

ANÁLISE DE FALHAS E SELEÇÃO DE MATERIAL DE UM MANGOTE QUE FALHOU EM SERVIÇO, INTERLIGANDO O CILINDRO DE CLORO AO MANIFOLD DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE UMA PLANTA INDUSTRIAL.

CHARLES LOURENÇO ROCHA¹, LEONARDO DIAS PEREIRA²

¹Engenheiro Mecânico, UNSISUAM, Rio de Janeiro-RJ, clrtrabalho@gmail.com;

²Me. em Engenharia Mecânica, Prof. Aux. UNSISUAM, Rio de Janeiro-RJ, leopereiradias@yahoo.com.br.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: Este trabalho tem por finalidade apresentar uma análise de falha ocorrida em um sistema de injeção de fluido cloro gasoso, com propósito de identificar a causa básica. Para solucionar o problema, foi proposto a seleção de um tipo de material que suporte as condições de operação. A falha foi localizada na região do terminal do mangote onde é realizado a conexão do cilindro de cloro com o manifold, sendo esses, elementos mecânicos do sistema. O sistema de injeção de cloro em questão, pertence à estação de tratamento de água de uma planta industrial. A não contenção do fluido ocasionou vazamento de produto tóxico, sendo o mesmo rapidamente percebido, controlado e cessado pelos funcionários da empresa, sem causar acidentes. Curiosamente, este fato ocorreu em curto espaço de tempo de funcionamento, cerca de 6 meses. Logo, devido a sua importância dentro do processo, e aos perigos existentes causados por vazamento, torna-se importante a investigação e conhecimento da causa básica da falha, afim de evitar possíveis falhas futuras. Ademais, para o proposto, foram realizadas as seguintes etapas: estudo do histórico de falhas, inspeção visual, ensaio de identificação de materiais por fluorescência de Raio-X, ensaio não destrutivo com líquidos penetrantes, definição do mecanismo de corrosão e causa básica, e por fim aplicação do método de seleção de material Pahl & Beitz, sendo os mesmos apresentados neste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Mangote; Cilindro de Cloro; Análise de Falhas; Seleção de Material.

FAILURE ANALYSIS AND MATERIAL SELECTION OF A HOSE THAT FAILED IN SERVICE, CONNECTING THE CHLORINE CYLINDER TO THE WATER TREATMENT SYSTEM MANIFOLD OF AN INDUSTRIAL PLANT.

ABSTRACT: This work aims to present a failure analysis in a chlorine gas injection system, for the purpose of identifying the underlying cause. To solve this problem, it is proposed to selection of material that supports the operating conditions. The system failure was located in the region of the hose terminal where the connection of the chlorine cylinder with the manifold is carried out, these being mechanical elements. The chlorine injection system in question belongs to the water treatment of industrial plant. The lack of fluid containment caused the release of toxic product, and it was quickly perceived, controlled and stopped by the company's employees, without causing accidents. fortunately, this fact occurred in a short time of operation, about 6 months. Therefore, due to its importance within the process, and to the existing dangers caused by leakage, it is important to investigate and know the basic cause of the failure, so as to propose one or more solutions, in order to avoid possible future failures In addition, for the proposed, the following steps were carried out: historical failure study, visual inspection, X-ray fluorescence material identification test, non-destructive penetrating liquid test, corrosion mechanism definition and underlying cause, and finally the application of the material selection method Pahl & Beitz, being the same presented in this work.

KEYWORDS: Hoses, Chlorine Cylinder, Failure Analysis, Material Selection.

INTRODUÇÃO

Em diversos processos industriais, existe a necessidade de resfriamento de máquinas dinâmicas, equipamentos estáticos e mistura de fluídos. Para isto, a água é um dos fluídos mais utilizados devido, principalmente, a sua grande capacidade de remover calor de outros corpos (SILVA, 2009). Antes e após de ser utilizada, a água precisa de tratamento para escoar entre os processos, e evitar problemas aos equipamentos como: depósitos e corrosividade. A estação de tratamento de água de uma planta industrial, tem a finalidade de resfriar a água que já está em operação e também de adicionar produtos químicos como o cloro para evitar incrustações nos equipamentos do processo (MARTINS, 2009).

