódio
Ácido fórmico	Cloreto de cromo
Ácido fosfórico	Cloreto férrico
Ácido ftálico	Dióxido de enxofre úmido
Ácidos graxos	Fenol + Ácido naftênico
Ácido láctico	Hidróxido de sódio + sulfito de sódio
Ácido láctico + Ácido nítrico	Hipoclorito de sódio
Ácido maleico	Névoa salina
Ácido nítrico	Nitrato de amônia
Ácido nítrico + Ácido clorídrico	Nitrato de cálcio
Ácido nítrico + Ácido fluorídrico	Nitrato de prata + Ácido acético
Ácido oxálico	Petróleo
Ácido sulfâmico	Solução de sulfito
Ácido sulfúrico	Suco de beterraba
Ácido sulfúrico + Ácido acético	Sulfato de Amônia
Ácido sulfúrico + Sulfato de cobre	Sulfato de Amônia + Ácido sulfúrico
Ácido sulfúrico + Sulfato ferroso	Sulfato de cobre
Ácido sulfúrico + metanol	Sulfato férrico
	Sulfito para digestão á- cida (Bisulfito de cálcio + dióxido de enxofre)

Um exame microscópico do material revelou um ataque intergranular intenso, conforme observa-se na Figura 5, devido à uma sensitização provocada por um tratamento de alívio de tensões. O caso ilustrado

na Figura 4 refere-se à uma corrosão intergranular na região termicamente afetada pela solda de um tubo de aço inoxidável AISI 316 que transportava vinho numa destilaria de álcool. Em um dos casos analisados pelo IPT constatou-se a ocorrência da corrosão intergranular numa serpentina de trocador de calor fabricada com aço inoxidável AISI 304 que operava com água industrial, a 30°C no seu interior, e hexametileno diamina contendo traços de soda, a 75°C no seu exterior. A corrosão foi verificada no lado externo, detectada pelo vazamento de água. Segundo informações coletadas, o trocador de calor sofreu um tratamento térmico de alívio de tensões a 650°C, por várias horas após a soldagem de diferentes componentes, este tratamento foi o causador da sensitização do material (ver Figura 3).

As condições de operação também podem sensitizar o material conforme verifica-se na Figura 6. Neste caso o equipamento era fabricado com o aço inoxidável "Uddelholm 24", que é equivalente ao AISI 316, e destinava-se ao processamento de substâncias orgânicas aquecidas com vapor. A corrosão ocorreu na região em que circulava o vapor no semi-tubo soldado na face externa da chapa. Neste caso, embora a temperatura não tenha sido muito elevada, tendo em vista o período de utilização do equipamento, ela foi suficiente para a sensitização do material.

Para evitar a corrosão intergranular dos aços inoxidáveis austeníticos, obviamente, deve-se evitar a precipitação dos carbonetos e/ou nitretos de cromo nas regiões intergranulares. Caso isto ocorra, deve-se solubilizá-los através de tratamentos térmicos adequados.

Naqueles casos onde a solubilização é praticamente impossível deve-se recorrer a materiais com baixo teor de carbono, como por

exemplo o AISI 304L no lugar do AISI 304 ou AISI 316L no lugar do AISI 316, ou mesmo aos aços "estabilizados", isto é, aqueles contendo elementos de liga que precipitam preferencialmente com o carbono e conseqüentemente deixam o cromo livre dissolvido no aço. É o caso dos aços inoxidáveis AISI 321, que contêm titânio 5 vezes o teor de carbono, e AISI 347, que contêm nióbio 10 vezes o teor de carbono.

#### 4. Corrosão-sob-tensão

Por volta de 1900 a corrosão-sob-tensão foi considerada um caso muito especial de corrosão que é caracterizada pela ruptura frágil dos metais dúteis, em alguns casos ocorrendo mesmo sem a aplicação externa de esforços de tração. Obviamente para que ocorra este tipo de corrosão há a necessidade de ação simultânea de corrosão e esforços de tração.

