

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ УПРУГОСТИ СПИРАЛЬНО СВЕРНУТОГО МАТЕРИАЛА

Е. В. Решетникова, А. Е. Гилева

IDENTIFICATION OF PARAMETERS OF COMPOSITE MATERIALELASTICITY

E. V. Reshetnikova, A. E. Gileva

Исследование осуществлено при поддержке ЦНИИ специального машиностроения (г. Хотьково Московской области) по контракту № 12-05/3-13.

Статья посвящена результатами работы по разработке методики идентификации параметров упругости спирально свернутого материала. Описываются результаты вычислительных экспериментов, с помощью которых установлена зависимость между параметрами упругости материала и перемещениями конструкции. Разработаны рекомендации по проведению натурных экспериментов.

The paper is devoted to the results developing the methods of identification of parameters of composite materialelasticity. With the help of a computational experimentthe relationship between the parameters of elasticity of the material and construction displacements was discovered. Recommendations for the implementation of full-scale experiments were developed.

Ключевые слова: композиционные материалы, напряженно-деформированное состояние, идентификация параметров упругости.

Keywords: composite materials, stress-strain state, identification of parameters of elasticity.

В настоящее время композиционные материалы находят всё более широкое применение в различных отраслях промышленности в качестве конструкционных материалов. Внедрение композиционных материалов обусловлено стремлением использовать их преимущества по сравнению с традиционно используемыми металлами и сплавами. Однако наличие различных по своей природе компонентов предъявляет к композиционным материалам высокие требования по контролю состояния внутренней структуры изделия.

Важной особенностью композиционных материалов является анизотропия свойств и, в связи с этим, большое количество подлежащих определению упругих констант материала. Но так как материал формируется одновременно с конструкцией, его свойства существенно зависят от технологических факторов. Повысить объективность диагностики можно, определяя фактические физико-механические характеристики материала непосредственно в изделии. При этом нестабильность физико-механических свойств затрудняет неразрушающий контроль прочности таких конструкций [1; 2].

Традиционные методы идентификации физико-механических свойств основаны на оценивании пара-

метров материала по измерениям характеристик линейных образцов [3]. Однако в случае создания нелинейных конструкций, отсутствие таких образцов делает невозможным их применение.

Рассмотрим идентификацию параметров упругости спирально свернутого материала конической оболочки с использованием результатов натурального эксперимента над образцом, вырезанным из готового изделия. Образец представляет собой цилиндрическое кольцо и может непосредственно использоваться для определения физико-механических и теплофизических характеристик материала конструкции либо разрезаться на отдельные образцы.

Кольцо имеет радиус 282 мм, высоту 15 мм и толщину 10 мм. Конструкция задается в трехмерной ортогональной системе координат XYZ , начало которой помещено в центр нижнего основания кольца, XY образуют плоскость нижнего основания кольца, а ось Z направлена вверх, параллельно образующей. Помимо этой системы координат для удобства анализа откликов (перемещений) они рассматриваются также в цилиндрической системе FZ , где F – центральный угол узла поперечного сечения кольца плоскостью $Z = \text{const}$ (рис. 1).

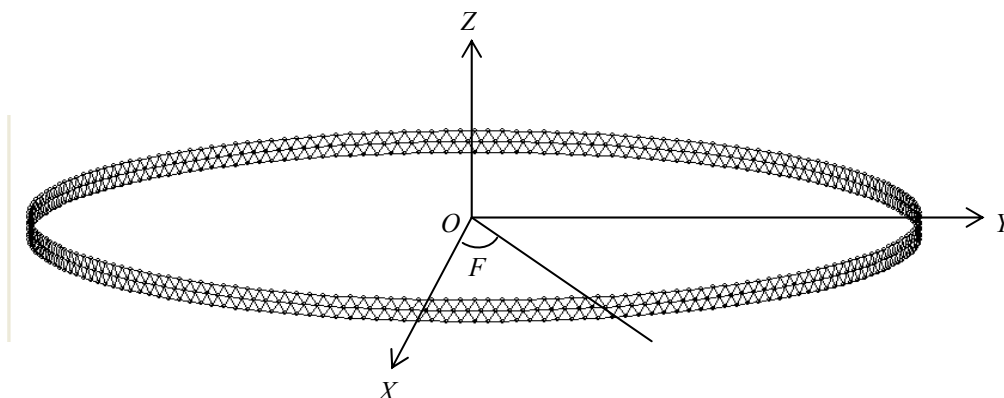


Рис. 1. Сетка конечных элементов кольца в декартовой и цилиндрической системе координат

Расчет напряженно-деформированного состояния конструкции проводился методом конечных элементов в пакете программ «Композит» [4]. Кольцо разбивалось на равносторонние треугольники по схеме, представленной на рис. 1.

Для проверки сходимости метода расчета напряженно-деформированного состояния конструкции использовался метод Рунге. Исследовалась оценка погрешности вычисления прогибов. К конструкции была приложена распирающая нагрузка в 10 кг, равномерно распределенная по узлам двух противоположных образующих. Результаты вычисления прогибов в узле с координатами (358,2, 15 мм) приведены в таблице.