Em um sistema de injeção de cloro, a ligação do cilindro de cloro para linha de manifold é realizada através do conjunto mecânico chamado mangote e elemento de fixação e vedação chamado Yoke. O mangote é composto de duas conexões e um tubo flexível. As conexões são chamadas também de terminais ou ponteiros sendo, geralmente, fabricadas com material especificado de liga de cobre. Durante a substituição dos cilindros vazios, é adotado como prática borrifamento de hidróxido de amônia nas conexões dos terminais do mangote e no corpo para verificação da estanqueidade. Caso estivesse vazando, o cloro gasoso reagiria com o hidróxido de amônia e formaria uma névoa branca de NH_4Cl (cloreto de amônia) indicando o local do vazamento. Entretanto, as ligas de cobre sofrem corrosão sob tensão em presença de amônia (MELLO, 2008). Na planta industrial em questão, geralmente o corpo da tubulação em liga de cobre apresentava trincas, sendo assim inutilizadas. Para resolver o problema, em 06/2014 os mangotes, com material especificados de liga de cobre, foram substituídos por material liga de níquel, especificamente Monel 400, nas conexões, e o tubo flexível foi substituído por material liga de níquel. A saber, o Monel 400 é uma liga metálica resistente a fluídos cáusticos como o cloro (REALUM, 2020). Porém, contrariando o que era esperado, com cerca de 6 meses de operação, um dos mangotes falhou, onde é realizado a conexão com o cilindro e o manifold.

Neste trabalho é apresentada a análise de falhas com finalidade de identificar a causa básica da falha. A solução recomendada neste trabalho é a aplicação do método de seleção de materiais, assim indicando um tipo de material que suporte as condições de operação.

METODOLOGIA ANÁLISE DE FALHAS E SELEÇÃO DE MATERIAL

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado duas metodologias: Análise de falhas e Seleção de Material. A metodologia de análise de falhas é realizada após sua ocorrência. O objetivo é identificar a causa raiz, e o mecanismo de falha. Assim é proposto soluções para correção, ou formas de controle para conviver com o problema de forma segura. Como consequência, este estudo traz benefícios como: prevenção de recorrência, maior segurança operacional do equipamento.

Devido à natureza da falha, a metodologia varia conforme o caso. Logo o profissional analista não só deve saber diagnosticar a falha, mas também deve escolher os o melhor caminho para esclarecê-la. Com isso pode-se destacar os seguintes passos para realizar uma investigação: consulta ao histórico de falhas, consulta aos dados de projeto, inspeção preeliminar visual, registro fotográfico, ensaios não destrutivos e testes mecânicos, seleção e preservação da amostra, exame macroscópico e microscópico e exame metalográfico. Em um breve resumo da investigação para o caso deste trabalho, ou seja, os passos adotados para a análise de falhas tem-se, primeiramente, foi feita aquisição de dados referente ao componente, depois realizado inspeção visual em campo e no laboratório, e em seguida a análise da composição química do mangote e elemento de fixação Yoke, com a técnica de Fluorescência de Raios-X. Ademais foi realizado ensaio Líquidos Penetrantes, e por fim elaborado relatório com todas evidências, problemas, e a identificação das causas que levaram a falha do componente.

Outra metodologia utilizada é a Seleção de Materiais, que é uma união dos múltiplos objetivos e de diferentes parâmetros técnicos de projeto. Para o presente trabalho o principal parâmetro a ser comparado entre os possíveis materiais é a taxa de corrosão. Ou seja, quanto menor a taxa de corrosão na condição de operação, melhor é o material. A pressão interna não é considerada devido ao seu baixo valor. Neste trabalho, é utilizado a matriz de decisão “Pahl & Beitz” para a escolha do material.

Neste método, considera-se também o índice de mérito, que é uma forma algébrica e quantitativa de comparação entre duas propriedades. Ou seja, os parâmetros são transformados em números, e assim comparados, sendo o melhor material aquele que apresentar maior valor de índice de mérito. Porém considera-se inviável o cálculo do índice de mérito para o parâmetro taxa de corrosão, pois para corrosões em meio aquosos e em presença de ácidos torna-se difícil a descrição do fenômeno através de equações (ASHBY,1999). Sendo assim, é usual a obtenção deste valor através de testes empíricos, sendo catalogados em livros.

