

1 INTRODUÇÃO

A parte introdutória da presente dissertação contém as considerações iniciais, os objetivos e delimitações, como também uma descrição de cada um dos capítulos componentes da dissertação.

1.1. Considerações iniciais

Até meados do século passado, o estudo do comportamento das estruturas e suas componentes foi realizado usando somente as fórmulas clássicas da resistência dos materiais e da teoria da elasticidade, onde geralmente eram usados fatores de segurança altos para prever as falhas nas estruturas.

O avanço da era moderna, o uso de novos materiais, as construções de estruturas cada vez mais complexas e de maior porte, trouxeram consigo novos problemas. O uso das fórmulas clássicas resultavam ser insuficientes para prever a falha nas estruturas, além disso, elevavam o custo das construções.

A presença de descontinuidades internas e externas nos materiais, transições geométricas bruscas e pontos de aplicação de cargas concentradas nas estruturas motivaram o estudo do comportamento destes fenômenos, surgindo, assim, a ~~M~~Mecânica da Fratura, ciência interdisciplinar que permite qualificar e principalmente quantificar os efeitos das trincas sobre o comportamento mecânico de elementos estruturais.

O principal parâmetro criado por esta ciência foi o fator de intensidade de tensão K . Através de K é possível descrever o comportamento da estrutura em um campo próximo à trinca, assim como prever se um componente trincado irá ou não romper quando submetido a algum tipo de solicitação.

O conceito de K foi introduzido por Irwin (1957), que foi o primeiro em verificar a natureza universal do campo de tensões em regiões próximas às pontas da trinca. Williams (1957) no mesmo ano, mas independentemente de Irwin, obteve resultados semelhantes. Já em 1939, Westergaard (1939), tinha

desenvolvido uma função de tensão complexa para descrever o campo de tensões próximo a uma trinca horizontal em um meio infinito.

Com o objetivo de criar tabelas de fatores de intensidade de tensão K para o maior número possível de geometrias e carregamentos, muitos experimentos em laboratório foram realizados. Mesmo assim, estas tabelas são úteis para um número reduzido de casos. Para configurações complexas é necessário obter resultados experimentais. Os ensaios em laboratório são caros e levam muito tempo, este fato e o grande avanço na era computacional impulsionaram a utilização de métodos numéricos para efetuar o cálculo de fatores de intensidade de tensão em geometrias e carregamentos complexos.

Os métodos numéricos fornecem uma solução aproximada do problema em pontos; sejam estes no domínio ou no contorno, dependendo do método e sua discretização. Dentre estes métodos existentes, o método dos elementos finitos (MEF), com formulação em deslocamentos, é o mais utilizado por sua simplicidade e capacidade de proporcionar soluções próximas da solução analítica. Apesar disso, o método apresenta algumas desvantagens tais como a sensibilidade à distorção dos elementos, e a necessidade de grande refinamento da malha, em problemas que contêm singularidades; elevando o custo computacional. Para superar estas limitações, na atualidade se vêm desenvolvendo formulações não convencionais dos elementos finitos.

Outro método muito usado é o método dos elementos de contorno (MEC) que se vem mostrando como uma opção viável para o estudo de problemas da mecânica da fratura. Isto, principalmente, pela própria natureza das soluções fundamentais, as quais se adaptam bem a problemas de altos gradientes.

Dois grandes problemas surgem na aplicação do MEC na mecânica da fratura. O fato de haver duas superfícies coincidentes gerando singularidades no sistema de equações, e o campo de tensões singular na ponta da trinca. O problema da singularidade do sistema de equações tem sido superado com o uso de técnicas como domínios múltiplos, funções especiais de Green e descontinuidade de deslocamentos, que evitam a modelagem da trinca. Essas técnicas, combinadas com o uso do conceito da integral J , desenvolvido por Rice (1968), e elementos especiais que simulam a singularidade do campo de tensões na ponta da trinca, permitem calcular o fator de intensidade de tensão com grande precisão. Outra possibilidade é o uso da formulação Mista, proposta por Guimarães & Telles (1994), que utiliza concomitantemente a formulação clássica e hipersingular do método dos elementos de contorno.

Uma formulação mecanicamente consistente do método dos elementos de contorno foi desenvolvida no Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio por Dumont (1987d). Esta formulação, denominada Método Híbrido dos Elementos de Contorno+(MHEC), é fundamentada na formulação mista ou híbrida proposta por Reissner (1965), e dispõe de todas as propriedades inerentes ao método híbrido dos elementos finitos desenvolvido por Pian (1966). Este método permite a análise de problemas auto-equilibrados, com condições de contorno do tipo Neumann, de uma maneira muito simples e precisa. Como muitos problemas da mecânica da fratura se enquadram em problemas auto-equilibrados, suas resoluções utilizando o MHEC se tornam muito eficientes.

