ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

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

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/314

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ В
КОНСТРУКЦИИ С СОТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ**

Аношкин А.Н., Головин Д.В., Пеленев К.А., Осокин В.М.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) в настоящее время находят широкое применение в конструкции авиационных двигательных установок. В составе отечественного авиационного двигателя ПД-14 предусмотрены такие изделия из ПКМ, как створка капота, лопатка спрямляющего аппарата, рабочая лопатка вентилятора, шпангоут реверсивного устройства, передний корпус рабочего вентилятора, створка реверсивного устройства, элементы звукопоглощающих конструкций внешнего и внутреннего контура. Одним из основных недостатков изделий из ПКМ является подверженность к образованию и накоплению межслоевых дефектов внутри монолитной слоистой структуры, и на границе соединения несущих оболочек с заполнителем. Расширение номенклатуры изделий из ПКМ современных авиационных двигателей влечёт за собой необходимость развития методов неразрушающего контроля (НК) [1].

В настоящее время наиболее перспективным методом оперативного НК является синхронная инфракрасная термография, реализуемая на базе мобильных комплексов. Преимуществами данного метода НК являются высокая производительность, а также возможность осуществления автоматизации процесса контроля и обработки данных. Данный метод позволяет выявлять дефекты как в тонкостенных и многослойных монолитных изделиях из ПКМ, так и в конструкциях с заполнителем. При этом для определения наиболее эффективных режимов теплового воздействия на различные конструктивные элементы деталей из ПКМ необходимым условием является проведение численного моделирования тепловых процессов протекающих при тепловом НК. Результаты численного моделирования позволяют заранее осуществлять.

Авторским коллективом ранее были проведены исследования в области численного моделирования процесса теплового контроля многослойных монолитных конструкций, что позволило сформировать основные подходы в решении данного типа задач и определить рациональные способы тепловых воздействий на объект исследования [2]. На текущем этапе исследований практический интерес вызывает моделирование тепловых процессов в конструктивно-подобных элементах (КПЭ) полноразмерных деталей из ПКМ с сотовым заполнителем.

В качестве объекта исследования в настоящей работе был выбран конструктивно-подобных элементов в виде трёхслойной панели с сотовым заполнителем. Верхняя оболочка образца состоит из 5 слоев углепластика на основе однонаправленного препрега со схемой армирования $[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ/0^\circ]$, нижняя из 5 слоев стеклопластика на основе равнопрочного препрега. В качестве заполнителя был использован стеклосотопласт, соединенный с оболочками посредством пленочного клея. При этом в конструкцию панели внедрены элементы из фторопласта, имитирующие дефекты в виде отслоения оболочки от сотового заполнителя. Данные имитаторы дефектов расположены на границе соединения верхней оболочки с сотовым заполнителем.

Для численного моделирования использовался программный продукт конечно-элементного моделирования Ansys 14.5 Transient thermal. В математической модели расчета учитывались такие механизмы теплопередачи, как теплопроводность внутри материала, конвективный и лучистый теплообмен с окружающей средой. Механизм теплопроводности в модели описывается уравнением нестационарного распределения тепла в анизотропном материале. Тепловые потери с поверхности образца от конвективного и лучистого теплообмена с окружающей средой описывались законами Ньютона и Стефана-Больцмана. Предварительное решение задачи теплового контроля конструкции с сотовым заполнителем осуществлялось в плоской постановке. Такой подход позволил определить контактные

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

условия на границе между сотовым наполнителем и несущими оболочками в виде галтелей из пленочного клея.

Основными исходными данными, помимо геометрической модели, задавались значения плотности, теплоемкости и теплопроводности материалов. Учет анизотропии параметров ТФХ углепластика и стеклопластика производилось за счет указания значений теплопроводности вдоль и поперек направления волокон, а также по толщине. Учет конвективного теплообмена с окружающей средой определялся условиями температуры окружающей среды 22 °С, коэффициентом теплопередачи на границе с воздушной средой 5 Вт/м²·К. Лучистый обмен с окружающей средой определялся коэффициентом излучения углепластика равным 0,9, и стеклопластика равным 0,85. В ходе численного расчета моделировалось воздействие двух тепловых волн синусоидальной формы со значением максимальной плотности равной 3600 Вт/м² и частоты 0,0485 Гц. На рисунке 1 представлен пример полученных значений распределений температурных полей в расчётной модели. По результатам численного моделирования была произведена оценка максимального дифференциального температурного сигнала на поверхности объекта контроля, который располагался в диапазоне от 6 до 8 К для различных расчётных случаев. Была произведена оценка начала уверенного выявления дефектов, что представляет собой момент времени, при котором достигалось значение теплового контраста, превышающее типичное значение в 0,8 К. Определено, что дефекты начали уверенно проявляться в течение 7-8 секунд после начала теплового воздействия.

Рис. 1. Распределение температурных полей в области дефекта, а – общий вид панели, б – температурные поля на поверхности верхней оболочки

В результате проведенных исследований были получены значения тепловых полей в дефектных и бездефектных областях образцов КПЭ конструкций с наполнителем. Определены основные параметры процесса теплового контроля, такие как распределение температурного поля на поверхности объекта контроля, значение дифференциального температурного сигнала, время начала проявления дефектов. В дальнейшей исследовательской работе для оценки адекватности математической модели планируется провести сравнение результатов численного расчета с экспериментальными данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор № 03.G25.31.0232) в рамках реализации Постановления Правительства РФ №218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

1. Аношкин А.Н., Сальников А.Ф., Осокин В.М. и др. Неразрушающий контроль изделий из полимерных композиционных материалов // IV Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники. Материалы конференции. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. С. 85-90.
2. Anoshkin A.N., Golovin D.V., Pelenev K.A., Osokin V.M. Numerical Modeling of the Synchronous Infrared Thermography of Composite Materials Structures, AIP Conference Proceedings, 2051, 020015 (2018).