Как видно из таблицы погрешность вычислений предложенным выше методом уменьшается на порядок с увеличением элементов в два раза. Что свидетельствует о сходимости решения к точному. Для проведения вычислительных экспериментов по выявлению зависимости параметров упругости от перемещений, вызванных определенными нагрузками

образца, использовалось разбиение модели на 4000 элементов.

Таблица

<i>W</i>	<i>Оценка погрешности по методу Рунге</i>	<i>Число элементов</i>
6,2927	0,005467	800
6,2968	0,001333	4000
6,2978	0,0004	7200
6,2981		12800

Первый вычислительный эксперимент проводился над конструкцией подверженной распирающей нагрузке в 10 кг, равномерно распределенной по узлам двух противоположных образующих кольца. Наибольших значений при первой схеме нагружения достигают прогибы (перемещения по нормали к поверхности кольца) и окружные перемещения (рис. 2б, в). Перемещения вдоль образующей незначительны (рис. 2а).

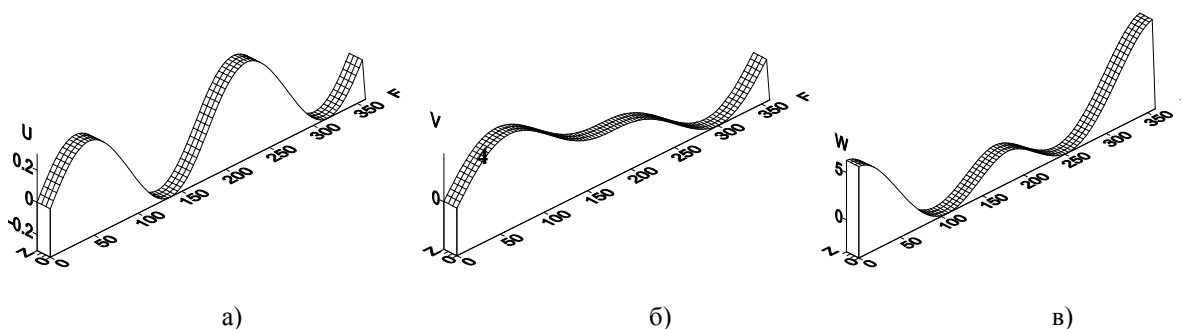


Рис. 2. Перемещения кольца под действием распирающей нагрузки: а) вдоль образующей, б) окружные, в) прогибы

Результаты вычислительного эксперимента показали, что при данных углах армирования такой тип нагружения позволяет установить зависимость модуля упругости материала вдоль утка (E_2) от перемещений. Зависимость близка к линейной (рис. 3). Причем зависимость E_2 от окружных перемещений (рис. 3б)

прямая, а от меридиональных и прогибов обратная (рис. 3а, в).

Установить зависимость первого модуля упругости E_1 (вдоль основы ткани) от перемещений удалось, используя нагрузку по 100 кг, направленную по образующей и приложенную в трех узлах верхней части цилиндра, одинаково удаленных друг от друга.

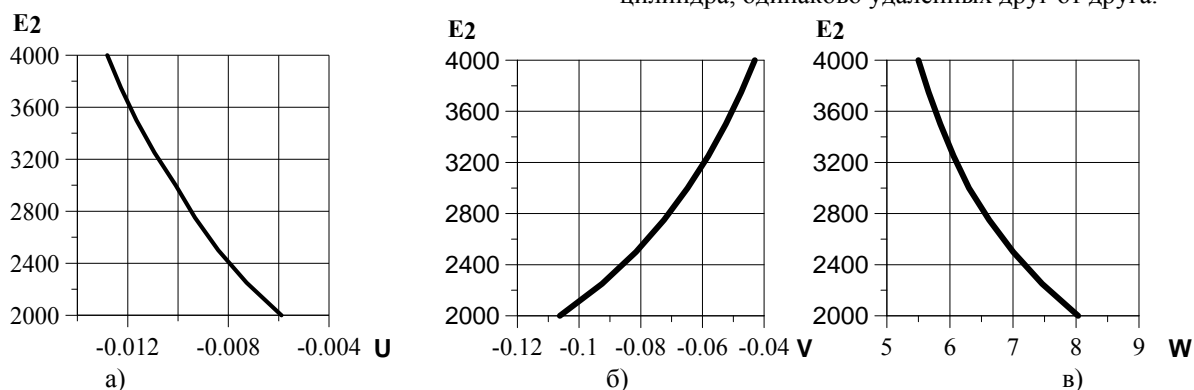


Рис. 3. Зависимость модуля упругости материала вдоль утка от перемещений: а) от меридиональных (вдоль образующей), б) от окружных, в) от прогибов

Наибольших значений при второй схеме нагружения достигают перемещения вдоль образующей (рис. 4а), прогибы и окружные перемещения (рис. 4б, в) незначительны.

На рис. 5 изображена зависимость модуля упругости E_1 от перемещений. Как видно из рисунка она близка к линейной. Причем зависимость E_1 от окруж-

ных перемещений (рис. 3б) прямая, а от меридиональных и прогибов обратная (рис. 3а, в).

