



Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico. ISSN: 2446-6778
Nº 1, volume 1, artigo nº 08, Janeiro/Junho 2015
D.O.I: <http://dx.doi.org/10.20951/2446-6778/v1n1a8>

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE UMA TRINCA UTILIZANDO CONCEITOS DA MECÂNICA DA FRATURA.

Victor Barbosa de Souza¹

Sociedade Universitária Redentor - FACREDENTOR

Niander Aguiar Cerqueira²

Sociedade Universitária Redentor - FACREDENTOR

Samuel Nery²

Sociedade Universitária Redentor - FACREDENTOR

RESUMO

Com o avanço tecnológico e o desenvolvimento industrial pelos quais o Brasil vem passando, principalmente no setor da indústria petrolífera, sempre visando lucros, faz-se necessário, para alcance de tal objetivo, um corpo técnico de alta qualidade no qual possa manter em pleno vapor a produção para a obtenção desses lucros. Na indústria offshore o guindaste é conhecido como o coração da plataforma, é uma das ferramentas de extrema importância na linha de produção. Sendo assim, é necessário o conhecimento aprofundado desse equipamento tanto para melhor aproveitamento, como também para a elaboração de planos de manutenção. O presente trabalho tem como objetivo fazer uma análise da criticidade no pedestal de um guindaste baseados nas normas BS 7848 e BS 7910, com o objetivo de manter o equipamento em operação o máximo possível sem colocar em riscos as vidas dos operadores. Para realização desse trabalho foi analisado o material utilizado na confecção de um guindaste, o aço ASTM A-36. Através de ensaios de tração, flexão e metalográfico foram determinadas as propriedades do material e de acordo com as normas da mecânica da fratura foram realizados os devidos cálculos para avaliação de trinca no pedestal do equipamento supracitado. Realizadas as análises laboratoriais, foi possível determinar as características do material utilizado no pedestal do guindaste, o fator de

¹ Sociedade Universitária Redentor, Engenharia Mecânica, Itaperuna-RJ –
prof.victorbsouza@gmail.com

tenacidade à fratura K_{IC} , possibilitou determinar o comprimento máximo que a trinca pode apresentar com o guindaste em operação.

Palavras-chave: Mecânica da Fratura, Trinca, Bs 7910

ABSTRACT

With the technological progress and industrial development for which Brazil has experienced, especially in the oil industry sector, always for profit, it is necessary to reach this goal, a high-quality technical team in which to keep in full swing production to obtain these profits. In the offshore industry the crane is known as the heart of the platform is one of the utmost importance in the production line tools. Thus, the in-depth knowledge is required of the equipment in order to better use, but also for the development of maintenance plans. This study aims to analyze the criticality on the pedestal of a crane based on standards BS 7848 and BS 7910, in order to keep the equipment operating as much as possible without putting at risk the lives of operators. To carry out this work was analyzed the material used in the making of a crane, steel ASTM A-36. Through tensile, bending and metallographic were determined material properties and according to the norms of fracture mechanics the proper calculations for crack assessment in the above equipment pedestal were performed. Performed laboratory tests, it was possible to determine the characteristics of the material used in the crane pedestal, the toughness factor to K_{IC} fracture, possible to determine the maximum length that the crack may have with the crane in operation.

Keywords: Fracture Mechanics , Trinca , Bs 7910 .

INTRODUÇÃO

Os componentes mecânicos são projetados para que operem dentro de uma faixa específica de tensão, levando em consideração a tensão de escoamento ou até mesmo a dureza do material, envolvendo também um critério de segurança para que um componente opere em uma região segura de trabalho. Para que isso ocorra aplica-se um fator numérico, que vai depender dos riscos e tipos de esforços sofridos pelo material, esse fator é chamado de fator de segurança (FS). (BROEK, 1984).

