

OPTIMIZING THE REINFORCEMENT OF A COMPOSITE CYLINDRICAL SHELL AS APPLIED TO DYNAMIC LOADING CONDITIONS

S. V. Vetoshkin*, Yu. V. Bayandin, O. B. Naimark

Institute of Continuous Media Mechanics, Str. Academician Korolev 1, Perm, Russia

*Corresponding author. E-mail: sega-w92@mail.ru; address for correspondence: 614013 Perm, Ak. Korolev st., 1, BON on the 4th floor, room. 401; Tel.: +7 (952) 321 79 25.

The manufacture of composite products often requires using combinations of several materials, forming a multilayer structure with the layers stacked in different direction, proper selection of the stacking sequence, etc. Due to these features, the process of developing composite structures is more time-consuming than the production of conventional materials.

This paper describes a method for selecting the optimal characteristics of a composite material by studying the behavior of the structure under complex dynamic loads. The results of numerical simulation have been used to develop a model of a dynamically loaded composite shell of revolution with optimal material characteristics.

Keywords: composite materials, calculation of cylindrical shells, basalt fiber, ANSYS.

DOI: 10.17804/2410-9908.2016.3.042-047

References

1. Czigány T. Basalt fiber reinforced hybrid polymer composites. *Materials Science Forum*, 2005, vols. 473–474, pp. 59–66. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.473-474.59.
2. Liu Qiang, Shaw Montgomery T., Parnas Richard S., McDonnell Anne-Marie. Investigation of basalt fiber composite aging behavior for applications in transportation. *Polymer Composites*, 2006, vol. 27, iss. 5, pp. 475–483. DOI: 10.1002/pc.20215.
3. Czigány T. Special manufacturing and characteristics of basalt fiber reinforced hybrid polypropylene composites: Mechanical properties and acoustic emission study. *Composites Science and Technology*, 2006, vol. 66, iss. 16, pp. 3210–3220. DOI: 10.1016/j.compscitech.2005.07.007.
4. Malkov I.V., Sirovoi G.V., Nepran I.L. Analyzing the characteristics of the local SSS of a junction between a metal flange and a composite shell. *Otkrytye informatsionnye i kompyuternye integrirovannye tekhnologii*, 2010, no. 48, pp. 80–87. (In Russian).
5. Kashevarova G.G. *Studying the bearing capacity of clasp joints in shells made of composite materials with metal inclusions*. Ph.D thesis, 1980, Perm, 159 p. (In Russian).

Подана в журнал: 11.04.2016
УДК 621.002.3-419; 620.22-419.
DOI: 10.17804/2410-9908.2016.3.042-047

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ АРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИТНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ДИНАМИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ НАГРУЖЕНИЯ

С. В. Ветошкин^{1*}, Ю. В. Баяндин², О. Б. Наймарк³

Институт механики сплошных сред УрО РАН, ул. Академика Королёва, 1, Пермь, Россия

* Ответственный автор. Электронная почта: sega-w92@mail.ru; Адрес для переписки: 614013 Пермь, Ак. Королева, 1, БОН, 4 этаж, ком. 401; Телефон: +7 (952) 321-79-25

Для создания композитных изделий часто требуется применение комбинаций из нескольких материалов, использование большого количества слоев, уложенных в различных направлениях, правильного подбора последовательности их укладки и т.д. Эти особенности делают процесс разработки конструкций из композиционных материалов значительно более трудоемким в сравнении с изделиями из традиционных материалов.

В работе описана методика выбора оптимальных характеристик материала изделия из композиционного материала путем исследования поведения конструкции под действием комплекса динамических нагрузок. В ходе проведения расчета на основе выходных данных была разработана модель оболочки вращения под действием динамической нагрузки с оптимальными свойствами композиционного материала.

Ключевые слова: композиционные материалы, расчет цилиндрических оболочек, базальтовое волокно, ANSYS.

1. Введение

Объект исследования работы – моделирование эксперимента по динамическому гидронагружению оболочки вращения из композитного материала.

Цель работы – оптимизация угла намотки образца для минимизации критических напряжений и деформаций в конструкции при действии нагрузки (импульса нагружения).

В настоящее время исследованию характеристик композиционных материалов и определению напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции уделено большое внимание в научной литературе. Например, в статье [1] рассматривалось поведение композитных образцов из базальтового волокна при различных видах нагружения. Были определены свойства композита, такие как прочность на изгиб, жесткость, статическая и динамическая вязкость разрушения. С помощью микроскопа был проанализирован характер разрушения.

В работах [2, 3] рассматривалось применение тканых композитов из базальтопластика в автомобиле- и машиностроении. У композитных образцов были определены модуль Юнга, предел прочности на сдвиг и сжатие. Также уделено внимание межфазному взаимодействию волокна и связующего, были рассмотрены зависимости содержания волокна и связующего.

В [4] определено НДС при моделировании соединения металлического фланца с композитным цилиндрическим корпусом РДТТ с применением программного комплекса ANSYS. Получены зависимости формы шипа фланца от величины нагрузки внутренним давлением. Результаты моделирования показали значительное повышение механических характеристик соединения с минимальными расходами на проектирование.

