

4. Mecanismos de Dano e Falha – Guincho Hidráulico

Neste capítulo, será apresentado o conceito de mecanismo de dano, os principais mecanismos que afetam as máquinas de levantamento e movimentação de materiais. Apresentam-se também os três mecanismos de falha a considerar no exemplo deste trabalho (colapso plástico por carregamento excessivo, fadiga e corrosão).

Os mecanismos de dano são processos de deterioração das características micro e macroestruturais, físicas e mecânicas dos materiais quando estes são expostos às envoltórias de solicitações que ocorrem ao longo da vida útil dos equipamentos e componentes, acarretando perda progressiva de suas funções [3].

Os principais mecanismos de dano e modos de falha que atuam sobre as estruturas das máquinas de levantamento e movimentação de materiais são:

- Colapso plástico por carregamento excessivo
- Fadiga
- Corrosão
- Erosão
- Corrosão-fadiga
- Flambagem global e local

Os mecanismos de dano considerados neste estudo: fadiga, colapso plástico por carregamento excessivo e corrosão serão detalhados a seguir.

4.1. Fenômeno de Dano por Fadiga

É principalmente gerada pela propagação de uma trinca até a fratura total ou parcial da peça e é causada por um estado de cargas variáveis na estrutura ou peça. A fadiga é um processo de alteração estrutural permanente, progressivo e localizado, que ocorre no material sujeito às condições que produzem tensões ou deformações que variam no tempo sob a forma de picos e vales, em um ponto ou em vários pontos, e que pode resultar em trincas ou em fratura completa após um número suficiente de variações de carga [19].

4.1.1. Fenômeno de Dano por Fadiga de elementos sem solda

Para o cálculo de fadiga seguiu-se o modelo S-N: o objetivo deste método é prever a iniciação de trincas por fadiga sob tensões macroscópicas elásticas, as quais geram vidas longas, correlacionando uma análise linear de tensões simplificada com grande quantidade de dados empíricos [20].

A análise começa utilizando a curva de Wöhler (ou curva SN), figura 4.1, que mostra uma relação entre a resistência à fadiga $S_F(N)$ e a vida N em número de ciclos do tipo:

$$N \cdot S^m = A \quad (4.1)$$

Para estimar a curva SN em peças de aço na ausência de resultados experimentais confiáveis, propõe-se assumir um limite à fadiga $S_L (10^6)$ e uma resistência à fadiga $S_F(10^3)$ expressos por:

$$S_L (10^6) = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_\gamma \cdot k_e \cdot k_f \cdot 0,5 \cdot S_R \quad , \text{ se } S_R < 1400\text{MPa} \quad \text{ou} \quad (4.2a)$$

$$S_L (10^6) = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_\gamma \cdot k_e \cdot k_f \cdot 700\text{MPa} \quad , \text{ se } S_R \geq 1400\text{MPa} \quad (4.2b)$$

$$S_F (10^3) = k_\gamma \cdot k_e \cdot 0,76 \cdot S_R \quad , \text{ se } S_R < 1400\text{MPa} \quad \text{ou} \quad (4.3a)$$

$$S_F (10^3) = k_\gamma \cdot k_e \cdot 0,67 \cdot S_R \quad , \text{ se } S_R \geq 1400\text{MPa} \quad (4.3b)$$

Os fatores k_i quantificam os efeitos dos vários parâmetros que alteram o limite de fadiga e que são denominados da seguinte maneira:

k_a : fator de acabamento superficial

k_b : fator de tamanho

k_c : fator de carregamento

k_d : fator de temperatura

k_e : fator de confiabilidade

k_f : fator de fretagem

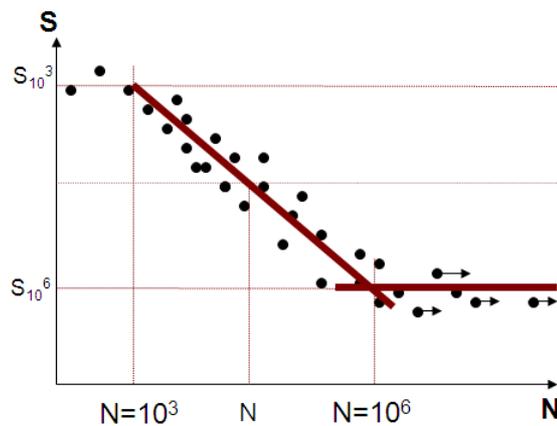


Figura 4.1 – Curva de Wöhler ou curva SN.

A causa principal que origina uma trinca por fadiga é a variação das cargas de serviço, onde a componente alternada da tensão $s_a = \frac{s_{\max} - s_{\min}}{2}$ tem a maior influência neste tipo de mecanismo de dano.

