

Programa para análise e estimativa da resistência de componentes de materiais compostos reforçados por fibras.

CARACTERÍSTICAS GERAIS:

- Realiza análise de falha de um laminado, levando em conta efeitos térmicos e higroscópicos;
- Realiza análise de alguns casos de vigas, tubos pressurizados e painéis sanduíche;
- Realiza análise micromecânica de uma lâmina;
- Possui bancos de dados para propriedades de lâminas comerciais, fibras e matrizes.

Detalhes sobre as teorias subjacentes são vistos no livro [Materiais Compostos e Estruturas Sanduíche – Projeto e Análise](#), Paulo de T. R. Mendonça, Ed. Manole, 2005. Ali são vistos também exemplos detalhados que podem ser calculados pelo programa. O arquivo Interface Gráfica descreve a operação com o programa.

I ANÁLISE DE FALHA DE UM LAMINADO

É considerado apenas a pilha de lâminas e os esforços de placa em um ponto do laminado. São dados o número de lâminas, orientações, espessuras, as propriedades termomecânicas e de resistência, um perfil linear de temperatura ao longo da espessura, esforços iniciais normais e de momento, e é dado um perfil de esforços no ponto. O programa estima as cargas de falha intermediária e final, lâmina a lâmina, num determinado ponto do laminado. Isto é feito amplificando o perfil de carga de forma proporcional e procedendo de forma incremental na determinação da curva esforços versus deformações. Adicionalmente, as tensões e deformações são calculadas.

Todos os valores calculados de tensões, deformações e esforços são mostrados em tabelas e gráficos.

DADOS GERAIS

1. Número de lâminas no laminado (deve ser menor que 20);
2. Diferença entre a temperatura de trabalho e a de cura no centro do laminado;
3. Diferença de temperatura entre superfície superior e inferior do laminado;
4. Coeficiente de segurança (valor que reduz as resistências);
5. Diferença de umidade (trabalho-cura) no centro do laminado;
6. Escolha do critério de falha: critério de Tsai-Hill ou critério da tensão máxima;
7. Escolha de como eliminar as propriedades de uma lâmina em caso de falha:

- Eliminação parcial de propriedades elásticas.

Neste caso, quando houver uma falha pelo

modo 1, faz $Q_{11} = Q_{33} = Q_{12} = 0$, $\alpha_1 = 0$;

modo 2, faz $Q_{22} = Q_{33} = Q_{12} = 0$, $\alpha_2 = 0$;

modo 3, faz $Q_{11} = Q_{22} = Q_{33} = Q_{12} = 0$, $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$.

- Eliminação total da lâmina;

DADOS DE CARREGAMENTO MECÂNICO

Perfil de esforços (força/comprimento) a ser amplificado proporcionalmente,
 $N_x, N_y, N_{xy}, M_x, M_y, M_{xy}$, e os
Esforços mecânicos iniciais: $N_{x0}, N_{y0}, N_{xy0}, M_{x0}, M_{y0}, M_{xy0}$.

PROPRIEDADES DAS LÂMINAS

Cada lâmina é caracterizada por várias propriedades:

1. Propriedades termoelásticas:

Módulo cisalhante (G_{12});
Coeficiente de Poisson (ν_{12});
Módulo de elasticidade da lâmina na direção 1 (E_1);
Módulo de elasticidade da lâmina na direção 2 (E_2);
Módulo Cisalhante Transversal (G_{13});
Módulo Cisalhante Transversal (G_{23});
Coeficiente de dilatação térmica da lâmina na direção 1 (α_{1T});
Coeficiente de dilatação térmica da lâmina na direção 2 (α_{2T});
Coeficiente de dilatação higroscópica na direção 1 (β_{1H});
Coeficiente de dilatação higroscópica na direção 2 (β_{2H}).

2. Propriedades de resistência:

Resistência da lâmina ao cisalhamento no plano 12 (S);
Resistência da lâmina à tração na direção 1 (X_T);
Resistência da lâmina à tração na direção 2 (Y_T);
Resistência da lâmina à compressão na direção 1 (X_C);
Resistência da lâmina à compressão na direção 2 (Y_C).

3. Outras propriedades:

Ângulo do eixo 1 da lâmina em relação à direção global x ;
Espessura da lâmina.

