

FADIGA

É uma forma de falha que ocorre em estruturas sujeitas a flutuações dinâmicas de tensão.

Ex.: Pontes, aeronaves e componentes de máquinas.

Nestas circunstâncias há possibilidade da falha ocorrer sob níveis de tensão consideravelmente inferiores as tensões de escoamento produzidas em carregamento.

O termo FADIGA é empregado pelo fato de que a falha ocorre após um período de ciclagem de tensão ou deformação.

Importância:

- 90% das falhas dos componentes metálicos ocorrem desta forma.
- A falha por fadiga é de natureza frágil mesmo em metais normalmente dúcteis.
- Ocorre com muito pouca ou nenhuma deformação plástica.

Processo:

Início e propagação de uma trinca, sendo a superfície de fratura perpendicular a direção da tensão (trativa) aplicada.

Carregamento cíclico:

- A tensão aplicada pode ser:

a) Axial (tração / compressão)

b) flexão

c) Torção

Há três tipos de flutuação.

Tensão média:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x.} + \sigma_{m\acute{i}n.}}{2}$$

Intervalo de tensão:

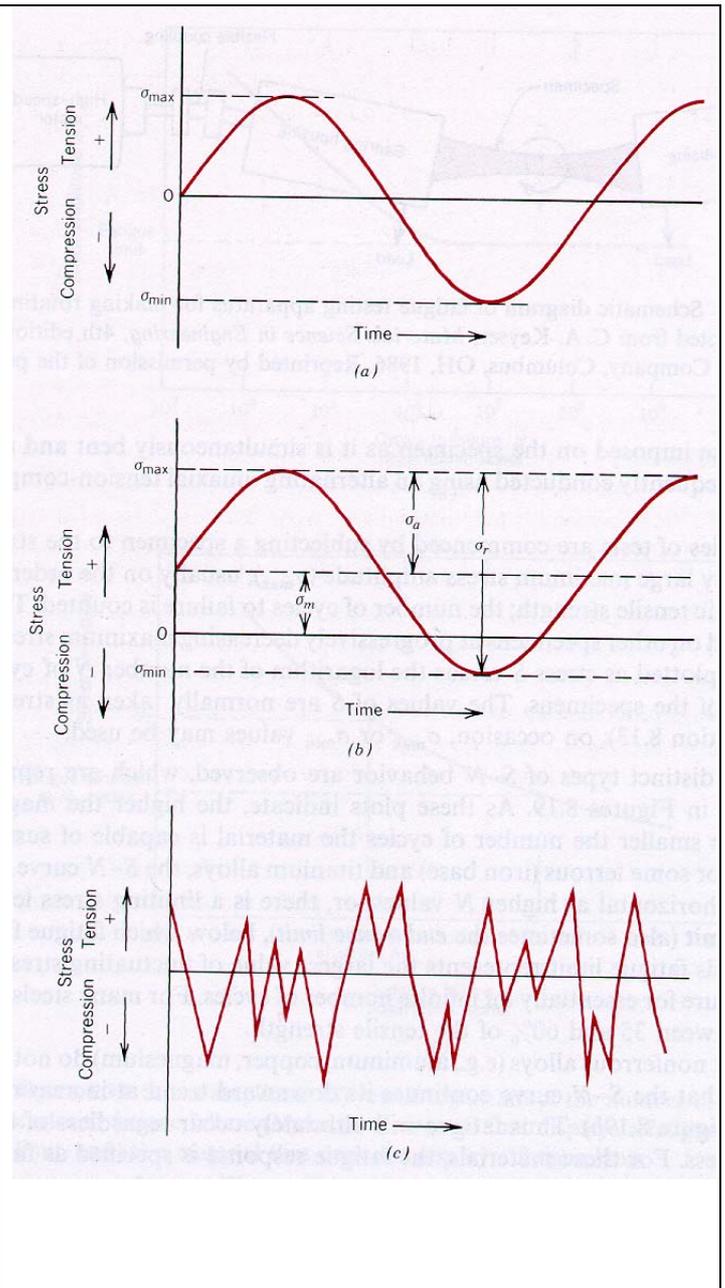
$$\sigma_R = \sigma_{m\acute{a}x.} - \sigma_{m\acute{i}n.}$$

Amplitude de Tensão:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_R}{2} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x.} - \sigma_{m\acute{i}n.}}{2}$$

