

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

1

DOI: 10.17223/9785946217408/322

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ДИНАМИЧЕСКОГО ОТКЛИКА
НА НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ УГЛЕПЛАСТИКОВЫХ КОМПОЗИТОВ
ОСНОВАННЫЙ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ЛАЗЕРНОЙ ДОПЛЕРОВСКОЙ
ВИБРОМЕТРИИ И КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Красновейкин В.А., Коноваленко Ив.С.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

В настоящее время в авиакосмической отрасли при создании различных конструкций широко используются углепластиковые композиты. Это обусловлено их высокими удельными механическими характеристиками [1]. Конструкции, создаваемые с использованием углепластиковых композитов, эксплуатируются в условиях широкого спектра динамических нагрузок. В связи с этим, знание особенностей поведения данного материала в условиях подобных нагрузок является важнейшим условием устойчивой и безотказной работы всей конструкции. Экспериментальные исследования динамического отклика углепластиковых композитов в условиях нестационарных воздействий на основе сканирующей лазерной доплеровской виброметрии позволяют получить распределение виброскоростей только на поверхности образца [2]. Привлечение же компьютерного моделирования к проведению вышеуказанных исследований дополняет поверхностное распределение аналогичным распределением виброскоростей в объеме. Помимо этого использование компьютерных моделей позволяет существенно сократить экспериментальную часть исследований в случае разработки углепластиковых композитов с заданными динамическими характеристиками. Данные обстоятельства явились основанием для развития методологического подхода настоящей работы.

Углепластиковые композиты обладают многоуровневой структурой. Она представляет собой набор ориентированных определенным образом слоев, последовательно наложенных друг на друга, и, залитых эпоксидной матрицей. Каждый слой состоит из жгутов, переплетенных особым образом. Каждый жгут состоит из однонаправленных углеродных волокон, размещенных в эпоксидной смоле. В развиваемом подходе механические характеристики композита, явно определённые на более низком масштабном уровне, использовались для неявного задания неоднородности его структуры на более высоком масштабном уровне. Компьютерное моделирование в работе проводилось с использованием конечно-элементного пакета программ. Эффективные механические свойства отдельного жгута рассчитывались на основе компьютерной модели его механических испытаний. Исходные данные для модели жгута брались из результатов структурных исследований композита, выполненных на основе электронной микроскопии и информации из литературных источников. Полученные эффективные свойства отдельного жгута были верифицированы существующими аналитическими моделями микромеханики [3]. Далее эффективные свойства жгута переносились в модель одного слоя композита. В данной модели переплетение жгутов моделировалось в явном виде также согласно данным структурных исследований. С целью уменьшения количества расчетов в рисунке плетения слоя выделялся его представительный элемент. Он представлял собой прямоугольный фрагмент, минимальных размеров, повторяющийся в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Модель представительного элемента с соответствующими граничными условиями и приложенными нагрузками позволяет получить механические характеристики в каждом из направлений укладки жгутов единичного слоя композита. Полученные данные использовались для определения механических параметров оставшихся слоев композита, имеющих другую ориентацию. Далее, механические свойства всего композита получались на основе соответствующих свойств составляющих его слоев при помощи классической теории слоистых материалов [4]. Верификация компьютерной модели проводилась сравнением расчетных механических свойств с экспериментальными данными для образцов с аналогичным строением. В развиваемом подходе экспериментальные данные, полученные на основе лазерной

Секция 6. Методы и средства неразрушающего контроля материалов и конструкций с иерархической структурой

доплеровской виброметрии, используются для выявления распределений динамических характеристик образцов с размерами, моделирование которых затруднительно с точки зрения затрат машинного времени.

Развитый подход был адаптирован для исследования процесса распространения упругой волны в углепластиковом композите с идеальной и дефектной структурой. Дефектность структуры композита может быть представлена ее нарушением на различных масштабных уровнях (разрыв или отсутствие жгута, использование жгута другой толщины, непрочлей слоев между собой, внутренние пустоты и трещины, отверстия и др.). На основе сопоставления данных компьютерного моделирования и лазерной доплеровской виброметрии проведено начальное исследование изменения характеристик упругой волны при прохождении через дефектную область образца. Проведена верификация компьютерной модели результатами экспериментов. (Данная модификация подхода и полученные на его основе результаты выполнены в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, направление III.23).

Развитый в работе подход также модифицирован для описания углепластиковых композитов с различной конфигурацией внутренней структуры, и исследования ее влияния на динамические характеристики материала. Внутренняя структура может меняться вследствие выбора направления укладки волокон, рисунка плетения отдельного слоя, порядка укладки таких слоев, их взаимной ориентации и т.д. С использованием модифицированной компьютерной модели проведены тестовые расчеты по исследованию связи укладки и взаимной ориентации слоев композита на его собственные формы и частоты колебаний. Данные компьютерного моделирования верифицированы экспериментальными распределениями виброскоростей, полученными в процессе прохождения упругой волны в композитах с различной внутренней структурой. (Данная модификация подхода и полученные на его основе результаты выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Томской области в рамках научного проекта № 18-41-703002\18).

Литература

1. Soutis C. Fibre reinforced composites in aircraft construction // Progress in Aerospace Sciences. 2005. V.41. P. 143–151.
2. Solodov I., Derusova D., Rahammer M. Thermosonic Chladni figures for defect-selective imaging // Ultrasonics. 2015. V. 60. 1 July 2015. P. 1–5.
3. Mouritz A.P., Gibson A.G. Fire Properties of Polymer Composite Materials. 2006. Springer. Netherlands. 408 P.
4. Koruche U.S., Patil S.F. Application of Classical Lamination Theory and Analytical Modeling of Laminates // International Research Journal of Engineering and Technology. 2015. V.02. Iss.02. P.958–965.