A literatura menciona que o primeiro trabalho sobre a corrosão-sob-tensão dos aços inoxidáveis austeníticos foi publicado em 1940<sup>(1)</sup> por Hodge e Miller, mas na verdade existe um trabalho publicado em 1939 por Hoyt e Scheil<sup>(4)</sup> onde é relatada a ocorrência da corrosão-sob-tensão de aços inoxidáveis austeníticos do tipo 307. Este trabalho foi bastante controvertido na época, duvidando-se inclusive da ocorrência de corrosão-sob-tensão, tendo em vista que as trincas foram do tipo intergranular e assim, na discussão do trabalho, Aborn<sup>(5)</sup> sugeriu para o mecanismo dessa falha como sendo o da própria corrosão intergranular assistida por tensões mecânicas. Hoje, depois de meio século, não há mais dúvidas de que aços inoxidáveis austeníticos são susceptíveis à corrosão-sob-tensão.

O mecanismo da corrosão-sob-tensão não é ainda bem conhecido,

existindo muitas controvérsias a respeito dos diferentes modelos (para maiores detalhes ver por exemplo o trabalho de Pugh<sup>(6)</sup> e Staehle<sup>(7)</sup> que fazem uma revisão dos diferentes mecanismos propostos).

Os casos mais comuns de corrosão-sob-tensão de aços inoxidáveis austeníticos ocorrem em meios contendo cloretos e em temperaturas superiores a 60°C. Nestes casos, o trincamento é sempre transgranular e quase sempre múltiplo e ramificado (Figuras 7 e 8).

O caso ilustrado na Figura 7 refere-se a uma corrosão-sob-tensão ocorrida numa coluna de absorção de ácido nítrico contaminado com cerca de 12 ppm de cloreto. Já o caso mostrado na Figura 8 refere-se a um tubo de trocador de calor, no qual o trincamento por corrosão-sob-tensão ocorreu na região de mandrilamento.

Outros meios em que a corrosão-sob-tensão dos aços inoxidáveis austeníticos ocorre com frequência são os meios alcalinos quentes. O caso ilustrado nas Figuras 9 e 10 refere-se ao trincamento por corrosão-sob-tensão provocado pelo arraste de álcalis numa junta de expansão de vapor que operava a 180°C. Deve-se notar que neste caso a trinca era intergranular apesar do material não estar sensitizado. Nesse tipo de meio as trincas transgranulares também ocorrem com frequência, e inclusive em materiais sensitizados.

Além desses meios, outros meios podem provocar corrosão-sob-tensão de aços inoxidáveis austeníticos desde que os mesmos estejam sensitizados. É o caso das águas de elevada pureza utilizadas em reatores nucleares<sup>(8,9)</sup>, do ácido politiônico formado em refinarias de petróleo<sup>(6)</sup> e do ácido sulfúrico<sup>(6)</sup>.

Para se evitar a ocorrência da corrosão-sob-tensão dos aços inoxidáveis austeníticos via de regra, deve-se minimizar as tensões mecânicas, tanto as aplicadas como as residuais, controlar o meio eliminando-se o agente agressivo ou utilizando-se inibidores de

corrosão, ou ainda utilizando materiais não susceptíveis a este tipo de corrosão, caso seja possível<sup>(10)</sup>.

### 5. Corrosão por pite

A corrosão por pite é um tipo de corrosão típico e é caracterizado por um ataque localizado, muitas vezes minúsculo, com diâmetro variando de fração de milímetro e até alguns milímetros, que pode perfurar o material num espaço de tempo relativamente curto. Pites típicos podem ser vistos nas Figuras 11 e 12. Trata-se de um caso de corrosão ocorrido num aquecedor de aço inoxidável AISI 304 tipo banho-maria que era utilizado no refeitório de uma indústria. Observa-se que a superfície do metal como um todo apresenta-se limpa, típica de material passivado, sem nenhum produto de corrosão visível a não ser as perfurações em pontos discretos.

O mecanismo da nucleação dos pites ainda não está esclarecido, mas sabe-se que a sua origem se dá pelo rompimento localizado da película passiva e os íons halogenetos, particularmente o cloreto, são os responsáveis por este tipo de rompimento. Esta nucleação leva algum tempo para se manifestar, devido ao tempo de indução, podendo variar de meses até anos<sup>(11)</sup>, dependendo da natureza do meio, da composição do aço e das condições metalúrgicas e superficiais do material. Uma vez nucleados, os pites propagam-se com uma velocidade crescente devido à sua natureza autocatalítica.

