6-14 Resistência à fadiga de superfície em contato

Nesta seção estudaremos uma propriedade de materiais emparelhados chamada de resistência ao cisalhamento da superfície. O engenheiro deve frequentemente resolver problemas nos quais dois elementos de máquina se juntam um ao outro por rolamento, escorregamento ou uma combinação de contato de rolamento e escorregamento. Exemplos óbvios de tais combinações são os dentes emparelhados de um par de engrenagens, um came e seguidor, uma roda e o trilho, e uma corrente e a roda dentada. Por isso um conhecimento da resistência da superfície dos materiais é necessário se o desenhador tiver de criar máquinas com uma vida longa e satisfatória.

O mecanismo de fadiga de superfície não está definitivamente compreendido. A zona de contato afetada, na ausência de tensões de cisalhamento de superfície, considera as tensões principais de compressão. Quando duas superfícies são pressionadas juntas, uma tensão de cisalhamento máxima é desenvolvida ligeiramente abaixo da superfície contatante. Algumas autoridades postulam que uma falha por fadiga de superfície é iniciada por essa tensão de cisalhamento máxima e depois propagada rapidamente à superfície.

Baseado os dados experimentais, Buckingham (1945) definiu um *fator de carga-tensão*, também chamado de *fator de desgaste*, que é derivado das equações de Hertz. As Equações (3-73) e (3-74) para cilindros contatantes, são encontradas assim

$$b = \sqrt{\frac{2F}{\pi l} \frac{(1-\nu_1^2)/E_1 + (1-\nu_2^2)/E_2}{(1/d_1)+(1/d_2)}} \qquad (6\text{–}58)$$

$$p_{\max} = \frac{2F}{\pi b l} \qquad (6\text{–}59)$$

em que
b = meia largura da área de contato retangular
F = força de contato
l = comprimento dos cilindros
ν = razão de Poisson
E = módulo de elasticidade
d = diâmetro do cilindro

É mais conveniente usar o raio do cilindro; assim, seja $2r = d$. Se designarmos o comprimento dos cilindros como w (para largura da engrenagem, mancal, came etc.), em vez de l, e removermos o sinal de raiz quadrada, a Equação (6–58) torna-se

$$b^2 = \frac{4F}{\pi w} \frac{\left(1 - \nu_1^2\right)/E_1 + \left(1 - \nu_2^2\right)/E_2}{1/r_1 + 1/r_2} \tag{6–60}$$

Podemos definir uma *resistência à fadiga de superfície* S_C usando

$$p_{\max} = \frac{2F}{\pi b w} \tag{6–61}$$

como

$$S_C = \frac{2F}{\pi b w} \tag{6–62}$$

que pode também ser chamada *resistência ao contato*, *resistência à fadiga de contato* ou *resistência à fadiga hertziana*. A resistência é a pressão contatante que, após um número de ciclos, causará falha na superfície. Tais falhas são frequentemente chamadas de *desgaste* porque elas ocorrem durante um período muito longo, contudo, não devem ser confundidas com desgaste abrasivo. Elevando ao quadrado a Equação (6–62), substituindo b^2 da Equação (6–60) e rearranjando, obtemos

$$\frac{F}{w}\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) = \pi S_C^2 \left[\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2}\right] = K_1 \tag{6–63}$$

A expressão esquerda consiste em parâmetros que um desenhador pode buscar controlar independentemente. A expressão central consiste em propriedades do material e especificação da condição. A terceira expressão é o parâmetro K_1, fator de carga-tensão de Buckingham, determinado por um aparato de ensaio com valores de F, ω, r_1, r_2 e o número de ciclos associados com a primeira evidência tangível de fadiga. Em estudos de engrenagens, um fator K similar é usado:

$$K_g = \frac{K_1}{4} \operatorname{sen} \phi \tag{6–64}$$

em que ϕ é o ângulo de pressão do dente, e o termo $[(1 - \nu_1^2)/E_1 + (1 - \nu_2^2)/E_2]$ é definido como $1/\pi\ C_p^2)$, de modo que

$$S_C = C_P \sqrt{\frac{F}{w}\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)} \tag{6–65}$$

Experimentos mostram que os dados de K_1 *versus* N, K_g *versus* N, S_C *versus* N são retificados pela transformação log-log. Isso sugere que

$$K_1 = \alpha_1 N^{\beta_1} \qquad K_g = aN^b \qquad S_C = \alpha N^\beta$$

Os três expoentes são dados por

$$\beta_1 = \frac{\log(K_1/K_2)}{\log(N_1/N_2)} \qquad b = \frac{\log(K_{g1}/K_{g2})}{\log(N_1/N_2)} \qquad \beta = \frac{\log(S_{C1}/S_{C2})}{\log(N_1/N_2)} \tag{6–66}$$

Dados referentes a aço inducto-endurecido em (contato com) aço produzem $(S_C)_{10^7} =$ 1897 MPa e $(S_C)_{10^8} = 1673$ MPa; assim β, da Equação (6–66), é

$$\beta = \frac{\log(1897/1673)}{\log(10^7/10^8)} = -0{,}055$$

Pode ser de interesse notar que a American Gear Manufacturers Association (AGMA) usa $\beta = -0{,}056$ entre $10^4 < N < 10^{10}$, se o desenhador não dispuser de dados contrários além de 10^7 ciclos.

Uma antiga correlação em aços entre S_C e H_B a 10^8 ciclos é:

$$(S_C)_{10^8} = 2{,}76\, H_B - 70 \text{ MPa} \tag{6–67}$$

AGMA usa

$$_{0,99}(S_C)_{10^7} = 2{,}26\, H_B + 179 \text{ MPa} \tag{6–68}$$

A Equação (6–65) pode ser utilizada no projeto para encontrar a tensão permissível de superfície usando-se um fator de projeto. Visto que essa equação é não linear em sua transformação tensão-carga, o desenhador deve decidir se a perda de função denota inabilidade de suportar carga. Se sim, para encontrar a tensão permissível, divide-se a carga pelo fator de projeto:

$$\sigma_C = C_P \sqrt{\frac{F}{w n_d}\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)} = \frac{C_P}{\sqrt{n_d}} \sqrt{\frac{F}{w}\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)} = \frac{S_C}{\sqrt{n_d}}$$

e $n_d = (S_C/\sigma_C)^2$. Se a perda de função estiver focada na tensão, então $n_d = S_C/\sigma_C$. É recomendado que um engenheiro:

- Decida se a perda de função é falha para suportar carga ou tensão.
- Defina o fator de projeto e o fator de segurança concordantemente.
- Declare o que ele ou ela está usando e por quê.
- Esteja preparado para defender sua posição.

~~~~~~

De pagina 362 a 365 do livro de Shigley, é

Guia de procedimentos e equações importantes de projeto para o método tensão-vida

que é um sumário sobre o conteúdo de fadiga dado pelo livro.
~~~~~~