

# ANÁLISE DE FALHA EM MOLA DE VÁLVULA DE INJEÇÃO DE ÁGUA\*

*Ihana Gabriela Conceição de Jesus<sup>1</sup>  
Mateus Duarte Macedo<sup>2</sup>  
Isau de Souza Alves Júnior<sup>3</sup>  
Gustavo Dória Lima<sup>4</sup>  
Sandro Griza<sup>5</sup>*

## Resumo

O petróleo, por ser tão versátil, é muito utilizado em todo o mundo para diversas aplicações. Para a extração do petróleo, uma das técnicas mais utilizadas consiste em injetar água em poços por meio de uma coluna de injeção através de válvulas. Nestas válvulas existem molas que vêm falhando com frequência indesejada. As molas, assim, tornam-se o objeto de estudo do presente artigo de modo que se descubra o motivo das falhas e, em seguida, propor soluções viáveis e confiáveis. Dessa forma, foram realizadas análises metalográficas, fractográficas e, também, análise de dureza. À vista disso, constatou-se que a mola em estudo apresentou corrosão preferencial, além da formação de pites que levou a falha por sobrecarga. Com a análise metalográfica, constatou-se a microestrutura formada por grãos de austenita. Assim sendo, a mola foi fabricada a partir de fio que recebeu alto nível de deformação a frio, o que reduz a resistência a corrosão, causando maior susceptibilidade. Desta forma, é recomendado alterar o projeto do acionamento ou vedar a mola contra o eletrólito, ou, seleção de um princípio de acionamento que apresente maior resistência contra a corrosão do meio

**Palavras-chave:** Válvula; Mola; Falha

## FAILURE ANALYSIS IN WATER INJECTION VALVE SPRING

### Abstract

Oil, being so versatile, is widely used all over the world for many applications. For the extraction of petroleum, one of the most used techniques is to inject water into wells through a column of injection through valves. In these valves there are springs that are failing with undesired frequency. The springs thus become the object of study of this article so that one discovers the motive of the faults and then proposes viable and reliable solutions. In this way, metallographic, fractographic and hardness analyzes were performed. In view of this, it was verified that the spring in study presented preferential corrosion, besides the formation of pites that led to failure by overload. With the metallographic analysis, it was verified the microstructure formed by austenite grains. Thus, the spring was manufactured from wire that received high level of cold deformation, which reduces the resistance to corrosion, causing greater susceptibility. In this way, it is recommended to change the design of the drive or seal the spring against the electrolyte, or, select a drive principle that presents greater resistance against corrosion of the medium.

**Keywords:** Valve; Spring; Failure.

<sup>1</sup> *Graduanda em Engenharia de Materiais, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DCEM), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.*

<sup>2</sup> *Graduando em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Mecânica (DMEC), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.*

<sup>3</sup> *Graduando em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Mecânica (DMEC), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.*

<sup>4</sup> *Engenharia Mecânica, graduado, mestrado, Doutorando/docente, Universidade Federal de Sergipe (UFS)/ Instituto Federal de Alagoas (IFAL), Coruripe, Alagoas, Brasil.*

<sup>5</sup> *Engenharia Mecânica, Doutor, docente, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Sergipe, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

O petróleo tem como origem a decomposição da matéria orgânica que é acumulada em regiões subterrâneas denominadas de reservatórios. Essas acumulações devem possuir condições termoquímicas favoráveis para que o petróleo seja produzido através de sua retirada do reservatório [1,2].

Um dos processos de extração de petróleo mais usados consiste em injetar água em poços por meio de coluna de injeção, conectada através de válvulas de injeção que são instaladas em equipamentos denominados de mandril de bolsa. A injeção de água tem como objetivo principal a manutenção ou aumento da pressão no reservatório de petróleo [2]. A água é injetada de forma direcionada aos reservatórios, de tal forma que ela é deslocada com o óleo até os poços produtores que se encarregam de bombear a mistura até a superfície [2].

As válvulas reguladoras de injeção são equipamentos que permitem controlar as vazões dos poços injetores. A válvula é instalada no interior dos mandris de bolsa e conectada à coluna de produção. Para o perfeito funcionamento da válvula é necessário que a pressão de injeção do poço esteja acima da pressão do reservatório, com isso sendo possível deslocar a mistura (água e óleo) até os poços produtores [3].