Conforme já mencionado, o agente mais comum para promover a corrosão por pite é o íon cloreto e a sua corrosividade aumenta com a sua concentração, pelo aumento da acidez do meio (diminuição do pH), e pelo aumento da temperatura, atingindo um máximo por volta dos 80°C<sup>(12)</sup> a 90°C<sup>(13)</sup>.

A literatura tem mostrado que soluções cloretadas estagnadas são mais corrosivas do que as agitadas, sendo inclusive recomendada uma velocidade mínima de 1,5 m/s a 2 m/s <sup>(12,14)</sup>, em água do mar, não existindo nenhum limite superior, pois os aços inoxidáveis austeníticos, via de regra, apresentam excelente resistência à erosão-corrosão podendo resistir a velocidades de até 40 m/s <sup>(12)</sup>. A ação benéfica da agitação normalmente é atribuída à prevenção de sedimentação e conseqüentemente da corrosão por frestas (o que será discutido mais a diante) na interface depósito/metál.

Quanto ao material metálico, a adição de alguns elementos de liga aumenta a sua resistência à corrosão por pite, enquanto que outros podem diminuir, conforme mostrado na Tabela III <sup>(15)</sup>.

Tabela III - Efeito de elementos de liga na corrosão por pite dos aços inoxidáveis <sup>(15)</sup>.

ELEMENTO	EFEITO NA RESISTÊNCIA CONTRA A CORROSÃO POR PITE
Cromo	Aumenta
Níquel	Aumenta
Molibdênio	Aumenta
Nitrogênio	Aumenta
Silício	Diminui Aumenta na presença de molibdênio
Titânio e Nióbio	Diminui na solução de cloreto férrico Não afeta em outros meios
Enxofre e Selênio	Diminui
Carbono	Diminui, especialmente quando o metal estiver sensitizado.

A presença de segregações e precipitados, como os carbonetos e os sulfetos de manganês, aumentam a susceptibilidade à corrosão por pite. Polimentos mecânicos tendem a reduzir o número de pites mas tendem a alargar os pites nucleados.

A sensitização aumenta a susceptibilidade à corrosão por pite e particularmente, no caso das regiões termicamente afetadas pela solda, a região oxidada, de coloração marrom a marrom quase preto, é mais susceptível, sendo recomendada a remoção desse óxido por meios químicos/eletroquímicos ou mecânicos. A Figura 13 mostra um caso típico onde a corrosão por pite ocorreu na região termicamente afetada pela solda em um aço inoxidável do tipo AISI 316 que transportava o vinho numa destilaria de álcool.

#### 6. Corrosão em frestas

A corrosão em frestas é, como o próprio nome indica, um tipo de corrosão que ocorre em frestas desde que o eletrólito venha a penetrar no seu interior. Este tipo de corrosão ocorre em todos os tipos de frestas onde pelo menos um dos componentes seja metálico, independente do outro material, que pode ser por exemplo, de borracha, papel, detritos, etc. O mecanismo da corrosão em fresta é em muitos aspectos, semelhante ao da corrosão por pite.

A Figura 14 mostra a perfuração ocorrida numa placa de um equipamento de pasteurização de leite, fabricado em aço inoxidável AISI 316, devido a corrosão na região da fresta formada entre a placa e a junta de borracha.

A presença de depósitos parcialmente aderidos também provoca a corrosão em fresta como podem ser observados nas Figuras 15 e 16. Neste caso ocorreu a perfuração do tubo de aço inoxidável AISI 316 que transportava vinho numa usina de álcool devido à sedimentação de materiais em suspensão.

A corrosão em fresta pode também ocorrer nas frestas formadas entre metais, conforme pode-se observar na flange da Figura 17 e na

região de superposição de tubos soldados mostrados nas Figuras 21 e 22 fabricados em aço inoxidável AISI 316 e que eram parte de um sistema de transporte de vinho numa destilaria de álcool.

