

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

INFLUÊNCIA DA CORROSÃO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE COLUNAS DE REVESTIMENTO DE POÇOS DE PETRÓLEO

AUTORES:

Teófanés Vitor Silva

João Paulo Lima Santos

INSTITUIÇÃO:

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 8º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba/PR. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 8º PDPETRO.

INFLUÊNCIA DA CORROSÃO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE COLUNAS DE REVESTIMENTO DE POÇOS DE PETRÓLEO

Abstract

The following paper shows some additional tools to the software called CWELL (Casing Well), an auxiliary software to casing design. Due to the chemical reactions on the formation rocks, the casing well is deprecated, decreasing the alloy yield strength and increasing his embrittlement. Then the pipe body must be designed to abrasion, keep their properties after sour effects and handle high pressure, high temperature scenarios. The developed tool uses the von-Mises' design equations for triaxial yield of the pipe body then the two envelopment are plotted comparing both situations and the Klever-Stewart equations for ductile rupture, due to internal pressure are used to estimate the body pipe resistance.

Introdução

A ação da corrosão nos tubos de revestimento está ligada a perda da resistência mecânica do material, mas está principalmente ligada ao aumento da fragilidade. No processo de dimensionamento de colunas de revestimento baseados na norma ISO TR 10400 é importante avaliar os impactos dos efeitos corrosivos na resistência mecânica dos tubos. A partir de dados experimentais disponíveis na literatura, observa-se que a corrosão promove redução na tensão de escoamento, mas principalmente induz a uma redução significativa na tensão limite de ruptura dúctil, tornando importante, além das equações do critério de falha triaxial de von-Mises, (estado limite de deformação plástica) o uso das equações de ruptura dúctil de Klever-Stewart para o estado limite último. De acordo com essa formulação, é levado em consideração, além das características gerais do material, uma penalidade extra referente a uma perda de espessura no tubo devido a profundidade de trinca ocasionada pelo efeito corrosivo.

Metodologia

As equações de estado limite último para análise de efeitos corrosivos implementadas no software em desenvolvimento na Universidade Federal de Alagoas para auxílio a projeto de poços de petróleo, denominado CWELL, faz-se uso das expressões normativas da ISO TR 10400 (2007) para implementação das equações de ruptura dúctil e critério de falha de von-Mises.

A formulação para estimar a pressão resistente ao *burst* recomenda para projetos uma variação da formulação de Klever-Stewart (1998), deduzida a partir de um tubo em equilíbrio em um modelo para considerações dos efeitos de imperfeições, admitindo-se o tubo em condições de ponta fechada (*capped-end*), conforme equação (1).

$$R_i ISO = \frac{2k_{dr} f_{umn} (k_{wall} t - k_a a_N)}{D - (k_{wall} t - k_a a_N)} \quad (1)$$

Onde f_{umn} é a tensão de tração última do aço, a_N é a profundidade máxima de uma trinca na parede do tubo devido ao processo de produção adotada por 5%t, k_a é um fator de amplificação dessa

trinca dado por 1.0 ou 2.0 a depender do material, $k_{wall}=0.875$ e k_{dr} é um fator de correção da deformação do aço devido encruamento, dado por

$$k_{dr} = \left(\frac{1}{2}\right)^{n+1} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^{n+1} \quad (2)$$

Sendo n um valor tabelado, encontrado a partir da tensão de escoamento do aço.

Para cenários mais realísticos abordando pressão interna, externa e força axial atuando simultaneamente sobre o revestimento (cenário em condições triaxial), é sugerido o cálculo da força efetiva ($F_{eff} KS$) atuante, dada pelas equações:

$$F_{eff} KS = F_a + P_o \pi (D - t) - \frac{p_M \pi (D - t) (D - 2t_{dr})^2}{4t_{dr} (D - t_{dr})} \quad (3)$$

Onde

$$p_M = p_{refM} \sqrt{1 - k_R \left(\frac{F_{eff} KS}{F_{uts}} \right)^2} \quad (4)$$

