

ANÁLISE TEÓRICA DO FATOR DE INTENSIDADE DE TENSÃO K

Fabiano Frizzoni Candian

Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Praça Frei Orlando, 170 – São João del-Rei – MG – Brasil – CEP: 36307-352

fabianocandian@yahoo.com.br

Vânia Regina Velloso Silva

veloso@ufsj.edu.br

Evando E. Medeiros

evando_medeiros@yahoo.com.br

Resumo: *O objetivo deste trabalho foi analisar numericamente, através do Método dos Elementos Finitos, a propagação de trincas em materiais estruturais. O MEF tem se firmado como uma ferramenta versátil em soluções de problemas de engenharia e como o método ideal para o estudo do comportamento de trincas. Neste trabalho, utilizou-se o código comercial ANSYSSED para a análise dos problemas. Utilizamos um corpo de prova modelado através de elementos discretos isoparamétricos bidimensionais para o estudo de deformações no estado plano de tensões. O “solver” utilizado avalia o fator de intensidade de tensões (K) na ponta da trinca através da técnica de correlação de deslocamentos nodais.*

Palavras-chave: *mecânica da fratura, método dos elementos finitos, fator de intensidade de tensões, técnica de correlação de deslocamentos nodais*

1. INTRODUÇÃO

A falha pela propagação de trincas em materiais estruturais é um problema para projetistas e analistas em muitos campos da engenharia, pois elas além de causarem perdas financeiras, colocam em risco a vida das pessoas.

Segundo Owen e Flawkes (1983), as trincas estão presentes, de alguma forma, em todas as estruturas e têm como causa, defeitos na microestrutura do material, no processo de fabricação, ou ainda no uso em serviço. Portanto, o requisito fundamental da mecânica da fratura, é estudar e avaliar o fenômeno de propagação de trincas, que conduzam a projetos cada vez mais seguros, que orientem projetistas pela análise racional, e não em tentativa e erro.

Soluções analíticas se tornam complicadas em situações práticas envolvendo condições de contorno e condições iniciais complexas.

Felizmente o campo da mecânica da fratura tem avançado na resolução de problemas que surgem em situações reais. Uma dessas soluções consiste na utilização de parâmetros que possam quantificar a resistência à propagação de trincas (tenacidade à fratura), que se fazem necessários para análise do comportamento em serviço de uma estrutura.

O avanço de técnicas numéricas é relevante na solução de problemas que envolvem as falhas pela propagação de trincas em materiais estruturais. Uma importante técnica é o Método dos Elementos Finitos (MEF), que tem se firmado como ferramenta versátil em soluções numéricas de problemas de engenharia e como método ideal para o estudo do comportamento das trincas nos materiais.

Neste trabalho, pretendemos apresentar resultados da análise do fator de intensidade de tensão K_I , do material Carboneto de Tungstênio com Cobalto, utilizando a metodologia da correlação dos deslocamentos nodais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Há duas abordagens para a análise da fratura linear elástica: a primeira sob o ponto de vista do comportamento mecânico nas vizinhanças da ponta da trinca (fator de intensidade de tensão K), e a segunda através do balanço energético (taxa de liberação de energia elástica G).

2.1 Fator de Intensidade de Tensão K

O fator de intensidade de tensão é um valor relacionado com características geométricas da estrutura, tensão aplicada sobre a mesma, e modo de carregamento, sendo definida pela Equação 1 do ponto de vista da Mecânica da Fratura Linear Elástica (MFLE).

$$K_{I,II,III} = Y\sigma\sqrt{\pi a} \quad (1)$$

onde σ é a tensão nominal; a, o tamanho da trinca; e Y, um fator de forma que depende do modo de carregamento.

Segundo Irwin (1948), há três modos básicos de carregamento para abertura de trincas (Figura 1). O modo I, de abertura, caracteriza-se pelo movimento perpendicular de uma superfície em relação à outra. O modo II, de cisalhamento, as superfícies deslizam uma sobre a outra perpendicular à aresta da trinca. E o modo III, de rasgamento, é provocado por tensões cisalhantes que atuam no plano da trinca, fazendo as faces deslizarem uma sobre a outra.

