

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. Н. Бакулин, В. А. Потопахин, Исследование многослойных оболочек при действии объемных источников тепла и импульсных нагрузок, *Исслед. по теор. пластин и оболочек*, 1992, выпуск 25, 109–115

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 178.205.19.235

7 июня 2024 г., 16:17:27



В.Н.Бакулин, В.А.Потопахин

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧЕК ПРИ ДЕЙСТВИИ
ОБЪЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА И ИМПУЛЬСНЫХ НАГРУЗОК

В работе проведено экспериментальное исследование прочности многослойных оболочек, ненагруженных и нагруженных внутренним статическим давлением, при действии непрерывных объемных источников тепла, импульсов давления. Определены сочетания параметров статического нагружения, объемных источников тепла, импульсов давления, при которых происходит разрушение оболочек. Рассмотрен приближенный метод оценки прочности композитных оболочек при действии статических нагрузок, объемных источников тепла, импульсов давления, основанный на использовании нелинейных соотношений теории оболочек с переменными в двух направлениях физико-механическими свойствами.

Экспериментальное исследование проводилось на установке, состоящей из объемного источника тепла, испытываемой оболочки, системы нагружения оболочки, системы, обеспечивающей вращение оболочки с заданной скоростью, системы измерения параметров, характеризующих поведение оболочки при действии объемного источника тепла. Система нагружения оболочки внутренним давлением включает емкость для жидкости (сжатого газа), насос, вентили, манометры, трубопровод, герметизирующие заглушки. Система вращения обеспечивает возможность плавного изменения угловой скорости оболочки в диапазоне $n = 0,2 + 5$ об/с и состоит из силовой рамы, электродвигателя, редуктора с плавно изменяющимся передаточным числом, ведущего и ведомого валов, основания для установки оболочки, пульта дистанционного управления. Система измерения, состоящая из манометра, устанавливаемого на оболочке, телевизионной камеры, тепловизора "Рубин-3" с блоком питания, шлейфового осциллографа, позволяет проводить визуальное наблюдение за оболочкой, измерять температуру в заданных точках оболочки от начала воздействия до разрушения оболочки. До начала воздействия происходит нагружение оболочки внутренним давлением p , величина которого доводится до разрушающего p^* .

При исследовании импульсного воздействия на композитные оболочки используются те же системы, что и при действии объемного источника тепла, однако в этом случае импульсное нагружение осуществляется с помощью листового взрывчатого вещества (ВВ), наклеиваемого на поверхность оболочки (экран, расположенный на заданном расстоянии от оболочки), или ударной трубы взрывного действия (УТВД), в системе нагружения внутренним давлением используется сжатый газ. Система измерения, состоящая из датчиков давления Т-6000, тензодатчиков КФ-5, системы "Нейва", предназначенной для снятия показаний с датчиков Т-6000, осциллографов СВ-ГЗ, позволяет проводить измерение в процессе импульсного воздействия давления и деформаций в различных точках на наружной поверхности композитных оболочек, ненагруженных и нагруженных внутренним давлением, определить условия разрушения оболочек.

Работа установки осуществляется в двух режимах:

1. Воздействие объемного источника тепла на ненагруженную оболочку. Испытание оболочки после окончания воздействия.

В этом случае на ненагруженную оболочку в течение заданного времени $t = t/t^* < 1$ (t, t^* - соответственно заданное время воздействия и время, необходимое для сквозного прожига оболочки) осуществляется воздействие объемного источника тепла. Одновременно с включением источника происходит запуск тепловизора и измеряется температура в различных точках на поверхности оболочки. После окончания воздействия производится нагружение оболочки внутренним давлением до разрушения и определяется зависимость разрушающего давления $p_i = p_i^*/p^*$ от времени воздействия объемного источника тепла t .

2. Воздействие объемного источника тепла на нагруженные оболочки.

При этом оболочка, предварительно нагруженная внутренним давлением $p = (0,4 + 0,9) p^*$, подвергается воздействию объемного источника тепла. В процессе воздействия осуществляется непрерывное измерение величины давления в оболочке и температуры ее поверхности. Момент времени t^* , в который происходит разрушение оболочки, фиксируется по резкому спаду давления и наблюдается визуально с помощью телекамеры.