No entanto, materiais na engenharia podem conter descontinuidades internas ou defeitos proveniente dos processos de fabricação, fazendo com que a tensão distribuída no material quando submetida ao carregamento e solicitações de trabalho se concentrem, intensificando as tensões na área de imperfeições, de modo que nesses pontos os campos de tensão excedam o que foi delimitado pelo projeto. Para casos de furos, entalhes, rasgos e arestas vivas a mecânica clássica oferece uma abordagem muito ampla para que essas situações sejam consideradas na confecção de um projeto, mas quando se deparam com imperfeições internas ou trincas faz-se necessário uma abordagem mais aprofundada, no qual a mecânica clássica não mais se torna válida mas sim a mecânica da fratura. O

objetivo da Mecânica da Fratura é determinar se um defeito tipo de trinca irá ou não levar o componente à fratura catastrófica para tensões normais de serviço, permitindo ainda determinar o grau de segurança efetivo de um componente trincado. O grande mérito da mecânica da fratura é possibilitar ao projetista, valores quantitativos de tenacidade do material permitindo projetos que aliem segurança e viabilidade econômica. A mecânica da fratura quando aplicada à fadiga e a corrosão sob tensão permite a operação segura de componentes com defeitos prévios e/ou trincas nucleadas em serviço.

O uso da mecânica da fratura iniciou o seu desenvolvimento a partir da ocorrência de fraturas e inúmeros acidentes na indústria ferroviária, naval e aeronáutica, precisamente após a 2ª guerra mundial em que equipamentos se fraturavam antes mesmo do uso, devido a concentradores geométricos de tensão além das tensões residuais de soldagem. Sendo assim, esses acontecimentos passaram a ser estudados, podendo ser determinado se um defeito ou imperfeição irá ou não levar um componente à fratura catastrófica para tensões normais de serviços, além de determinar um grau de segurança efetivo de um componente trincado.

A mecânica da fratura divide-se em:

- Mecânica da fratura linear-elástica (MFLE)
- Mecânica da fratura elasto-plástica. (MFEP)

A MFLE é utilizada quando a fratura ocorre ainda no regime linear elástico, tanto para ligas de altíssima resistência mecânica como para ligas de média resistência mecânica. Um fator muito importante é a espessura, que ditará se o regime é o estado plano de deformação (estado triaxial de tensões) em que a mecânica da fratura linear-elástica é aplicável ou o estado de tensão plana (biaxial de tensões) em que a mecânica da fratura elasto-plástica se torna uma melhor forma de aplicação. Os benefícios que a mecânica da fratura traz para o setor industrial são significativos. O custo do reparo ou substituição de um equipamento em plataformas de petróleo se torna muito alto, visto que se faz necessário uma série de outros fatores como transporte e instalação, sem contar com o problema de parada que afeta de forma pontual a produção. Com um estudo aprofundado da mecânica da fratura muitas falhas e trincas podem ser previstas e estudadas, aumentando o tempo de vida útil de um equipamento para que não sejam descartados por decorrência de um defeito.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Guindaste offshore

Guindastes são equipamentos de içamentos e movimentação de cargas tanto no sentido horizontal como vertical. Muitos são utilizados na indústria, canteiros de obras, plataformas, portos e outros setores que necessitem de movimentação de cargas pesadas.

Os primeiros guindastes foram inventados na idade antiga pelos gregos e tinham como principal meio de funcionamento homens ou animais. Com o passar do tempo e o desenvolvimento intelectual do homem e das ferramentas usadas na época, começou-se a utilizar engrenagens movidas por tração humana, com isso a carga de içamentos passou a ser um pouco mais pesada. Atualmente o guindaste é constituído normalmente por uma torre equipada com cabos e roldanas que é usada para movimentação de cargas. Além de serem equipados com os mais altos níveis de tecnologias, sendo equipados até com sistemas de controle wireless. A Figura 1 representa uns dos guindastes mais modernos do mundo, sendo que essa variação de guindaste apresenta até cabine sediada. (FORTES, 2010).



Figura 1: Guindaste com Cabine.

Fonte: FORTES 2010

Nas plataformas de exploração de petróleo o guindaste é o principal mecanismo de movimentação de cargas. Fazendo uma analogia como sendo a plataforma offshore o corpo de um homem, o guindaste seria o coração desta. Por esse motivo muitos especialistas consideram esse equipamento crítico, pois a sua inoperância pode causar grandes prejuízos de produção, abastecimento da plataforma e principalmente prejuízos financeiros.

