

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОИСТЫХ ОБОЛОЧЕК

Е.А. Корчевская, И.Н. Доронин
Витебск, УО «ВГУ им. П.М. Машерова»

Оболочечные конструкции широко применяются в судостроении, авиастроении, приборостроении, ракетной технике, строительстве, машиностроении и во многих других отраслях промышленности. Использование композиционных материалов позволяет усилить одно из главных их преимуществ – сочетание лёгкости с высокой прочностью. Существуют большие перспективы практического использования оболочек. Реализация этих возможностей происходит в результате расширения области применения оболочек, совершенствования методов их расчетов и более основательного рассмотрения их свойств.

Важнейшими задачами на стадии проектирования таких конструкций являются: 1) расчет тонкостенных конструкций на устойчивость, 2) исследование собственных колебаний конструкций, 3) оптимальное проектирование слоистых оболочек с целью увеличения несущей способности.

Множество работ посвящены вопросам оптимального проектирования слоистых оболочек [1–4]. В частности, в [3] собственные частоты укрепленных волокном слоистых цилиндрических оболочек максимизируются относительно ориентации волокна с использованием метода золотого сечения. Задача, связанная с весовой оптимизацией оболочек исследуется в работе [5]. Здесь рассмотрена задача о выборе оптимальных по весу параметров цилиндрических оболочек, нагруженных внешним давлением, с учетом сдвиговых межслойных напряжений.

Материал и методы. Рассмотрим тонкую круговую цилиндрическую оболочку, состоящую из N изотропных слоев, характеризующихся толщиной h_k , модулем Юнга E_k и коэффициентом Пуассона ν_k , $k = 1, 2, \dots, N$. В качестве исходной поверхности примем срединную поверхность оболочки, которую отнесем к криволинейным ортогональным координатам $\alpha_1 = R\theta$, $\alpha_2 = R\varphi$. Здесь R – радиус цилиндра исходной поверхности, θ и φ – окружная и продольная координаты соответственно.

Будем считать, что физические характеристики слоев различаются незначительно. Тогда для исследования устойчивости слоистой цилиндрической оболочки используем систему полубезмоментных уравнений слоистых оболочек [6]:

$$\frac{Eh^3\eta_3}{12(1-\nu^2)} \left(1 - \frac{\theta h^2}{b} \Delta\right) \Delta^2 \chi^* + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 F^*}{\partial \alpha_1^2} - T_2^0 \frac{\partial^2 W^*}{\partial \alpha_2^2} = 0,$$
$$\Delta^2 F^* = \frac{Eh}{R} \frac{\partial^2 W^*}{\partial \alpha_1^2}, \quad W^* = \left(1 - \frac{h^2}{b} \Delta\right) \chi^*.$$
(1)

Здесь Δ – оператор Лапласа в криволинейной системе координат α_1 , α_2 , E , ν – осредненные модуль Юнга, коэффициент Пуассона соответственно, h – толщина оболочки, F^* , χ^* – функции напряжений и перемещений, W^* – нормальный прогиб, параметры η_3, θ, b учитывают поперечные сдвиги слоев и определяются по формулам [6].

Уравнения (1) описывают движение оболочки в окрестности безмоментного напряженно-деформированного состояния, характеризующегося усилиями T_2^0 . В качестве граничных условий на краях рассмотрим условия шарнирного опирания [6]:

$$F^* = \Delta F^* = \chi^* = \Delta \chi^* = \Delta^2 \chi^* = 0, \text{ при } \alpha_1 = 0, L. \quad (2)$$

Тогда решение уравнения (1) с граничными условиями (2) может быть найдено в явной форме:

$$\chi^* = \chi_0 \sin \frac{\pi n \alpha_1}{L} \sin \frac{m \alpha_2}{R}, \quad F^* = F_0 \sin \frac{\pi n \alpha_1}{L} \sin \frac{m \alpha_2}{R}, \quad (3)$$

где n – число волн в осевом направлении, m – число волн в окружном направлении.

Результаты и их обсуждение. Подставляя выражения (3) в уравнения (1), получаем систему однородных линейных уравнений относительно F_0 и χ_0 . Из условия существования нетривиального решения этой системы, находим выражение для давления T_2^0 :

$$T_2^0 = \frac{2\pi^3 D}{R} \left\{ \frac{(1 + K\theta\Delta_{nm})\Delta_{nm}^2(L/R)^2}{(1 + K\Delta_{nm})m^2} + \mu \frac{m^2}{(L/R)^2 \Delta_{nm}^2} \right\}, \quad (4)$$

где

$$\mu = \left[12R^2(1 - \nu^2) \right] / \pi h^2 \eta_3, \quad \Delta_{nm} = \left[\frac{m^2}{(L/R)^2} + \frac{n^2}{\pi^2} \right], \quad K = \pi^2 h^2 / (bR^2). \quad (5)$$

Полученная в явном виде формула (4) позволяет решать задачу оптимального проектирования многослойной оболочки, заключающуюся в максимизации критического значения внешнего давления путем оптимального выбора толщин межслойных заполнителей.

