

DEPARTAMENTO: Engenharia Mecânica

DISCIPLINA: PLASTICIDADE COMPUTACIONAL

SIGLA: PLC

CARGA HORÁRIA TOTAL: 60

TEORIA: 60

PRÁTICA: -X-

CÓDIGO: 224

CURSO: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PGCEM/ Mestrado e Doutorado

SEMESTRE/ANO

PRÉ-REQUISITOS:

PROFESSOR RESPONSÁVEL: Professor Dr. Miguel Vaz Junior

EMENTA

Cinemática de grandes deformações: aspectos matemáticos preliminares; decomposição polar; linearização e superposição de movimento de corpo rígido. Aspectos de mecânica dos sólidos e plasticidade: o tensor de Cauchy e direções principais equilíbrio; o princípio do trabalho virtual, potencial plástico, regras de fluxo, critérios de escoamento de von Mises, Tresca, Drucker-Prager e MohrCoulomb. Teoria constitutiva: elasticidade linear, Inelasticidade e o uso de variáveis internas; aproximação numérica de problemas plásticos, viscoplásticos, critérios de escoamento, regras de fluxo e endurecimento. Elastoplasticidade finita: cinemática de grandes deformações elastoplásticas; decomposição aditiva e multiplicativa; deformação logarítmica e tensor deformação plástica; Modelagem de problemas elastoplásticos: problema incremental de elastoplasticidade; método do preditor elástico/corretor plástico e algoritmos de retorno; problemas a valor de contorno incrementais e procedimento iterativo; módulo elastoplástico contínuo; módulo elastoplástico incremental (consistente). Exemplos de aplicação: simulação numérica usando programas comerciais.

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

1. Apresentação da disciplina:

Conteúdo da matéria.
Referências bibliográficas.
Avaliação.

2. Elementos de análise tensorial

Vetores.
Tensores de segunda ordem.
Tensores de ordem elevada.
Tensores isotrópicos.
Derivada Direcional.
Conceitos introdutórios de linearização de problemas.

3. Elementos de Mecânica do Contínuo

Cinemática da deformação.
Coordenadas materiais e espaciais.
Gradiente, divergente e derivada no tempo material e espacial.
Gradiente de deformação.

Mudança de volume.
Decomposição volumétrica e isocórica do gradiente de deformação.
Decomposição polar.
Medida de deformação generalizada.
Tensor gradiente de velocidade.
Tensor taxa de deformação.
Taxa de mudança volumétrica.

Deformação infinitesimal.
Tensor deformação infinitesimal.
Decomposição em componentes volumétricas e isocóricas.
Tensor de Green-Lagrange e tensor direito de Cauchy-Green.

Forças e medidas de tensão
Vetor tensão de Cauchy.
Equações de equilíbrio de momento linear e momento angular.
O tensor Cauchy, tensões principais, desviadores e hidrostáticas.
Primeiro tensor de Piola-Kirchhoff.
Segundo tensor de Piola-Kirchhoff.
Tensor de Kirchhoff.

Fundamentos termodinâmicos

Leis de conservação da massa e momento linear.
Primeiro e segundo princípio da termodinâmica.
Desigualdade de Clausius-Duhem.

Elementos de teoria constitutiva

Determinismo termodinâmico.
Objetividade e simetria material.
Termodinâmica com variáveis internas.
Variáveis de estado, potencial termodinâmico.
Equações de tensão constitutivas.
Forças termodinâmicas.
Dissipação, evolução das variáveis internas.
Potencial de dissipação e regra da dissipação normal.

4. Formulação hiperelástica e elastoplasticidade

4.1 - Cinemática da deformação finita

- 4.1.1 Decomposição multiplicativa do tensor gradiente de deformação em componentes elásticas e plásticas.
- 4.1.2 Tensor gradiente de velocidade elástico e plástico.
- 4.1.3 Tensor taxa de deformação elástico e plástico.
- 4.1.4 Tensor taxa de deformação plástica na configuração espacial.
- 4.1.5 Decomposição multiplicativa do gradiente de deformação em componentes térmico, elástico e plástico.
- 4.1.6 Deformação logarítmica – deformação de Hencky.
- 4.1.7 O tensor esquerdo de Cauchy-Green e a deformação Euleriana logarítmica.

Fundamentação termodinâmica aplicada à deformações finitas

Potencial de dissipação
Leis de evolução e regra de fluxo plástico
Condições de carregamento e descarregamento.
Potencial de energia livre.
Função de escoamento.

Desigualdade de Clausius-Duhem
Dissipação intrínseca
Equação de evolução da temperatura.

5. Princípios de plasticidade

Física da plasticidade

Abordagens e efeitos micromecânicos e fenomenológicos
Modelos e equações para tensão de escoamento uniaxial
Equação de Swift e correlação com o ensaio de tração uniaxial
Modelos fenomenológicos: Johnson-Cook, Voce, e outras.
Efeitos da taxa de deformação plástica e temperatura
Modelos micromecânicos: Zerelli-Armstrong

Superfícies de escoamento

Características gerais e representações: função de escoamento
Critérios isotrópicos que independem da tensão hidrostática: critérios de Huber-Mises-Hencky e Tresca
Critérios isotrópicos que dependem da tensão hidrostática: critérios de Rankine, Mohr-Coulomb e Drucker-Prager
Critérios anisotrópicos: critérios de Hill 48, Hill 79, Hosford 79, Barlat 89, Barlat 91, Barlat 97 e Karfilis 93. Outros critérios.
Critérios para materiais porosos: critério de Gurson

Regras de fluxo

Primeiros modelos de Levy-Mises e Prandtl-Reuss
Formulações baseadas em potencial plástico
Lei associada: exemplo para critério de von Mises e Tresca
Lei não-associada: exemplo para critério de Mohr-Coulomb

Encruamento do material

Encruamento isotrópico: Encruamento governado pela deformação plástica ou trabalho plástico, Lei de encruamento isotrópico
Encruamento cinemático: Lei de encruamento cinemático
Material plástico perfeito

Princípios básicos da plasticidade

Princípio do máximo trabalho plástico
Princípio da estabilidade de Druker

6. Aspectos de formulação por Elementos Finitos

O princípio do trabalho virtual

Equação integral do funcional
Discretização utilizando funções de interpolação
Aproximação para elasticidade linear

Aproximação para materiais dependentes do caminho de deformação

Problema a valor de contorno incremental
Deformações finitas
Método de Newton-Raphson
Matriz tangente e módulo tangente.
Algoritmo de retorno elasto-plástico
Módulo tangente incremental

BIBLIOGRAFIA

- LUBLINER, J., *Plasticity Theory*. Macmillan, New York, 1990.
- OWEN, D.R.J. e PERIC, D., *Finite Element Applications to Nonlinear Mechanics of Solids. Rep. Prog. Phys.*, **61**, 1998, p. 1495-1574.
- De SOUZA NETO, E.A., PERIC, D. e OWEN, D.R.J., *Computational Methods for Plasticity : Theory and Applications*. Wiley, Chichester, 2008.
- De SOUZA NETO, E.A., PERIC, D. e OWEN, D.R.J., Continuum modelling and numerical simulation of material damage at finite strains. *Archives of Computational Methods in Engineering, Arch. Comput. Meth. Engng.*, **129**, 1998, p. 235-254.
- SIMO, J.C., Recent Developments in the Numerical Analysis of Plasticity, in *Progress in Computational Analysis of Inelastic Structures*. E. Stein (Ed.), Springer-Verlag, Viena, 1993.