cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Avaliação do Limite de Resistência à Fadiga de um Aço Microligado API 5L X70

COSTA NOVA ALEXANDRE, Leonardo[1]; GUIMARÃES RIBEIRO, Sophia[1]; TAJIMA, Fernanda Mywa[1]; NASCIMENTO, Marcelino Pereira do[1]
1. Faculdade de Engenharia e Ciência de Guaratinguetá – FEG / UNESP - Guaratinguetá/SP, Brasil

Introdução

A integridade estrutural de dutos utilizados no transporte de petróleo e gás é fundamental para prevenir acidentes com consequências humanas, econômicas e ambientais. Em instalações offshore, carregamentos cíclicos, associados às vibrações induzidas por vórtices e às condições severas de operação, podem provocar falhas por Fadiga. Por isso, entender como o aço microligado API 5L X70 resiste à fadiga em nível ultrassônico é fundamental para garantir a segurança e confiabilidade dessas estruturas.

Objetivos

Determinar o limite de resistência à fadiga (LRF) do aço API 5L X70 em 10^6 ciclos aplicando o Método Escada (*Staircase Method*).

Metodologia

Foram confeccionados cdp's de tração (ASTM E 8M) e fadiga axial (ASTM E466) a partir de um tubo de aço microligado API 5L X70 e ensaiados em uma máquina servo-hidráulica INSTRON 8801. O limite de resistência à fadiga (LRF) adotado para 10^6 ciclos foi determinado pelo Método Escada, utilizando-se carregamento senoidal R=0,1, 20 Hz, amplitude constante e temperatura ambiente. Após lixamento e polimento, amostras do tubo foram atacadas com Nital 2% durante 45s. As imagens foram capturadas no microscópio óptico modelo NIKON EPIPHOT 200. Também foram feitas medições dimensionais e de rugosidade dos corpos de prova. As superfícies de fratura foram analisadas no MEV. modelo Zeiss EVO L515.

Resultados e Discussão

O aço API 5L X70 apresentou: 0,10C-1,36Mn-0,01P-0,004S. As prop. mecânicas foram: L.E. = 562±12MPa (70ksi=490MPa); L.R.=705±13MPa; AL=32% e microdureza HV=255,6±5,4. A Tab. 1 apresenta o tratamento estatístico utilizado no Método Escada, conforme descrito em Souza (1982), *apud* Dixon & Wood (1948), e Müller (2017). A Fig. 1 apresenta a curva SN do aço API 5L X70 e o tratamento dos resultados dos ensaios de fadiga aplicando-se o Método Escada, em que "X" representa os corpos de prova que fraturaram e "O" os corpos de prova que não fraturaram.

Tabela 1: LRF estatístico do aço API X70.

AÇO	TENSÃO	i	ni (s/rup)	ini	i^2ni
A					
P	600				
I	590				
5	575				
L	550	2	2	4	8
X	510	1	2	2	2
7	500	0	2	0	0
0	TOTAL		N=6	A=6	B=10

Aplicando as equações (1) e (2), descritas em Souza (1982), tem-se:

