

О Т З Ы В

официального оппонента

на диссертацию Насонова Федора Андреевича

«Исследование дефектов крепежных отверстий и разработка способов снижения их влияния на несущую способность эпоксиглепластиков», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)»

Диссертация Насонова Ф.А. посвящена актуальной научно-технической проблеме – разработке и оценке эффективности материаловедческих и технологических подходов в решении проблемы снижения влияния производственных и эксплуатационных дефектов в отверстиях монолитных конструкционных эпоксидных углепластиков на несущую способность авиационных конструкций. Актуальность постановки и решения поставленных задач определяется постоянно растущими объемами применения деталей и агрегатов из полимерных композиционных материалов (ПКМ), в ответственных и нагруженных узлах современных и перспективных летательных аппаратов (ЛА), в том числе, в ресурсоограничивающих зонах. Полимерные углепластики, как материалы с высокими удельными упруго-прочностными свойствами, также имеют и особенности, которые необходимо учитывать при проектировании и изготовлении деталей из них: высокая чувствительность к дефектам, наносимых при механической обработке при образовании отверстий для крепежных элементов. Поэтому объективной необходимостью является выработка комплексных решений, направленных на оптимизацию процессов и условий механической обработки углепластиков (при невозможности вообще отказаться от нее), а также поиска и реализации выгодных конструктивных решений по оформлению отверстий под точечные механические соединения.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, раздела с основными результатами и выводами по работе и списка использованной литературы из

88 наименований. Общий объем диссертации составляет 151 страницу, включая 79 рисунков, 18 таблиц. Автореферат диссертации содержит 23 страницы, в том числе 11 рисунков и 2 таблицы.

Во введении автор говорит об актуальности темы диссертации, формулирует цель и задачи работы, указывает основные результаты исследований, научную новизну и практическую значимость, обуславливается достоверность и обоснованность результатов исследований и измерений. В разделе «Апробация работы» перечислены основная часть форумов, на которых диссертант демонстрировал научной общественности достижения своих исследований.

В главе «Литературный обзор» выполнен анализ научно-технической и патентной литературы по разрабатываемой тематике. Диссертант показывает широкое знание разнообразных источников, приводящих различные классификации дефектов в деталях из ПКМ, а конкретно в углепластиках, в том числе в зонах, примыкающих к отверстиям для выполнения разъемных и неразъемных механических соединений. Приведен широкий ряд подходов отечественных и зарубежных ученых и разработчиков по возможным путям решения этих проблем, конкретные примеры реализации данных подходов со своими возможностями и ограничениями.

Во второй главе представлены выбранные объекты исследования, перечислены основные методы исследований, отмечено широкое применение средств математического моделирования с использованием современного программного обеспечения как в области изучения процессов изготовления ПКМ (кинетические модели отверждения связующих), так и в области моделирования напряженно-деформированного состояния при применении конструктивно-технологического подхода к оформлению зоны отверстия в полимерном композите. Следует особо отметить широкий спектр применяемых методов неразрушающего контроля. Отмечу также созданный

в рамках работы экспериментальный «модельный материал», призванный изучить эффект модифицирования связующего и композита на его основе.

Третья глава демонстрирует разрабатываемый материаловедческий подход к управлению физико-механическими свойствами полимерных матриц – подход к управлению количеством дефектов, возникающих вследствие процессов механической обработки при образовании отверстий для крепежных элементов. Повреждаемость материала рассматривается как результат многих факторов, в т.ч. возникновения повышенных температур в зоне механической обработки, зачастую превышающих рабочие температуры материала. Проведена оценка влияния модифицирующих добавок на технологические и основные механические свойства связующего и композита на его основе. Показано, что модифицирование наноразмерным порошком стеарата цинка незначительно влияет на технологические свойства и не ухудшает основные эксплуатационные свойства материала (механические свойства, теплостойкость). Но при этом зафиксировано снижение температур в зоне механической обработки в экспериментальных матричных и углепластиковых образцах с концентрациями модификатора 0,1 – 0,3 % и 0,2 – 0,5 % соответственно. В этих же диапазонах зафиксировано снижение дефектности получаемых отверстий по критерию шероховатости внутренних поверхностей отверстий и по параметру «структурная плотность материала» (исследованного методом компьютерной рентгеновской томографии).