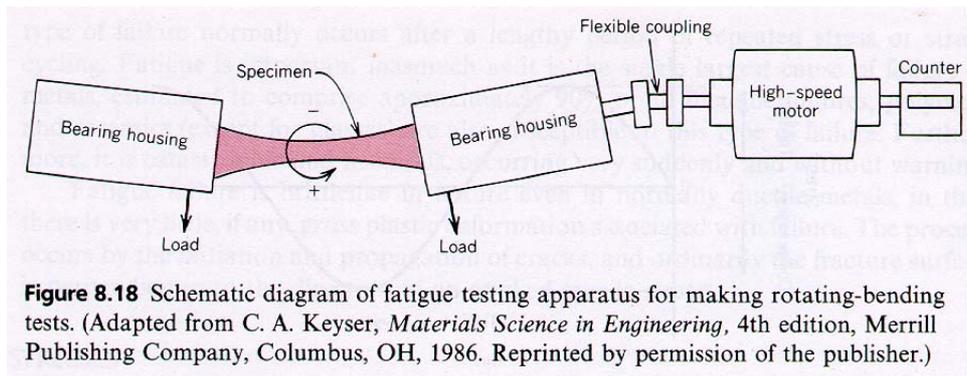
Razão de Tensão de Fadiga:

$$R = \frac{\sigma_{m\acute{i}n.}}{\sigma_{m\acute{a}x.}}$$



Curva S-N (Curva de Wölher)

- Determinação das propriedades de fadiga do material a partir de simulação em laboratório.
- Em condições ideais o equipamento deve reproduzir o mais próximo possível as condições de serviço, considerando: nível de tensão, frequência, padrão de tensão e etc...

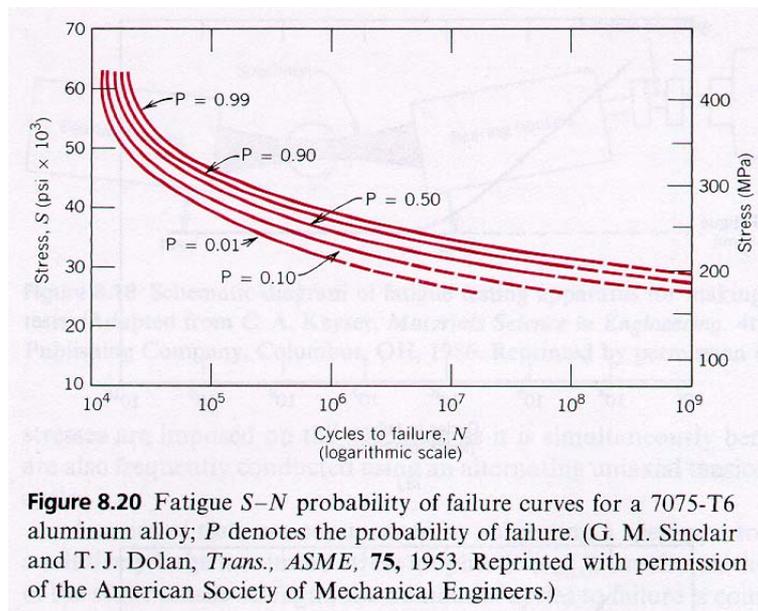


Condições Iniciais: $\sigma_{\text{máx}} = 2/3 \sigma_r$

Resultado na forma de gráfico:

S(Tensão) X log N (nº de ciclos) para cada corpo-de-prova.

Os valores de S são colocados na Forma de amplitude de tensão (σ_a).