As molas em estudo são fabricadas em aço inoxidável austenítico AISI 316. Mecanismos de corrosão, erosão ou sua combinação poderia atuar sobre as molas. A corrosão do aço inoxidável na água do mar é um processo químico e/ou eletroquímico causado pela local (pites) ou generalizada destruição da fina camada passiva do óxido de cromo formada espontaneamente (próximo de 10 nm de espessura). A estabilidade da camada está relacionada a fatores como a composição do fluido, temperatura, velocidade, as ligas de aço (principalmente o teor de cromo), embora a natureza e a morfologia das fases também exerçam influência. O cloreto de sódio contribui para a destruição localizada da camada de óxido e a formação de pites em aços inoxidáveis, pois os íons cloreto reagem com o cromo da camada, nucleando os pites. O processo é realimentado pelo consumo de oxigênio dentro do pite, o que atrai mais íons cloreto. Além disso, a dissolução promove maior concentração de cargas positivas dentro do pite, causando a migração de novos íons cloreto, que reagem por hidrólise da água. Então, o cloreto e os íons de hidrogênio gerados na hidrólise diminuem o pH dentro do pite e acelera

a taxa de corrosão. Os pites podem ocorrer intensamente e podem cobrir grandes superfícies quando o aço está em contato com um ambiente muito agressivo. Os pites coalescem e levam à formação de corrosão alveolar ou corrosão generalizada. Além disso, incrustações de sais precipitados ou não dissolvidos em locais de estagnação de fluidos podem dificultar a difusão do oxigênio para a interface, favorecendo a corrosão pela aeração diferencial. [4,5]

A erosão é um tipo de desgaste do material que ocorre devido à interação entre a superfície sólida e o fluxo de sólido ou impacto partículas líquidas. A erosão é função da velocidade, tamanho e forma da partícula, ângulo de impacto, taxa de fluxo, dureza da liga e do partículas [6,7]

A corrosão-erosão manifesta-se como o dano que ocorre quando há uma sinergia entre os mecanismos químicos e eletroquímicos da corrosão e a mecânica da erosão. Quando a camada de óxido de cromo da liga de aço inoxidável é danificada em função dos efeitos sinérgicos erosivos e corrosivos, o metal é suscetível ao meio corrosivo, o que contribui para o aumento da taxa de danos [8]. Nos aços inoxidáveis austeníticos que possuem uma camada passiva mais estável e maior grau de repassivação, a taxa de corrosão por erosão é controlada pela dissolução da camada protetora. Porém, nos aços inoxidáveis de repassivação, agentes corrosivos remover a camada passiva rapidamente. Além disso, a corrosão pode ser aumentada nos casos em que o impacto de partículas é violento. A tensão plástica produz a formação de células eletroquímicas em zonas de concentração, gerando pontos ativos para aumentar a corrosão-erosão [9,10].

No presente estudo, foi estudada uma mola de válvula de injeção de água que falhou em serviço (Figura 1). O objetivo deste estudo é identificar o mecanismo de falha da mola, além de propor soluções para evitar novos eventos de falha desta natureza. Nossa hipótese inicial é que algum mecanismo de corrosão, que pode estar associado a erosão devido a um fluxo eletrólito, tenha propiciado a falha.



**Figura 1:** Mola fornecida para análise ao lado de uma régua de 30 cm.

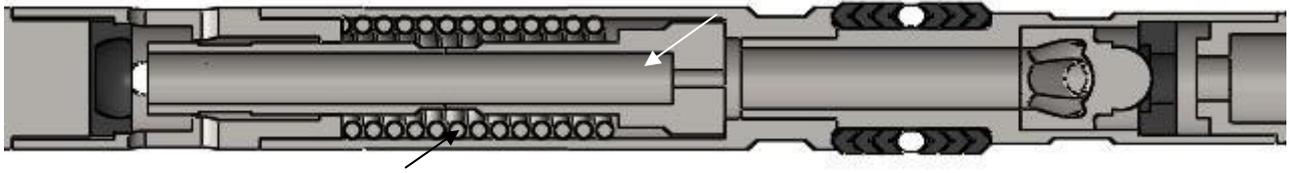
## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1. Materiais e Métodos

