



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

en colaboración con



Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería

www.elsevier.es/rimni



Simulação da propagação subcrítica de fissuras em materiais quase frágeis aplicando uma versão do método de elementos discretos formados por barras



F.S. Soares* e I. Iturrioz

Grupo de Mecânica Aplicada, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Sarmiento Leite 435, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

INFORMAÇÃO SOBRE O ARTIGO

Historial do artigo:

Recebido a 5 de novembro de 2014

Aceite a 5 de março de 2015

On-line a 18 de junho de 2015

Palavras-chave:

Fatiga

Materiais quase frágeis

Método dos elementos discretos

R E S U M O

Há numerosas aplicações de interesse tecnológico onde materiais de comportamento quase frágil, como é o caso de materiais cimentícios, rochas e materiais compostos formados pela mistura de cerâmicas com outras fases, são submetidos a cargas oscilantes e sofrem degradação das suas propriedades. Desenvolver ferramentas de análise que permitam entender e prever os mecanismos que governam esta degradação é um problema aberto na engenharia moderna. Neste contexto, no presente trabalho, se utiliza uma versão do método dos elementos discretos (DEM) formado por barras para explorar as possibilidades do mesmo na simulação dos mecanismos de degradação que ocorrem em materiais quase frágeis quando submetidos à fadiga. Simulações sobre corpos de prova de geometria simples são apresentadas e vários aspectos deste problema são discutidos, entre eles: é explorada a relação entre os parâmetros micro e macromecânicos do modelo empregado e como o efeito de escala é capturado e influi nesta relação. Os resultados preliminares apresentados deixam em evidência a potencialidade da metodologia proposta para compreender os micromecanismos de dano que ocorrem nos materiais quase frágeis e também para prever sua evolução.

© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob a licença de CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Simulation of subcritical crack propagation in quasi-brittle materials applying a version of the discrete element method formed by beams

A B S T R A C T

There are numerous applications, of technological interest, where materials of quasi-brittle behavior, as in the case of cement-based composite materials, rocks and composites formed by the mixture of ceramics with other phases, are subjected to oscillating loads and suffer degradation of its properties. To develop analysis tools that allow to understand and to predict this degradation governing mechanisms is an opened problem in modern engineering. In this context, in the present work, it is used a version of the discrete element method formed by beams to explore its possibilities in simulating the degradation mechanisms that occur in quasi-brittle materials when subjected to fatigue. Simulations over simple geometry test subjects are presented and several aspects of this problem are discussed and among the problems: it is explored the relationship between micro and macro mechanic parameters of the used model and how the scale effect is captured and influences this relationship. The presented preliminary results show the potentiality of the proposed methodology to understand the micro mechanisms of damage that occur in quasi-brittle materials and also to predict its evolution.

© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Keywords:

Fatigue

Quasi-brittle materials

Discrete elements methods

* Autor para correspondência.

Correios eletrônicos: szs.fernando@gmail.com (F.S. Soares), ignacio@mecanica.ufrgs.br (I. Iturrioz).

1. Introdução

Na engenharia moderna, em várias situações de interesse tecnológico, materiais com comportamento quase frágil são submetidos à ação de cargas oscilantes, entre eles: estruturas convencionais como estradas, pontes ou edifícios construídos com concreto e concreto reforçado, estruturas feitas em rocha como galerias e túneis, e também estruturas realizadas com cerâmicas ou materiais compostos utilizados em dispositivos de engenharia de alta exigência mecânica.

O fenômeno de fadiga tem sido largamente estudado especialmente em metais, existindo uma tradição de muitos anos na sua avaliação, uma grande quantidade de informação experimental permite hoje contar com metodologias para avaliar e prever o tempo em que defeitos podem propagar devido à fadiga. Isto se deve a ser o fenômeno da fadiga um dos fatores mais importantes que produz degradação de componentes metálicos.

Quando o material estudado é quase frágil, as características que governam a degradação são diferentes e muito menos estudos relacionados com fadiga existem neste caso.

Métodos que permitam prever o comportamento de materiais, levando em conta os diferentes tipos de não linearidades envolvidos, estão disponíveis em sistemas de elementos finitos comerciais, ferramenta mais utilizada na modelagem de estruturas, mas no que se refere à determinação da vida em fadiga, os métodos mais comuns consistem em introduzir regras empíricas ou semiempíricas, entre eles se destacam 2 procedimentos típicos, aqueles que permitem prever a nucleação de um defeito (descrita pela relação entre tensão última e número de ciclos aplicados, a lei clássica de Basquin apud Moura Branco [1]) e os que se baseiam na propagação subcrítica de um defeito já nucleado (metodologias fundamentadas na lei proposta por Paris [2]). Existe uma farta bibliografia que descreve as características destas 2 abordagens, aplicando-as às particularidades próprias de cada material. Como exemplo de referência bibliográfica, se pode citar Suresh [3].

Metodologias de cálculo baseadas na mecânica dos meios contínuos têm tido uma sensível evolução nos últimos anos, tornando-se a ferramenta mais versátil para modelar problemas de engenharia. Como exemplo para ilustrar este enfoque, podemos citar os trabalhos de Saintier et al. [4] e Infante et al. [5].