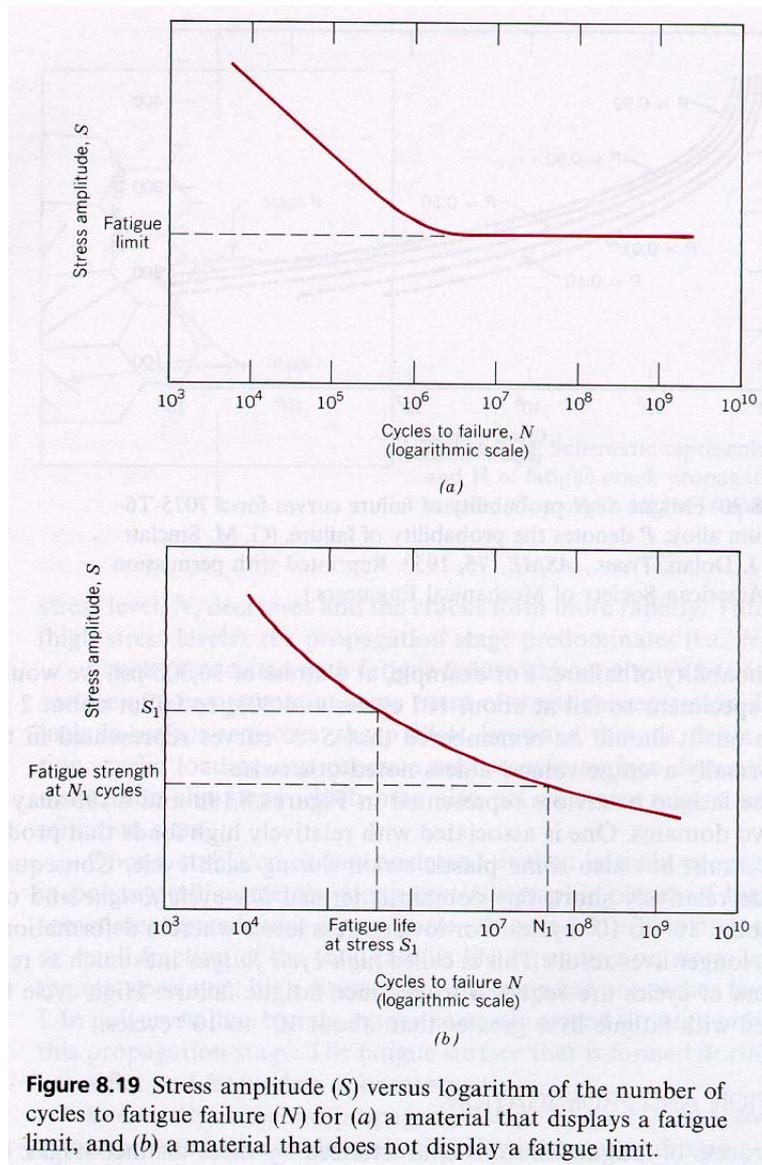


Figure 8.19 Stress amplitude (S) versus logarithm of the number of cycles to fatigue failure (N) for (a) a material that displays a fatigue limit, and (b) a material that does not display a fatigue limit.

- Para muitos aços, o limite de fadiga se situa entre 35 e 65% do LR.
- Metais não ferrosos não apresentam limite de fadiga.

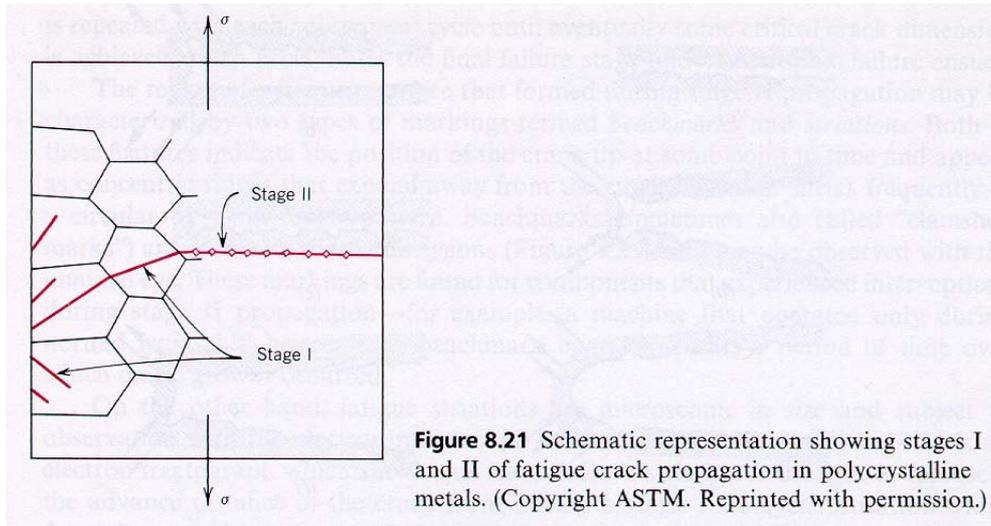
Neste caso, especifica-se a resistência a fadiga definindo-se o número de ciclos em que poderá ocorrer a falha por fadiga em um dado nível de tensões.

