

# ANÁLISE DE FALHA DE FLANGE UTILIZADO EM EQUIPAMENTO DE PROCESSO DE ALIMENTO\*

Brenno Lima Nascimento<sup>1</sup>  
Priscylla Ferreira dos Santos<sup>2</sup>  
Raphael Calazans Cardoso<sup>3</sup>  
Isau de Souza Alves Júnior<sup>4</sup>  
Matheus Duarte de Macedo<sup>5</sup>  
Sandro Griza<sup>6</sup>

## Resumo

A análise de falhas pode revelar-se como uma importante ferramenta para melhoria de projeto e elementos de equipamentos. Este estudo visa determinar as causas que levaram a um flange, elemento que tem como função unir dois componentes de um sistema de tubulações, sofrer fratura em serviço na região de mudança de seção entre a face e o eixo rosqueado. O estudo seguiu a metodologia usual empregada em análise de falhas. Os ensaios realizados foram análises visuais, análise da morfologia da fratura através da microscopia óptica, metalografia, microdureza e análise química. Através da metodologia empregada foi estabelecido os fatores mais relevantes que provocaram a falha do componente. Os resultados demonstraram que a fratura ocorreu por fadiga devida à carga de flexão rotativa incentivada por uma modificação no raio de curvatura do flange.

**Palavras-chave:** Flange; Fratura; Análise de Falha.

## FLANGE FAILURE ANALYSIS USED IN FOOD PROCESSING EQUIPMENT

### Abstract

Failure analysis can prove to be an important tool for design improvement and equipment elements. This study aims to determine the causes that led to a flange, which has the function of joining two components of a piping system, to suffer fracture in service in the region of section change between the face and the threaded shaft. The study followed the usual methodology employed in fault analysis. The tests were visual analysis, analysis of fracture morphology through optical microscopy, metallography, microhardness and chemical analysis. Through the methodology employed was established the most relevant factors that caused the component failure. The results demonstrated that the fracture was due to fatigue due to the rotational bending load encouraged by a change in the radius of curvature of the flange.

**Keywords:** Flange; Fracture; Fault Analysis

- <sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, Bolsista, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.
- <sup>2</sup> Graduanda em Engenharia de Materiais, Bolsista, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DCEM), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.
- <sup>3</sup> Engenheiro Mecânico, Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Professor, Eletromecânica, IFBA - Instituto Federal da Bahia, Irecê, Bahia, Brasil.
- <sup>4</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, Bolsista, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.
- <sup>5</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, Bolsista, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.
- <sup>6</sup> Engenheiro Mecânico, Doutor, Professor, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (P2CEM), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Flanges são componentes importantes de sistemas de tubulação e, em certos casos também são utilizados como elementos de transmissão de carga [1].

Os flanges são usados principalmente onde é necessária uma junta de conexão ou desmontagem. Essas juntas podem incluir a conexão de tubos a conexões, válvulas, equipamentos mecânicos ou qualquer outro componente integral dentro de uma configuração de tubulação [1].

No cenário industrial, a falha de algum material ou componente do equipamento pode levar à perda de tempo de produção, a baixa qualidade do produto, impacto ambiental e até perda de vida. A falha é o evento indesejável, pois cria consequências prejudiciais, nocivas e de risco. Existem muitas possíveis causas de falha, que podem estar relacionadas ao projeto da peça, composição e processamento do material, erro de projeto, entre outros motivos [2-4].

A grande maioria das peças precisam ter mudanças de seção, ou variações localizadas em sua geometria como furos, rasgos ou outros detalhes similares, os quais são geralmente indispensáveis para a operação da peça. Porém essas mudanças de seções acabam por formar concentradores de tensão [5,6].

O fator de concentração de tensão  $K_t$  é definido pela razão entre a máxima tensão que atua numa dada seção  $\sigma_{max}$  e a tensão nominal que age como se não houvesse nenhuma concentração. Logo, os fatores podem ser definidos por meio da equação 1 [6]:

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_0} \quad (1)$$

O subscrito T em  $K_t$  significa que esse fator de concentração de tensão depende, para seu valor, apenas da geometria da peça, isto é, o material especificamente usado não tem efeito algum sobre o valor de  $K_t$ . É por esse motivo que ele é chamado de fator de concentração teórico [6].