Для автоматизации решения задачи оптимального проектирования слоистых оболочек было разработано приложение, позволяющее автоматически рассчитывать при заданных физических и геометрических параметрах оболочки критическое давление, приводящее к началу разрушения оболочки.

Приложение способно работать в двух режимах:

- расчет критического давления, при заданных значениях толщин слоев цилиндрической оболочки;
- расчет оптимальных толщин слоев цилиндрической оболочки, для нахождения максимального критического давления при условии постоянства массы оболочки.

В режиме работы «оптимальное проектирование» приложение рассчитывает толщины слоев заполнителя автоматически, исходя из условия постоянства массы оболочки и максимальной критической нагрузки, которую способна выдержать оболочка, а также учитывая допуски погрешности, установленные пользователем.

Заключение. Результатом работы приложения являются матрица рассчитанных итоговых значений критического давления (при оптимальном проектировании – выбирается максимальное значение давления и соответствующая ему толщина слоя заполнителя) и построенный график зависимости критического давления от толщины слоев-заполнителей. Таким образом, приложение позволяет

автоматизировать и ускорить процесс проведения вычислительных экспериментов при проектировании слоистых цилиндрических оболочек тел.

Список литературы

1. Бабич, И.Ю. Об устойчивости и рациональном проектировании цилиндрических оболочек из металлокомпозитов при комбинированном нагружении / И.Ю. Бабич, Н.П. Семенюк, А.В. Борисейко // Прикл. мех. (Киев). – 1999. – Т. 35, № 6. – С. 67–73.
2. Почтман, Ю.М. Оптимальное проектирование цилиндрических композитных оболочек при динамическом нагружении / Ю.М. Почтман, С.В. Чуханин, С.А. Шульга // Мех. композит. матер. – 1993. – Т. 29, № 3. – С. 361–366.
3. Hu, H.T. Maximization of the fundamental frequencies of laminated cylindrical shells with respect to fiber orientations / H.T. Hu, J.Y. Tsai // J. Sound and Vibr. – 1999. – № 4. – P. 723–740.
4. Marian, O. Optimum weight design of sandwich cylindrical shells subjected to external pressure / O. Marian // Arch. bud. masz. – 1989. – Vol. 36, № 4. – P. 287–302.
5. Почтман, Ю.М. Оптимальное проектирование композитных цилиндрических оболочек, нагруженных равномерным внешним давлением, с учетом сдвиговых межслойных напряжений / Ю.М. Почтман, С.А. Шульга // Изв. АН Арм. ССР. Механика. – 1989. – Т. 42, № 4. – С. 22–29.
6. Григолюк, Э.И. Многослойные армированные оболочки: расчет пневматических шин / Э.И. Григолюк, Г. М. Куликов. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ ДВУХСЛОЙНЫХ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВС

И.М. Котин

Витебск, ВФ УО ФПБ «Международный университет «МИТСО»

Одним из методов получения алмазосодержащих материалов (АСМ) для производства алмазного инструмента (хонинговальные бруски, шлифовальные головки, планшайбы) является метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Этим методом АСМ получают из двухслойных образцов реакционно-способной шихты; один слой образцов содержит алмазный порошок [1]. Свойства полученных АСМ зависят от параметров волны горения, в частности, от скорости и температуры горения. Известно, что для сохранения свойств частиц алмазного порошка после СВС самый процесс синтеза должен удовлетворять определенным требованиям [1], например: 1) малое время пребывания алмазных зерен в волне горения; 2) низкая температура горения в алмазосодержащем слое. Экспериментальные данные [1] показывают, что превалирует первое требование. Таким образом, представляет интерес теоретическое исследование горения двухслойных образцов. Именно: изучение зависимостей параметров волны горения от теплофизических характеристик (ТФХ) реакционной среды и геометрических размеров образца.

В нашей работе рассматривается простейшая модель двухслойного образца, позволяющая определить некоторые режимы горения образцов.

Модель образца. Пусть образец состоит из двух параллельных бесконечных пластин (слоев) реакционно-способных смесей. Считаем, что эти пластины разной