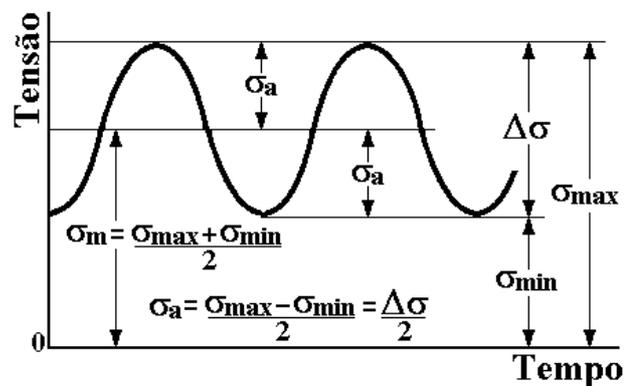


Figura 4.2 – Exemplo de curva Tensão-Tempo[20].

As curvas SN obtidas sobre flexão rotativa têm $s_m=0$.

Para descrever a influência da componente média da tensão usam-se os diagramas $\sigma_a \times \sigma_m$ (figura 4.3). A característica principal das curvas limites descritas nestes diagramas é que todos os seus pontos têm a mesma vida à fadiga, e assim estas linhas são o lugar geométrico das combinações $\sigma_a \times \sigma_m$ que causam o mesmo dano à peça. Os diagramas $\sigma_a \times \sigma_m$ mais conhecidos são os seguintes:

- Diagrama de Goodman:

$$\frac{j_F \cdot s_a}{S_{f(N)}} + \frac{j_F \cdot s_m}{S_u} = 1 \quad (4.4)$$

- Diagrama de Gerber:

$$\frac{j_F \cdot s_a}{S_{f(N)}} + \left(\frac{j_F \cdot s_m}{S_u} \right)^2 = 1 \quad (4.5)$$

- Diagrama de Soderberg:

$$\frac{j_F \cdot s_a}{S_{f(N)}} + \frac{j_F \cdot s_m}{S_y} = 1 \quad (4.6)$$

- Diagrama genérico :

$$\left(\frac{j_F \cdot s_a}{S_{f(N)}} \right)^r + \left(\frac{j_F \cdot s_m}{S_m} \right)^s = 1 \quad (4.7)$$

onde $j_F = \frac{S_a}{s_a} = \frac{S_m}{s_m}$

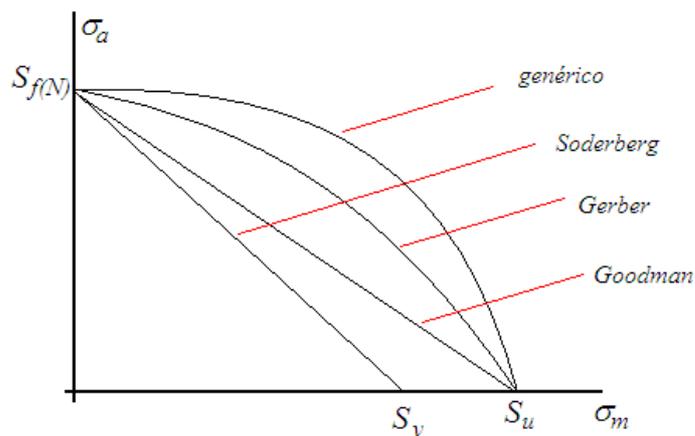


Figura 4.3 – Diagrama $\sigma_a \times \sigma_m$.

4.1.2. Fenômeno de Dano por Fadiga de elementos com solda

Os códigos de projeto à fadiga de estruturas soldadas são baseados numa coleção de curvas SN, medidas para testes feitos em juntas de tamanho real. Segundo a API RP 579 [21], o cálculo para verificação contra a fadiga de uniões soldadas considera que:

- A fadiga é provocada pelas gamas de tensões nominais solicitantes.
- As tensões médias do carregamento não são consideradas, uma vez que já existem tensões residuais trativas nas soldas, e que estas tensões são da ordem do limite de escoamento.
- Para cada detalhe de solda, a API 579 fornece uma resistência à fadiga. Esta resistência à fadiga leva em conta:
 - As tensões residuais existentes.
 - O fator de acabamento superficial k_a , assim como o fator de concentração de tensões do detalhe de solda K_f .
 - Cada detalhe de solda tem sua resistência à fadiga definida por uma classe, que é o valor da gama de tensão que leva o detalhe à fadiga após 5×10^6 ciclos.
 - A confiabilidade dos dados de resistência é 97,7%, isto é, o valor médio é igual à soma do valor dado para a classe com duas vezes o desvio padrão (15% do valor médio). Uma confiabilidade de 99,9% pode ser conseguida usando-se uma curva de fadiga para uma classe abaixo da especificada.