Na mola foram feitas análises metalográficas, fractográficas, bem como análise de dureza do material. As amostras metalográficas foram preparadas a partir da seção longitudinal do fio passando pela região de início da fratura. As amostras foram preparadas de acordo com procedimento padrão de lixamento e polimento e foram atacadas com reativo de Água Régia (75% HCl e 25% HNO<sub>3</sub>). As metalografias foram obtidas através de microscópio óptico (Leica DM2500M). Foram obtidas imagens macroscópicas da mola e de sua superfície da fratura, através de câmera fotográfica (Canon 1000D) e microscópio estereoscópico (Zeiss Stemi 2000). Cinco impressões de microdurezas Vickers (HV1) foram feitas na amostra em microdurômetro (Future Tech FM 800)

### 2.2. Resultados e Discussão

O interior da mola apresentou corrosão preferencial desta em relação à haste do pistão de acionamento de abertura dos orifícios de fluxo, visto no desenho da Figura 2. A haste passa pelo interior da mola. A corrosão preferencial ocorre devido a agressividade do fluido eletrólito a que os componentes ficam em contato.



**Figura 2:** Desenho de parte da válvula indicando a mola (seta preta) e a denominada haste (seta branca).

A análise da fratura (Figura 3) indicou formação de pites que reduziram a seção do fio da mola e concentraram tensão, levando à falha por sobrecarga. Produtos de corrosão e cristais de sal são vistos no interior de pites junto a fratura (Figura 4).



**Figura 3:** Superfície com aspecto fibroso típico de fratura por sobrecarga. As setas indicam dois dos diversos pites que favoreceram a fratura.

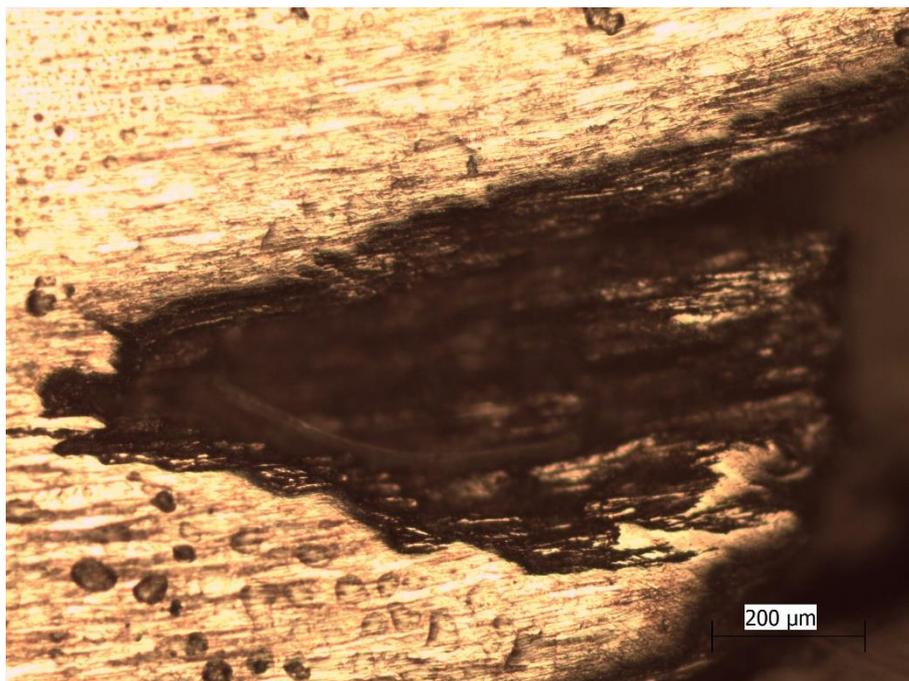


**Figura 4.** Superfície da fratura. A seta branca indica produtos de corrosão e sais no interior de um pite. A seta preta indica a cavidade de outro pite.