VALORES CALCULADOS

Além das cargas de falha, o programa mostra os seguintes valores auxiliares:

1. Resumo geral dos cálculos de resistência:

Número da falha (IR);
Número da lâmina que falhou;
Fator de carga (FT) que levou a esta falha;
Incremento de esforços ($FT \cdot \text{PERFIL DE ESFORÇOS}$) ou de tensões que produzem a falha;
Modo de falha, estimado pelo critério da tensão máxima.

2. Propriedades elásticas das lâminas:

Constantes elásticas de engenharia nas direções 1 e 2 (E_1, E_2 , etc.);
Constantes elásticas de engenharia nas direções x e y (E_x, E_y , etc.);
Matrizes da Lei de Hooke Q nas direções 1 e 2 em cada intervalo de falha;
Matrizes da Lei de Hooke Q_{barra} nas direções x e y em cada intervalo de falha.

3. Propriedades elásticas do laminado:

Matrizes do laminado, $\begin{bmatrix} A & B \\ B & D \end{bmatrix}$ e inversas em cada intervalo de falha.

4. Esforços:

Incrementos de esforços normais DN e de momentos DM em cada intervalo de carga;

Esforços normal $N = \{N_x, N_y, N_{xy}\}$ e $M = \{M_x, M_y, M_{xy}\}$ acumulados em cada falha;

Esforços higrotérmicos N_t e M_t em cada intervalo de falha.

5. Deformações de placa:

Incrementos Delta Eps (DE) e Delta kapa (Dk) de deformações e curvaturas da superfície de referência em cada intervalo de carga;

Deformações Eps e kapa de deformações da superfície de referência acumulados em cada falha;

Deformações Eps e kapa térmicos de deformações da superfície de referência em cada intervalo de falha.

6. Tensões nas lâminas:

Perfil pSIGMA de tensões em cada intervalo de carga, associado ao perfil de esforços N, M dados;

Tensões lSIGMA no limiar de cada falha (no final de cada intervalo de carga);

Tensões aSIGMA logo após cada falha (no início de cada intervalo de carga);

Tensões tSIGMA higrotérmicas em cada intervalo de falha.

7. Deformações nas lâminas:

Perfil pEPS de deformações em cada intervalo de carga;

Deformações acumuladas aEPS em cada falha;

Deformações tEPS higrotérmicas em cada intervalo de carga.

II SISTEMA CAE

Análise e projeto de vigas, tubos e painéis em materiais compostos

Os Tipos de problemas disponíveis (apoios, e carregamentos) são:

Caso 01 - VIGA EM BALANÇO sob carga concentrada F na extremidade;

Caso 02 - VIGA EM BALANÇO sob carga concentrada F a uma distância a de um dos apoios;

Caso 03 - VIGA EM BALANÇO sob momento Mb na extremidade;

Caso 04 - VIGA BI-APOIADA sob carga concentrada F no centro;

Caso 05 - VIGA BI-APOIADA sob uma carga concentrada F a uma distância a de um dos apoios;

Caso 06 - VIGA BI-APOIADA sob momento Mb numa distância a de um dos apoios;

Caso 07 - VIGA BI-APOIADA sob duas cargas concentradas F simetricamente posicionadas numa distância a dos apoios;
 Caso 08 - VIGA BI-APOIADA sob uma carga concentrada F a uma distância a além de um dos apoios;
 Caso 09 - VIGA ENGASTADA E APOIADA sob carga concentrada F no centro;
 Caso 10 - VIGA ENGASTADA E APOIADA sob uma carga concentrada F numa distância a do engaste;
 Caso 11 - VIGA BI-ENGASTADA sob carga concentrada F no centro;
 Caso 12 - VIGA BI-ENGASTADA sob carga concentrada F a uma distância a de um dos engastes;
 Caso 13 - VIGA EM BALANÇO sob carga distribuída uniforme P_0 ;
 Caso 14 - VIGA BI-APOIADA sob carga distribuída uniforme P_0 ;
 Caso 15 - VIGA BI-ENGASTADA sob carga distribuída uniforme P_0 ;
 Caso 16 - VIGA ENGASTADA E APOIADA sob carga distribuída uniforme P_0 ;
 Caso 17 - VIGA BI-APOIADA sob par de momentos concentrados;
 Caso 18 - VIGA BI-APOIADA sob momento concentrado num apoio;
 Caso 19 - VIGA ENGASTADA sob momento torçor;
 Caso 20 - VIGA ENGASTADA sob força axial;
 Caso 21 - TUBO sob pressão interna;
 Caso 22 - PLACA SANDUÍCHE sob carga distribuída uniforme P_0 .