Таким образом, согласно результатам вычислительного эксперимента, можно рекомендовать для проведения натурального эксперимента две вышеописанные

схемы нагружения. По результатам натурального эксперимента, используя выведенные зависимости двух модулей упругости от откликов в виде перемещений, могут быть с необходимой степенью точности получены оценки для параметров упругости материала.

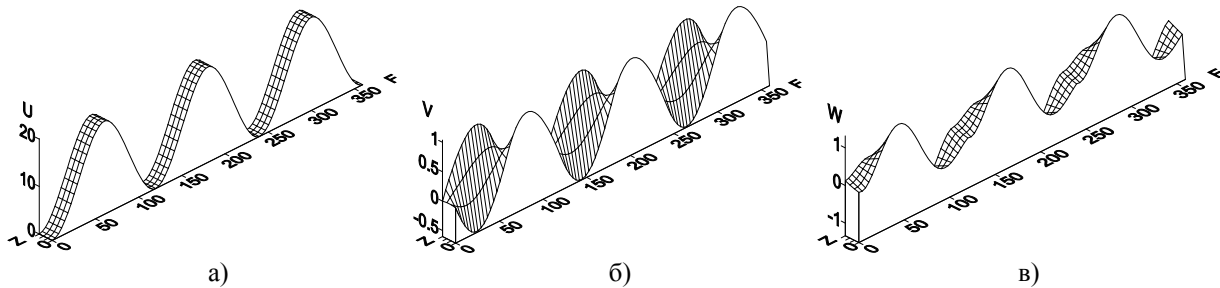


Рис. 4. Перемещения кольца под действием нагрузки вдоль образующей: а) вдоль образующей, б) окружные, в) прогибы

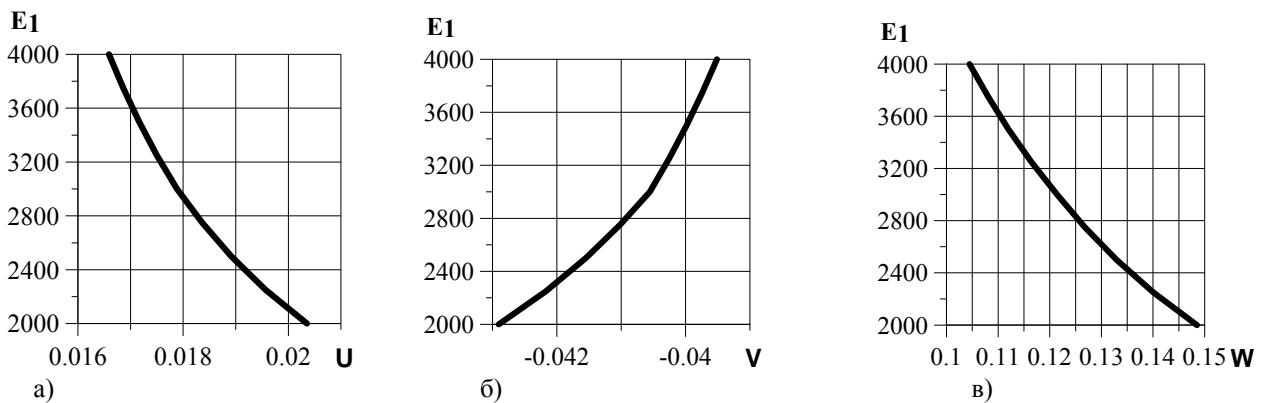


Рис. 5. Зависимость модуля упругости материала вдоль основы от перемещений: а) от меридиональных (вдоль образующей), б) от окружных, в) от прогибов

Литература

1. Каледин В. О., Миткевич А. Б., Седова Е., Аульченко С. М., Решетникова Е. В., Шпакова Ю. Моделирование статки и динамики оболочечных конструкций из композиционных материалов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. 196 с.
2. Решетникова Е. В. Численно-аналитическое моделирование статки, устойчивости и колебаний пространственно армированных оболочек вращения: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Новокузнецк, 2005. 16 с.
3. Казначеева О. К., Каледин В. О. Идентификация параметров упругости и жесткости конструкций из армированных материалов: монография. Новочеркасск: ЛИК, 2012. 135 с.
4. Каледин В. О., Нагайцева Н. В., Равковская Е. В., Решетникова Е. В. Применение объектной декомпозиции математических моделей при разработке программного комплекса // В мире научных открытий. 2013. № 10(46). С. 121 – 141.

Информация об авторах:

Решетникова Елена Васильевна – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой математики и математического моделирования Новокузнецкого института (филиала) КемГУ, elenares@yandex.ru.

Elena V. Reshetnikova – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Mathematics and Mathematical Modelling, Novokuznetsk Institute (branch) of Kemerovo State University.

Гилева Анна Евгеньевна – магистрант 2-го года обучения кафедры математики и математического моделирования Новокузнецкого института (филиала) КемГУ, 8(3843)74-46-78.

Anna E. Gileva – Master’s Degree student at the Department of Mathematics and Mathematical Modelling, Novokuznetsk Institute (branch) of Kemerovo State University.

Статья поступила в редколлегию 28 июля 2014 г.