

ANÁLISE DE DANOS E FALHAS EM UM GERADOR DE VAPOR

Beatriz O. A. P. Miranda^a,

Antonio C. B. Zancanella^a,

Rômulo Maziero^b,

Bruno D. Castro^b,

e Juan C. Campos Rubio^b

^aInstituto Federal de Educação, Ciência e

Tecnologia do Espírito Santo - Brasil

^bUniversidade Federal de Minas Gerais - Brasil

Contato para informação

maziero@ufmg.br.

RESUMO

A corrosão é uma das principais causas de degradação das caldeiras, que podem comprometer seriamente a integridade estrutural de superfícies sob pressão. Além disso, descontinuidades em juntas de soldas também representam uma potencial causa para a falha desses geradores. Neste estudo, foi realizada uma análise de danos e falhas para investigar a corrosão e a ruptura em um gerador de vapor. A análise foi realizada com base em uma análise química do material do gerador e ensaios não destrutivos, usando medição de espessura ultrassônica, boroscopia e a técnica de uso do líquido penetrante. A análise química do material que compõe o gerador de vapor mostrou que o material em estudo é um aço inoxidável austenítico da série 304. Através dos ensaios, foi possível perceber a presença de descontinuidades, trincas na região próxima da solda e corrosão com o aparecimento de pites. Os resultados do estudo evidenciaram fatores que podem levar o gerador de vapor à falhas prematuras, possibilitando inclusive a um completo colapso de sua estrutura.

Palavras-chave: autoclave, corrosão, aço inoxidável.

NOMENCLATURA

FRX Espectroscopia de fluorescência de raios X

INTRODUÇÃO

A autoclave a vapor saturado sob pressão é o processo mais comumente utilizado para instalações de esterilização e o mais econômico para esterilizar artigos termossensíveis. O equipamento é composto por uma câmara de aço inoxidável, com uma ou duas portas, contendo válvula de segurança, manômetro e indicador de temperatura. A temperatura da autoclave é equivalente ao ponto de ebulição da água (de 121 a 135 °C). São utilizadas variáveis de tempo, temperatura e pressão, e a combinação destas leva ao alcance de temperaturas adequadas para esterilização [1].

Equipamentos como vasos de pressão, fornos, tambores, torres e tubulações devem ter boa

resistência à corrosão, resistência à fluência e resistência à fadiga. Além disso, uma solda confiável tem boas propriedades mecânicas e de anticorrosão, e é um requisito crucial para muitas aplicações e componentes. Devido a essas características, os aços inoxidáveis austeníticos são amplamente aplicados nesses casos [2,3].

De acordo com a NR 13 - Caldeiras e Vasos de Pressão, as caldeiras devem ser submetidas à inspeção de segurança, interna e externa, nas seguintes oportunidades: antes de entrarem em funcionamento, quando novas, no local de operação; após reforma, modificação, ou após terem sofrido qualquer acidente; ao ser recolocada em funcionamento após intervalo de inatividade igual ou superior a seis meses consecutivos; quando houver mudança de local de instalação e, por fim, após 25 anos de uso, em inspeção subsequente, as caldeiras devem ser submetidas a rigorosa avaliação da integridade estrutural [4].

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise de danos e falhas para investigar

a corrosão e os fatores que podem levar à ruptura de um gerador de vapor. Uma análise química do material que compõe a estrutura e ensaios não destrutivos foram realizados, com o intuito de compreender os fenômenos ocorridos nos materiais em estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O gerador de vapor investigado neste estudo foi utilizado em um sistema de esterilização, e é composto por três resistores elétricos, potência de 12kW, atua na pressão de 2,5 kgf/cm² e na faixa de temperatura de 121 a 134 °C.

Com o objetivo de identificar a composição química da amostra retirada do gerador de vapor, foram realizados ensaios de espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX), usando um espectrômetro Rigaku RIX 3100.

Para verificar as diferenças de espessura ao longo do gerador de vapor, a medição foi realizada a partir do ensaio ultrassônico não destrutivo, utilizando um instrumento Echometer 1075 Karl Deutsch com precisão de ± 0,001 mm e geração de frequência de 4 MHz. Para essas análises, o gerador de vapor foi dividido em três regiões: traseira, lateral e frontal (Figura 1). Essas regiões foram subdivididas em quatro pontos de referência para a região frontal e traseira e seis pontos de referência para a lateral.

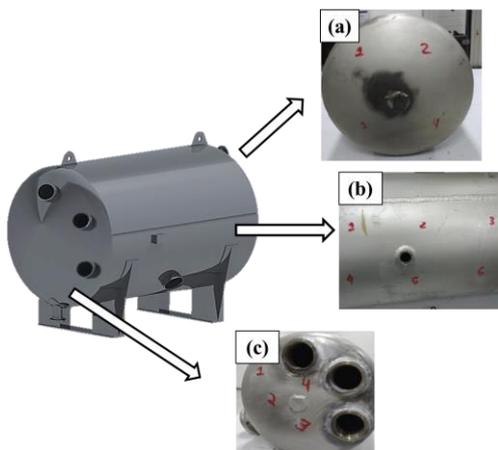


Figura 1. O gerador de vapor e suas regiões (a) traseira, (b) lateral e (c) frontal.