Figura 1. Ponteira Monel e Yoke



Figura 2. Aba Flange Ponteira Monel

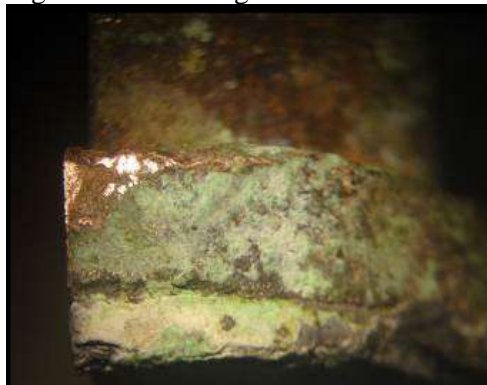


Figura 3. Ponteira após Limpeza



Figura 4. Ensaio Líquidos Penetrantes



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após realizado a identificação do material do Yoke e ponteira de Monel, foi confirmado que os materiais estão conforme o projeto, porém foram corroídos pelo meio em que estavam inseridos. Ou seja, o material do Yoke em aço carbono e o material da ponteira do mangote em Monel 400.

O cloro gasoso, proveniente de vazamentos durante a troca do mangote e pequenos possíveis vazamentos nas conexões, entra em contato com a água presente na umidade. Em seguida reage quimicamente formando ácido hipocloroso e ácido clorídrico, que são depositados na superfície dos componentes mecânicos.

A corrosão com perda de massa do Yoke é classificada como corrosão ácida. A corrosão é explicada pela exposição do material a ácidos e umidade. Ademais, no local de contato entre o Yoke e a ponteira de Monel, ocorre também corrosão galvânica, sendo o material aço carbono mais anódico e propenso à corrosão.

A corrosão externa do níquel na ponteira do Monel, é resultado da reação dos ácidos formados na superfície com o material Monel. A dissolução do níquel ao invés do cobre em presença de eletrólito é seletiva e chama-se de desniquelação. Esta seletividade, com a corrosão específica do níquel na liga, pode ser explicada pelo fato do níquel ter maior potencial de oxidação quando comparado com o cobre. A forma de corrosão por pites, onde foi observado um pite passante sendo a causa do vazamento, é explicada pela elevada taxa de corrosão que ocorre quando o Monel é exposto ao cloro, em temperatura ambiente.

Figura 5. Taxa de corrosão em exposição ao cloro com saturação de água.

Temperature: 25 °C (75 °F)			
Alloy	Test duration, days	Corrosion rate	
		mm/yr	mils/yr
ACI CF-8M	42	0.013	0.50(a)
Type 316	56	0.008	0.30
ACI CN-7M	42	0.05	1.8(a)
20Cb-3	56	0.008	0.30
ACI CD-4MCu	42	0.06	2.5(a)
ACI CW-12M	42	0.023	0.90
Hastelloy C276	56	0.0025	0.10
Monel 400	56	24	948
Titanium, grade 2	56	0.0005	0.02

ACI, Alloy Casting Institute. (a) Crevice corrosion. Source: Ref 43

A principal causa da falha foi a corrosão seletiva do níquel, ou desniquelação, em meio com a mistura de cloro gasoso e água da umidade na temperatura ambiente. Na qual ocasionou taxa de corrosão alta, e fez o componente ponteira de Monel 400 furar, através da forma de corrosão pite, no tempo aproximado de 6 meses. Para tal falha, o principal parâmetro é a taxa de corrosão. Ou seja, a condução da seleção de material levará em conta os materiais com menor taxa de corrosão no meio solicitado.

Neste trabalho, é utilizado a matriz de decisão “Pahl & Beitz” para a escolha do material. Na Tabela 1 é apresentada a comparação qualitativa dos materiais pré-selecionados para a escolha do mais adequado.

A Tabela 1 também apresenta os dados sobre o material Monel 400, o que falhou, apenas com a finalidade de comparação com os demais. O material platina, é considerado um metal raro, sendo assim muito caro para aplicação. O Monel 400, como já descrito, apresenta alta taxa de corrosão. O melhor material avaliado é o Hastelloy C276, em que apresentou, menor taxa de corrosão, boa disponibilidade no mercado e menor preço. Seguido do material Inconel Alloy 625, que é um pouco mais caro, e também atende os requisitos para a condição de operação. Observa-se também que na comparação do limite de resistência, o material mais indicado é mais resistente que o que falhou, e possui aproximadamente a mesma densidade, sendo assim possui características mecânicas melhores do que o Monel 400.

Por fim, conclui-se que o melhor material para aplicação é o Hastelloy C276. Para a solução do problema, recomenda-se a troca das ponteiros de Monel 400 para o material mencionado. Mantendo o mesmo dimensionamento do componente.