A análise metalográfica revelou microestrutura formada por grãos de austenita alongados no sentido da conformação do fio e maclas de deformação (Figura 5). Pode-se observar na metalografia junto à fratura aspecto de corrosão (Figura 6). A microdureza encontrada para o material da mola foi de 369 HV1 (desvio padrão de 13,8 HV). Depreende-se que a mola foi fabricada a partir de fio que recebeu elevado nível de deformação a frio, o que é esperado para que a mola tenha elevada resiliência. Entretanto, a deformação a frio reduz a resistência a corrosão [11]. Observa-se, também, que mesmo que a liga de fabricação das peças seja a mesma, a mola sofrerá corrosão preferencial se o conjunto estiver sujeito ao eletrólito.



**Figura 5.** Microestrutura de grãos de austenita alongados no sentido da conformação do fio e maclas de deformação.



**Figura 6.** Microestrutura em seção oblíqua a fratura mostrando aspecto de corrosão.

### 3 CONCLUSÕES

A mola rompeu devido à corrosão preferencial desta em relação à haste do pistão de acionamento de abertura dos orifícios de fluxo. Pites de corrosão reduziram a seção do fio da mola e concentraram tensão, levando à falha por sobrecarga.

A análise metalográfica revelou microestrutura formada por grãos de austenita alongados no sentido da conformação do fio e maclas de deformação. A microdureza da mola é de 369 HV1. Acredita-se que a deformação a frio reduziu a resistência a corrosão.

Para mitigar problemas de falhas futuras, algumas ações podem ser tomadas:

- Alteração de projeto do acionamento e/ou proteção da mola contra o eletrólito;
- Seleção de liga adequada para a mola, para que apresente maior resistência a corrosão em relação aos demais componentes em contato.

## Agradecimentos

Ao CNPq, CAPES e FAPITEC pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- [1] DEBEIR, J.C. et al., “A Expansão do sistema energético capitalista”. In: Uma história da energia, v 1, Ed. UnB, Brasília. pp. 169-206, 1993.
- [2] THOMAS, J. E., TRIGGIA, A.A., CORREIA, C.A., et al., Fundamentos de engenharia de petróleo, 2 ed. Rio de Janeiro, Interciência, 2004.
- [3] ROSA, A. J., CARVALHO, R.S., Xavier, J. A.D., Engenharia de reservatório de petróleo, 1 ed. Rio de Janeiro, interciência, 2005.
- [4] C.X. Li, T. Bell, Corrosion in Properties of Plasma Nitrided AISI 410 Martensitic Stainless Steel in 3,5% NaCl and HCl Aqueous Solutions, Corrosion Science, 48 (2006), pp. 2036–2049 n. 3.
- [5] S. Caines, F. Khan, J. Shirok, Analysis of pitting corrosion on steel insulation in marine environments, J. Loss Prev. Process Indust. 26 (2013) 1466–1483 n. 8.
- [6] S.M. Aminuli, Z.T. Farhat, Effect of impact angle and velocity on erosion of APIX42 pipeline steel under high abrasive feed rate, Wear 311 (1–2) (2014) 180–190.
- [7] J. Yao, F. Zhou, Y. Zhao, H. Yin, N. Li, Experimental investigation of erosion of stainless steel by two-phase jet impingement, Procedia Engineering, vol. 102, 2015, pp. 1083–1091.
- [8] S. Atashin, M. Pakshir, A. Yazdani, Synergistic investigation into the marine parameters effect on the corrosion rate of AISI 316 stainless steel, Mater. Des. 32 (3) (2011) 1315–1324
- [9] A. Toro, D.K. Tanaka, A.P. Tschiptschin, Corrosion-erosion of nitrogen bearing martensitic stainless steels in seawater-quartz slurry, Wear 251 (1–12) (2001) 1257–1264.
- [10] H. Meng, X. Hu, A. Neville, A systematic erosion–corrosion study of two stainless steels in marine conditions via experimental design, Wear 263 (1–6) (2007) 355–362.

[11] FRANCISCO DIEGO ARARUNA DA SILVA “Influência da deformação a frio sobre o comportamento da sensitização na soldagem de chapas finas de aço inoxidável AISI 301LN”