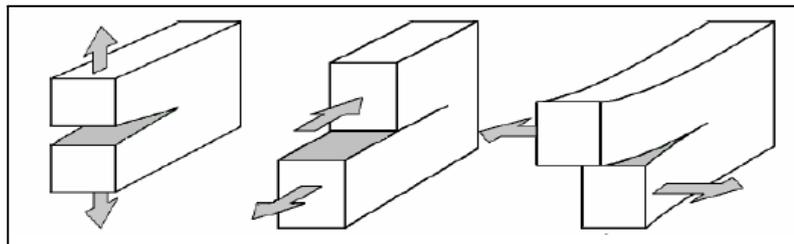


Figura 1 – Modos básicos de carregamento

2.2. Taxa de Liberação de Energia G

A análise da taxa de liberação de energia mostra que a expansão da trinca ocorre quando a energia disponível para seu crescimento é suficiente para vencer a resistência do material. Essa resistência deve incluir a energia superficial, o trabalho plástico, e outros tipos de dissipação de energia associadas com a propagação da trinca.

De acordo com a Mecânica da Fratura Linear Elástica (MFLE), a taxa de liberação de energia pode ser relacionada com o fator de intensidade de tensões no modo de carregamento I (K_I) no estado plano de deformações através da Equação 2.

$$G = \frac{K_I^2(1-\nu^2)}{E} \quad (2)$$

onde E é o módulo de elasticidade; e ν , o coeficiente de Poisson.

3. METODOLOGIA

Para se determinar o fator de intensidade de tensões através do método dos elementos finitos, é importante uma correta modelagem da singularidade em torno da ponta da trinca. Em estudos iniciais envolvendo o uso do MEF, pôde-se observar que malhas extremamente refinadas eram

necessárias na vizinhança da ponta da trinca para se obter com exatidão a representação da singularidade dos campos de deformação e tensão. A Figura 2 mostra a malha do corpo de prova utilizado.

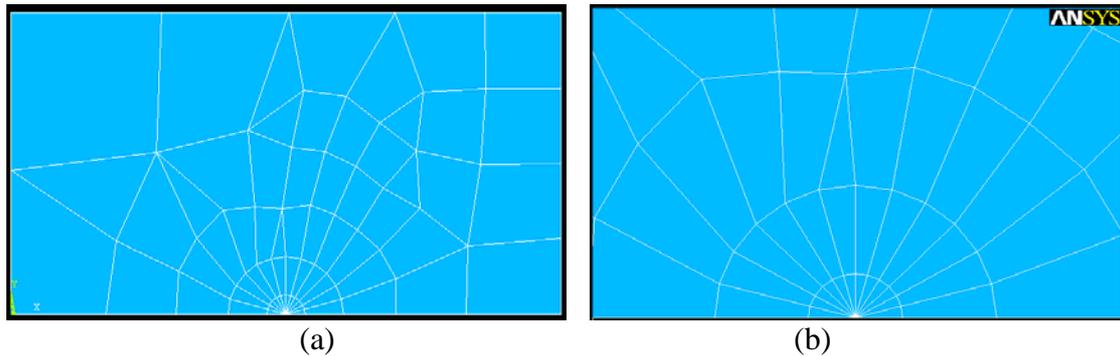


Figura 2 - Malha do corpo de prova

Na ponta da trinca (Figura 2 (b)), utilizamos elementos planos colapsados de oito nós. Estes elementos são isoparamétricos, cujos nós de um lado foram colapsados em um único nó, como está representado na Figura 3. A Figura 3 (a), representa o elemento convencional, e a Figura 3 (b), o colapsado.

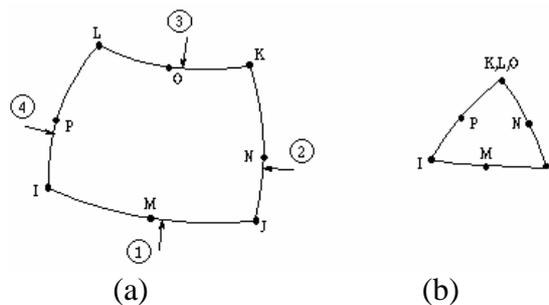


Figura 3 – Elementos utilizados na modelagem (Ansys, 1999)

3.1. Material

O material analisado foi o Carboneto de Tungstênio com 6% de Cobalto (WC-Co). O WC-Co é um metal duro que apresenta um comportamento mecânico intermediário entre os metais frágeis e os elastoplásticos. Devido à sua alta dureza superficial que dificulta a confecção dos corpos de prova, os carbonetos de tungstênio com cobalto são materiais difíceis de serem estudados. Devido às suas propriedades, esse material é utilizado em ferramentas de corte. As propriedades mecânicas necessárias nas análises estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do WC-Co (Trent, 1984).

	E (GPa)	Poison	σ (MPa)	K_{IC} (Mpa\sqrt{m})
WC-Co	630	0.28	5760	10

3.2. Métodos

Vários métodos para avaliação do fator de intensidade de tensões utilizando o Método dos Elementos Finitos já foram desenvolvidos, entretanto, o software ANSYS utiliza o método da correlação dos deslocamentos nodais.

