

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DOS AÇOS AISI 444, ASTM A423 GR1, AISI 1020 E ASTM A213 GRT11 PARA APLICAÇÃO EM EVAPORADORES¹

Camila Alves Farias²
Vanessa de Freitas Cunha Lins³
Marília Mendonça Lima⁴

Resumo

Os evaporadores utilizados nas usinas para produção de açúcar são vasos com duas caixas trocadoras de calor cuja função é evaporar a água presente no caldo da cana. Esses trocadores de calor são fabricados de materiais de baixa resistência à corrosão e são frequentemente substituídos ao longo do processo produtivo. Tendo em vista o crescimento da produção de cana, açúcar e álcool para consumo e exportação, e a corrosão dos materiais utilizados nas usinas, procuramos buscar materiais alternativos que apresentassem maior vida útil, ou seja, com maior resistência à corrosão para serem empregados no lugar daqueles já existentes. Esse trabalho mostra a avaliação comparativa de resistência à corrosão do aço inoxidável AISI 444, aços ao carbono ASTM A423 Gr1 e AISI 1020, e do aço ligado ASTM A213 GrT11. Foram realizados testes em autoclave estimando taxa de corrosão em mm/ano desses aços. O aço inoxidável 444 apresentou menores taxas de corrosão seguido pelos aços T11 e 423. O aço carbono comum, 1020, apresentou o pior desempenho com uma taxa de corrosão em torno de cinco vezes maior do que aquela apresentada pelo aço 423 que, dos materiais alternativos avaliados, foi o que apresentou a mais alta taxa de corrosão.

Palavras-chave: Evaporador; Corrosão uniforme; Corrosão localizada por pite; Taxa de corrosão.

COMPARATIVE EVALUATION OF CORROSION RESISTANCE OF STEELS AISI 444, ASTM A423 GR1, AISI 1020 AND ASTM A213 GRT11 FOR USE IN EVAPORATOR

Abstract

The evaporators used in power plants for production of sugar are vessels with two boxes of heat exchangers whose function is to evaporate water in this broth of sugar cane. These heat exchangers are made of materials with low resistance to corrosion and are frequently replaced during the production process. In view of the growth in production of cane, sugar and alcohol consumption and for export, and corrosion of materials used in power plants, we are trying to find alternative materials to produce more life, or with greater resistance to corrosion to be applied to the place of those existing ones. This work shows the comparative assessment of resistance to corrosion of stainless steel AISI 444, the carbon steels ASTM A423 Gr1 and AISI 1020, and alloy steel ASTM A213 GrT11. Tests have been carried out by autoclaving estimated rate of corrosion in mm / year of steel. The stainless steel 444 showed lower rates of corrosion followed by steel T11 and 423. The common carbon steel showed the worst performance with a corrosion rate of around five times greater than that presented by 423 steel which, of alternative materials assessed, which presented the highest rate of corrosion.

Key words: Evaporator; Uniform corrosion, Localized corrosion by pitting, Corrosion rate.

¹ Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Mestranda, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da UFMG. Química, Vallourec&Mannesmann Tubes - V&M do Brasil S.A.

³ Professora Dra., Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da UFMG

⁴ Engenheira Dra., Vallourec&Mannesmann Tubes – V&M do Brasil S.A.

1 INTRODUÇÃO

No processo de fabricação do açúcar, o caldo da cana-de-açúcar passa por caixas trocadoras de calor cuja função é evaporar a água do caldo. A evaporação constitui o primeiro estágio de concentração do caldo proveniente da etapa de tratamento. O caldo contém cerca de 85% de água. Esse processo tem como objetivo reduzir essa porcentagem para aproximadamente 40%. Esta evaporação é feita em evaporadores de múltiplo efeito concorrente, isto é, o vapor gerado pela evaporação da água do caldo (vapor vegetal) presente na caixa de evaporação anterior é utilizado como fonte de aquecimento para a caixa posterior. Em média existem cinco efeitos de evaporação; cinco efeitos não determinam cinco equipamentos.

A cana-de-açúcar é constituída basicamente de água (65 % p/p - 75% p/p), sólidos (11 % p/p - 18% p/p), fibras (8 % p/p – 14% p/p) e pequenas quantidades de ácidos orgânicos e inorgânicos, proteínas, amido, ceras, graxas e corantes. Nos sólidos incluem-se: sacarose, glicose, frutose e sais. O vapor vegetal, proveniente da ebulição do caldo de cana, contém ácidos orgânicos naturais da cana-de-açúcar e ácidos orgânicos formados no processo de fabricação. A água condensada é constituída de gases dissolvidos, álcoois, aldeídos, ácidos orgânicos e substâncias nitrogenadas.

Os tubos de aço utilizados nestes equipamentos são freqüentemente substituídos por causa do desgaste por corrosão. As principais formas de corrosão observadas são generalizada e localizada. O desgaste por corrosão é crescente de primeiro ao último efeito, com o aumento da temperatura e acidez do meio.