Por outro lado, para simular a possibilidade de nuclear defeitos dentro do contínuo, 2 procedimentos podem ser citados: a utilização de elementos finitos com funções de interpolação estendidas, que permitem introduzir singularidades dentro do elemento, os chamados elementos finitos estendidos. Como bibliografia básica sobre este tipo de elementos podemos citar o livro de Mohammadi [6] e como exemplo de aplicação relacionada a simular a propagação de fissuras em estruturas de concreto podemos citar o trabalho de Unger et al. [7]. Outra forma de encarar o problema é utilizar a técnica das interfaces coesivas combinadas ao método dos elementos finitos. Esta técnica foi implementada por Xu e Nedeelman [8] em 1993 e basicamente consiste em introduzir uma lei de interface que permita o «descolamento» entre elementos. Como exemplo de aplicações utilizando esta técnica na simulação de fadiga em materiais quase frágeis pode-se mencionar os trabalhos de Yang et al. [9], Yamaguchi et al. [10], Siegmund [11] e Xu e Yuan [12], em todos os casos a geração de fissuras e sua propagação devido a cargas oscilantes pôde ser prevista através da utilização desta técnica.

Há métodos alternativos para modelar o comportamento de sólidos quase frágeis, nos quais fenômenos como a interação de «nuvens» de microfissuras e posterior localização, assim como outros efeitos, podem ser modelados com relativa facilidade dentro da mecânica do descontínuo, assim denominada por Munjiza [13]. Várias alternativas do DEM são plausíveis de ser utilizadas no contexto de materiais frágeis, cabendo destacar a respeito os trabalhos

de Schlangen e Van Mier [14] e Rinaldi [15], nestes casos o DEM é utilizado para simular o processo de dano frente a cargas crescentes, no que diz respeito à simulação do fenômeno de fadiga em materiais frágeis é possível mencionar o review realizado por Hansen et al. [16] sobre aplicações dos chamados «Bundle Models», sendo que entre as aplicações apresentadas figura a simulação de fadiga em materiais frágeis. Também se destaca o trabalho de Rinaldi et al. [17] que aplica leis estabelecidas de propagação de fadiga a nível microscópico estudando qual é o comportamento macroscópico resultante.

Neste contexto, no presente trabalho se pretende explorar a propagação subcrítica de defeitos nucleados em um modelo de material quase frágil, sob cargas oscilantes, sem embutir leis específicas que induzam comportamentos de fadiga determinados. As características do método utilizado são apresentadas na seção 3 deste trabalho.

2. Lei de Paris

Como apresentado por Anderson [18], a velocidade de crescimento de fissuras em forma subcrítica pode ser relacionada ao quociente e a diferença do nível de tensões trativas na região onde a trinca se desenvolve. De forma geral pode-se escrever que:

$$\frac{da}{dN} = f(S_{\max}/S_{\min}, S_{\max} - S_{\min}, h, \dots) \quad (1)$$

onde S representa a tensão trativa na região da trinca, h representa a função que leva em conta o histórico de tensões preexistentes e N representa o número de ciclos. A lei proposta por Paris [2] é um caso particular de (1) que se expressa como segue:

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K^m \quad (2)$$

onde C e m são constantes que dependem do material e da relação entre tensões S_{\max}/S_{\min} adotada. Graficando esta lei em escala bilogarítmica se pode representar por uma reta como se ilustra na região II da figura 1, onde se verifica que m seria o coeficiente angular e $\log C$ sua translação no eixo das ordenadas. Na proposta de Paris, apresentada na expressão (2), ΔK representa o incremento do fator de intensidade de tensões que, segundo a mecânica linear da fratura, pode ser escrito como:

$$\Delta K = \Delta \sigma \sqrt{\pi a} \beta \quad (3)$$

onde $\Delta \sigma$ indica o incremento das tensões num ciclo de carga, a indica o tamanho da fissura e β é um coeficiente adimensional que representa a forma da fissura e condições de contorno atuantes.

Na figura 1 se apresenta em escala bilogarítmica uma curva típica de comportamento de propagação subcrítica de uma fissura já nucleada, sendo que ela só cresce ao se exercer sobre a trinca um

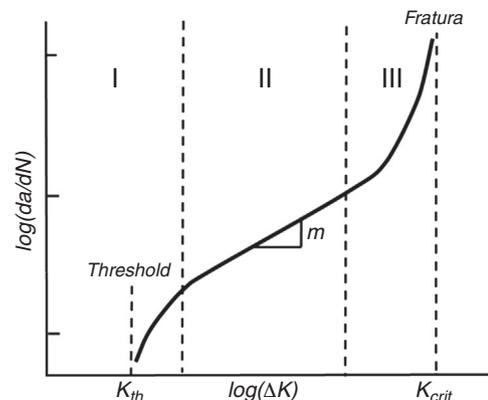


Figura 1. Lei de crescimento subcrítico típica de uma fissura por fadiga.

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702461>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702461>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)