Воздействие импульсов давления как объемных источников тепла

производится на ненагруженные и нагруженные внутренним давлением оболочки.

В качестве объектов испытаний использованы цилиндрические композитные оболочки из СМ со следующими параметрами: $l/R = 6$; $R/h = 25$; $E_\theta/E_s = 1,13$; $E_\theta/E_{s\theta} = 3,57$; $\frac{|\sigma_\theta|}{|\sigma_s|} = 1,2$; $\frac{|\sigma_\theta|}{|\sigma_{s\theta}|} = 2,5$ (l, R, h — соответственно длина, радиус, толщина оболочки; $(E_s, E_\theta, E_{s\theta})$, $(|\sigma_s|, |\sigma_\theta|, |\sigma_{s\theta}|)$ — соответственно модули упругости и пределы прочности в продольном s , окружном θ направлениях и при сдвиге в плоскости $s\theta$). Оболочки подвергаются действию объемного источника тепла, имеющего Гауссово распределение по круговой области $\bar{d} = d/2R = 0,1 + 0,8$ (d — диаметр области) и равномерное распределение по толщине оболочки. Максимальное значение плотности энергии в области воздействия составляет $q_{max} = 120 \text{ Дж/см}^2$.

Результаты обработки опытных данных для неподвижных оболочек приведены на рис. I. При этом кривая I характеризует зависимость разрушающего внутреннего давления \bar{p}_i^* для оболочек, подверженных воздействию объемного источника тепла с заданной длительностью

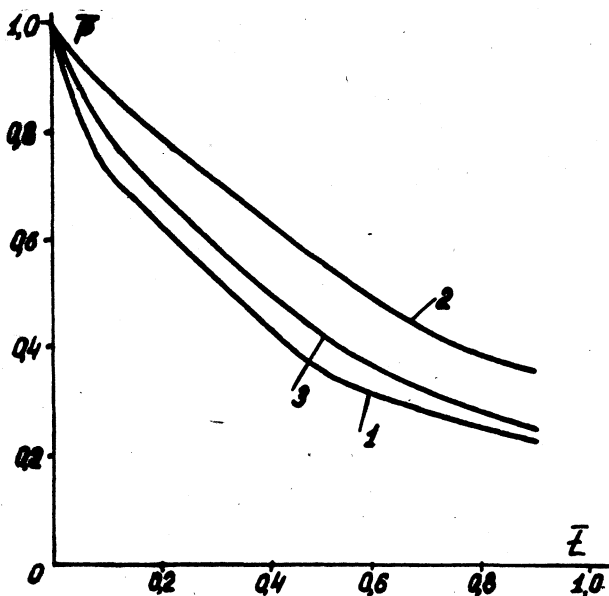


Рис. I

\bar{t}_i , кривая 2 - зависимость времени воздействия объемного источника тепла, необходимого для разрушения оболочки, \bar{t}_i^* от величины внутреннего давления \bar{p}_i . При диаметре области воздействия объемного источника тепла $\bar{d} > 0,5$ потеря прочности оболочками происходит вследствие разрыва волокон в окружном направлении в области воздействия объемного источника тепла. При $\bar{d} < 0,4$ происходит частичная потеря прочности оболочек, при этом в области воздействия оболочка выпучивается наружу с амплитудой прогиба

$\bar{w} = \frac{w}{h} = 2 + 3 (W - \text{прогиб оболочки})$, что приводит к уменьшению давления в оболочке, после полного снятия давления максимальный остаточный прогиб оболочки составляет $W = 0,3 + I$. При размерах $\bar{d} < 0,1$ оболочка в результате воздействия объемного источника тепла теряет герметичность вследствие образования трещины, длина которой не превышает половины диаметра области воздействия.

Воздействие объемного источника тепла на вращающиеся со скоростью $n = 0,3 + 1,5$ об/с оболочки, нагруженные внутренним давлением $\bar{p} = 0,5$, при размере области воздействия $\bar{d} = 0,12$, показывает, что происходит практически осесимметричное выпучивание оболочки наружу, приводящее к полному падению давления в оболочке. Максимальный остаточный прогиб оболочки составляет $\bar{w} = 1,8$. При одинаковых условиях воздействия объемного источника тепла на неподвижную и вращающуюся со скоростью n оболочки отношение времени \bar{t}_n^k , необходимого для разрушения вращающейся оболочки, к времени разрушения неподвижной оболочки \bar{t}^* при $\bar{p} = 0,5$, $\bar{d} = 0,12$ составляет $\frac{\bar{t}_n^k}{\bar{t}^*} = 33,77; 21,54; 28,85$ соответственно для $n = 0,3; 0,5; 1,5$ об/с.

