

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор

АО «АэроКомпозит»



А.И. Гайданский

2019 г.

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Акционерного общества «АэроКомпозит» 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».

#### **Актуальность темы диссертации**

Повышение технического уровня изделий авиационной промышленности, наряду с другими факторами, связано с внедрением перспективных конструкционных материалов, к которым относятся слоистые полимерные композиционные материалы (ПКМ), обеспечивающие сочетание повышенной прочности и ресурса, а также существенно малый вес конструкций по сравнению с традиционными металлическими материалами.

Однако, современный технологический процесс их изготовления сопряжен с необходимостью проведения механической обработки деталей после формования, изготовление вырезов и отверстий под размещение металлических закладных элементов и крепежа в узлах соединения деталей, что приводит к повреждениям обрабатываемой поверхности и кромок. В ближайшей перспективе альтернативных способов обработки изделий из ПКМ не предвидится. Еще одной особенностью ПКМ является их слабая стойкость к ударным воздействиям, определяющая в частности необходимость разработки эффективных способов ремонта поврежденных деталей.

Представленная работа направлена на преодоление данных проблем

**Цель данной работы** - существенное повышение прочности и ресурса соединений в авиационных конструкциях с широким применением ПКМ, а также восстановительного ремонта низкоэнергетических ударных повреждений в деталях из ПКМ представляется актуальной и практически важной.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. №

05 06 2019

**Объектом исследований** являются авиационные конструкции с широким применением ПКМ и способы снижения повреждений, возникающих при проведении механической обработки, а также технология восстановительного ремонта.

### **Оценка содержания диссертационной работы и ее завершенность**

Содержание диссертационной работы отражает процесс поиска решений существенных задач, сформулированных соискателем и обеспечивающих достижение цели работы, в их числе исследование физических условий повреждения деталей из ПКМ при механической обработке, снижение повреждаемости на основе рационального выбора режущего инструмента и технологических параметров резания, устранение повреждений за счет обработки клеевой композицией с повышенными прочностными характеристиками и трещиностойкостью, разработка способа ремонта повреждений в деталях из ПКМ с ударными повреждениями.

*Во введении* показана актуальность исследований, направленных на снижение повреждаемости деталей из ПКМ при проведении механической обработки и изготовлении отверстий для соединения деталей, а также повышения прочности и ресурса соединений включая реализуемые при проведении ремонта.

*Первая глава* посвящена выявлению основных факторов, приводящих к снижению прочности и ресурса соединений в металло-композитных авиационных конструкциях. Им правильно установлено, что они в значительной степени связаны с повреждением деталей из ПКМ при проведении механической обработки – вырывом волокон упрочняющего наполнителя, растрескиванием связующего, локальным отрывом слоев при неудачной ориентации к направлению резания.

Предположение о снижении ресурса соединений вследствие недостаточно плотной посадки металлических соединительных элементов в отверстиях соединяемых деталей подтверждено исследованием изготовленных узлов соединений и в ресурсном прочностном эксперименте со знакопеременным нагружением. В частности, им продемонстрирована связь зазоров в соединениях с ростом концентрации напряжений и, соответственно, снижением прочности и ресурса соединений.

Показано, что близкие проблемы возникают при проведении восстановительного ремонта ударных повреждений с применением металлических накладок на поврежденные зоны, соединяемых с деталью металлическим крепежом.

С.А. Титовым правильно определены направления повышения прочности и ресурса деталей из ПКМ в соединениях и при восстановительном ремонте ударных повреждений, важнейшими из которых становятся низкоповреждающая технология механической обработки (фрезерование, сверление), разработка и применение для восстановления кромок и заполнения зазоров в соединениях нано-

модифицированной клеевой композиции с повышенными прочностными характеристиками и трещиностойкостью, разработка профилированных закладных элементов для заполнения удаленного поврежденного материала деталей, оценка рациональной предварительной затяжки соединительных элементов и закладных деталей, уменьшающей деформацию деталей в соединениях.

*Вторая глава* посвящена разработке клеевой композиции с повышенными характеристиками прочности и трещиностойкости. Несомненной научной новизной отличается предложенная модификация конструкционного клея путем диспергирования в нем углеродных наночастиц, приводящая к структуризации изотропного клеевого компаунда при электрохимическом взаимодействии с активными нано-углеродными компонентами. Структуризация приводит к существенному повышению (20-30%) прочности композиции и трещиностойкости, за счет ограничения распространения трещин в сформированной структуре.

На основе исследования взаимодействия с известными нано-компонентами показано, что наибольшей активностью отличаются углеродные нано-трубки, причем при их разломах в процессе диспергирования.

Чрезвычайно важным практическим результатом стала оценка эффективной объемной концентрации диспергируемых нано-компонент, которая составляет 1-2%. Для нее стоимость нано-модифицированной клеевой композиции возрастает незначительно по сравнению с исходной.

Практически важным для внедрения результатов диссертационной работы становится разработка способов упрочнения соединений и диспергирования нано-компонент в клеевом компаунде, защищенные патентами РФ:

- Свидетельство о государственной регистрации на изобретение «Способ повышения прочности болтового металло-композиционного соединения» № 2607888;

- Свидетельство о государственной регистрации на изобретение «Способ диспергирования наночастиц в эпоксидной смоле» № 2500706

В последующих главах представлен значительный объем экспериментальных исследований, проведенных автором в подтверждение результатов его научных исследований:

- Разработаны рекомендации для выбора эффективных технологических параметров механической обработки, позволяющие существенно снизить повреждаемость деталей из ПКМ (глава 3), а также апробированные на конструктивно-подобных образцах повышение статической прочности узлов соединений и ремонта для деталей из ПКМ (~20%) и ресурса в 4~8 раз, способ оперативного ремонта низкоэнергетических ударных повреждений в деталях из ПКМ.