Baixo ciclo: $10^4 - 10^5$ ciclos

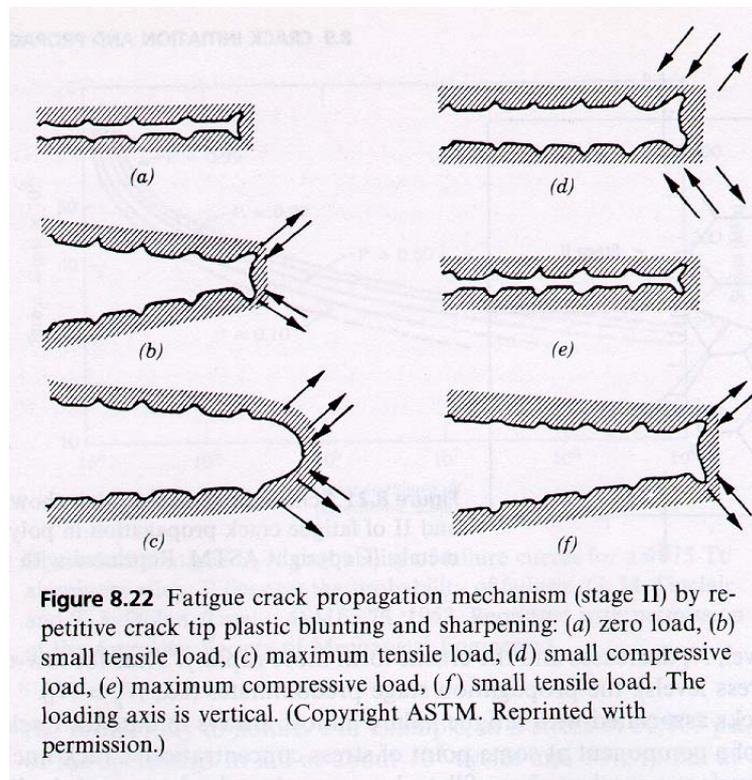
Médio ciclo: ? ciclos

Alto ciclo: $> 10^6$ ciclos

Iniciação da trinca e propagação:



- 1) Início da trinca em um ponto de concentração de tensões.
- 2) Avanço da trinca.
- 3) Fratura



$$N_f = N_i + N_p$$

Fatores que afetam a vida em fadiga:

- Tensão média
- Efeitos de superfície
- Projeto
- Tratamento superficial
- Ambiente

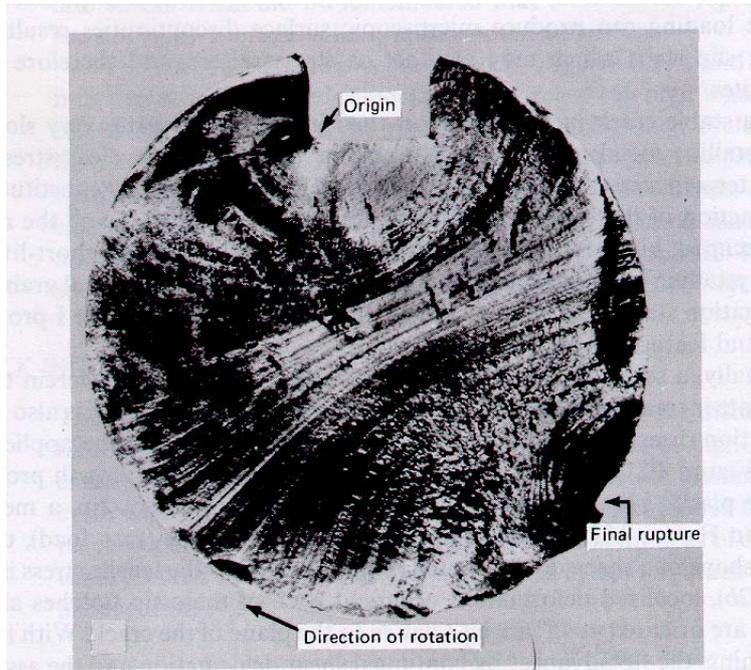


Figure 8.23 Fracture surface of a rotating steel shaft that experienced fatigue failure. Beachmark ridges are visible in the photograph. (Reproduced with permission from D. J. Wulpi, *Understanding How Components Fail*, American Society for Metals, Materials Park, OH, 1985.)