Os casos 01 ao 18 são para estudos de flexão em vigas, o caso 19 é para o estudo de vigas sob momento torçor aplicado; o caso 20 é para vigas sob força axial aplicada, o caso 21 é para tubulação sob pressão interna, e o caso 22 é para o estudo de painéis retangulares sanduíche com faces isotrópicas idênticas e núcleo ortotrópico.

As seções transversais disponíveis (conforme o número do caso) são:

Caso A - Seção PLANA;
 Caso B - Seção TUBULAR;
 Caso C - Seção Caixa RETANGULAR;
 Caso D - Seção Caixa TRAPEZOIDAL.

FLEXÃO DE VIGAS

Dados de entrada:

Propriedades do laminado da parede. São usados os dados de laminado;
 Comprimento L ;
 Largura b ;
 Fator de correção ao cisalhamento k ;
 Carga concentrada F ;
 Posição de carga concentrada a ou c ;
 Momento concentrado aplicado M_0 ;
 Carga distribuída (força/comprimento) q_0 ;
 Altura da seção H ;
 Raio interno, usada no caso de seção circular) R_i ;
 Largura menor (usada no caso de seção trapezoidal) .

Valores calculados:

Módulo de elasticidade equivalente $E_x F$ no Caso A, e $E_x N$ nos Casos B, C e D;
 Área da seção transversal;
 Momento de inércia;
 Área interna ao perímetro da seção;
 Posição do centróide;
 Momento fletor máximo;

Esforço cortante máximo;
Deslocamento máximo pela teoria de viga de Euler-Bernoulli;
(em alguns casos, também pela teoria de Timoshenko);
Ângulo de rotação máximo;
Esforço normal N_x máximo na parede da seção, nos casos B e C.

TRAÇÃO

Dados de entrada:

Comprimento L ;
Força axial F ;

Cálculos:

Módulo de elasticidade equivalente E_N ;
Área da seção transversal A ;
Variação do comprimento dL .

TORÇÃO

Dados de entrada:

Comprimento L ;
Raio interno da seção circular R_i ;
Momento torçor aplicado M_t ;

Cálculos:

Módulo de elasticidade cisalhante equivalente G_t ;
Perímetro da seção média P_m ;
Área da região circunscrita pelo perímetro médio, A_m ;
Momento polar de inércia da seção, J ;
Rotação angular θ .

PRESSÃO

Dados de entrada:

Pressão interna p ;
Raio interno R_i .

Cálculos:

Raio médio R_m ;
Esforço na direção x , axial, N_x ;
Esforço na direção y , circunferencia, N_y ;
Variação do raio médio dR .

SANDUÍCHE

Dados de entrada:

Comprimento da placa a (direção x , ou L);
Largura b (direção y , ou W);
Carga distribuída (força/área) p_0 ;
Módulo de elasticidade das faces E_f (faces idênticas e isotrópicas);
Espessura das faces h_f ;
Coeficiente de Poisson da face ν_f ;
Densidade das faces;
Densidade do núcleo;
Espessura do núcleo H_n ;
Módulo de elasticidade cisalhante do núcleo transversal na direção L ,
paralela ao comprimento b ;
Módulo de elasticidade cisalhante do núcleo transversal na direção w ,
paralela ao comprimento a ;
Módulo do núcleo E_n ;

Cálculos:

Espessura média da placa H_m ;
Rigidez flexural D ;
Aspecto da placa a/b ;
Fator S ;
Fator V ;
Massa;
Densidade da placa;
Deflexão máxima;
Tensão normal máxima na face;
Tensão cisalhante no núcleo no meio da borda de comprimento b ;
Tensão cisalhante no núcleo no meio da borda de comprimento a .

III INSTALAÇÃO E USO DO PROGRAMA

- 1- Extrair o conteúdo do arquivo CedricT.zip para uma pasta temporária;
- 2- Executar o arquivo Setup.exe e acompanhar o processo de instalação;

Este programa foi desenvolvido nas dependências do
Grupo de Análise e Projeto Mecânico - GRANTE
Departamento de Engenharia Mecânica - EMC
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
CP 476 - CEP 88040-900 - Florianópolis/SC - Brasil
(048)331-9264, mendonca@grante.ufsc.br

Autores: Paulo de Tarso R. Mendonca, Ph.D,
Eng. Oswaldo Luiz Savini Junior,
Analista de Sistemas Cláudio Henrique Schons

Versões 1985, 1996, 1998, 1999, 2001, 2002, 2004.

Comentários, sugestões e reclamações são esperadas e bem vindas.
