

Resumo

Neste trabalho desenvolvem-se códigos integrados de cálculo automático de análise e concepção, visando o projecto óptimo de estruturas dos tipos placa ou casca, constituídas em materiais compósitos laminados.

Na análise estrutural recorre-se ao método dos elementos finitos, em particular ao elemento isoparamétrico de casca degenerado de elementos tridimensionais, com consideração de anisotropia e empilhamento.

Idealiza-se um método de optimização, baseado na análise de sensibilidades, num critério de optimalidade e na programação matemática. O algoritmo de optimização traduz-se pela repetição sequencial de dois níveis.

Os objectivos são a minimização do peso da estrutura e a maximização da eficiência, com restrições de tensão e de deslocamento.

Consideram-se como variáveis de projecto as espessuras dos macroelementos e as orientações das respectivas camadas. A solução óptima contempla também a sequência de empilhamento das camadas.

O modelo de análise de sensibilidades desenvolvido baseia-se na aplicação do método da estrutura adjunta ao elemento de casca degenerado.

No primeiro nível do algoritmo efectua-se a maximização da eficiência da estrutura através da pesquisa segundo direcções conjugadas, considerando como variáveis de projecto as orientações das camadas dos macroelementos e mantendo as espessuras constantes.

No segundo nível do algoritmo efectua-se a minimização do peso da estrutura através duma pesquisa unidireccional, obedecendo a um critério de optimalidade. A este nível as variáveis de projecto são as espessuras dos laminados dos macroelementos. Para as variáveis orientações das camadas, que se consideram constantes, toma-se a solução obtida após o primeiro nível.

É analisada a convergência do método e o seu desempenho através de diversos exemplos cujos resultados são comparados com outras soluções óptimas. Os resultados revelam que o algoritmo de optimização é convergente e robusto.

Abstract

The scope of this work is the development of integrated automatic software coding of analysis and design aiming at the optimal design of shells and plates made of laminated composites.

The structural analysis is made with finite element theory, in particular the degenerated tridimensional isoparametric shell element, considering anisotropy and stacking.

A multiple stage optimization method was created, based on sensitivity analysis, optimality criteria and mathematical programming. The optimization algorithm performs a sequential repetition at two levels.

Structural weight minimization and efficiency maximization are the objectives with constraints of the stresses and of the displacements.

The design variables are the macroelement thicknesses and the layers angles. The optimal solution contemplates the layer stacking.

The developed sensitivity analysis model is based on the adjoint structure method of the degenerated shell element.

At the first algorithm level the efficiency maximization is performed through the search along conjugate directions, considering as design variables the macroelement layers angles and keeping constant thicknesses.

During the second algorithm level the structural weight minimization is performed with a directional search using an optimality criteria. At this level the design variables are the macroelement laminate thicknesses. The layers angles variables are kept constant starting with the solution of the first level.

The method convergence and performance are analyzed using several examples compared with other optimal solutions. The results show that the optimization algorithm is reliable and robust.