В основе диссертационной работы [5] проведено исследование несущей способности петлевых соединений оболочек из композиционных материалов с металлическими включениями.

В представленной работе при помощи средств пакета Ansys Workbench была создана параметрическая трехмерная модель рассматриваемого композитного изделия, полученного методом намотки. В модуле Composite PrePost была смоделирована перекрестно-армированная слоистая структура образца. В связи с условиями работы натурального образца созданной расчетной модели в качестве используемого материала были выбраны стекловолокно и базальтовый ровинг.

При варьировании угла армирования в модели был проведен анализ изменения НДС, что позволило определить оптимальный угол намотки и локализовать элементы модели с максимальными значениями напряжений.

В работе поэтапно были выполнены следующие задачи:

- создана модель многослойной структуры оболочки вращения;
- проведен анализ НДС оболочки, нагруженной динамическим давлением;
- в ходе постановки нескольких задач был определен оптимальный угол намотки образца.

2. Постановка задачи и методы решения

Материал конструкции представляет собой композит с ортотропными свойствами, из набора слоев с перекрестной намоткой для базальтового волокна ($\pm\phi$) и слоя кольцевой намотки из стекловолокна. Эффективные свойства однонаправленных базальтового и стекловолокна задавались в цилиндрической системе координат и представлены в таблице.

Эффективные упругие свойства базальтового и стекловолокна

| Свойства ортотропного материала | Базальтовое волокно | Стекловолокно |
|--|---------------------|---------------|
| Модуль Юнга E_r , МПа | 80 527 | 71 144 |
| Модуль Юнга E_θ, E_z , МПа | 20 706 | 18 294 |
| Коэффициент Пуассона ν_θ, ν_z | 0,26 | 0,26 |
| Коэффициент Пуассона ν_z | 0,35 | 0,36 |
| Модуль сдвига G_θ, G_z , МПа | 7400 | 6100 |
| Модуль сдвига G_z , МПа | 5500 | 4900 |

В расчете было рассмотрено поведение материала конструкции при заданных различных значениях нагрузки, соответствующих нагружению оболочки в различные моменты времени, которые определялись по данным датчика давления из эксперимента по динамическому испытанию на копре. Был произведен анализ выходных данных и определена схема армирования, при которой максимальные значения напряжений и деформаций в каждом расчете были наименьшими в сравнении с другими схемами.

Рассматриваемая конструкция представляет собой оболочку вращения в форме «ракетного двигателя». Со стороны днища (левого торца) модель жестко закреплена, со стороны сопла (правого торца) – свободна. С внутренней части приложено равномерно распределенное давление на стенки оболочки (рис. 1). Постановка задачи заключалась в повторении натуральных испытаний, проводимых по схеме, представленной на рис. 1.



Рис. 1. Схема задания граничных условий и нагрузки на оболочку

Зависимость амплитуды нагружения представлена на графике (рис. 2). Максимальная величина давления достигает 60 МПа, длительность импульса равнялась 10 мс.

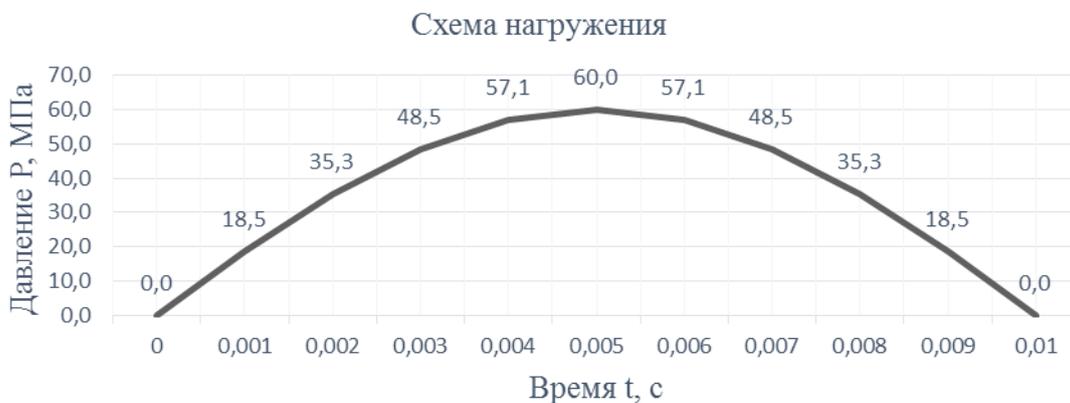


Рис. 2. Импульс нагружения

3. Результаты и обсуждение

Основная задача – постановка серии расчетов с одинаковыми граничными условиями и разными свойствами композиционного материала, зависящими от угла намотки φ , варьируемому от 10° до 80° с шагом в 5° . В каждой задаче фиксировались максимальные значения компонент напряжений в цилиндрической системе координат. С помощью полученных данных был определен оптимальный угол армирования, при котором напряжения достигают наименьшие значения, чем при другом значении угла армирования. На рис. 3 представлены зависимости максимальных напряжений по трем компонентам в цилиндрической системе координат от угла намотки.

