

# **Отзыв официального оппонента**

**кандидата технических наук Комиссара Олега Николаевича  
на диссертационную работу Титова Сергея Анатольевича  
«Методика обеспечения повышения несущей способности конструкций  
из полимерных композиционных материалов и продления их ресурса»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и  
производство летательных аппаратов».**

## **1. Актуальность темы диссертации**

Ресурс конструкций являются предметом особого внимания для разработчиков и эксплуатантов авиационной техники. Несущая способность и ее восстановление при ремонте в большинстве случаев определяют безопасность и экономическую эффективность производимых изделий. Конструкции, методы оценки прочности материала и ресурса деталей, а так же соединений в случае применения металлических материалов хорошо отработаны. Для соединений в конструкциях из полимерных композиционных материалов (ПКМ) с применением крепежных элементов из титанового сплава необходимы дополнительные исследования в части обеспечения плотных посадок соединительных металлических элементов в отверстиях.

Важнейшим условием внедрения ПКМ в конструкции авиационной техники является разработка технологий и технических средств для ремонта деталей при появлении в них повреждений. Разработка технологии ремонта со сниженной трудоемкостью и с односторонним доступом к ремонтируемой детали является чрезвычайно важной задачей.

В этой связи работа Титова С.А., в которой выполняется решение данных задач применительно к стрингерным панелям интегрального типа из ПКМ крыла пассажирского самолета представляется важной и актуальной.

## **2. Степень обоснованности научных результатов исследования, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Результаты, представленные в диссертации, основываются на применение широко апробированных и принятых в эксплуатацию в ведущих предприятиях методах и инструментальных средствах исследования прочности материалов и изделий из них – CATIA analysis, NASTRAN, Abacus и др. Также расчетные оценки проводились с применением принятых энергетических критериев разрушения композитов.

Результаты исследований подтверждаются их апробацией при проведении экспериментальных исследований в лабораториях прочности ФГУП «ЦАГИ» и ИПРИМ РАНпо установленным методикам на сертифицированном оборудовании.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. №  
03 06 20 19

## **3. Достоверность материалов диссертационного исследования**

Достоверность подтверждается применением сертифицированных программ и средств САПР, включая расчеты методом конечных элементов

(МКЭ), использованием при проведении экспериментальных исследований сертифицированного оборудования, методик и стандартов, достаточным объемом экспериментальных исследований на методических и конструктивно-подобных образцах, изготовленных авиационными предприятиями и в производстве ФГУП «ЦАГИ».

#### **4. Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Несомненной новизной в результатах диссертационной работы Титова С.А. являются:

1) взаимосвязь прочности и ресурса соединений деталей из ПКМ с основными факторами, определяющими технологию их изготовления;

2) физические условия повреждения обработанных кромок деталей из ПКМ при механической лезвийной обработке и повышенных концентраций напряжений в узлах металл-композитных соединений;

3) способ заполнения повреждений на кромках деталей и зазоров в отверстиях с соединительными элементами на основе нано-модифицированной клеевой композиции с повышенными прочностными характеристиками;

4) физические основы повышения прочностных характеристик и вязкости клеевой композиции в результате диспергирования ограниченного (1-2%) количества углеродных нано-компонент (УНК);

5) метод структуризации клеевого компаунда нанотрубками с открытыми концами в процессе диспергирования;

6) метод повышения прочности и ресурса в соединениях за счет одновременной реализации нормированного натяга соединительных элементов и обработки композитной детали наномодифицированной клеевой композицией (НМК).

По результатам работы Титовым С.А. получены два свидетельства на изобретения:

- патент РФ № 2607888 от 11.01.2017 "Способ повышения прочности болтового металло-композиционного соединения";

- патент РФ № 2500706 от 10.12.2013г "Способ диспергирования наночастиц в эпоксидной смоле".

**5. Практическая значимость результатов работы** заключается в том, что в работе представлено комплексное решение, позволяющее повысить несущую способность авиационных конструкций из ПКМ, в том числе и после проведения ремонтно-восстановительных работ низкоэнергетических ударных повреждений.

Разработанные на основе выполненной работы технологические рекомендации по механической лезвийной (фрезерование, сверление) обработке ПКМ для минимизации повреждений на обрабатываемых кромках деталей, а также технология повышения прочности и ресурса металл-композитных соединений с применением наномодифицированной клеевой композицией внедрены в:

Научно-производственном комплексе (НПК) ЦАГИ при изготовлении аэродинамических моделей, а также образцов деталей из полимерных композиционных материалов (в т.ч. вырезаемых из агрегатов натуральных изделий) в обеспечении проведения прочностных испытаний объектов авиационной техники.

ПАО «Корпорация «Иркут» при подготовке образцов для испытаний на статическую прочность и усталостную долговечность.

ПАО «Корпорация «Иркут» в рекомендациях по проведению ремонтно-восстановительных работ поврежденных деталей и агрегатов из ПКМ по Гос. контракту.

## **6. Оценка содержания работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, содержит 219 страниц, включая 126 рисунков и 28 таблиц. Список цитированной литературы содержит 125 наименований.

В первой главе проведены расчетно-экспериментальные исследования усталостного разрушения крепежных элементов в металл-композитных соединениях панели крыла самолета, в том числе при предельных прикладываемых циклических нагрузках. На основании полученных результатов Титовым С.А. сформирована концепция повышения прочности и ресурса соединений в металл-композитных конструкциях с применением наномодифицированной клеевой композиции.

