

В диссертационный совет
Д 212.125.10 при
ФГБОУ ВО « МАИ »

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

**доктора технических наук Литвинова Валерия Борисовича 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.

При изготовлении деталей авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) после их формования, как правило, необходима механическая обработка, для придания необходимых размеров, изготовления проемов и отверстий под крепеж, полостей под закладные детали и др. В результате механического воздействия инструментом (фреза, сверло) на слоистый композиционный материал при обработке кромок образуются повреждения, в результате чего снижается прочность деталей. Важной задачей так же является обеспечение ресурса соединений деталей из ПКМ с металлическими крепежными элементами (болты, заклепки). Одним из условий является обеспечение плотных посадок соединительных элементов, исключая зазоры между ними и отверстиями в соединяемых деталях. При знакопеременных нагрузках в отсутствие плотных посадок зазоры приводят к концентрациям напряжений.

Обеспечение плотных, беззазорных установок крепежных металлических элементов существенно осложняется большим различием в твердости металлического крепежа и композиционного материала детали. Еще одной

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 10 06 2019

актуальной задачей при эксплуатации авиационных конструкций из ПКМ является обеспечение их эффективного ремонта, традиционно выполняемого с использованием накладок, устанавливаемых с металлическим крепежом на места повреждений детали.

Снижение повреждаемости кромок деталей из ПКМ при проведении механической обработки, наряду с повышением прочности и ресурса узлов соединений деталей, в том числе и при проведении ремонта, становится важной и актуальной задачей, на решение которой направлена диссертационная работа С.А. Титова.

В ней предложено новое решение данной задачи, на основе разработанной низкоповреждающей технологии механической обработки, а также предложено упрочнение кромок деталей и устранение зазоров в соединениях на основе применения синтезированной нано-модифицированной клеевой композиции с повышенными прочностными характеристиками и трещиностойкостью.

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

Полученные научные результаты основываются на положениях теории прочности машин, механики композиционных материалов, проектирования и конструирования авиационных конструкций из ПКМ, нанотехнологии, методах и инструментальных средствах исследования прочности материалов и изделий из них, теории резания конструкционных материалов. Экспериментальные исследования проводились в специализированных лабораториях ФГУП «ЦАГИ» и ИПРИМ РАН с применением методики испытаний пластин и панелей из ПКМ на сжатие при шарнирном опирании вертикальных кромок (методика ЦАГИ 03-7535), нестандартных образцов согласно ГОСТ 14759-69 и ГОСТ 90112-73 для испытаний на прочность и долговечность клеевых соединений при сдвиге.

3. Достоверность материалов диссертационного исследования.

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 конструктивно-подобных образцах, изготовленных авиационными предприятиями и в производстве ФГУП «ЦАГИ».

Применением наиболее современного лабораторного оборудования высокого уровня, включающего оптические и электронные сканирующие микроскопы, для определения на микро- и макро- уровнях структуры полученных нано-модифицированных клеевых композиций, специализированный измерительный комплекса «NanoTest 600» (Micro Materials Ltd., Англия), позволяющий определять методом наноиндентирования механические свойства материалов в наномасштабе.

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

Несомненной новизной в результатах диссертационной работы Титова С.А. является определения физических основ повышения прочностных характеристик и вязкости клеевой композиции в результате диспергирования углеродных нано-компонент (УНК), им выявлено, что наиболее высокая эффективность для структуризации клеевого компаунда нано-трубок с открытыми концами, образующиеся при их разломе в процессе диспергирования.

Определенную новизну имеет установление взаимосвязи прочности и ресурса соединений деталей из ПКМ с основными факторами, определяющими технологию их механической обработки, а также определения физических условий повреждаемости кромок деталей из ПКМ при проведении механической лезвийной обработке, а также повышении концентраций напряжений в узлах металло-композитных соединений.