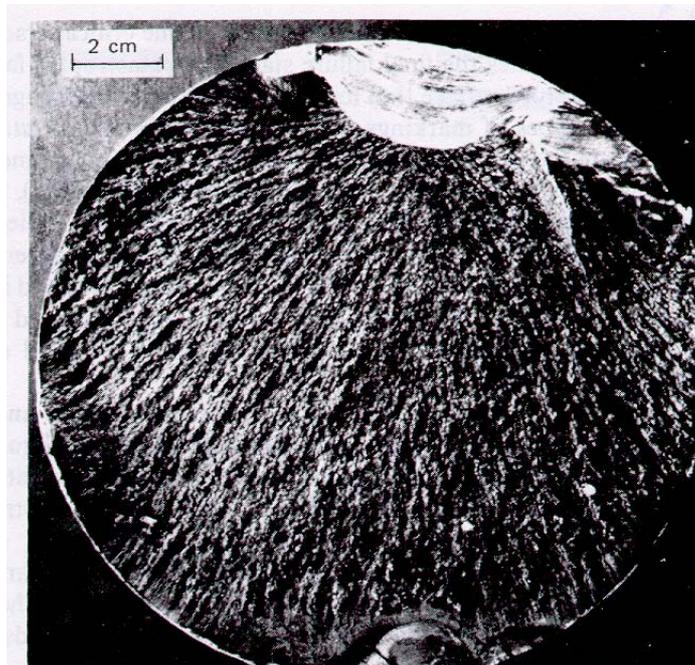


Figure 8.25 Fatigue failure surface. A crack formed at the top edge. The smooth region also near the top corresponds to the area over which the crack propagated slowly. Rapid failure occurred over the area having a dull and fibrous texture (the largest area). Approximately $0.5\times$. (Reproduced by permission from *Metals Handbook: Fractography and Atlas of Fractographs*, Vol. 9, 8th edition, H. E. Boyer (Editor), American Society for Metals, 1974.)

INICIAÇÃO E PROPAGAÇÃO

O processo é caracterizado por 3 estágios distintos:

- 1- Iniciação da Trinca- onde a trinca se forma em algum ponto de concentração de tensões.
- 2- Propagação – propagação gradual da trinca a cada ciclo de tensões.
- 3- Fratura Final- separação ou ruptura após a trinca ter alcançado um tamanho crítico.

A vida total em fadiga é dada por:

$$N_f = N_i + N_p$$

N_i – número de ciclos para iniciação

N_p - número de ciclos para a propagação

O tempo consumido na ruptura ou estágio final é desprezado em relação a N_i e N_p .

Para baixas tensões de carregamento (fadiga de alto ciclo) $N_i > N_p$. Para altas tensões de carregamento (fadiga de baixo ciclo) $N_p > N_i$.

As trincas são normalmente iniciadas na superfície ou em pontos de concentração de tensões como: ranhuras, rasgos de chavetas, filetes de rosca e similares.

A ciclagem pode levar também à ocorrência de micro - deformações resultando em irregularidades superficiais (formação de áreas de intrusão extrusão) pelo deslizamento de discordâncias, gerando pontos de concentração de tensões, portanto, tornando-se sítios nucleadores de trinca.

Uma trinca iniciada de modo estável se propaga lentamente. No caso de metais policristalinos isto ocorre ao longo de planos cristalográficos de levada tensão de cisalhamento (Estágio I). Este estágio pode ser a maior ou menor parte da vida em fadiga, dependendo do nível de tensões aplicado e da natureza do material.

A superfície de fadiga no estágio I possui uma aparência plana. No estágio II a velocidade de propagação aumenta significativamente. Há uma mudança na direção de propagação que tende a ser perpendicular ao carregamento.

A trinca cresce em um mecanismo repetitivo de abertura e fechamento correspondendo a um ciclo de deformação da ponta da trinca (arredondamento) e aguçamento. Este padrão de propagação produz uma superfície característica que é denominada de “marcas de praia” (beachmarks) quando são de dimensões macroscópicas (observáveis a olho nú ou com recursos óticos) ou de “estrias de fadiga” (striations) quando são dimensões microscópicas (observáveis por microscopia eletrônica).