Dumont e Lopes (2003) desenvolveram uma formulação, baseada na função de tensão de Westergaard como solução fundamental no método híbrido dos elementos de contorno, permitindo obter o fator de intensidade de tensão $K_{I,II}$ em forma direta ou como incógnita primária do problema com uma boa aproximação, verificando-se a convergência do campo de tensões

A partir das conclusões e sugestões apresentadas na tese de Lopes (2002), verificou-se a necessidade de maior investigação na aplicação do MHEC a problemas de Mecânica da Fratura, e especificamente uma generalização do uso da função de tensão complexa de Westergaard que permita a representação de trincas com certas particularidades como as trincas externas ou as trincas com bifurcação.

1.2. Objetivos e delimitações

A presente dissertação de mestrado toma como base o trabalho feito na tese de doutorado de Lopes (2002) e em Dumont e Lopes (2003), na qual se pretende generalizar a formulação baseada na função de tensão complexa de Westergaard.

Os objetivos desta pesquisa são divididos em duas categorias. Os objetivos principais e os objetivos complementares, os quais são:

Objetivos principais: O primeiro objetivo consiste em avaliar o uso de uma função de tensão de Westergaard generalizada como solução fundamental no método híbrido dos elementos de contorno (MHEC) tanto para problemas de potencial quanto para problemas de elasticidade. O segundo objetivo é avaliar a contribuição desta formulação à mecânica da fratura linear elástica (MFLE) com

sua contribuição mais importante que é o cálculo do fator de intensidade de tensão K de maneira rápida e precisa em estruturas bidimensionais.

Objetivos complementares: No presente trabalho propõe-se:

- Deduzir as equações que governam o campo do potencial e os gradientes em um problema de potencial, assim como os deslocamentos e as tensões em um problema de elasticidade.
- Estabelecer a função de tensão do tipo de Westergaard para uma trinca com abertura semi-elíptica tanto para problemas de potencial como para problemas de elasticidade.
- Cálculo dos fatores de intensidade de tensão para várias solicitações de trinca.
- Avaliar a formulação para um problema de potencial mediante a implementação de um código de programação e apresentar exemplos ilustrativos, os quais serão analisados e discutidos.

Não é finalidade de este trabalho comparar a formulação proposta com outras formulações.

1.3.

Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em sete capítulos, incluindo-se o presente capítulo, deste total, três abordam os desenvolvimentos e progressos obtidos com este trabalho de pesquisa. Tendo como intuito conceituar cada formulação adotada nesse trabalho, detalhar cada método empregado e expor os resultados finais, de modo a simplificar seu entendimento e facilitar sua posterior continuação. Os capítulos seguintes a este estão compostos da seguinte forma:

Capítulo 2. Neste capítulo apresentam-se os fundamentos da mecânica da fratura com ênfase na mecânica da fratura linear elástica (MFLE), síntese histórica, leis matemáticas que governam o comportamento de trincas e seus parâmetros principais, sendo também abordados a função de tensão complexa de Westergaard e o conceito da integral J .

Capítulo 3. Este capítulo fornece a formulação geral do método híbrido dos elementos de contorno (MHEC) aplicados a problemas da elastostática e sua particularização para problemas de potencial, sendo também fornecidos alguns dos subsídios teóricos básicos necessários para seu desenvolvimento.

Capítulo 4. Neste capítulo é apresentada a formulação da função de tensão de Westergaard generalizada como solução fundamental para problemas de potencial. Primeiro, são desenvolvidas as funções que descrevem o campo do potencial e dos gradientes para uma função de tensão dada, seguidamente, são desenvolvidas as funções de tensão para o caso específico de uma trinca semi-elíptica e os efeitos da superposição de duas trincas semi-elípticas. Finalmente, são desenvolvidos exemplos numéricos, comprovando assim sua aplicabilidade.

Capítulo 5. Neste capítulo é apresentada a formulação da função de tensão de Westergaard generalizada como solução fundamental para problemas de elasticidade. Primeiro, são desenvolvidas as funções que descrevem o campo dos deslocamentos e das tensões para uma função de tensão dada, seguidamente, são desenvolvidas as funções de tensão para o caso específico de uma trinca semi-elíptica e a superposição de duas trincas semi-elípticas. A idéia principal deste capítulo é fornecer as ferramentas necessárias para o desenvolvimento numérico usando o método híbrido dos elementos de contorno (MHEC).

Capítulo 6. Este capítulo destina-se às conclusões obtidas após os desenvolvimentos e as simulações dos modelos. Expõem-se também, as sugestões para trabalhos futuros, inclusive as que serão estudadas durante o doutoramento do autor.