Nas plataformas, os guindastes são responsáveis por toda movimentação de carga que exceda a capacidade humana de transporte. Suas atividades variam de acordo com a necessidade presente, podendo ser uma simples movimentação de carga, organização do convés, movimentação da sonda, retirada de cargas do rebocador ou transportes de passageiros em operações de “transbordos”. Tendo em vista o grau de importância de um guindaste numa plataforma, planos de controle, operação e principalmente planos de

manutenção são de extrema importância pois uma manutenção inadequada pode ocorrer problemas como paradas de produção, prejuízos financeiros e em casos mais graves podem custar vidas humanas. Por isso, existe a necessidade de conhecimento a fundo desse equipamento, seguir os planos de controle e operação e, principalmente, o de manutenção à risca, obedecendo cada etapa do plano conforme os intervalos definidos. (ROLIN, 2009)

Aços Estruturais

Aço é uma liga ferro-carbono contendo geralmente 0,008% de carbono podendo chegar a 2,11%, além de certos elementos residuais resultantes dos processos de fabricação. Aços com um limite abaixo de 0,008% correspondem à máxima solubilidade do carbono no ferro à temperatura ambiente e o limite superior a 2,11% corresponde à máxima quantidade de carbono que dissolve no ferro a uma temperatura de 1148°C.

Os aços usados em estruturas são divididos em dois grupos, os dos aços-carbono e dos aços de alta resistência e baixo teor em liga. Os aços-carbono não contém nenhum elemento de liga, mas sim elementos residuais como Si, Mn, P e S, e são subdivididos em baixo, médio e alto teor de carbono, devendo obedecer alguns requisitos como: ductilidade, homogeneidade, valor elevado da relação entre limite de resistência e limite de escoamento, boa soldabilidade e suscetibilidade de corte por chamas sem que haja endurecimento. Os aços de alta resistência e baixo teor em liga são utilizados quando se quer aumentar a resistência mecânica, melhorar a resistência a corrosão atmosférica, melhorar a resistência ao choque, o limite de fadiga e elevar a relação do limite de escoamento para o limite de resistência à tração, sem perda da ductilidade (CHIAVERINI, 2005).

Segundo Callister (1999), os aços com baixo teor de carbono contêm geralmente menos do que aproximadamente 0,25% de carbono e não respondem a tratamentos térmicos que visem à formação da martensita; o aumento na resistência é conseguido através de trabalho a frio. Sua microestrutura consiste em ferrita e perlita, como consequência essas ligas tem baixa dureza e resistência, boa ductilidade e tenacidade. Os aços com médio teor de carbono possuem uma concentração de carbono entre aproximadamente 0,25 e 0,60%. Essas ligas possuem baixas endurecibilidades e podem ser tratadas termicamente. Os aços com alto teor de carbono possuem uma concentração entre 0,60 e 1,4%, são os mais duros e os mais resistentes, porém menos dúcteis entre os aços-carbono. Estes são usados quase sempre em uma condição endurecida e revenida e, como tal, são especialmente resistentes ao desgaste e capaz de manter um fio de corte afiado. Os aços de alta resistência e baixa liga contêm outros elementos de liga, tais como vanádio, cobre, níquel e molibdênio, em concentrações combinadas que podem ser elevadas quanto

10%, e possuem maiores resistências do que os aços-carbono comuns com baixo teor de carbono.

AVALIAÇÃO DA CRITICIDADE DA EXISTÊNCIA DA TRINCA SEGUNDO A BS 7910.

A BS 7910 está dividida em 10 seções e 21 anexos. As seções 1 a 6 descrevem as informações requeridas para a avaliação, como característica e dimensões dos defeitos, carregamentos aplicados e propriedades dos materiais. As seções de 7 a 10 fornecem outros procedimentos para a avaliação de fratura, fadiga, defeitos sob condições de fluência e outros modos de falha respectivamente. A BS 7910 aborda modos de falha de fratura dúctil, fadiga, fluência, vazamentos em vasos, corrosão, trincamento assistido pelo meio e falha por instabilidade.

A BS-7910 fornece três níveis de avaliação de trincas baseado nos conceitos do diagrama de análise e falhas o FAD, que é uma ferramenta de representação gráfica que permite a avaliação de componentes com defeitos a fim de se definir se esses defeitos são aceitáveis ou não. A escolha do nível depende dos materiais envolvidos, dos dados de entrada disponíveis e do conservadorismo necessário.

