

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ**

У статті застосовано критерій максимальних напружень до визначення граничного стану композитних конструкцій. Визначено максимальне навантаження для багат шарової композитної циліндричної оболонки.

### **THE DETERMINATION OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE COMPOSITE CYLINDRICAL SHELL**

The criteria of the maximum stresses for the determination of the limit state of the composite constructions is used in the article. The maximum loads for the multilayer composite cylindrical shell are determined.

Оптимальное проектирование конструкций из композиционных материалов – новая, специфическая, быстро развивающаяся область прикладной механики твердого тела. Под композиционными материалами или композитами понимается широкий класс многофазных природных и искусственных конструкционных материалов. Характерной особенностью композиционных материалов является как проявление ими новых свойств, отличных от свойств компонентов, так и возможность объединения полезных качеств отдельных фаз. Это обстоятельство лежит в основе разработки новых композитов и их применений в конструкциях. Искусственные композиционные материалы широко применяются на практике, и свойства их могут быть изменены в широких пределах. Характерной особенностью композитов, отличающей их от традиционных металлов и сплавов, является то, что во многих случаях композиционные материалы разрабатываются и создаются одновременно с конструкцией. Это относится в первую очередь к волокнистым однонаправленным и намоточным слоисто-волокнистым материалам. Материал и конструкция из этих композитов изготавливаются одновременно путем непрерывной намотки, поэтому, с одной стороны, технологические условия процесса намотки определяют возможные проекты изделия, а с другой – материал может быть сформирован таким образом, чтобы наиболее эффективно воспринимать действующие напряжения. Следовательно, технология изготовления и конструктивные особенности изделий из композиционных материалов решающим образом определяют прочность всей конструкции.

Именно поэтому возникает комплексная проблема: каким образом использовать большие потенциальные возможности композита как материала при создании конкретных конструкций. Тесная взаимосвязь процессов изготовления конструкции и материала, а также открывающиеся возможности широкого варьирования механическими свойствами композитов позволяют ставить задачи одновременного расчета, проектирования и оптимизации конструкций из композиционных материалов [1].

Для оценки прочности композиционных материалов (КМ) в конструкции, находящейся в сложном напряжённом состоянии, необходимо знать критерии, устанавливающие допустимые границы напряжений, в которых материал может работать при заданных условиях без разрушения. Такие критерии называются критериями предельных состояний. Предельными являются состояния, при которых КМ переходит от упругого состояния к пластическому или разрушается. Современные инженерные критерии предельного состояния – феноменологические, они описывают с некоторой степенью надёжности макромеханическое поведение КМ в целом, без учёта микромеханических особенностей, возникающих в процессе перехода от одного состояния КМ к другому.

В соответствии с критерием максимальных напряжений разрушение КМ, армированного параллельными волокнами, ориентированными в одном направлении, происходит при достижении напряжениями соответствующего предела прочности. Критерий максимальных напряжений используется при оценочных расчётах прочности однонаправленных КМ в условиях одноосного напряжённого состояния [2].

Деформационный критерий прочности формулируется следующим образом: предельное состояние КМ в соответствии с критерием максимальных деформаций наступает при достижении текущими линейными или сдвиговыми деформациями величин, соответствующих допустимым деформациям [2].

Критерий Л. Фишера учитывает упругие константы и прочностные характеристики анизотропного материала. Главный недостаток данного критерия в том, что прочностные свойства при растяжении и сжатии в одном направлении принимаются одинаковыми, а это не характерно для КМ [3].

Позволяет избежать этих недостатков критерий К.В. Захарова [4], который учитывает различные прочностные свойства КМ при растяжении и сжатии. Данный критерий достаточно хорошо аппроксимирует результаты экспериментов для некоторых слоистых пластиков, но он не пригоден для описания КМ, в которых оси симметрии не совпадают с системой координат.

В соответствии с критерием Гольденבלата-Копнова [4] КМ переходит в предельное состояние при достижении критического значения некоторой функцией, зависящей только от напряжений и характеризующей данный КМ. Он справедлив для материалов, прочностные характеристики которых подчиняются условию совместности.

Для определения прочности КМ используется и ряд других критериев: критерий Мизеса-Хилла [5], критерий Цая-Ву [5] и ряд других [6, 7].