O objetivo deste trabalho é avaliar comparativamente a resistência à corrosão dos aços propostos para substituição dos empregados atualmente.

2 PROCEDIMENTOS

Foram realizados testes de corrosão em autoclave para determinar a vida útil dos materiais, através de estimativa de taxa de corrosão em mm/ano.

Os corpos de prova foram retirados de tubos. Para os ensaios em autoclave os corpos de prova foram usinados, polidos até lixa grão 600, desengraxados com acetona P.A. e pesados em balança analítica antes de serem montados no suporte de teste. As dimensões utilizadas para usinagem dos corpos de prova foram 25 mm de comprimento, 25 mm de largura, 2 mm de espessura e um furo de 2 mm. O corpo de prova está ilustrado na Figura 1. A Tabela 1, mostra a composição química dos materiais testados, e a Tabela 2, as condições dos ensaios realizados no autoclave.



Figura 1. Corpo de prova utilizado nos ensaios em autoclave.

Tabela 1. Composição química dos materiais testados (% p/p)

	%C	%Si	%P	%S	%Mn	%Mo	%Ni	%Cr	%Cu	%Nb
Aço C	0,140	0,022	0,017	0,016	0,430	-	0,014	-	0,008	-
444	0,050	0,459	0,024	0,002	0,140	1,820	0,167	17,63	0,043	0,223
A423	0,120	0,225	0,063	0,002	0,470	-	0,265	0,411	0,257	-
T11	0,105	0,582	0,012	0,001	0,440	0,460	-	1,053	0,009	-

Tabela 2. Condições dos ensaios

Meio	Caldo de cana-de-açúcar
Volume	1500 litros
pH inicial	3,7
Temperatura	120 °C
Pressão	100 psi
Duração	7 dias
pH final	~ 3,5

Os parâmetros pressão e temperatura foram acompanhados durante todo o teste. Para se obter a pressão requerida de teste foi utilizado argônio, um gás inerte que não influencia no processo corrosivo.

Os ensaios foram conduzidos em duas fases, líquida e vapor. Na fase líquida, o material ficou em contato com o meio, simulando assim, o processo corrosivo no interior dos tubos aplicados nos evaporadores. Na fase vapor, os corpos de prova ficaram susceptíveis ao vapor gerado no aquecimento do caldo, simulando assim, a corrosão na parte externa dos tubos. A Figura 2 mostra o posicionamento dos corpos de prova no suporte de teste que foi posteriormente inserido no autoclave.



Figura 2. Montagem dos corpos de prova no suporte de teste

Após cada ensaio, os corpos de prova foram limpos, desengordurados e pesados de acordo com a norma ASTM G1. Foi aplicada a técnica de perda de massa, imersão progressiva do material em solução ácida. Com os dados de perda de massa, foi calculada a taxa de corrosão média, segundo a norma ASTM G1, conforme fórmula a seguir.

$$T_c = (K \times W) / (A \times T \times D)$$

Onde:

T_c = taxa de corrosão uniforme, expressa em mm/ano;

$K = 8,76 \times 10^4$, fator de conversão para mm/ano;

W = perda de massa em gramas;

A = área do corpo de prova em cm^2 ;

T = tempo de ensaio em horas;

D = densidade do material metálico em g/cm^3 .

Para maior confiabilidade, os testes foram realizados em triplicata e a média das três amostras foi calculada para se obter o resultado da taxa de corrosão.

3 RESULTADOS

Os resultados de taxa de corrosão obtidos na fase líquida e vapor estão mostrados nas Figuras 3 e 4, respectivamente. Observa-se que, embora os valores das taxas de corrosão na fase líquida sejam bastante superiores quando comparadas às taxas na fase vapor, o comportamento dos diferentes materiais nas duas fases mostrou-se similar.

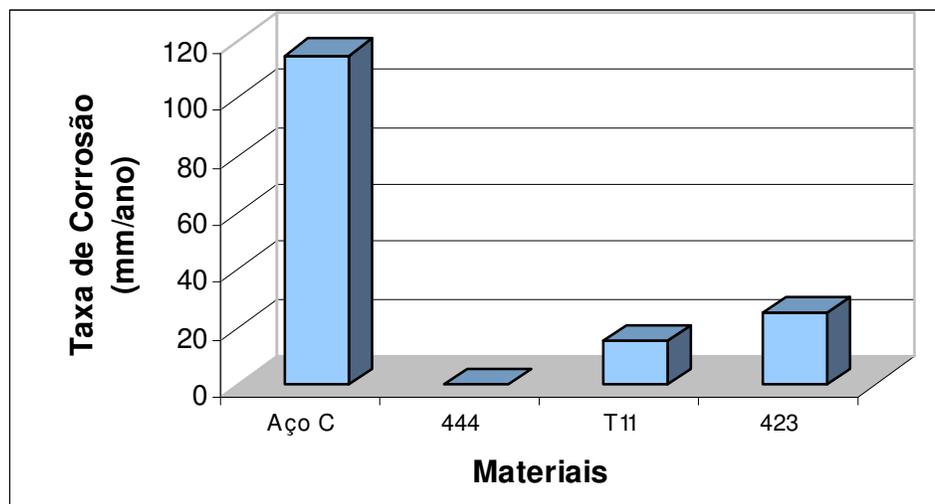


Figura 3. Taxa de corrosão na fase líquida.