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DA TRINCA

Relacionamento da vida da estrutura pelo gráfico a x N

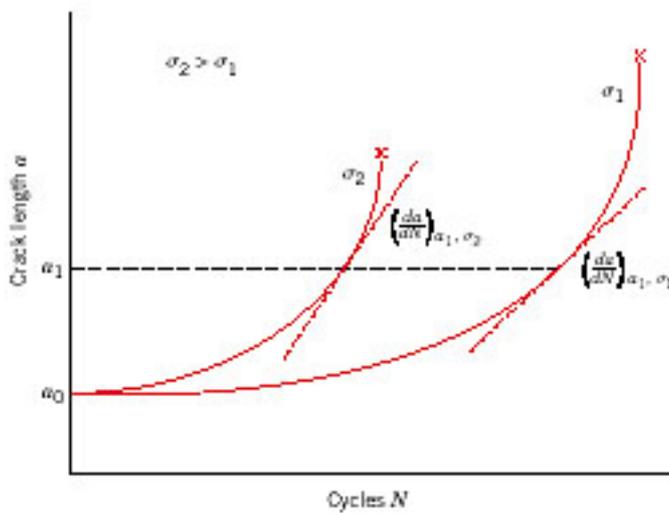


FIGURE 8.29 Crack length versus the number of cycles at stress levels σ_1 and σ_2 for fatigue studies. Crack growth rate da/dN is indicated at crack length a_1 for both stress levels.

A velocidade de crescimento da trinca é dada por:

$\frac{d_a}{d_n} = A(\Delta K)^m$, onde ΔK é fator de intensidade de tensões, A e m constantes do material que dependem do meio, frequência e da razão de tensão (R).

a) Inicialmente $\frac{d_a}{d_n}$ é baixo aumentando com valor de a.

b) $\frac{d_a}{d_n}$ aumenta com a tensão aplicada e para um valor específico de tamanho de trinca a_1 .

Na equação acima a velocidade de propagação é função não só do nível de tensões e do tamanho da trinca, mas também das variáveis do material. A expressão acima contém o termo ΔK contemplando o fator de intensidade de tensões.

ΔK – variação do fator de intensidade de tensões na ponta da trinca, ou seja,

$$\Delta K = K_{\max} - K_{\min}.$$

$$\text{ou } \Delta K = Y\Delta\sigma\sqrt{\pi.a} = Y(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})\sqrt{\pi.a}$$

Considerando que a trinca para de crescer ou tem crescimento insignificante em compressão e se a tensão mínima é compressiva, então K_{\min} e σ_{\min} são tomados como zero, ou seja, $\Delta K = K_{\max}$ e $\Delta\sigma = \sigma_{\max}$.

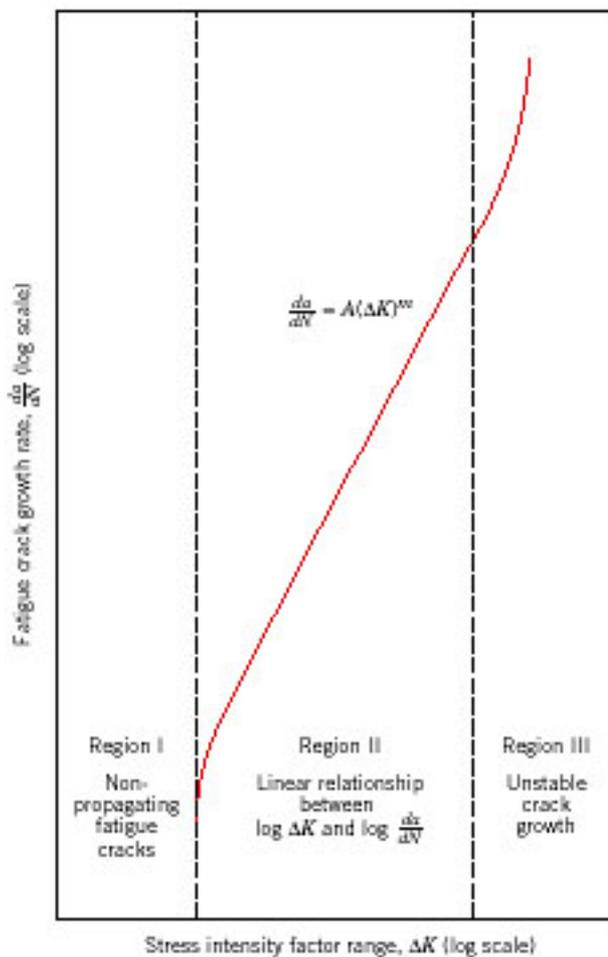


FIGURE 8.30 Schematic representation of logarithm fatigue crack propagation rate da/dN versus logarithm stress intensity factor range ΔK . The three regions of different crack growth response (I, II, and III) are indicated. (Reprinted with permission from ASM International, Metals Park, OH 44073-9989. W. G. Clark, Jr., "How Fatigue Crack Initiation and Growth Properties Affect Material Selection and Design Criteria," *Metals Engineering Quarterly*, Vol. 14, No. 3, 1974.)