As medidas preventivas para a corrosão em frestas são óbvias. Deve-se evitar a formação de frestas, seja durante o projeto e montagem, seja durante a operação do equipamento, através de manutenções mais frequentes, como por exemplo, aperto de parafusos de flanges, limpeza ou uso de material anti-incrustante.

### 7. Erosão-corrosão

Conforme mencionado na corrosão por pite (item 5) os aços inoxidáveis são bastante resistentes à erosão-corrosão. São muito raros os casos deste tipo de desgaste em meios líquidos, não existindo muitas referências na literatura. Nos metais, em geral, este desgaste ocorre por ação sinérgica da corrosão com a erosão mecânica, que remove a passivação do metal e assim expõe o metal não passivado ao meio corrosivo, propiciando o ataque pelo meio. Como as películas passivas dos aços inoxidáveis são bastante resistentes ao desgaste a erosão-corrosão é bastante rara.

No IPT apareceu apenas um caso deste tipo de falha, o qual está mostrado na Figura 18. O material em questão era um aço inoxidável do tipo AISI 304 e era fieira para acetato de celulose contendo dióxido de titânio a uma temperatura de 50°C a 60°C com pressão de 40 kgf/cm<sup>2</sup> a 80 kgf/cm<sup>2</sup>. Os furos eram, conforme observa-se na figura, triângulos equiláteros com lado de  $(0,062 \pm 0,002)$ mm.

Para evitar este tipo de corrosão deve-se utilizar um material mais resistente à abrasão e/ou diminuir a abrasividade do produto manipulado.

### 8. Fadiga-sob-corrosão

Na fadiga-sob-corrosão a falha por fadiga é acelerada pela ação eletroquímica do meio. Para os metais não passiváveis este tipo de falha é caracterizado pela presença de produtos de dissolução no interior da trinca indicando que o processo corrosivo ocorreu durante o ciclo de compressão. Para os metais passiváveis isto nem sempre ocorre tornando a caracterização muito difícil. No entanto, a fadiga-sob-corrosão normalmente manifesta-se com trincas múltiplas as quais, ao contrário da corrosão-sob-tensão, não são ramificadas, como pode-se observar na Figura 19, que mostra a fadiga-sob-corrosão de uma junta de expansão para linha de vapor fabricada com aço inoxidável do tipo AISI 304.

Para se evitar este tipo de corrosão normalmente é recomendada a redução dos níveis de tensões a que o material será submetido através de redimensionamento do equipamento e/ou o uso de inibidores de corrosão.

### 9. Corrosão a alta temperatura

Os aços inoxidáveis austeníticos possuem elevada resistência à corrosão a altas temperaturas<sup>(16)</sup>. A boa resistência contra a oxidação deve-se à formação de óxidos protetores superficiais de óxido de cromo que atuam como barreira.

No entanto, se houver deposição de sais ou óxidos de baixo ponto de fusão na superfície do metal haverá uma dissolução da película protetora e o metal sofrerá uma corrosão quente ("hot corrosion") com um contínuo ataque do metal.

Um caso deste tipo de corrosão, examinado pelo IPT, era um reator para a oxidação de chumbo a óxido de chumbo fabricado parte em

aço inoxidável do tipo AISI 310 e parte em AISI 316L. Os componentes de AISI 316L sofreram uma oxidação severa conforme mostrado na Figura 20. A temperatura de operação deste reator era de 650°C a 700°C e a vida útil dos componentes fabricados em AISI 316L era de cerca de 3 meses.

#### 10. Discussão e Conclusão

Dos casos de corrosão analisados verifica-se que os aços inoxidáveis austeníticos, apesar do excelente desempenho que, apresentam em diversas aplicações, são altamente susceptíveis a falhas por corrosão quando inadequadamente selecionados, fabricados ou mantidos. A sua especificação deve ser bastante cuidadosa desde a seleção da liga até o processo de fabricação e da operação do equipamento, particularmente na manutenção se houver possibilidade de formação de depósitos ou frestas.