В четвертой главе рассмотрены результаты экспериментально-теоретических исследований возможностей конструктивно-технологического метода по упрочнению крепежных отверстий в углепластике, заключающегося в установке в отверстия втулок из материала с модулем Юнга меньшим, чем модуль Юнга основного материала. Типовой вариант решения состоит в установке стеклопластиковых втулок в отверстия термокомпрессионным методом. Предложена схема типового технологического процесса и даны рекомендации по назначению его главных

параметров. В работе показаны основные возможные пути повышения технологичности метода, обуславливающие потенциальные возможности его применения как в условиях серийного производства, авиаремонтных заводов, так и в полевых условиях и условиях строевых частей эксплуатантов авиационной техники.

В пятой главе приводятся результаты оценки эффективности конструктивно-технологического решения установки втулки применительно к конкретному случаю монолитной панели из углепластика с учетом реальной схемы армирования и свойств применяемых в авиапромышленности материалов. Так, например, проведено компьютерное моделирование работы углепластиковых элементов, содержащих отверстие под крепеж и отверстие, подкрепленное стеклопластиковой втулкой. Подчеркивается, что в модели учтены материальные свойства и схема армирования стеклопластикового элемента. Хорошую сходимость между собой показали результаты КЭ-моделирования и результаты оценки эффективности конструктивно-технологического решения в соответствии с описанной моделью «затупления отверстия» и сравнительных механических испытаний реальных образцов.

Научная новизна диссертации прежде всего заключается:

- в анализе причин возникновения дефектов в отверстиях ПКМ, позволившем определить материаловедческие и конструкторско-технологические возможности снижения их негативного влияния на несущую способность монолитных эпоксиуглепластиков;

- в обосновании и экспериментальном выявлении принципиальных возможностей, закономерностей и эффективности снижения дефектности отвержденного полимерного связующего и ПКМ на его основе, возникающей при различных видах их механообработки, с помощью целевого модифицирования;

- в установлении теоретическим анализом, компьютерным моделированием и экспериментальными исследованиями механизма и эффективности снижения негативного влияния дефектности ПКМ в крепежных отверстиях установкой в них композитных стеклопластиковых втулок, дающих возможность обеспечить повышение несущей способности механических соединений.

Практическая значимость работы состоит в исследовании и проработке материаловедческих и конструктивно-технологических решений, позволивших за счет применения комплексного подхода снизить количество дефектов при механической обработке при образовании отверстий в углепластике на этапах от создания материала до изготовления деталей, что в целом положительно повлияет на надежность и ресурс композитных деталей и узлов и авиационных изделий в сборе.

В качестве недостатков следует отметить следующие замечания и вопросы.

1. Не уделено достаточного внимания вопросу, насколько трудоемко будет провести модификацию связующего и композиционного материала на его основе, если будет принято такое решение. Какой объем сертификационных испытаний должен будет пройти этот материал?

2. При проведении эксперимента по измерению температур резания экспериментальных образцов не обоснован выбор параметров режимов резания и режущий инструмент.

3. В работе не приведено хотя бы приблизительной оценки увеличения трудоемкости изготовления изделия при реализации термокомпрессионного метода установки подкрепляющих втулок в сравнении с деталями, в которых установка втулок не производится. На сколько в среднем вырастет цикл изготовления типичной композитной детали и соответственно себестоимость ее изготовления? Какова трудоемкость изготовления и установки одной втулки и как на нее может повлиять увеличение тиражности изготовления?

Однако указанные замечания не снижают научной ценности и актуальности диссертационной работы. В заключение отмечаю, что достоинства работы превалируют над некоторыми высказанными замечаниями. Считаю, что цель диссертационной работы достигнута. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, содержит результаты, обладающие научной новизной, имеющие практическую значимость и отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям. Диссертант является вполне сложившимся специалистом в области полимерных материалов. Рекомендую ему продолжить работу в данном направлении. Результаты исследований диссертанта достаточно полно освещены в специализированных изданиях, доступных широкой научной и производственной общественности, докладывались на многочисленных конференциях, в том числе международных. Автореферат диссертации в полной мере отражает основное содержание работы. Считаю, что Насонов Федор Андреевич заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 «Материаловедение (машиностроение)».

Официальный оппонент,
начальник Научно-исследовательского комплекса
ФГУП ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского,
д.т.н., проф.

Ковалев
05.12.18

И.Е. Ковалев

140180, Московская область, г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1.
kovalev@tsagi.ru
+7(495)556-40-04

Подпись И.Е.Ковалева заверяю

Ученый секретарь Ученого совета



Таковицкий
05.12.18

С.А.Таковицкий