Coeficientes para curvas de fadiga em corpos de prova soldados				
Classe de Solda	N = 5.0 (10 ⁶) ciclos		N > 5.0 (10 ⁶) ciclos	
	m	A	m	A
124+	3,5	4,25E+13	5,5	3,87E+17
100	3,0	2,00E+12	5,0	1,10E+16
80	3,0	1,02E+12	5,0	3,57E+15
63	3,0	5,00E+11	5,0	1,03E+15
50	3,0	2,50E+11	5,0	3,47E+14
40	3,0	1,28E+11	5,0	1,03E+14

Tabela 4.1 - Coeficientes para as curvas de fadiga em corpos de prova soldados [21].

4.2. Fenômeno de Dano por Corrosão

Corrosão é a deterioração de um metal por ação química ou eletroquímica do meio ambiente. A deterioração representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas por um material, apresentando-se como perda de material, mudanças químicas ou alterações estruturais [22].

As máquinas de levantamento e movimentação de materiais geralmente encontram-se em ambientes agressivos, tais como: portos de embarque e desembarque com atmosfera úmida e pátios de estocagem de minério em atmosfera com poeira. Uma das características destes tipos de ambientes de trabalho é a presença de elementos corrosivos [12].

Existem, de forma geral, duas formas de corrosão que afetam este tipo de máquinas: corrosão uniforme e corrosão localizada. Neste estudo consideram-se as variáveis referentes à corrosão uniforme. Define-se corrosão uniforme como aquela caracterizada pelo ataque em toda a superfície metálica que mantém contato com o meio corrosivo com consequente diminuição homogênea da espessura. Sua ação é importante do ponto de vista de perda de material, pois diminui a espessura dos componentes estruturais, causa a diminuição da seção resistente aos carregamentos, podendo reduzir a vida útil e gerar falhas por rupturas e aumento do risco de acidentes.

4.2.1. Taxa de Corrosão (T_c):

A taxa de corrosão expressa a perda de espessura ocorrida em um determinado tempo. A avaliação correta das taxas de corrosão é de grande importância na determinação da vida útil de um equipamento ou tubulação.

A taxa de corrosão é determinada da seguinte maneira:

- Perda de espessura por unidade de tempo: principalmente usada em instalações industriais para avaliar a corrosão uniforme ou localizada em equipamentos, tubulações e outras peças utilizadas em instalações industriais.
- Perda de espessura de peso por unidade de área na unidade de tempo: principalmente usada em experiências realizadas tanto em laboratório quanto no campo, quando a corrosão for uniforme.

4.2.2. Efeito da Umidade Relativa (UR)

A influência da umidade na ação corrosiva da atmosfera é acentuada, pois se sabe que o ferro em atmosfera de baixa umidade relativa praticamente não sofre corrosão. Sob uma umidade relativa em torno de 60% , o processo corrosivo é lento, mas acima de 70% ele é acelerado e, se além da umidade houver também a presença de substâncias poluentes, a velocidade de corrosão será maior [12].

4.2.3. Perda de Espessura (P_e):

É determinada pela multiplicação da taxa de corrosão (T_c) e o tempo de exposição (t_e) da máquina ao ambiente corrosivo:

$$P_e = T_c \cdot t_e \quad (4.8)$$



Figura 4.4 – Fenômeno de Dano por Corrosão.

4.3. Colapso por Carregamento Excessivo

Uma carga externa atuando em um material com comportamento elástico-idealmente plástico não pode ser aumentada de forma ilimitada, isto é, as tensões causadas pelo carregamento externo não podem exceder o valor do limite de escoamento. Ao procurar-se aumentar o carregamento, as deformações plásticas nas seções críticas irão aumentar. O ilimitado aumento de deformação do corpo sob tensão constante torna-o incapaz de suportar qualquer acréscimo da carga externa, desta forma o carregamento externo atinge uma magnitude crítica chamada de colapso plástico

No caso de aplicações onde pode ser tolerada uma deformação plástica, provavelmente localizada em detalhes que levam a uma concentração de tensão, é muito conservativo considerar como critério de falha o início de escoamento. Assim, é mais realista considerar como critério de falha a situação onde se tem uma plastificação generalizada na seção crítica, condição onde a capacidade de suportar carga fica esgotada. Outra possibilidade é admitir um certo nível de deformação plástica no ponto mais solicitado, como por exemplo, igual ao nível da deformação de início de escoamento. Nesta situação a falha fica caracterizada por uma plastificação que ocorre sobre um volume finito de material. Uma outra possibilidade é considerar como critério de falha o limite de ruptura do material, este último critério foi o considerado neste trabalho.