Для использования всех этих критериев необходимо знать напряженно-деформированное состояние конструкций в реальных условиях нагружения. Определение напряженно-деформированного состояния композитной конструкции связано с рядом математических трудностей, которые заключаются в необходимости моделирования геометрии конструкции, анизотропии свойств материала, заданием граничных условий и рядом других. Поэтому для расчета композитных конструкций наиболее часто применяются численные методы, в частности метод конечных элементов [8].

Определим с помощью программного комплекса «МИРЕЛА+» [9] прочностные характеристики заземленной по торцам четырехслойной композиционной цилиндрической оболочки (рис. 1).

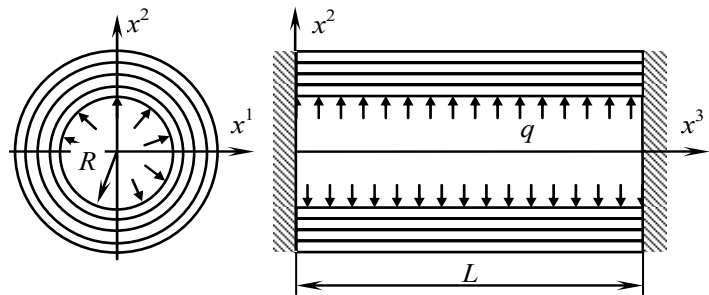


Рис. 1 – Цилиндрическая оболочка, заземленная по торцам, под воздействием внутреннего давления

Цилиндрическая оболочка выполнена из алюминия (физические величины:  $E_R = 0,71 \cdot 10^5$  МПа;  $\nu_R = 0,35$ ) и

стальной проволоки (физические величины:  $E_C = 2,1 \cdot 10^5$  МПа;  $\nu_C = 0,33$ ). Диаметр волокон  $d_C = 0,5 \cdot 10^{-3}$  м, частота армирования  $i_C = 400$  волокон/м, толщина резинокордной оболочки  $h = 0,00456$  м, внутренний радиус оболочки (рис. 1)  $R = 0,1$  м, длина образующей  $L = 0,5$  м, Многослойная оболочка армирована следующим образом: 1-й (начиная с внутреннего) и 3-й слои армированы под углом  $\gamma$ , а 2-й и 4-й – под углом  $-\gamma$ .

В качестве критерия прочности использовался критерий максимальных напряжений. В этом случае условие прочности запишется в виде  $\sigma_x \leq \sigma_{ax}$ ;  $\sigma_y \leq \sigma_{ay}$ . В системе координат армирования при заданной частоте армирования для данного КМ  $\sigma_s = 160$  МПа. В результате расчетов получаем, что при таком армировании конструкции предельное состояние при  $\gamma = 90^\circ$  наступает при максимальном внутреннем давлении равном  $q = 6,5$  МПа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баничук Н.В., Кобелев В.В., Ричарде Р.Б. Оптимизация элементов конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 224 с.
2. Викарио А., Толандр Р. Критерии прочности и анализ разрушения конструкций из композиционных материалов // Анализ и проектирование конструкций / Под ред. К. Чамиса. – М.: Машиностроение, 1978. – С. 62-107. (Композиционные материалы; Т. 7, Ч. 1).
3. Fisher H. How to predict structural behavior of R.P. Laminates. – Mod. Plast., 1960. – N 6. – P. 65-68.
4. Гольденблат И.И., Копнов В.А. Критерии прочности и пластичности конструкционных материалов. – М.: Машиностроение, 1968. – 192 с.
5. Композиционные материалы: Справочник / Под общ. ред. Д.М. Карпиноса. – К.: Наук. думка, 1985. – 592 с.
6. Механика композиционных материалов / Под ред. Дж. Сендечки. – М.: Мир, 1978. – 564 с. (Композиционные материалы; Т. 2).
7. Разрушение и усталость / Под ред. Л. Браутмана. – М.: Мир, 1978. – 484 с. (Композиционные материалы; Т. 5).
8. Киричевский В.В., Дохняк Б.М., Карпушин А.Д. Матрица жесткости пространственного конечного элемента для исследования конструкций из композиционных материалов // Вісник Східноукр. держ. ун-ту. – 1999. – № 3(18). – С. 109–116.
9. Метод конечных элементов в вычислительном комплексе «МИРЕЛА+» / Киричевский В.В., Дохняк Б.М., Козуб Ю.Г., Гоменюк С.И., Киричевский Р.В., Гребенюк С.Н. – К.: Наук. думка, 2005. – 392 с.