На рисунке 2 приведены результаты исследования прочности композитных цилиндрических оболочек при импульсном нагружении. ВВ наклеивается на картон, расположенный на каркасе, удаленном от оболочки на 30 см. Расположение ВВ на каркасе выбирается так, чтобы обеспечить равномерное распределение импульсного давления в продольном направлении и по закону косинуса в окружном. Кривая I характеризует экспериментальные сочетания параметров внутреннего давления \bar{p}_i и импульсов давления $\bar{J}_i = J_i^*/J^*$ (J^*, J_i^* - разрушающие импульсы давления для оболочек, нагруженных внутренним давлением соответственно $\bar{p} = 0, p_i$), при которых происходит разрушение оболочек.

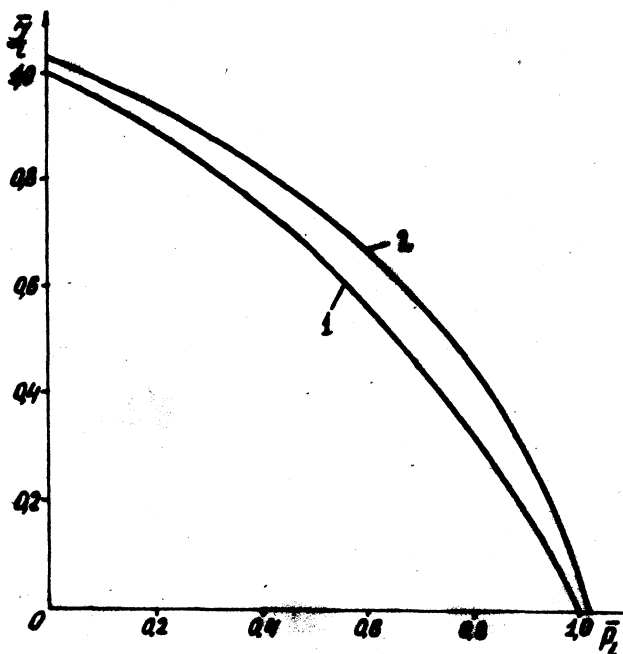


Рис. 2

Проведена приближенная оценка прочности композитных оболочек при действии объемных источников тепла, импульсов давления.

Считаем, что гипотеза Кирхгофа - Лява для оболочки справедлива, и используем нелинейные выражения для деформаций и уравнения движения [1]. Выбирая в качестве неизвестных функций $\bar{N} = \{N_r, N_z, S, M_s, u_r, u_z, v, v_s\}$, в которых выражаются условия на краях оболочки, в результате преобразований, аналогичных приведенным в работах [1, 2], получим систему нелинейных уравнений, описывающих динамическое поведение упругих многослойных оболочек с переменными в меридиональном S , окружном θ направлениях и во времени t свойствами.

Раскладывая в полученной системе уравнений производные по окружной координате в центральные разности [2], производные во времени в конечные разности по схеме Хуболта и задавая нелинейные слагаемые на предыдущем временном шаге t_{k-1} , приходим на каждом временном шаге t_k к системе обыкновенных дифференциальных уравнений вида

$$\frac{d\bar{N}(s, \theta_i, t_k)}{ds} = \bar{B}_c(s, \theta_i, t_k, t_{k-1}, t_{k-2}, t_{k-3}) \bar{N}(s, \theta_i, t_k) + \bar{B}_l(s, \theta_i, t_{k-1}) F[\bar{N}(s, \theta_i, t_{k-1})] + \bar{f}(s, \theta_i, t_k). \quad (1)$$

Для решения (1) используем метод дискретной ортогонализации [1, 2]. Система уравнений (1) позволяет определять напряженно-деформированное состояние оболочек при действии статических, динамических нагрузок, тепловых потоков как без предварительного нагружения, так и с его учетом. При действии равномерного внутреннего давления p_m решение системы уравнений (3) производится при нулевых инерционных слагаемых путем увеличения давления от нуля с шагом Δp до $p = l \Delta p (l = \theta + m)$. Нелинейные слагаемые при давлении p_l задаются их значениям, полученным при p_{l-1} . Для расчета оболочки, предварительно нагруженной внутренним давлением, при действии поля температур $T(s, \theta, t)$, обусловленного объемным источником тепла, импульсами давления, используется система уравнений (1), в которой начальные условия определяются значениями параметров напряженно-деформированного состояния \bar{N} , полученными из решения статической задачи, а нелинейные слагаемые при решении задачи на временном шаге t_k задаются их значениями в момент времени t_{k-1} .