Os concentradores de tensão são responsáveis por muitas falhas de elementos estruturais ou mecânicos sujeitos a carregamentos de fadiga. Nesses casos, uma concentração de tensão provocará trincas no material se a tensão ultrapassar o limite de tolerância do material, seja ele dúctil ou frágil. O material localizado na ponta da trinca permanece em estado frágil, e, portanto, a trinca continua a crescer, levando a fratura progressiva, se não houver reparo adequado a tempo. Consequentemente, nos projetos desses elementos há a necessidade de procurar modos de limitar o dano que pode ser causado por fadiga [6].

A fadiga é um modo de falha muito comum em elementos mecânicos, responsável por cerca de 90% das falhas sob carregamentos dinâmicos. Acontecem abaixo da tensão de escoamento em muitos casos, e geralmente ocorrem de forma inesperada e catastrófica [7].

O fenômeno de fadiga ocorre com ação simultânea de tensão cíclica, tensão positiva e deformação plástica localizada. A tensão positiva, ao superar a tensão crítica de início de escorregamento, vai provocar o escorregamento persistente dos planos preferenciais com o passar dos ciclos, o que provoca o surgimento de pequenos defeitos superficiais denominados de intrusões e extrusões (microdefeitos). A deformação plástica localizada, produzida com a imposição do ciclo de tensões, promove o deslocamento de planos de escorregamento ou cisalhamento de um plano para o plano adjacente, cuja ocorrência depende de diversos fatores, como: composição química e a microestrutura, o tamanho de grão,

inclusões, e segregações no material, além de defeitos dos processamentos térmicos e mecânicos aplicados ao material [7].

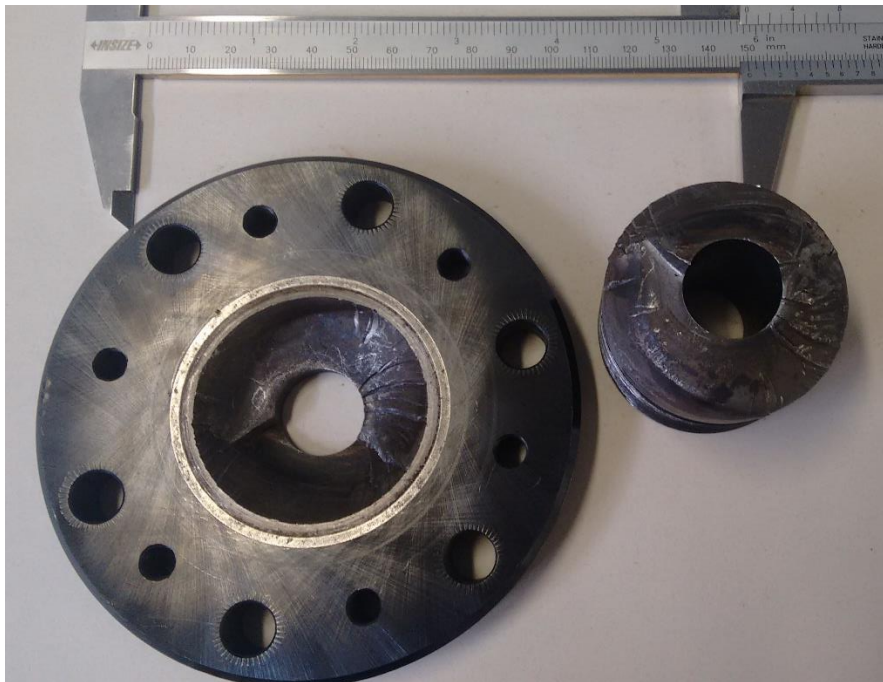
Sabe-se que, após uma falha, é possível investigar e analisar as possíveis causas que a possibilitaram. A análise de falhas consiste em um processo que associa inspeção visual, análise técnica, coleta de dados e interpretação das análises [8]. Após essas etapas será possível indicar os motivos que culminaram com a falha e propor soluções de melhoria ou mesmo prevenção total contra a causa.