Dimensões da Trinca

Durante inspeção visual rotineira em um guindaste de uma plataforma de petróleo, notou-se uma pequena trinca na superfície do pedestal do guindaste, localizada praticamente no meio do mesmo. Em seguida, foi realizada uma radiografia para caracterizar melhor a situação da trinca encontrada. Com isso foi possível determinar as dimensões o tipo de trinca encontrada no pedestal do guindaste.

A figura 2 traz as dimensões que são consideradas pela norma BS 7910 cada tipo de trinca tem um tipo de abordagem a ser levado em consideração. Com base nos resultados END de radiografia, pode-se afirmar que o tipo de defeito é uma trinca superficial como na figura 2 em que sua geometria possui as seguintes dimensões como na tabela 1. Essas dimensões foram feitas através de dispositivos de medição na haste do guindaste.

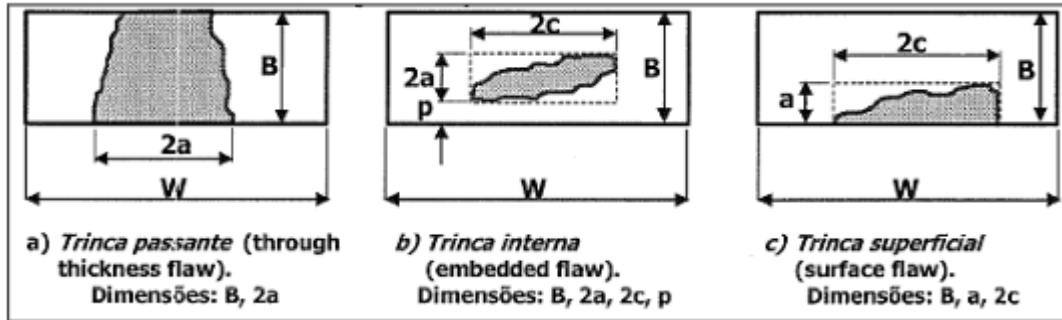


Figura 2: Geometria e notação de defeitos do pedestal do guindaste.
Fonte: BS-7910

Geometria	Dimensão (mm)
2c	20
A	5
B	25,4
W	2838,45

Tabela 1: Dimensões da trinca do pedestal do guindaste.
Fonte: BS-7910

Cálculo da tenacidade Aplicada.

Para determinar a tenacidade aplicada na ponta da trinca é necessário determinar as distribuições de tensão no local da trinca devido aos carregamentos e classificar as tensões resultantes dentro das seguintes categorias: Tensões Primárias, Tensões Secundárias e Tensões Residuais, levando em consideração os fatores de correção e concentradores de tensão.

A tenacidade aplicada na ponta do defeito representa o nível em que a tensão atuante se encontra devido a presença da trinca. Para cálculo da tenacidade se faz necessário a aplicação das equações apresentadas nas normas. Onde segundo a norma para cálculo da tensão atuante máxima no sentido de abertura do defeito σ_{\max} fica:

$$\sigma_{\max} = 1 \times 10,4 + 1[81,28 + (1 - 1) \times 10,4] + 51,37 \quad (1)$$

$$\sigma_{\max} = 143,05 \text{ MPa}$$

Para o cálculo do fator de correção de intensidade de tensão $Y\sigma$:

$$Y\sigma = 1 \times 1 \times 0,88 \times 143,05 \quad (2)$$
$$Y\sigma = 125,884 \text{ MPa}$$

Com os resultados acima é possível por fim encontrar a tenacidade na ponta do defeito segundo a equação abaixo:

$$K_I = 125,884 \sqrt{3,14 \times 0,005} \quad (3)$$
$$K_I = 15,77 \text{ MPa}\sqrt{m}$$

Como a tenacidade na ponto do defeito é menor que a tenacidade à fratura do material ASTM A-36, ou seja, $K_I < K_{IC}$, a trinca não afetara o trabalho do equipamento. Portanto, essa trinca não se propagará com os esforços de trabalho do guindaste.