A captura interna da imagem do gerador de vapor foi obtida usando um endoscópio industrial ECO-610 Ecogage e uma sonda de 5,50 mm.

Dois ensaios não destrutivos foram realizados usando líquido penetrante para detectar discontinuidades de superfície (Figura 2). O ensaio com penetrante fluorescente ZF-60D Magnaflux foi realizado em toda a superfície da caldeira e na seção transversal da junta soldada. O ensaio de penetração da Visible Metalchek foi realizado apenas na seção transversal da junta soldada. Um revelador SKD-S2 Magnaflux não aquoso também foi aplicado, usando

um aerossol. No ensaio com penetrante fluorescente, a interpretação foi dada com o auxílio de luz ultravioleta.

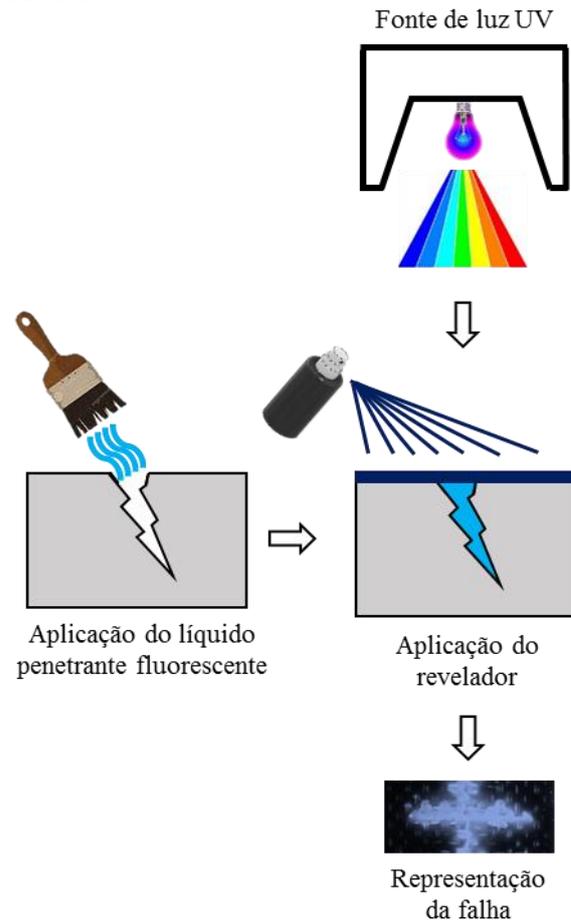


Figura 2. Representação do ensaio não destrutivo usando líquido penetrante fluorescente e luz ultravioleta (UV).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização do material

Com base na análise química realizada em uma amostra da caldeira, foi possível classificar o material como aço inoxidável austenítico série 304, conforme a Tabela 1 e com base na literatura [5,6].

Tabela 1. Análise química da amostra.

Parâmetros	Médias	Parâmetros	Médias
%Fe	69,6	%Cu	0,0698
%C	0,06000	%Nb	0,0496
%Si	0,375	%Ti	0,0015
%Mn	1,16	%V	0,0556
%P	0,0408	%W	0,0137
%S	< 0,0007	%Pb	< 0,0025
%Cr	18,1	%Sn	0,0005
%Mo	0,0912	%B	< 0,0003
%Ni	10,1	%Ca	0,0009
%Al	0,0125	%Se	< 0,0035
%Co	0,137		

Ensaio não destrutivo

Utilizando o ensaio de líquido penetrante, foi possível verificar a presença de trincas na região lateral esquerda da solda, bem como a falta de penetração, representando uma falha na fusão e preenchimento completo da raiz da solda (Figura 3). Portanto, a falta de penetração promove a redução da seção útil da solda e atua como um concentrador de tensão.