O presente estudo teve o intuito de analisar um flange utilizado em equipamento de processamento de alimento que sofreu fratura em serviço na região de mudança de seção entre a face e o eixo rosqueado. Para essa análise, se fez necessário caracterizar a composição e a microestrutura da peça, além de identificar o mecanismo de fratura para propor alterações que reduzam a incidência de falhas futuras.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos

A análise do mecanismo de fratura (Figura 1) foi realizada através de imagens macroscópicas obtidas por câmera (Canon 1000D).



**Figura 1.** Flange que rompeu na região de mudança de seção.

Análise química para identificar a liga de fabricação da peça foi realizada por espectroscopia de emissão ótica (Oxford Foundry-Master Xpert), através de cinco queimas em amostra extraída por corte e devidamente preparada para a análise.

Uma amostra metalográfica foi preparada em plano radial passando pela região de início da fratura. A amostra foi embutida em resina termofixa (baquelite), lixada e polida com pasta de diamante de 1 $\mu$ m.

O ataque químico para revelar a microestrutura foi realizado através do reagente de Nital 2% (2 ml de HNO<sub>3</sub> + 98 ml álcool etílico). As imagens

metalográficas foram obtidas através de microscópio ótico (Leica DM2500) e os ensaios de microdureza Vickers (HV1) foram realizados com microdurômetro (Future-Tech FM-800) através de cinco endentações aplicadas sobre a amostra que havia sido preparada.

## 2.2 Resultados e Discussão

A análise química indicou que a liga de fabricação da peça é aço ao carbono e baixa liga ao cromo, enquadrando-se na classificação AISI 4140 (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química da liga (% em peso).

Elemento	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S
(%)	0.42	0.33	0.86	1.14	0.18	0.02	0.03	0.01

A análise de fratura indicou que ocorreu fratura por fadiga devido a carga de flexão rotativa em serviço (Figura 2). Diversos núcleos de fadiga são identificados por marcas de catraca ao longo de todo o perímetro do raio de curvatura da mudança de seção. A propagação ocorreu por uma região lisa contendo marcas de praia características de fadiga.



(a)

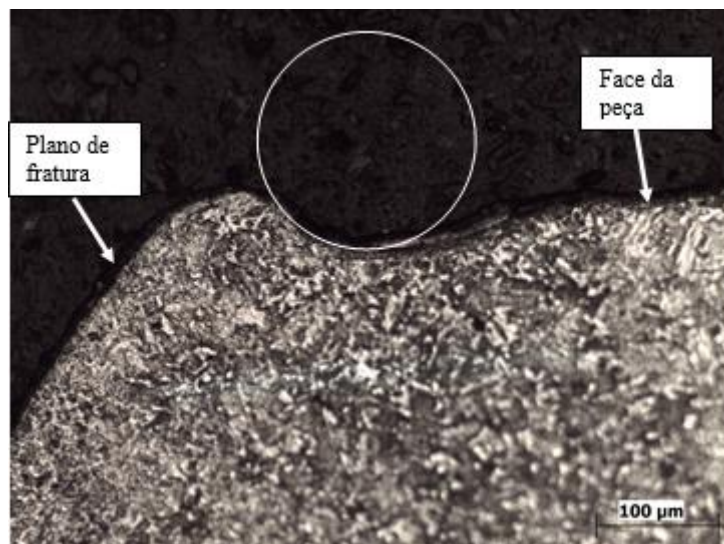




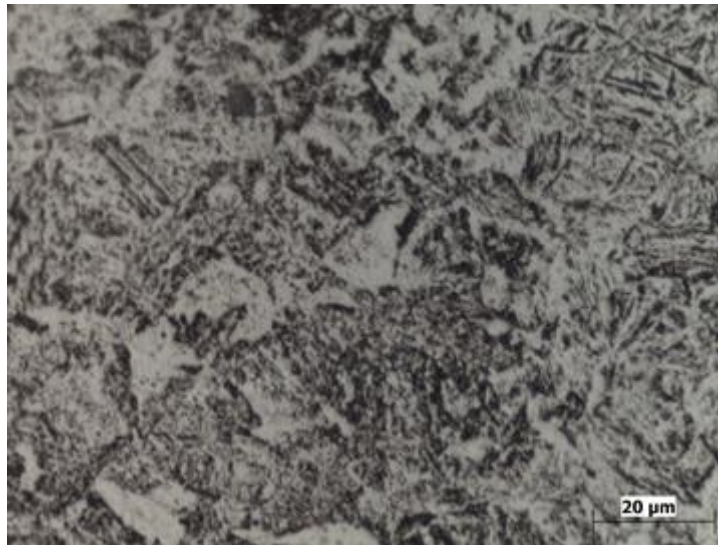
(b)

