

4

Mecanismos de Fratura

4.1.

Critério de Energia

Este critério foi proposto por Griffith, o qual estabelece que a propagação de uma trinca ocorre quando a energia disponível para o aumento de uma trinca é o suficiente para superar a resistência do material. Esta resistência pode incluir energia superficial, trabalho plástico ou outro tipo de dissipação de energia associado com a propagação (Anderson 1995).

Griffith foi o primeiro a propor o critério de energia para propagação de fraturas, mas Irwin é o responsável inicial pelo desenvolvimento da taxa de alívio de energia potencial G , a qual é definida como a taxa de variação na energia potencial por unidade de área da trinca para um material elástico.

Para uma trinca de $2a$ de comprimento numa prancha infinita sujeita a uma tensão de tração remota, como é mostrada na figura 4.1, a taxa de energia é dada pela equação 4.1.

$$G = \frac{\pi\sigma^2 a}{E} \quad 4.1$$

Onde:

E = módulo de Young,

σ = tensão de tração remotamente aplicada,

a = metade do comprimento da fratura,

No momento da fratura, $G = G_c$. A taxa de energia, G é a força que leva ou dirige à fratura, sendo que G_c é a taxa de variação crítica, a qual é uma propriedade do material.

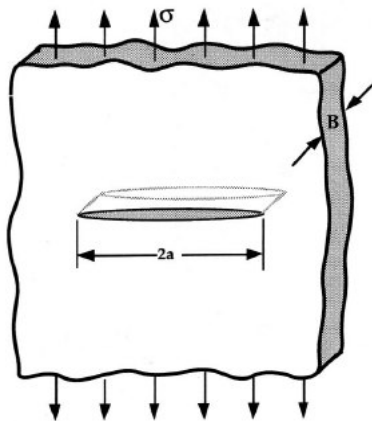


Figura 4.1 Trinca de comprimento $2a$ numa placa infinita

4.2.

Fator de Intensidade de Tensão

Existem três modos básicos de carregamento ao qual uma trinca pode ser submetida, para provocar seu avanço, como é mostrada na figura 4.2.

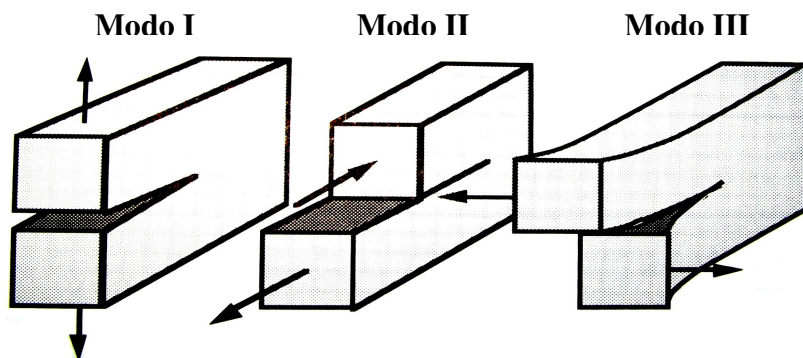


Figura 4.2 Modos de carregamento básico que pode ser aplicado numa trinca

No modo I, a carga principal é de tração aplicada normal ao plano da trinca, pelo qual tende a abrir a trinca.

No modo II, corresponde a cargas de cisalhamento no plano e tende a deslocar uma face da trinca com relação à outra.

No modo III, refere-se às cargas de corte ou cisalhamento normais ao plano, o deslocamento das superfícies da trinca é paralelo a elas.

Um corpo fraturado pode sofrer carregamento em qualquer um destes três modos ou numa combinação de dois ou três deles.

Destes três modos básicos, o modo I é o mais importante, ele é a condição de carregamento predominante na maioria de situações práticas e também é a mais simples de ser analisada e aplicada. Este é o modo de propagação das fraturas que será levado em consideração na análise deste trabalho.