5. Практическая значимость результатов работы заключается в определении требований и формировании технологических рекомендаций для выбора рациональных параметров режущего инструмента (сверление, фрезерование) и для его применения с минимизацией повреждений кромок деталей из ПКМ; определены рациональные концентрации углеродных наноконцент обеспечивающие наибольшее повышение прочности и трещиностойкости клеевой композиции для обработки кромок и упрочнения соединений; разработана конструкция соединений деталей из ПКМ с применением нано-модифицированной клеевой композиции с повышенным до 6 раз ресурсом, получено экспериментальное подтверждение повышения прочностных и ресурсных характеристик на изготовленных конструктивно-подобных образцах; внедрение результатов диссертационной работы в:

- действующее модельное производство ФГУП «ЦАГИ»,
- ПАО «Корпорация «Иркут» при подготовке образцов для испытаний на статическую прочность и усталостную долговечность,
- АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина», при разработке рекомендаций по проведению ремонтно-восстановительных работ поврежденных деталей и агрегатов из ПКМ.

6. Оценка содержания работы.

Содержание работы полно характеризует проведенные исследования, а также получаемые при их выполнении научные и практические результаты. Изложение отличается ясностью, хорошим техническим и литературным языком. Работа изложена на 219 страницах машинописного текста, включающего введение, четыре главы, заключение и список литературы из 125 наименований. В диссертации содержится 28 таблиц, 126 рисунков и графиков.

В первой главе рассмотрены основные проблемы снижения прочности и ресурса соединений в металло-композитных авиационных конструкциях. Автор правильно отметил, что они связаны, прежде всего, с повреждением кромок деталей из ПКМ при проведении механической обработки. Показано отсутствие плотных посадок металлических соединительных элементов в

отверстиях соединяемых деталей из ПКМ, после их изготовления в заводских условиях, в том числе при проведении ремонта с применением усиливающей накладки, устанавливаемой на металлический крепеж. Автор правильно делает вывод о том, что при значительных статических и знакопеременных нагрузках разрушение деталей, как правило, начинается на поврежденных кромках.

Практически важным является заключение, сделанное С.А. Титовым о том, что повышение прочности может быть достигнуто при устранении повреждений кромок за счет нанесения упрочняющего покрытия, формирование плотных посадок, при снижении концентраций напряжений, может быть обеспечено за счет заполнения зазоров в соединениях клеевой композицией.

Автор сформировал требованиями к используемой клеевой композиции, наиболее важным из которых является повышенная вязкость, препятствующая трещинообразованию при знакопеременных нагрузках в соединениях.

Автором представлены направления повышения прочности и ресурса деталей из ПКМ в соединениях и при восстановительном ремонте ударных повреждений

Вторая глава посвящена разработке клеевой композиции с повышенными характеристиками собственной прочности и трещиностойкости.

В этом разделе Титов С.А. показывает, что повышение механических характеристик клеевых композиций на основе эпоксидных смол возможно за счет добавления в них ограниченного количества углеродных нано-компонент. За основы используется аналитическая оценка влияния нано-частиц на полимерную матрицу, полученная в ИПРИМ РАН. Автором показано, что повышение механических свойств полимерной матрицы происходит в первую очередь за счет структуризации полимера с образованием зон уплотнения вокруг добавленных нано-частиц и их агломератов. Границы зон уплотнения становятся стопперами трещин, препятствующими их распространению.

Проведены расчетно-экспериментальные исследования по выбору рационального типа и массовой концентрации нано-модифицирующих добавок

с применением метода асимптотического усреднения Н.С. Бахвалова, а также проведено компьютерное моделирование в оригинальном пакете квантово-механических программ ИПРИМ РАН (свидетельство о государственной регистрации № 2009614949 от 10.09.2009). В них получены оценки уровня взаимодействия эпоксидной матрицы с основными типами углеродных нано-компонентов (УНК). Разработан новый способ диспергирования углеродных нано-компонент с формированием их разломов непосредственно в жидком полимерном связующем, отмеченный патентом РФ.

В заключении стоит отметить, что проведенное С.А. Титовым исследование повышения механических свойств полимерной матрицы, в том числе трещиностойкости за счет структуризацией клеевого компаунда при диспергировании в нем углеродных нано-трубок представляет несомненный научно-методический интерес.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований по определению влияния основных технологических параметров механической обработки (скорость резания, определяемая скоростью вращения шпинделя и диаметром инструмента, подача температура в зоне резания, способы охлаждения зоны обработки и др.) на качество обработки деталей из ПКМ. Автором сделано правильное заключение, что масштаб внутренних повреждений при механической обработке деталей из ПКМ коррелирует с усилиями резания.