**Figura 2.** Superfície de fratura por fadiga devido a carga de flexão rotativa, apresentando marcas radiais de catraca indicativas de nucleação da fadiga ao longo de todo o perímetro do raio de curvatura. Marcas de praia indicam a superfície lida de propagação. Em (a), vista onde a seta indica o local por onde passou o plano radial de corte metalográfico. Em (b), vista de topo.

O plano radial de maior extensão da propagação da fadiga foi tomado para a análise de microestrutura, que revelou a presença de raio de curvatura da mudança de seção de 0,08 mm associado ao início de fratura (Figura 3). A microestrutura é constituída de bainita (Figura 4). A microdureza média obtida foi de 242 HV1.



**Figura 3.** Microestrutura do plano radial passando pelo início da fratura onde percebe-se raio de curvatura de 0,08 mm, indicado pelo círculo branco.



**Figura 4.** Microestrutura constituída de bainita.

### 3 CONCLUSÃO

O material utilizado para a fabricação da peça foi o aço AISI 4140, muito utilizado na fabricação de componentes mecânicos. Um aço de médio carbono e baixa liga, composto por Cr e Mo o que proporciona ao aço uma boa resistência com um custo relativamente baixo para os componentes. A peça em análise apresentou microdureza de 242 HV1.

A forma é um fator crítico, porque a resistência à fadiga é grandemente afetada por descontinuidades nas peças, visto que a mesma possui mudança brusca de seção assim favorecendo como ponto concentrador de tensão.

A fratura ocorreu por fadiga devido a carga de flexão rotativa, sendo incentivada pela presença de raio de curvatura da mudança de seção de 0,08 mm. Seria recomendado aumentar o raio de curvatura e garantir sua dimensão na usinagem da peça, a fim de reduzir a probabilidade de falhas futuras.

O raio de curvatura aumentado para 2,5 mm provocaria fator de forma Kt de 2,2, o que deve ser levado em conta para o projeto da peça.

### Agradecimentos

Capex, CNPq pelo apoio financeiro.

### REFERÊNCIAS

- 1 Roy A.P., Robert A.R., Pipe Drafting and Design, 3ª edição, 2012.
- 2 Affonso, Luiz O. M. Equipamentos Mecânicos: análise de falhas e solução de problemas. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- 3 Abbasfard, H.; Ghanbari, M.; Ghasemi, A.; Ghader, S.; Rafsanjani, H. H.; Moradi, A.; Failure analysis and modeling of super heater tubes of a waste heat boiler thermally coupled in ammonia oxidation reactor. Engineering Failure Analysis, 26, 2012, 285-292.
- 4 Haris, N. I.; Wahab, M. S.; Talip, A.; Failure Analysis of Conveyor Chain Links: A Case Study. Applied Mechanics and Materials Vols. 465-466 (2014) pp 725-729.

- 5 Adriana S. P., AVALIAÇÃO DO FATOR DE CONCENTRAÇÃO DE TENSÃO PRESENTE EM UM REPÁRO DE TUBULAÇÃO DE AÇO AISI 316L, Dissertação de Mestrado, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, 2013.
- 6 Shigley J.E.; Mischke C. R.; Budynas R.G., Projeto de Engenharia Mecânica, 7ª edição, Porto Alegre, Bookman, 2005.
- 7 DIETER, G. E. Metalurgia Mecânica. Tradução de A. S. Souza. Rio de Janeiro: [s.n.], v. 2, 1981
- 8 Pantazopoulos, G.; Vazdirvanidis A.; Metallurgical investigation on fatigue failure of stainless steel chain in a continuous casting machine. Engineering Failure Analysis 16 (2009) 1623-1630.