Voltando à Tabela I observa-se que todos os tipos de corrosão referentes aos aços inoxidáveis nas indústrias dos E.U.A e Alemanha ocorrem também aqui no Brasil. O único tipo de corrosão que apresentou uma frequência anormal foi a corrosão em fresta. Uma possível explicação é que no Brasil a sua incidência é maior devido à formação de incrustações no interior dos dutos e nas paredes dos equipamentos, enquanto que nos outros países a maior incidência é em frestas formadas nas juntas e uniões. Ressalte-se que as incrustações, como já mencionado, podem ser evitadas com a limpeza periódica através de programas de manutenção preventiva. Mesmo no caso de juntas, muitos dos casos analisados no IPT (ver Figura 21 e 22), poderiam ser evitados por ocasião da montagem.

Finalmente, cabe ressaltar que do ponto de vista de um bom desempenho frente a corrosão a utilização de metais mais resistentes

ã corrosão requer um conhecimento e treinamento mais adequado em todos os níveis, desde projetistas, selecionadores de materiais até montadores e operadores de equipamentos.

#### Referências Bibliográficas

1. FONTANA, M.G. & GREEN, N.D. Corrosion engineering. New York, McGraw-Hill, 1978. 2.ed. p.16.
2. SAPHN, G.H., WAGNER G. H. & STEINHOFF, U. Stress corrosion cacking and hydrogen embrittlement Houston, NACE, 1977. p.80.
3. MANSON Jr, J. F. Corrosion resistance of stainless steels in aqueous solutions. In: AMERICAN Society for Metals Source book on Stainless steels. Metals Park, 1976. p.111.
4. HOYT, S.L. & SCHEIL, M. A. Stress corrosion cracking in asutenitic stailless steels. ASM-Transaction 27:191, 1939.
5. ABORN, R. H. IN: HOYT, S.L. & SCHEIL, M.A. Stress-corrosion cracking in austenitic satinless steels. ASM-Transaction, 27:219, 1939 .
6. PUGH, E. N. A post conference evaluation of four understanding of the failure mechanisms. In: STRESS corrosion cracking and hydrogen embrittlement of iron base alloys. Houston, NACE, 1977 p.37-51.
7. THEUS, G. J & STAEHLE, R. W. Review of stress corrosion cracking and hydrogen embrittlement in the austenitic Fe-Cr-Ni alloys. In: STRESS corrosion cracking and hydrogen embrittlement of iron base alloys. Houston, NACE, 1977. p. 845-92.
8. ARNIJO, J. S. Intergranular stress corrosion cracking of austenitic stainless steels in oxygenated high temperature water. Corrosion 24(10):319-25. 1968 .
9. WILDE, B.E. & WEBER, J.E. Intergranular stress-corrosion resistance of asutenitic stainless steels in water/oxygen environments: accelerated test procedure. Brit. Corr. J., 4(1):42-6 1969 .
10. LOGAN, H.L. The stress corrosion of metals. New York. John Wiley, s.d. p.100-55.

11. FONTANA, M.G. & GREEN, N.D. Corrosion engineering. New York, McGraw-Hill, 1978. 2 ed. p.49.
12. SCHARFSTEIN, L.R. Effects of composition, structure, and heat treatment on the corrosion resistance of stainless steels. In: BERNSTEIN, J.M. Handbook of stainless steels. New York, McGraw-Hill, 1977. p.16-81.
13. UHLIG, H.H. Pitting in stainless steels and other passive metals In: UHLIG, H.H. Ed. The corrosion handbook. New York, John Wiley, 1966. p.167.
14. LAQUE, F.L. Corrosion by sea water-behavior of metals and alloys in sea water. In: UHLIG, H.H. Ed. The corrosion handbook. New York, John Wiley, 1966. p.414.
15. GREEN, N.D. & FONTANA, M.G.A. critical analysis of pitting corrosion. Corrosion, 15(1):25t. 1959.
16. BINDER, W.O. Chromium-iron, austenitic chromium-nickel-iron, and related heat-resistant alloys. In: UHLIG, H.H. The corrosion handbook. New York, John Wiley, 1966. p.641.
17. COLLINS, J.A., MICHAEL, L.M. Stress corrosion cracking in the chemical process industry. Mat.Perf., 12(6): 11-5, Jun.1973.

#### ABSTRACT

The features and prevention of different types of corrosion failures of industrial austenitic stainless steel equipments are presented, in order to alert designers, assemblers and users for their possible premature deterioration.