$$LRF=So+d*((A/N) \pm ½)) \quad (1)$$

$$\therefore LRF= 500+25*(6/6 +1/2) = 500+25*(1,5)$$

$$\delta\ (DP)=1,62*d*(((NB-A^2)/N^2)+0,029) \quad (2)$$

LRF=538 MPa ± 28 MPa

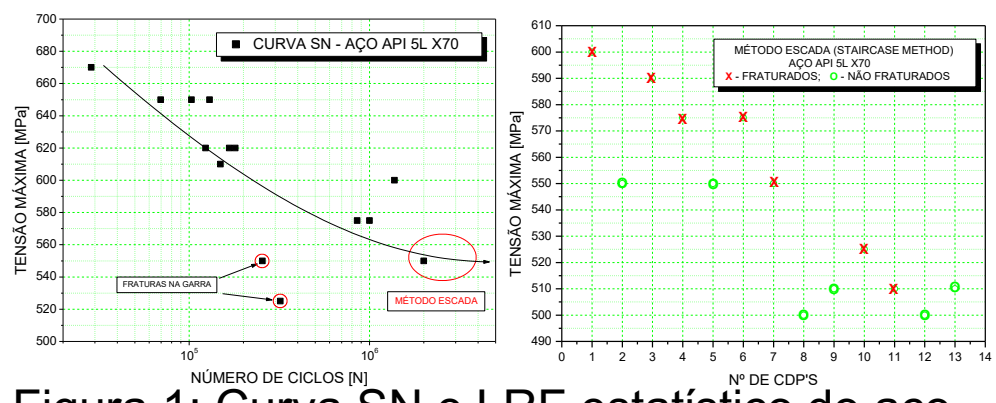

Figura 1: Curva SN e LRF estatístico do aço API X70.

Constata-se na Fig. 1 o excelente comportamento em fadiga do aço API X70, acima do Limite de Escoamento (70ksi=490MPa), o que indica sua alta capacidade de encruar/endurecer com os ciclos de carregamento e corrobora o LRF determinado pelo Método Escada.

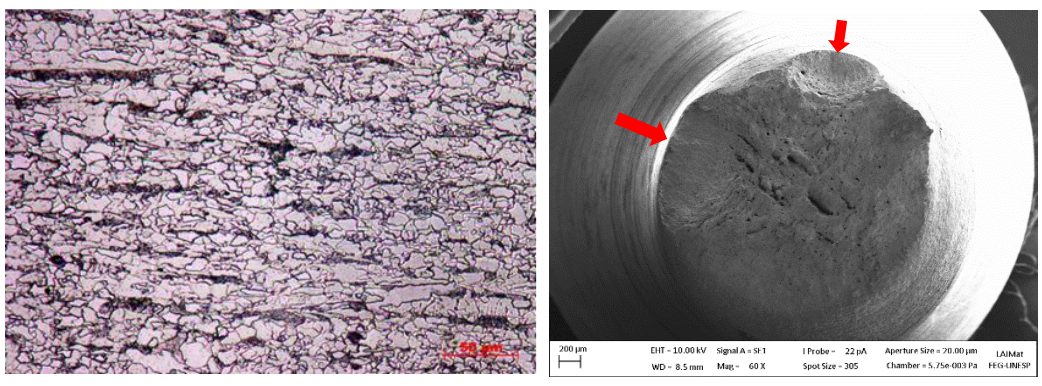

Figura 2: Microscopia óptica e MEV.

A Fig. 2(esq.) apresenta a microestrutura do aço API X70, constituída de grãos deformados de ferrita e perlita, com regiões esparsas contendo bainita. A Fig. 2(dir.) apresenta os mecanismos típicos da fadiga: duas origens de trinca (Estágio I), a propagação estável e plana (Estágio II) e a fratura final por sobrecarga em tensão plana (Estágio III).

Conclusões

O Método Escada é o mais popular hoje para determinar o LRF. Neste estudo, com limitada quantidade de cdp's, obteve-se o altíssimo LRF=538 MPa±28 MPa (110%LE). Apesar da incerteza de 5%, é possível reduzi-la dando continuidade aos ensaios.

Referências

1. BALENA, R. (2010) Estudo analítico-numérico das vibrações induzidas por vórtices em trecho vertical de *riser* rígido, sujeito à variação de tração, e sua influência na fadiga. Tese (Doutorado em Engenharia Naval e Oceânica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 162f.
2. MÜLLER, C., WÄCHTER, M., MASENDORF, R., ESDERTS, A. (2017) Accuracy of Fatigue Limits Estimated by the Staircase Method Using Different Evaluation Techniques. *International Journal of Fatigue*, v.100, pp. 296-307.
3. SCHIJVE, J. (2009). *Fatigue of Structures and Materials*. 2. ed. New York: Springer.
4. SOUZA, S. A. (1982). Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos–Fundamentos Teóricos e Práticos. Editora Edgar Blücher.