В заключении отражены достаточно полно основные научные и практические результаты диссертационной работы.

*Научная новизна* диссертационной работы Титова С.А. заключается в том, что:

- Установлена взаимосвязь прочности и ресурса соединений деталей из ПКМ с основными факторами, определяющими технологию их изготовления.

– Определены физические условия повреждения обработанных кромок деталей из ПКМ при механической лезвийной обработке и повышенных концентраций напряжений в узлах металло-композитных соединений.

– Выявлены физические основы повышения прочностных характеристик и вязкости клеевой композиции в результате диспергирования ограниченного (1-2%) количества углеродных нано-компонент (УНК). Показана, наиболее высокая эффективность для структуризации клеевого компаунда нано-трубок с открытыми концами, образующиеся при их разломе в процессе диспергирования.

– Показано, что наибольшее повышение прочности и ресурса в соединениях достигается при одновременной реализации нормированного натяга соединительных элементов и обработке разработанной нано-модифицированной клеевой композицией (НМК).

Представленные научно-технические результаты защищены 2 патентами на изобретения РФ.

*Практическая значимость* результатов определяется разработанными технологическими рекомендациями по механической обработке с минимальной повреждаемостью деталей из ПКМ; снижением коэффициента вариации прочностных характеристик с 7% до 4%, при изготовлении из деталей авиационных конструкций образцов для прочностных испытаний по разработанной технологии; в способах существенного повышения статической прочности и долговечности соединений м металло-композитных конструкциях, а также восстановительного ремонта низкоэнергетических повреждений в деталях из ПКМ.

Особо стоит отметить внедрение результатов диссертационной работы Титова С.А.

*Достоверность* подтверждается применением сертифицированных программ и средств САПР, включая расчеты 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».

Научные результаты не противоречат опубликованным работам других авторов.

*Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации*

Материалы диссертационной работы являются достаточно универсальными и могут быть использованы как при разработке, изготовлении, так и при эксплуатации летательных аппаратов и других изделий с широким применением ПКМ.

Полученные результаты применимы при изготовлении деталей из ПКМ:

- аэродинамических моделей, предназначенных для трубных испытаний в ФГУП «ЦАГИ»;

- на авиационных заводах ПАО «Корпорация «Иркут», АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина», АО «АэроКомпозит».

Разработанный способ ремонта может использоваться в качестве временного оперативного решения, проведение которого возможно вне стационарных условий ремонтного завода, в частности для самолетов малой авиации с широким применением ПКМ.

#### *Публикации и апробации работы*

Представленные в диссертационной работе Титова С.А. результаты докладывались на 15 отраслевых и международных конференциях. Автором в соавторстве имеет в 5 статей в рецензируемых изданиях из рекомендованного ВАК РФ перечня и в 22 статьях в других журналах и материалах конференций. Также получено 2 свидетельства на патенты РФ.

Данный объем выступлений и публикаций показывает, что полученные в работе результаты прошли в полной мере апробацию

#### *Оценка структуры, объема и стиля диссертации и автореферата*

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем работы составляет 219 страниц, в том числе 126 рисунков и 28 таблиц. Список цитированной литературы содержит 125 наименований.

Диссертация написана хорошим научно-техническим языком, структурирована и оформлена. Материал изложен последовательно и логично.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

**В качестве замечаний по диссертационной работе можно отметить следующее:**

Результаты экспериментальных исследований, представленные в диссертационной работе получены без учета климатического воздействия и срока эксплуатации, который для изделий авиационной техники может достигать до 30-50 лет. Также не проведены исследования по воздействию авиационных технических жидкостей и топлива на нано-модифицированную клеевую композицию, предложенная к использованию в конструкциях соединений и при ремонте.

Сделанные замечания не умаляют общей положительной оценки диссертационной работы.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что диссертационная работа Титова С.А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой получено новое решение актуальной научно-технической задачи. Диссертация удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК РФ, а ее автор, Титов С.А, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».


Отзыв на диссертационную работу Титова С.А. рассмотрен и утвержден на заседании профильных специалистов структурного подразделения «Конструкторское бюро» Акционерного общества «АэроКомпозит», протокол №1 от 30 мая 2019 г.

Заместитель генерального директора  
по разработке – Главный конструктор

  
С.В. Куликов

Отзыв составил:

Начальник департамента усталостной  
прочности и ресурса,  
доктор технических наук

  
В.Е. Стрижиус

Докторская диссертация защищена по специальности  
05.22.14 – Эксплуатация воздушного транспорта

#### Сведения о ведущей организации

Акционерное общество «АэроКомпозит»

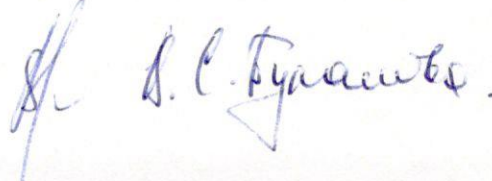
125284, г. Москва, ул. Поликарпова 23 Б, корп. 2

E-mail: [info@aerocomposit.ru](mailto:info@aerocomposit.ru)

Официальный сайт: [www.aerocomposit.ru](http://www.aerocomposit.ru)



Подписано и удостоверено  
Директор по персоналу  
и общим вопросам

  
С.В. Трушин