Esta técnica envolve a correlação de deslocamentos nodais com os valores numéricos obtidos através da Equação 3 para calcular os fatores de intensidade de tensões no modo I de carregamento. Estes deslocamentos são avaliados ao longo da face da trinca, conforme Figura 5.

$$K_I = \frac{2\mu}{(3-4\nu)+1} \sqrt{\frac{\pi}{2l} [4(v_{B2} - v_{B1}) - (v_{C2} - v_{C1})]} \quad (3)$$

onde μ é o módulo de cisalhamento; v_{B1} e v_2 são os deslocamentos dos nós B1 e B2 na direção y; v_1 e v_2 são os deslocamentos dos nós C1 e C2 na direção y, como representado na Figura 4.

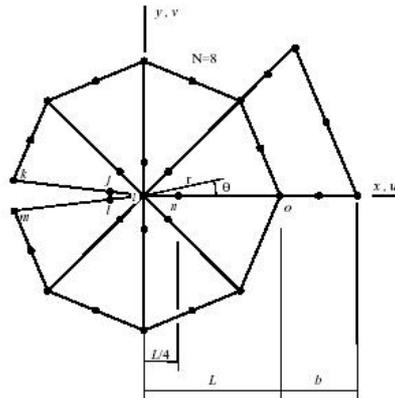


Figura 4 – Modelo numérico representando a singularidade na ponta da trinca (Cook et al.; 1989)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de se verificar qual o melhor refinamento da malha, vários ensaios foram feitos. Primeiramente, variou-se o número de elementos na ponta da trinca e o raio da primeira fileira de elementos. Selecionados os melhores resultados (raio da primeira fileira igual a 0.07m.), variou-se a razão da primeira com a segunda fileira de elementos. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, e podem ser analisados através do Gráfico 1.

Tabela 2 – 6 elementos na ponta da trinca

Raio da Primeira Fileira (m)	Razão	K_I (Mpa \sqrt{m})
0.07	1	10,297
0.07	2	10,395
0.07	3	10,482
0.07	4	10,575

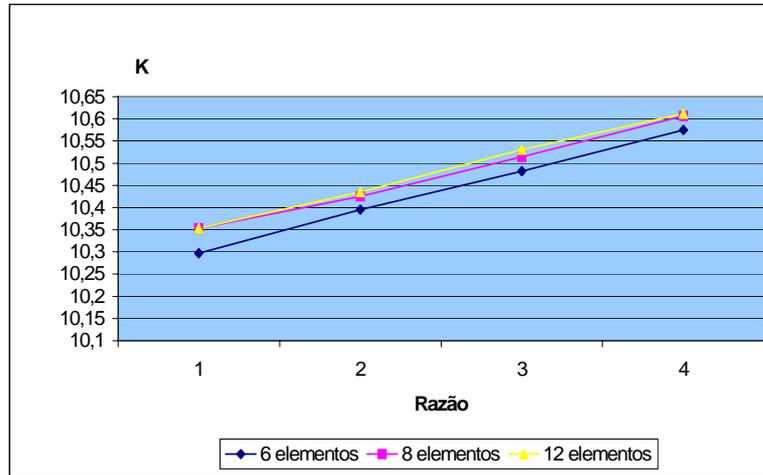
Tabela 3 - 8 elementos na ponta da trinca

Raio da Primeira Fileira (m)	Razão	K_I (Mpa \sqrt{m})
0.07	1	10,353
0.07	2	10,425
0.07	3	10,514
0.07	4	10,606

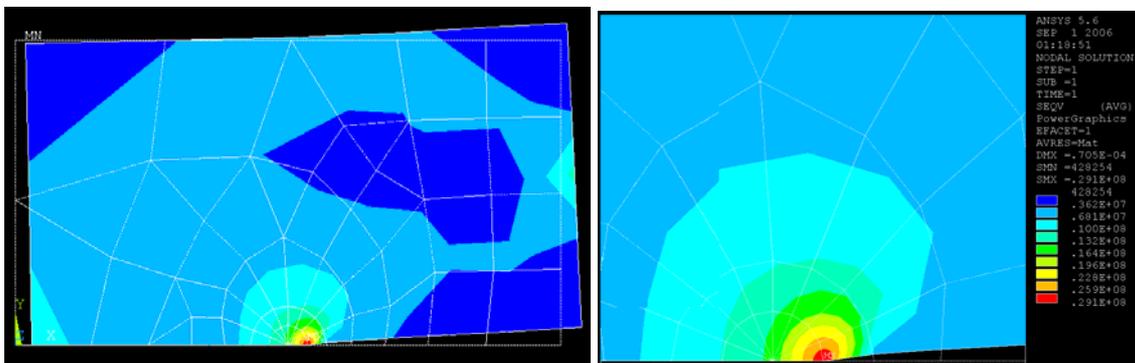
Tabela 4 - 12 elementos na ponta da trinca