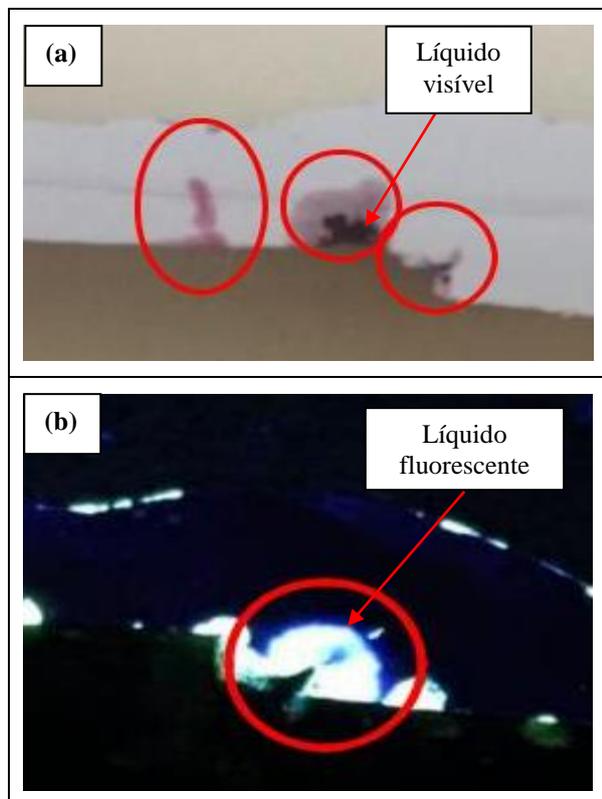


Figura 3. Ensaio não destrutivo usando líquido penetrante (a) visível e (b) fluorescente na seção transversal da junta soldada.

O ensaio ultrassônico mostrou a espessura das placas utilizadas na construção da caldeira. A diferença de medida entre as amostras variou de 0,02 mm para a região lateral, apresentando um desvio padrão de 0,012; em 0,11 mm para a região frontal com desvio padrão de 0,044; e 0,05 mm para a região traseira e desvio padrão de 0,028. Essa variação mostra que não houve redução significativa na espessura do material devido à corrosão [7] e pode ser uma consequência do processo de fabricação ou erro de medição do instrumento utilizado.

Com o boroscópio, foi possível visualizar as condições físicas internas da caldeira. Foi observada a presença de corrosão por pites (Figura 4), o que também foi investigado por Burstein et al. [8]. Os autores afirmam que a corrosão por pites é comumente associada a ânions específicos em solução, com destaque para o íon cloreto. Além disso, salienta-se

que a água de alimentação do gerador é altamente influente no processo de degradação dessas superfícies, uma vez que podem apresentar um pH agressivo ao material da estrutura.



Figura 4. Corrosão por pites.

CONCLUSÕES

A partir da análise química, foi possível classificar o material como aço inoxidável austenítico da série 304. Esses aços possuem excelente resistência à corrosão, alta tenacidade e boa soldabilidade.

Os testes não destrutivos permitiram observar a presença de discontinuidades, trincas, corrosão com a aparência de pites e incrustações internas no gerador de vapor. Foi observado também que não houve reduções significativas na espessura da superfície da estrutura, devido à corrosão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - IFES e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PPGMEC da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG pela estrutura física e apoio. Os autores agradecem às agências brasileiras CAPES, CNPq, FINEP e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. Bertani, N. G., Oliveira, T. A., Alvernaz, S. S. Qualitative analysis among chemical and physical sterilization methods. Educação, Meio Ambiente e Saúde, v. 3, n. 1, p. 223-237, 2008.
2. Ghalambaz, M., Abdollahi, M., Eslami, A., Bahrami, A. A case study on failure of AISI 347H stabilized stainless steel pipe in a

- petrochemical plant. *Case Studies In Engineering Failure Analysis*, v. 9, n. 1, p.52-62, 2017.
3. Panahi, H., Eslami, A., Golozar, M. A., Ashrafi Laleh, A., Aryanpur, M., Mazarei, M. Failure analysis of type 304 stainless steel amine exchanger sheets in a gas sweetening plant. *Case Studies In Engineering Failure Analysis*, v. 9, n. 1, p.87-98, 2017.
 4. SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO. Lei No. 6514, de 22 de dezembro de 1977; Norma Regulamentadora (NR), aprovada pela portaria No 3214. São Paulo: Atlas. 853 p. 2010.
 5. Chen, X., Ma, L., Zhou, C., Hong, Y., Tao, H., Zheng, J., Zhang, L. Improved resistance to hydrogen environment embrittlement of warm-deformed 304 austenitic stainless steel in high-pressure hydrogen atmosphere. *Corrosion Science*, v. 148, n. 1, p. 159-170, 2019.
 6. Wang, L., Xin, J., Cheng, L., Zhao, K., Sun, B., Li, J., Wang, X., Cui, Z. Influence of inclusions on initiation of pitting corrosion and stress corrosion cracking of X70 steel in near-neutral pH environment. *Corrosion Science*, v. 147, n. 1, p. 108-127, 2019.
 7. Sriramadasu, R. C., Banerjee, S., Lu, Y. Detection and assessment of pitting corrosion in rebars using scattering of ultrasonic guided waves. *NDT & E International*, v. 101, n. 1, p. 53-61, 2019.
 8. Burstein, G. T., Liu, C., Souto, R. M., Vines, S. P. Origins of pitting corrosion. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, v. 39, n. 1, p. 25-30, 2004.