Во второй главе автором представлены физические основы повышения прочности и трещиностойкости полимерной матрицы в результате диспергирования в ней углеродных нано-компонент (УНК). Автором показано, что наиболее эффективными наноуглеродными компонентами являются нанотрубки с открытыми концами. Именно они положены в основу дальнейших исследований.

Титовым С.А. решена задача диспергирования УНК в эпоксидном связующем с обеспечением как излома углеродных нано-трубок, так и их равномерного распределения в клеевой композиции, а также определена рациональная объемная концентрация УНК в составе клеевой композиции.

В заключении раздела представлены положительные результаты применения разработанной композиции при упрочнении обработанных механически кромок на конструктивно-подобных образцах.

Третья глава посвящена разработке технологии размерной фрезерной обработки и сверления отформованных деталей из ПКМ с минимизацией повреждения кромок. Представлены экспериментальные исследования влияния различных технологических режимов на качество обработанных кромок ПКМ.

Титовым С.А. на основе полученных экспериментальных результатов сформулированы технологические рекомендации по механической обработке деталей из ПКМ. Показано, что в процессе квалификационных статических испытаний изготовленных элементарных образцов в количестве более 2000 шт. за счет применения разработанных рекомендаций по механической обработке деталей из ПКМ коэффициент вариации их прочностных характеристик снизился с 7% до 4%.

В четвертой главе представлены результаты комплексного применения разработанных рекомендаций для изготовления отверстий, а также устранения дефектов на кромках в отверстиях, образующиеся после механической обработки, и заполнения зазоров между крепежным элементом (болтом) и отверстием, разработанной НМК с повышенными механическими характеристиками.

Разработан способ ремонта низкоэнергетических ударных повреждений в деталях из ПКМ (в том числе при одностороннем доступе) с использованием раздвижной металлической вставки с отбортовкой, устанавливаемой после выборки поврежденного материала с нормированным натягом и нано-модифицированной клеевой композицией, обеспечивающий необходимые характеристики статической прочности и жесткости отремонтированной детали.

В результате выполненной работы автором разработана методика повышения несущей способности конструкций из полимерных композиционных материалов и продления их ресурса на основе повышения качества механической обработки деталей из ПКМ и применения упрочняющей нано-модифицированной клеевой композиции. Достижимое повышение статической прочности и ресурса узлов соединений, включая восстановительный ремонт низко энергетических ударных повреждений экспериментально подтверждено на методических и конструктивно-подобных образцах.

## **7. Замечания по диссертационной работе**

По тексту автореферата можно сделать следующие замечания:

1. Недостаточно обоснована разработанность темы диссертации, т.к. слабо представлен научный задел ученых в области диссертационного исследования.

2. Анализ влияния погрешностей изготовления проведен диссертантом для наиболее ответственных аэродинамических агрегатов самолета типа крыло. Однако полученные в аэродинамических расчетах значения допустимых отклонений не могут быть непосредственно перенесены на хвостовое оперение, агрегаты механизации крыла, лопасти винтов, лопасти вентиляторов, компрессоров и турбин в связи с существенным отличием характера обтекания и критериев расчета несущей способности.

3. Из текста автореферата не вполне ясно, для какой модели обтекания (ламинарное, турбулентное) исследовалось влияние геометрии аэродинамического профиля на характеристики.

4. В тексте автор не всегда корректно использует термины "прочность" и "несущая способность".

Однако, следует заметить, что отмеченные замечания не снижают научной и практической ценности проведенного диссертационного исследования.

## **8. Заключение.**

Представленная к защите диссертационная работа Титова С.А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе проведенных автором исследований изложено научно обоснованное решение

актуальной задачи обеспечения повышения несущей способности конструкций из ПКМ и продления их ресурса.

Намеченные в работе задачи решены, поставленная цель достигнута. Работа написана хорошим техническим языком и четко структурирована.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 5 статьях в рецензируемых изданиях из рекомендованного ВАК РФ перечня и в 22 статьях в других журналах и материалах конференций. Опубликованные работы достаточно полно отражают результаты исследований.

Все части диссертационной работы в разное время представлялись на 15 профильных научно-технических конференциях, что в полной мере характеризует проведенную апробацию полученных результатов.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Исследования проводились в рамках специальности 05.07.02 – "Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов" и соответствует паспорту указанной специальности (п.п. 12 "Технологические процессы, специальное оборудование для изготовления деталей летательных аппаратов, включая технологию изготовления деталей из композиционных материалов"; и 13 "Технологические процессы, специальное и специализированное оборудование для сборки, монтажа и испытаний, ремонта летательных аппаратов").

Работа полностью соответствует критериям, установленным в п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а сам ее автор – Титов Сергей Анатольевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Заместитель генерального директора  
АО «ОНПП «Технология» им. А.Г.Ромашина»  
по науке и развитию,  
кандидат технических наук



О.Н. Комиссар

АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина»  
Государственный научный центр Российской Федерации  
249031, г.Обнинск, Калужской области, Киевское шоссе, 15  
E-mail: info@technologiya.ru, факс (484) 396-45-75,  
Тел. (484) 399-68-68

Подпись заместителя генерального директора О.Н.Комиссара заверяю:

Начальник ОКА

АО «ОНПП «Технология» им.А.Г.Ромашина»



Е.А.Чуканова