Cálculo do parâmetro K_R

K_R é um dos parâmetros para a representação gráfica do FAD, esse parâmetro mede o risco da fratura através da mecânica da fratura linear elástica e tem sua forma como a razão entre a intensidade de tensões na região de uma descontinuidade K_I e a tenacidade do material K_{IC} .

$$K_R = \frac{K_I}{K_{IC}} \rightarrow K_R = \frac{15,77}{77} \rightarrow K_R = 0,204 \quad (4)$$

O diagrama FAD nível 1A, que pe encontrado na norma BS7910, possui limite máximo para valor de $K_{R(máx)} = 0,707$, se o valor do parâmetro calculado for maio do que descrito pelo diagrama há indícios de que minha estrutura no qual esta sendo analisada irá falhar devido a presença da trinca.

Estimativa da razão de colapso plástico S_R

A BS 7910 além de estimar um parâmetro de fratura linear elástico traz também a hipótese de colapso plástico, para isso existe o S_R que nada mais é que outro parâmetro que mede o risco de ocorrer um colapso plástico, e este é a razão entre a tensão localizada na região da descontinuidade e a tensão de colapso do material definido como:

$$S_R = \frac{\sigma_n}{\sigma_f} \quad (5)$$

Onde:

σ_n Tensão devido a flexão

σ_f É o valor médio entre a tensão de escoamento e o limite de resistência do material.

O cálculo de σ_f segue como o seguinte:

$$\sigma_f = \frac{\sigma_e + \sigma_r}{2} \quad (6)$$

$$\sigma_f = \frac{256,85 + 280}{2} \rightarrow \sigma_f = 268,4 \text{ MPa}$$

Portanto a estimativa da razão de colapso plástico fica o seguinte.

$$S_R = \frac{\sigma_n}{\sigma_f} \rightarrow S_R = 0,302$$

O diagrama FAD nível 1A também possui limite máximo para valor de $S_{R_{\max}} = 0,80$ se o valor do parâmetro calculado for maior do que descrito pelo diagrama há indícios de que minha estrutura no qual está sendo analisada irá falhar devido a presença da trinca.

Diagrama FAD

A partir de valores dos parâmetros calculados é necessário a construção do gráfico FAD para uma avaliação se o defeito é ou não aceitável. O nível 1A possui limites máximos para os valores de S_R e K_R , se o ponto de trabalho estiver compreendido dentro desse limite conclui-se que o defeito não causará danos nas condições normais de trabalho, ou seja o guindaste poderá continuar operante mesmo com essa falha, pois essa falha não vai se propagar.

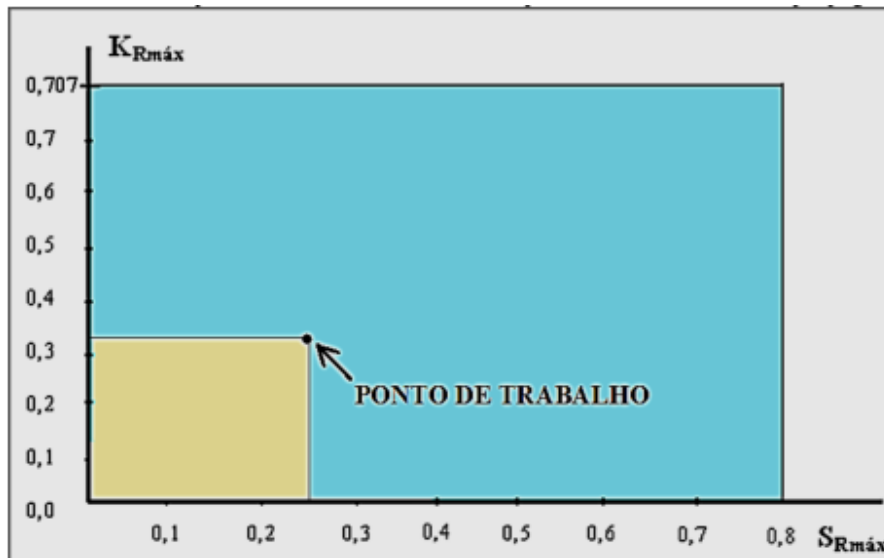


Figura 3: Diagrama FAD com resultados obtidos.

Estimativa para o crescimento da trinca

Através de iterações no feitas no Excel é possível estimar o crescimento da trinca, foi aumentado 10 X do o valor do comprimento da trinca e sua profundidade, a partir disso foi estipulado um valor de comprimento e profundidade que não mais seria aceitável, que seu ponto de trabalho já não mais enquadrava dentro das limitações do FAD.