С использованием функций $\bar{N}(s, \theta, t_k)$ на каждом шаге по времени t_k из соотношений Коши, закона Гука [1, 2] находятся напряжения в оболочке $\bar{\epsilon}_s(s, \theta, t_k)$, $\bar{\epsilon}_\theta(s, \theta, t_k)$, $\bar{\epsilon}_{s\theta}(s, \theta, t_k)$.

В качестве условия разрушения оболочки принимается достижение хотя бы в одной точке оболочки следующего соотношения [3]:

$$\Pi_{11} \bar{\epsilon}_s^2 + \Pi_{22} \bar{\epsilon}_\theta^2 + \Pi_{12} \bar{\epsilon}_{s\theta}^2 + (\Pi_{11,11} \bar{\epsilon}_s^2 + \Pi_{22,22} \bar{\epsilon}_\theta^2 + \Pi_{12,12} \bar{\epsilon}_{s\theta}^2 + 2 \Pi_{11,22} \bar{\epsilon}_s \bar{\epsilon}_\theta + 2 \Pi_{11,12} \bar{\epsilon}_s \bar{\epsilon}_{s\theta} + 2 \Pi_{22,12} \bar{\epsilon}_\theta \bar{\epsilon}_{s\theta})^{1/2} = 1, \quad (2)$$

где Π_{ij} , $\Pi_{ij,kl}$ — компоненты тензоров прочности соответственно второго и четвертого рангов, определяемые через прочностные характеристики материала, полученные при простых видах нагружения [3]. На рисунке 1 кривая 3 характеризует расчетные значения \bar{p}_i , t_i^* , при которых происходит разрушение предварительно нагруженной давлением оболочки из СВМ с теми же параметрами воздействия, что и в

эксперименте. Для всех рассмотренных оболочек условие (2) выполняется в центре области воздействия объемного источника тепла.

На рисунке 2 кривая 2 характеризует расчетные сочетания параметров внутреннего давления p и импульсов давления, при которых происходит разрушение оболочек.

Л и т е р а т у р а

1. М я ч е н к о в В.И., М а л ь ц е в В.П. Методы и алгоритмы расчета пространственных конструкций на ЭВМ ЕС. - М.: Машиностроение, 1984. - 280 с.

2. Г р и г о р е н к о Я.М., М у к о е д А.П. Решение нелинейных задач теории оболочек на ЭВМ. - Киев: Вища школа, 1983. - 286 с.

3. Г о л ь д е н б л а т И.И., К о п н о в В.А. Критерии прочности и пластичности конструкционных материалов. - М.: Машиностроение, 1968. - 192 с.

Г.О.Кипиани, Б.К.Михайлов, В.Г.Москалева

УСТОЙЧИВОСТЬ ТРЕХСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧЕК И ПЛАСТИН С НАРУШЕНИЯМИ СПЛОШНОСТИ В ВИДЕ РАЗРЕЗОВ И ОТВЕРСТИЙ

Предложен новый метод определения сжимающей критической нагрузки на трехслойные оболочки или пластины, имеющие разрезы в пределах каждого из слоев, а также сквозные разрезы.

Два внешних слоя являются несущими, средний слой играет роль заполнителя. Отверстие имитируется системой четырех сквозных разрезов, образующих замкнутый контур.

Данный метод основан на введении специальных разрывных функций геометрических соотношений теории пластинки и оболочек и является развитием ранее полученного авторами решения задачи об устойчивости сжатой прямоугольной пластины с разрезом, параллельным одной из сторон контура.

Выполненные примеры расчета иллюстрируют эффективность предложенного метода, приводящего к весьма простому алгоритму расчета при достаточной для практических целей точности результатов.