Each type of corrosion failure was illustrated with case histories investigated at São Paulo State Technological Research Institute - IPT during the period of 1963 to 1988. In addition, statistical survey from one American and one German chemical plants are presented.

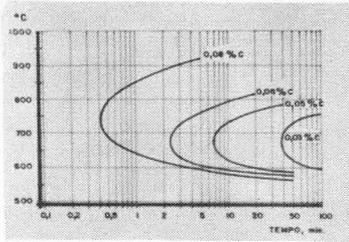


Figura 1 - Curvas tempo - temperatura - sensitização.

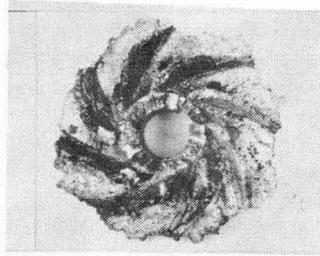


Figura 2 - Aspecto da parte central do rotor destacada em virtude dos fissuramentos causados pela corrosão.

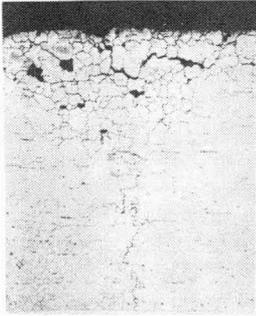


Figura 3 - Estrutura característica de aço inoxidável austenítico sensitizado. Ataque: eletrolítico com ácido oxálico. Aumento: 100 x.

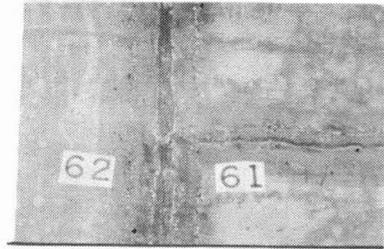


Figura 4 - Corrosão ao longo da região termicamente afetada pela solda.

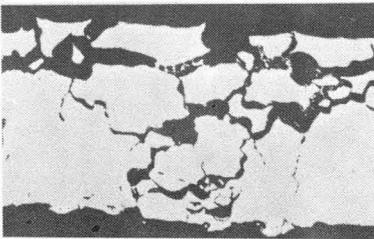


Figura 5 - Micrografia da seção transversal do rotor da Figura 2. Corrosão intergranular acentuada. Sem ataque. Aumento: 30 x.

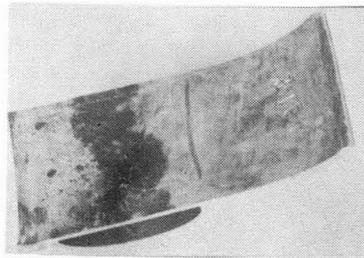


Figura 6 - Aspecto da corrosão na região da solda.

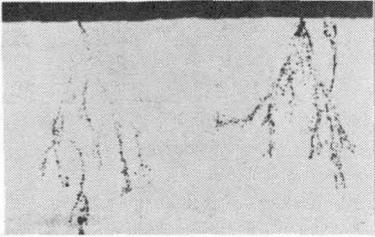


Figura 7 - Trincas ramificadas iniciadas na face externa da chapa de aço inoxidável. Sem ataque. Aumento: 50 x.

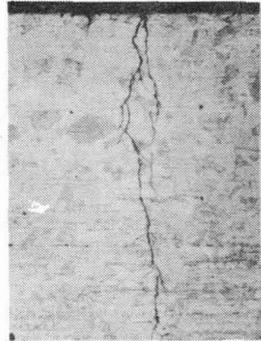


Figura 8 - Trinca transgranular e ramificada, típica de corrosão-sob-tensão.

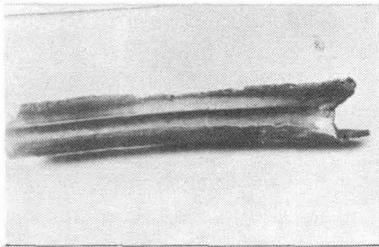


Figura 9 - Junta de expansão apresentando trincas longitudinais.