É notado que $F_{eff} KS$ depende de p_M , o qual, por meio de manipulação algébrica obteve-se uma equação para a força efetiva e por fim, pode-se escrever a resistência a pressão interna por meio do diferencial da pressão resistente:

$$\Delta R_i KS = R_i KS - P_o = \min \left(\frac{p_M + p_{refT}}{2}, p_M \right) \quad (5)$$

Outros mecanismos de ruptura podem ocorrer no tubo, tais como empescoçamento (*necking*) por tração, ou enrugamento (*wrinkling*) para a compressão. Para o modelo de *necking* é necessário utilizar a limitação para delimitação na envoltória. O *necking* ocorre quando:

$$\frac{F_{eff} KS}{F_{uts}} \geq \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^{1-n} \quad (6)$$

De forma que é dada por

$$\Delta R_i KS_N = p_{refM} \sqrt{\frac{1}{k_N} \left[1 - \left(\frac{F_{eff} KS}{F_{uts}} \right)^2 \right]} \quad (7)$$

Com

$$k_N = 4^{1-n} - 3^{1-n} \quad (8)$$

A formulação acima é utilizada para gerar uma envoltória delimitadora da região onde a resistência do tubo não será excedida, sendo assim possível plotar também carregamentos pontuais para verificar se estão dentro dos limites.

Com o uso critério de falha de von-Mises é permitido que o usuário do software possa plotar uma ou mais envoltórias mostrando o estado de falha para cada tensão de escoamento do tubo.

Resultados e Discussão

As formulações foram testadas para um tubo P110, um tubo de $D = 7$ in, espessura de $t=0.453$ e $a_N=5\%$ da espessura em estado de capped-end segundo a equação (1), para exemplo de cálculo foram utilizados: $k_{wall}=0.875$, $f_{umn}=125000$ psi, $n=0.08$ e $k_a=1$ obtendo-se $R_{iISO} = 14458.4312$. Posteriormente com o mesmo tubo foi adicionado um carregamento axial de $P_a = -200000$ lb obtendo valor de $R_{iKS} = 12896.2616$ e sua envoltória (Figura 1) de resistência onde pode ser observado a região de ruptura dúctil, ponto de transição e o necking.

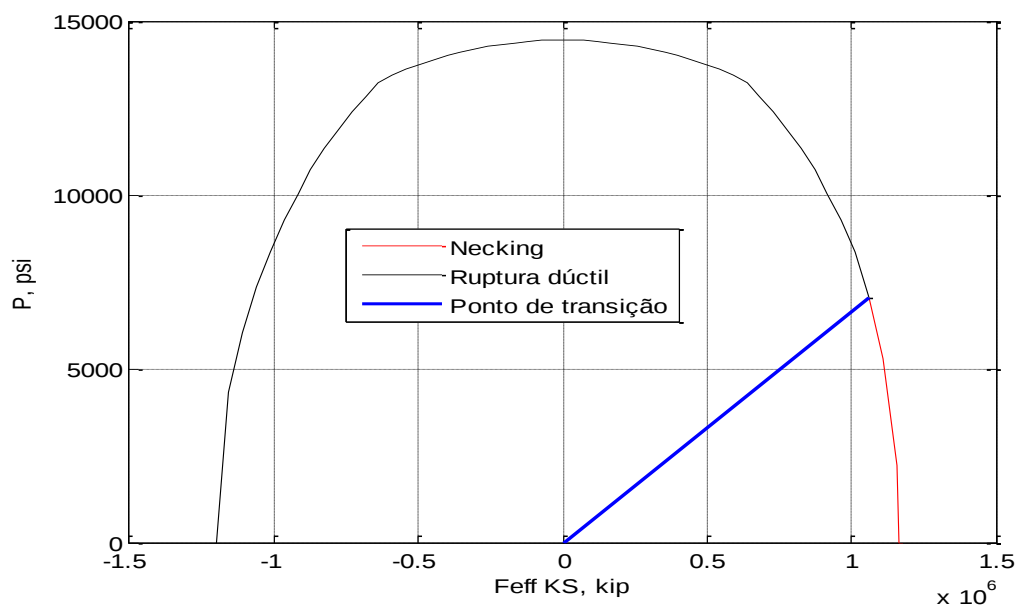


Figura 1 – Avaliação do efeito de ruptura dúctil para o tubo P110

Por fim utilizando o critério de falha de von-Misses e o envelope API foi gerada a envoltória de resistência do tubo em condições normais e com redução da tensão de escoamento conforme a figura 2.