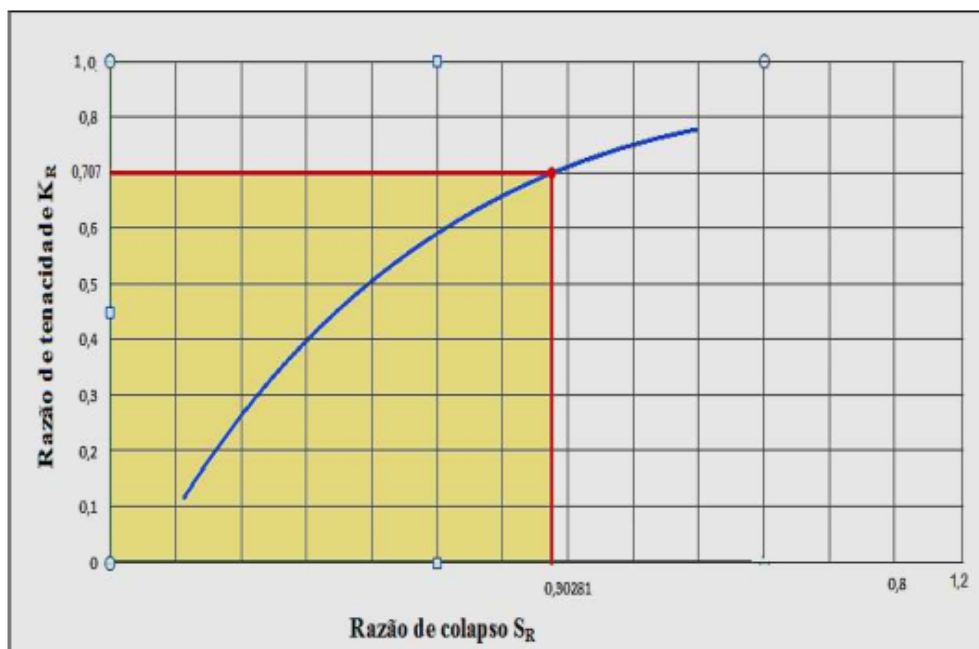


Figura 4: Estimativas para o crescimento da trinca no diagrama FAD

Com isso foi possível notar que quando a trinca alcançar uma profundidade "a" de aproximadamente 25 mm e o comprimento "2c" de 160 mm ultrapassará os valores

máximos de K_R e S_R estipulados pela norma. No gráfico da Figura é possível encontrar valores de $K_R = 1,0$ e $S_R = 1,2$, mas para esses valores não foi adotado nenhum fator de segurança, a norma diz que o nível 1A utiliza um diagrama FAD reduzido já considerando fatores de segurança. A norma diz que quando o valor de K_I ultrapassar o valor de K_{IC} o material vai falhar, então a partir disso foram realizadas iterações para avaliar a partir do valor de K_I o tamanho crítico dessa trinca, o gráfico da figura 5 mostra que quando a trinca alcançar o comprimento de $2c = 230$ mm e profundidade de $a = 25$ mm o valor de K_I ultrapassará o valor determinado de K_{IC} levando o pedestal decorrente do tamanho do defeito.



Figura 5: Relação Fator de Intensidade de Tensão X Defeito.

Com esse gráfico pode levar a uma contradição, pois foi dito anteriormente que o comprimento da trinca aceitável era de $2c = 160$ mm de acordo com o diagrama de análise de falha FAD, isso acontece pois o diagrama no nível 1A traz um coeficiente de segurança estipulando valores máximos de K_R e S_R . Portanto quando o comprimento da trinca alcançar um valor de $2c = 160$ mm o valor de $K_R = 1$

CONCLUSÃO

Com posse dos resultados encontrados no desenvolvimento do projeto alguns pontos principais devem ser destacados. O material no qual os ensaios foram realizados apresentou características idênticas as do aço ASTM A-36 validando assim os resultados das propriedades encontradas nos ensaios de tração.

O ensaio de tenacidade à fratura do material, de acordo com a mecânica da fratura, segundo a norma vigente BS-7848, não foi válido tornando assim o ensaio como um modelo de aprendizagem e representativo. Este ensaio não foi validado uma vez que o corpo de prova, que tem dimensões estabelecidas pela norma, não atingiu o estado triaxial de tensão. Devido às limitações do material fornecido para análise, não foi possível confeccionar um corpo de prova de dimensões maiores.