Irwin (1957) deduziu que o processo de propagação da fratura se apresenta numa zona pequena próxima à ponta da trinca, a qual denominou zona plástica ou zona de processo de fratura, a qual, pelo efeito da deformação absorve grande quantidade de energia e mantém as tensões dentro de um valor finito. Desenvolveu uma formulação do problema da propagação de fraturas em termos do estado de tensões do material na vizinhança da ponta da trinca, numa placa como a mostrada na figura 4.1, e para o modo I o campo de tensões é dado pelas equações 4.2, para um estado plano de tensões, e um material elástico linear.

$$\sigma_{xx} = \frac{KI}{\sqrt{2\pi r}} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \left[1 - \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin\left(\frac{3\theta}{2}\right) \right]$$

4.2

$$\sigma_{yy} = \frac{KI}{\sqrt{2\pi r}} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \left[1 + \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin\left(\frac{3\theta}{2}\right) \right]$$

$$\tau_{xy} = \frac{KI}{\sqrt{2\pi r}} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos\left(\frac{3\theta}{2}\right)$$

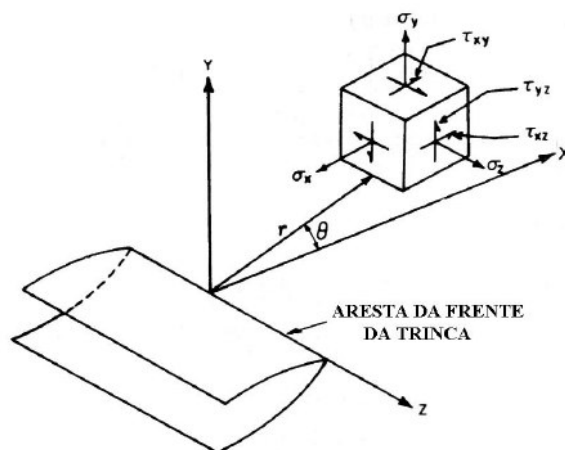


Figura 4.3 Coordenadas polares e tensões ao redor da ponta de uma trinca

Onde r e o ângulo θ são as coordenadas polares em relação à ponta da trinca e as tensões como se mostra na figura 4.3, e K_I é o fator de intensidade de tensão no modo I.

Em geral, K é função da forma e tamanho da trinca, tipo de carregamento, configuração e geometria do componente estrutural.

Observa-se nas equações anteriores que as tensões tendem ao infinito na ponta da trinca quando ($r=0$), e a tensão σ_y deveria tender ao valor da tensão externa σ para o caso no qual $\theta = 0$ e r assume valores grandes, mas σ_y tende a zero.

Em consequência Irwin, adotando K apenas para avaliação da ponta da trinca, definiu o fator de intensidade de tensão no modo I como se apresenta na equação 4.3.

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \quad 4.3$$

Onde a é o comprimento inicial da trinca, e σ é a tensão externa.

Se for assumido que o material falha localmente numa combinação crítica de tensão e deformação, então consequentemente deve ocorrer numa intensidade de tensão crítica K_{Ic} , a qual é uma medida da tenacidade à fratura e é propriedade do material. Então a falha ocorre quando $K_I = K_{Ic}$.

Uma das hipóteses fundamentais da mecânica das fraturas é que a tenacidade da fratura é independente do tamanho e geometria do corpo fraturado; as medições de tenacidade de fratura numa amostra de laboratório pode ser aplicável a uma estrutura, que é válida quando o comportamento do material seja predominantemente elástico linear.

A relação que existe entre o enfoque energético e o de intensidade de tensão pode ser observada ao se comparar as equações 4.1 e 4.3, tendo-se a relação apresentada na equação 4.4.

$$G_I = \frac{K_I^2}{E'} \quad 4.4$$

Sendo:

$$E' = \frac{E}{(1 - \nu^2)}, \text{ em deformação plana, e } E' = E \text{ em tensão plana.}$$

Onde E é o módulo de elasticidade e ν é o coeficiente de Possion.

No caso geral, esta relação é dada pela equação 4.5.

$$G = \frac{K_I^2}{E'} + \frac{K_{II}^2}{E'} + \frac{K_{III}^2}{2G'} \quad 4.5$$

Onde G' é o módulo de cisalhamento.