Raio da Primeira Fileira (m)	Razão	K_I (Mpa \sqrt{m})
0.07	1	10,353
0.07	2	10,435
0.07	3	10,530
0.07	4	10,612

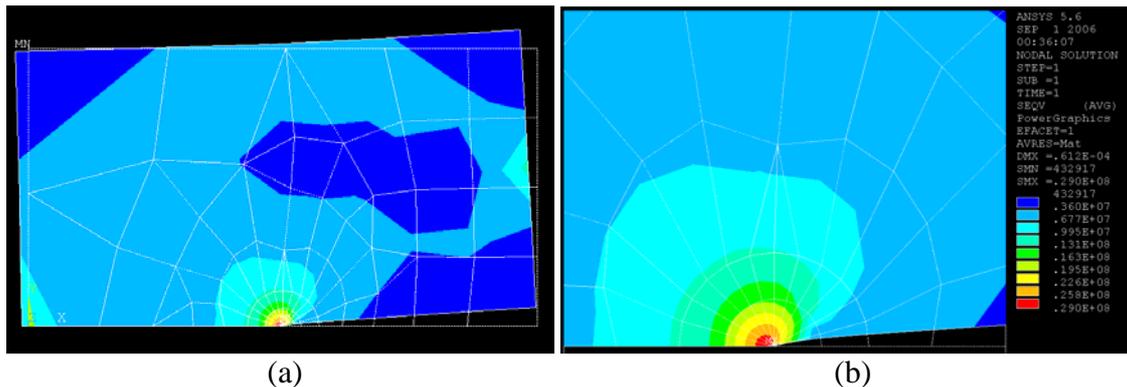
Gráfico 1 - Comparação dos valores de K



Como podemos observar, os valores de K que mais se assemelham são para as malhas com 8 e 12 elementos ao redor da trinca, e razão entre a primeira e segunda fileira igual em 1 e 4. Entretanto, as malhas com razão 4 não são tão refinadas quanto às com razão 1, em alguns modelos, as malhas ficaram distorcidas nas proximidades da ponta. Nas Figura 5 e 6, temos a análise de tensões do corpo de prova com 8 e 12 elementos e razão 1.



(a) (b)
Figura 5 – corpo de prova com 8 elementos.



(a) (b)

Figura 6 – Corpo de prova com 12 elementos.

As Figuras 5 (b) e 6 (b) apresentam um zoom na ponta da trinca. Em todas elas, as malhas iniciais indeformadas, estão sobrepostas aos resultados.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos são bastante condizentes com o valor de K encontrado na literatura (Tabela 1), mostrando que o método se mostrou eficiente. Pudemos perceber que a modelagem da singularidade em torno da ponta da trinca, influencia diretamente o valor de K , portanto, um trabalho de aprimoramento da malha nessa região deve ser considerado.

4. REFERÊNCIAS

- ANSYS^{ED} 5.6, 1999. User's Manual.
Cook, Robert D. Malkus David S. & Plesha, Michael E., 1989. Concepts and Applications of Finite Element Analysis. John Wiley & Sons, Inc.
Irwin, G.R., 1948. Fracture Dynamics in Fracture of Metals. ASM Cleveland.
Owen, D. R. J. & Flawkes, A. J., 1983. Engineering Fracture Mechanics, Swansea, U.K., Pineridge Limited.
Trent, E. M., 1984. Metal Cutting. Butterworths & Co. LTD, 2nd Edition.

THEORETICAL ANALYSIS OF THE STRESS INTENSITY FACTOR K

Fabiano Frizzoni Candian

Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Praça Frei Orlando, 170 – São João del-Rei – MG – Brasil – CEP: 36307-352

fabianocandian@yahoo.com.br

Vânia Regina Velloso Silva

veloso@ufs.edu.br

Evando E. Medeiros

evando_medeiros@yahoo.com.br

Abstract: *The objective of this work was to analyze, through the Finite Element Method, the propagation of crack in structural materials. FEM has been firm if as a versatile tool in solutions of engineering problems and as the ideal method for the study of the behavior of trines. In this work, the commercial code ANSYSED was used for the analysis of the problems. We used a test body modeled through elements discreet isoparametric two-dimensional for the study of deformations in the state plan of stresses. The solver used evaluates the stress intensity factor K in the point of the crack through the displacement correlation technique.*

Keywords: *fracture mechanics, finite elements method, stress intensity factor, displacement correlation technique.*