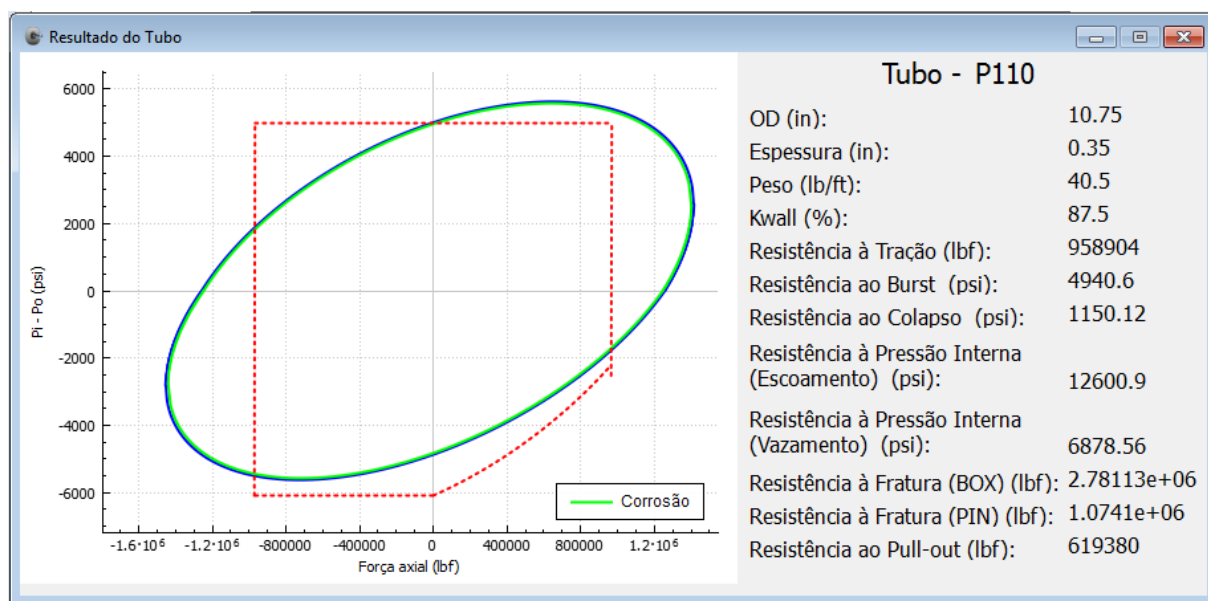


Figura 2 - Envoltória de resistência de Von-Mises

Conclusões

Os tubos de revestimento de poço sofrem com os ataques da formação a sua integridade, a ação corrosiva na liga metálica pode aumentar a sua fragilização com isso diminuindo seu período de escoamento plástico devido à diminuição da tensão de escoamento. Além disso, as ações corrosivas geram principalmente fissuras nos tubos que depreciam a resistência ao estado limite último, e pode ser analisado de acordo com as expressões de Klever-Stewart, considerando dessa formas as imperfeições geométricas na parede dos tubos e consequentes perda de resistência mecânica.

Agradecimentos

Ao meu professor orientador João Paulo Lima Santos pelo apoio, ao Grupo de poços LCCV-UFAL pelo incentivo passado em cada reunião, ao LCCV-UFAL pela estrutura fornecida, e pelo grande amigo Íthalo pelo auxílio prestado em um momento crítico.

Referências Bibliográficas

Gouveia, Lucas Pereira de., 2014. Avaliação da Confiabilidade em Tubos de Revestimento de Poços de Petróleo.

ISO TR 10400., 2007. Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Equations and calculations for the properties of casing, tubing, drill pipe and line pipe used as casing or tubing. 1st. ed. Washington, D.C.

KLEVER, F.; STEWART, G., 1998. Analytical burst strength prediction of octg with and without defects. In: Proceedings of SPE Applied Technology Workshop on Risk Based Design of Well Casing and Tubing. The Woodlands, Texas: Society of Petroleum Engineers. ISBN 9781555633868.