Para que o ensaio fosse válido deveria ter sido feito pelo método CTOD e não KIC. O ensaio de CTOD não foi realizado devido a limitações financeiras e falta de equipamentos para realizar o mesmo, logo se adotou um valor de KIC, encontrado na literatura, equivalente ao material utilizado no pedestal do guindaste.

Tomado como referência a norma BS-7910, fica evidenciado que o defeito não apresenta risco de dano ao equipamento em condições normais de serviço. Através de estimativas, foi possível encontrar as dimensões em que a trinca se torna crítica e instável, podendo levar o equipamento a uma fratura catastrófica. Essas dimensões são 160 mm de comprimento e uma profundidade de 25 mm. Conhecendo as dimensões da trinca presente no guindaste pode-se concluir que esta não irá levar o equipamento a uma falha catastrófica.

REFERÊNCIAS

Alvarez, P. I. H. Ensaios não Convencionais para Determinação da Tenacidade à Fratura em Rochas: Análise e Comparações. 2004. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 202p.

Anderson, T. L. Fracture Mechanics. 3 ed. New York: CRC; 2005. 621p

Broek, D. Elementary Engineering Fracture Mechanics. 3 ed. Boston: Martinus Mijhoff Publishers; 1981. 469p.

Callister, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC; 2005. 707p.

Chiaverini, V. Aços e Ferros Fundidos. 7 ed. São Paulo: ABM; 2005. 599p.

Colpaert, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4 ed. São Paulo: Blucher; 2008. 672p

Effting, C. Mecânica de Fratura Aplicada aos Materiais Dúcteis e Frágeis. 2004. Dissertação (Mestrado Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina. 248p.

Fortes, C. Mecânica da Fratura. Disponível em: <http://blogdoguindaste.com.br/>

London, BS 7448-1. British Standards Institution. Fracture mechanics toughness tests: Norma. Canadá, 1991.

London, BS 7910. British Standards Institution. Guide on methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures: Norma. Chiswick High Road, 1999.

Mei, P. R. Aços e Ligas Especiais. 3 ed. São Paulo: Blucher; 2010. 646p.

Miquer, R. F. Comportamento do Crescimento de Trinca por Fadiga de um Aço ABNT 1016 Laminado a Quente e Soldado por GMAW. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte. 105p

Ramos, M. A. K. Estudo Comparativo Entre os Resultados Obtidos Pelos Documentos API – 579 e BS – 7910 na Avaliação de Trincas em Vasos de Pressão. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia, Especialista em Engenharia de Inspeção de Equipamentos) – Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 83p.

Seelig, D. G. T. Fracture Mechanics With an Introduction to Micromechanics. 2 ed. New York: Springer; 2011. 336p.

Shigley, J. E. Projeto de Engenharia Mecânica 7 ed. Porto Alegre: Bookman; 2005. 960p

Silva, L. B. Estratégia Alternativa Para a Determinação do Limiar de Propagação de Trincas Através da Teoria da Distância Crítica. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) – Universidade de Brasília, Brasília, 88p.

Souza, S. A. Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos. 5 ed. São Paulo: Blucher; 1982. 286p.

Stohaecker, T. Mecânica da Fratura. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABV0sAA/apostila-mecanica-fratura>. Acesso 3 Out. 2012.

Universidade Federal de Santa Catarina: Biblioteca Central. Análise de Resistência Mecânica de Peças e Componentes Estruturais. 1 ed. Santa Catarina: Editora UFSC; 2002. 399p.

Universidade Federal de Santa Catarina: Departamento de Engenharia Mecânica. Análise de Resistência Mecânica. 1 ed. Santa Catarina: Editora UFSC; 2002. 399p.

Universidade Federal do Rio de Janeiro; Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello. Mecânica da Fratura. 1 ed. Editora da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Universidade Petrobrás; Escola de Ciências e Tecnologia do Abastecimento. Mecânica da Fratura Aplicada a Equipamentos. 1ed. Editora da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

West Conshohocken (USA). ASTM International A-370. Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products: Norma. Estados Unidos, 2011.

West Conshohocken (USA). ASTM International A36/A 36M – 01. Standard Specification for Carbon Structural Steel: Norma. Canadá, 1991.