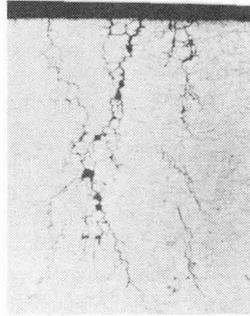


Figura 10 - Micrografia das trincas da figura 9. Nota-se o caráter misto, predominando o intergranular. Ataque: nital. Aumento: 100 x.

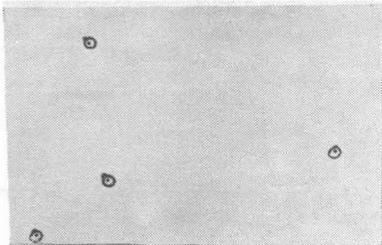


Figura 11 - Aspecto da chapa do aquecedor de marmitas compites.

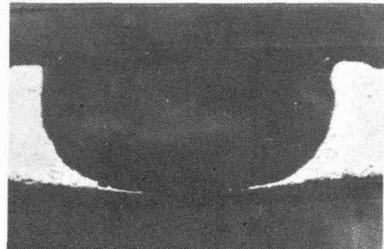


Figura 12 - Aspecto micrográfico dos pites da figura 11. Ataque: Água-régia. Aumento: 100 x.



Figura 13 - Elevada incidência de corrosão localizada do tipo pite ao longo da região termicamente afetada pela solda.

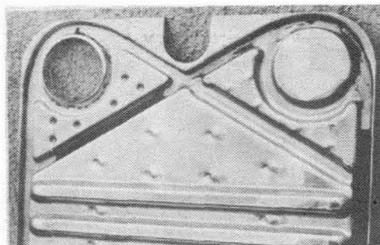


Figura 14 - Corrosão por pite na canaleta periférica de um dos furos.

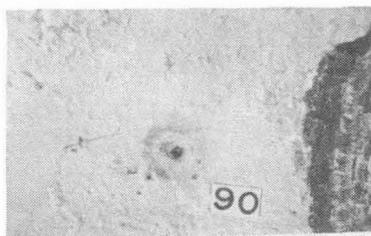


Figura 15 - Tubulação apresentando perfuração. Nota-se a presença de produtos aderidos à superfície.



Figura 16 - Mesma amostra da Figura 15 após remoção da camada de produtos. Nota-se intensa corrosão nos locais onde havia produtos aderidos.



Figura 17 - Aspecto da flange com corrosão entre a região de dobramento e o centro da flange.

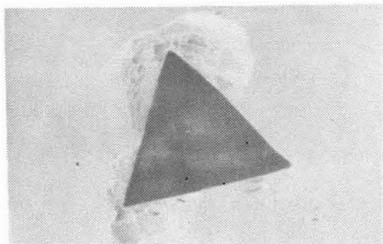


Figura 18 - Saída triangular do capilar da fieira. Nota-se a ocorrência de danos preferenciais nos vértices do triângulo. Aumento: 800 x.

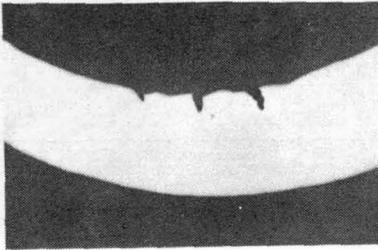


Figura 19 - Trincas paralelas com extremidades arredondadas.

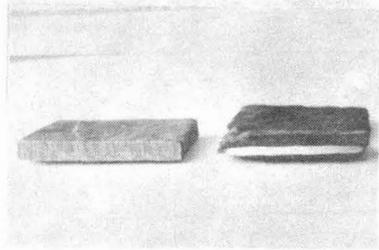


Figura 20 - Comparação entre as seções transversais das aletas sem e com desgaste. Nota-se a acentuada espessura da carepa na aleta desgastada.

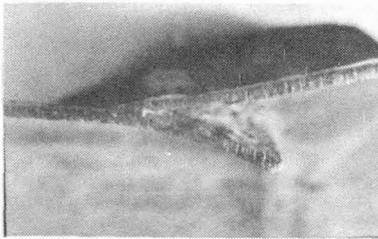


Figura 21 - Fresta formada em decorrência do processo de montagem por solda. Seção longitudinal.



Figura 22 - Aspecto da região corroída no interior da fresta.