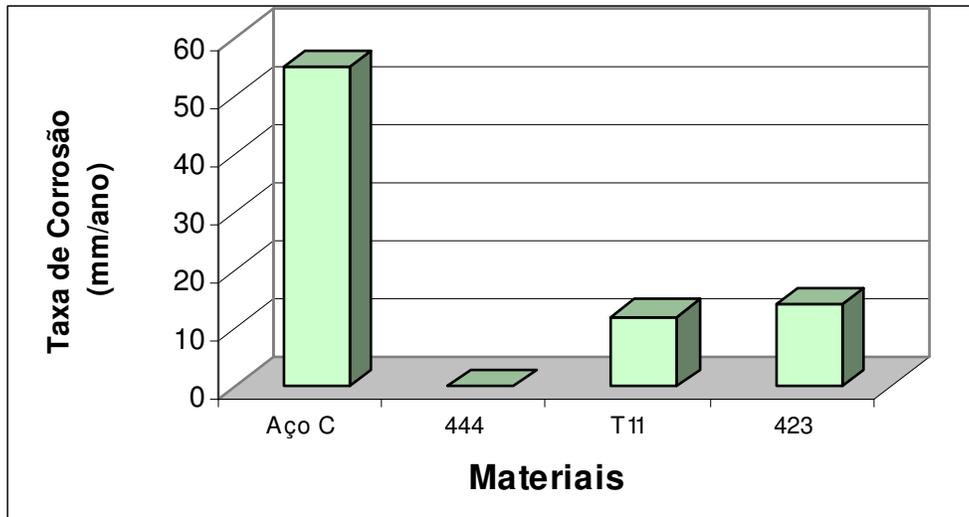


Figura 4. Taxa de corrosão na fase vapor.

O material que apresentou maior resistência à corrosão simulando o processo de evaporação do caldo da cana foi o aço inoxidável 444. Sua taxa de corrosão foi bastante inferior quando comparada à apresentada pelos demais materiais testados. Um bom comportamento quanto a resistência à corrosão também foi apresentado pelo aço T11 seguido do aço 423, dessa forma, apresentam um custo bastante inferior quando comparado com o aço inoxidável 444. Já o aço carbono apresentou o pior desempenho frente à resistência à corrosão quando comparado com os aços alternativos estudados nesse trabalho chegando a uma taxa de corrosão cinco vezes maior do que aquela apresentada pelo aço alternativo 423 que, dentre os aços propostos, foi o que apresentou o pior desempenho.

A alta resistência à corrosão do aço 444 pode ser atribuída à sua composição química, principalmente ao alto teor de cromo (17,6%), e à presença de molibdênio (1,8%).

Os aços T11 contêm elementos que podem aumentar sua resistência à corrosão aquosa, em relação à do aço 1020, como a adição de molibdênio (0,46%) e cromo (1,05%).

Já os aços 423 possuem 0,26%Cu, 0,4% Cr, que contribuem para o aumento de sua resistência à corrosão aquosa, em relação aos aços carbono comum.

A resistência à corrosão generalizada obedeceu a seguinte ordem: 444 > P11 > 423 > Aço C.

Foi verificada a ausência de corrosão localizada, com auxílio de microscópio ótico, não tendo sido observado pites.

Apesar da boa resistência à corrosão, o aço inox 444 apresenta menor condutividade térmica em relação ao aço carbono. Assim, e considerando-se o custo mais elevado dos aços inox, tubos de aço T11 podem ser uma opção para substituição dos tubos de aço carbono na montagem de evaporadores.

4 CONCLUSÕES

Nos testes realizados no presente trabalho, o aço carbono comum, que é o material mais empregado na montagem dos evaporados, apresentou a menor resistência à corrosão dentre os materiais testados.

O aço inox 444, apresentou taxa de corrosão próxima à 0,001 mm/ano, o que significa alta resistência à corrosão deste material no meio estudado.

Os aços T11 e 423 apresentaram maior resistência à corrosão que o aço carbono, sendo que o aço T11 apresentou melhor desempenho frente à corrosão no aço 423.

Considerando-se o custo elevado dos aços inoxidáveis e menor condutividade térmica, o aço T11 pode ser uma boa opção como material construtivo de tubos de evaporadores na indústria de açúcar e álcool.