Компоненты напряжений в трех взаимно перпендикулярных направлениях комбинировались в критерий оптимальности с учетом нормировки каждой из компонент напряжений на максимальные, рассчитанные по следующей формуле:

$$\sigma_k = \frac{\sigma_r}{\sigma_{r_{max}}} + \frac{\sigma_\theta}{\sigma_{\theta_{max}}} + \frac{\sigma_z}{\sigma_{z_{max}}}, \quad (1)$$

где σ_k – расчетный коэффициент; $\sigma_{r,\theta,z}$ – значение напряжений в модели при заданном угле намотки; $\sigma_{r,\theta,z,max}$ – максимальные значения каждой компоненты напряжений в цилиндрической системе координат среди всех значений φ .

График зависимости коэффициента напряжений от угла намотки представлен на рис. 4. Угол намотки с наименьшим коэффициентом напряжений является оптимальным. Для цилиндрической части оболочки (именно в этой части модели напряжения были максимальны) оптимальный угол армирования составил $\varphi \sim 43^\circ$.

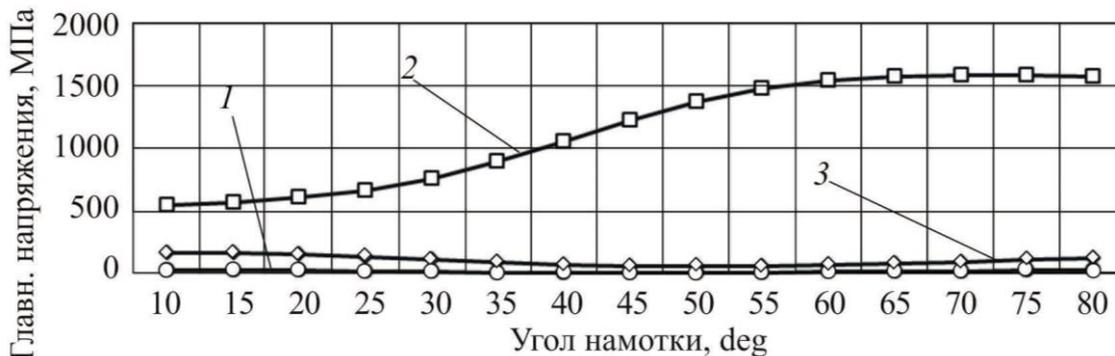


Рис. 3. График зависимости напряжений от угла намотки на цилиндрической части: 1 – радиальные напряжения по r; 2 – окружные напряжения по θ ; 3 – осевые напряжения по z



Рис. 4. График зависимости коэффициента компонент напряжений от угла намотки

4. Заключение

Проведен анализ поведения тонкостенной цилиндрической оболочки из композитного материала под действием гидростатического давления в конечно-элементном пакете Ansys. В анализе рассмотрен случай напряженно-деформированного состояния материала осесимметричной оболочки, нагруженной равномерно-распределенным давлением на внутренних стенках оболочки согласно заданному импульсу нагружения с граничными условиями, повторяющими схему закрепления образца, используемыми в натурных испытаниях. В работе рассмотрены зависимость роста напряжений от приложенного давления на внутренних стенках в различные моменты времени согласно импульсу нагружения и изменение формы оболочки.

В ходе выполнения работы было проведено моделирование структуры композитного материала с использованием базальтовых и стеклопластиковых волокон с заданным углом армирования согласно схеме намотки. Угол намотки определен как входной параметр, при варьировании которого определялись наименьшие максимальные напряжения в элементах конструкции, что позволило определить оптимальный угол намотки для данной конструкции. Были построены графики зависимости главных напряжений и деформаций от угла намотки для наглядной локализации минимума напряжений при заданном угле. В результате обработки полученных расчетных данных для цилиндрической части оболочки был определен оптимальный угол армирования – $\varphi \sim 43^\circ$.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Сколтех в рамках научного проекта MRA-319.

Литература

- 1 Czigány T. Basalt Fiber Reinforced Hybrid Polymer Composites // Materials Science Forum. – 2005. – Vols. 473–474. – P. 59–66. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.473-474.59.
- 2 Investigation of basalt fiber composite aging behavior for applications in transportation / Qiang Liu, Montgomery T. Shaw, Richard S. Parnas, Anne-Marie McDonnell // Polymer Composites. – 2006. – Vol. 27, iss. 5. – P. 475–483. – DOI: 10.1002/pc.20215.
- 3 Czigány T. Special manufacturing and characteristics of basalt fiber reinforced hybrid polypropylene composites: Mechanical properties and acoustic emission study // Composites Science and Technology. – 2006. – Vol. 66, iss. 16. – P. 3210–3220. – DOI: 10.1016/j.compscitech.2005.07.007.
- 4 Малков И. В., Сыровой Г. В., Непран И. Л. Анализ характеристик локального НДС соединения металлического фланца с композитным корпусом // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2010. – № 48. – С. 80–87.
- 5 Кашеварова Г. Г. Исследование несущей способности петлевых соединений оболочек из композиционных материалов с металлическими включениями : дисс. ... канд. техн. наук. – Пермь, 1980. – 159 с.