Tabela 1. Tabela de Seleção de Materiais.

Seleção de Material				
Material	Hastelloy C276	Monel 400	Platina	Inconel Alloy
Taxa de Corrosão[mm/ano]	0,0025	24	0,03	0,003
Lim Resistência[MPa]	792	480	Não encontrado	923
Densidade[g/cm³]	8,89	8,86	Não encontrado	8,44
Custo[R\$/Kg]	350	241	28736	360
Disponibilidade	10	10	1	10
Tipo Mecanismo Corrosão	Resistente	Alta taxa corrosão	Resistente	Resistente
Avaliação	Melhor escolha	Inviável	Inviável	Boa escolha

CONCLUSÃO

Para os objetivos propostos do trabalho, os mesmos foram executados com êxito. A análise de falhas foi apresentada, e identificada a causa básica principal da falha. Ou seja, a causa do furo foi a alta taxa de corrosão que ocorre quando o material Monel 400 é exposto a ácidos, em temperatura ambiente. A solução proposta de aplicação do método de seleção de matérias foi executada e encontrado um material substituto que suporta as condições operacionais descritas. O material em questão é o Hastelloy C276. Contudo cabe ressaltar que este é apenas um tipo de solução, podendo ter outros caminhos e soluções a se considerar, em possíveis trabalhos futuros. Um dos possíveis caminhos é introduzido a seguir.

Outro caminho a ser considerado é a pesquisa de materiais com revestimentos externos resistentes a corrosão em meio contendo ácidos, podendo ser metálicos, não metálicos ou poliméricos. Como por exemplo, revestimento metálico zinco, revestimento por pintura Epoxi polimérica.

REFERÊNCIAS

- ASHBY, M. *Materials Selection In Mechanical Design*. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, p.30-84. 1990.
- CRAIG, B. AND ANDERSON, D. *Handbook Of Corrosion Data*. Ohio, Materials Park: ASM international, p.270-280. 1995.
- CRAMER, S. AND COVINO, B. *ASM Handbook, Volume 13C*. 9th ed. Materials Park: ASM International, p.704-709. 2006.
- FELTRE, R. *Fundamentos da Química, Volume Único: 1º ed.* São Paulo (SP): Moderna. p 342-345. 1990.
- GALVÃO, J.L.R. *Solicitação de estudos e serviços ao laboratório da inspeção de equipamentos. Mangote Cloro*. p 1-6. Rio de Janeiro, 2015.
- GENTIL, V. *Corrosão*, 2º ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois. p 128-134. 1982.
- HAYNES INTERNATIONAL b. *HASTELLOY C-276 ALLOY*. [S.I.] 2020. Disponível em: <http://haynesintl.com/docs/default-source/pdfs/new-alloy-brochures/corrosion-resistant-alloys/brochures/c-276.pdf?sfvrsn=ee7929d4_22>. Acesso em: 09/11/2020.
- HIDROMAR. *Manuseio de Cilindros de Cloro*. p 6-7. 2020. Disponível em: <<http://www.grupohidromar.com.br/wp-content/themes/hidromar/download/Apostila-Manuseio-de-cilindros-de-cloro.pdf>>. Acesso em: 26/06/2020.
- MARTINS, A.B. *Avaliação da utilização de ligas de cobre e zinco (Latão) em permutadores de calor que trabalham com água de resfriamento na UN-RECAP/Petrobras*. Dissertação (Mestre em engenharia especialidade engenharia inspeção de equipamentos). p. 29-38. 114 f. UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2009. Disponível em <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/18300>>. Acesso em: 29/03/2020.
- MELLO, A.G.B. *Influência da deformação plástica na corrosão de aço carbono, aço inoxidável e cobre em sistemas de resfriamento*. Dissertação (Mestre em ciências). p 26. 95 f. UFRJ – Universidade Federal Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008. Disponível em <<http://186.202.79.107/download/deformacao-plastica-na-corrosao-de-aco-e-cobre.pdf>>. Acesso em: 31/03/2020.
- REALUM. *Produtos Monel*. 2020. Disponível em: <<http://www.realum.com.br/monel.php>>. Acesso em: 31/03/2020.
- SILVA, M.A. *Mecanismo de deterioração, devido a corrosão sob depósito, em feixes de permutadores do sistema de água de resfriamento*. Dissertação (Mestre em engenharia). p 4. 99 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2009. Disponível em <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/21378>>. Acesso em: 29/03/2020.