Представлены экспериментальные результаты влияния применения смазывающей охлаждающей жидкости при сверлении отверстий в деталях из ПКМ и сформулированы технологические рекомендации по низкоповреждающей механической обработке деталей из ПКМ. Полученные рекомендации были апробированы при изготовлении целого ряда тематических образцов для прочностных испытаний в обеспечение разработки натуральных авиационных конструкций. В процессе испытаний было установлено, что коэффициент вариации прочностных характеристик снижается с 7% до 4%.

Полученные автором результаты несомненно представляют практический интерес и целесообразно их применение при формировании технологических процессов механической обработки высоконагруженных деталей из ПКМ.

В четвертой главе рассмотрены экспериментальные исследования, направленные на повышение прочности и ресурса соединений деталей металлокомпозитных авиационных конструкций и их ремонта на разработанных конструктивно-подобных образцах.

Автором показано, что при реализации технологических рекомендаций по изготовлению отверстий в ПКМ и применения, разработанной наномодифицированной клеевой композиции усталостная долговечность конструктивно-подобных образцов увеличивается не менее чем в 6 раз, а прочность при растяжении - в среднем на 23%.

Применительно к восстановительному ремонту, выполняемому с применением усиливающих накладок, установленных на поврежденных деталях, показано, что применение модифицированной УНК клеевой композиции обеспечивает равномерное распределение усилий на крепежные элементы, повышая прочность отремонтированной конструкции.

Титовым С.А. на основе расчетно-экспериментальных исследований эффективности основных типов ремонта выявлены их основные достоинства и недостатки. Выполнено их аналитическое сопоставление. Сформулированы рекомендации по повышению эффективности ремонта.

Предложен принципиально новый способ ремонта низкоэнергетических ударных повреждений в деталях из ПКМ заключающийся в установке металлических вставок в детали после выборки поврежденного материала с нормированным натягом и наномодифицированной клеевой композицией. Автором экспериментально на конструктивно-подобных образцах показано восстановление несущей способности поврежденных образцов до 90-95%. Применение разработанного способа позволяет сохранить обводобразующую поверхность, также обеспечивается возможность ремонта вне заводских условий при одностороннем доступе к повреждению.

Автореферат соответствует содержанию диссертации. Результаты диссертационной работы полно освещены в 27 опубликованных печатных работах, из которых 5 – в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ.

7. Замечания по диссертационной работею

1) Результаты экспериментальных исследований, представленные в диссертационной работе получены без учета воздействия авиационных технических жидкостей и топлива на нано-модифицированную клеевую композицию.

2) В разделе 1.2 на рис. 1.11 показана зависимость коэффициентов концентрации контактных и растягивающих напряжений на контуре отверстия от величины относительного зазора между отверстием и болтом в болтовом соединении. При этом не представлена та же картина при наличии в зазоре клеевой прослойки, которая может существенно повлиять на концентрацию напряжений и соответственно несущую способность.

3) В разделе 2.1 представлено описание углеродных нанотрубок с открытыми концами, которые образуются при ультразвуковом воздействии, однако в работе не раскрыто насколько энергоэффективен такой способ распределения наноматериалов в полимерном связующем при больших производственных мощностях (масштабный фактор).

Сделанные замечания не умаляют общей положительной оценки диссертационной работы.

8. Заключение. Диссертационная работа Титова С.А. является самостоятельной, завершенной научно-квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной задачи, имеющей важное практическое значение – повышение прочности и долговечности изготавливаемых деталей авиационных конструкций, узлов их соединений и восстановительного ремонта; разработки конструкции соединений деталей из ПКМ с применением нано-модифицированной клеевой композиции с повышенным до 6 раз ресурсом, 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 обработкой нано-модифицированной клеевой композицией, позволяющий восстановить статическую прочность и жесткость отремонтированной детали, при этом не нарушается обводообразующая поверхность. Полученное решение также является актуальным для машиностроительных предприятий, осуществляющих изготовление авиационных конструкций с широким применением ПКМ.

Особое значение придает внедрение результатов диссертационной работы на ведущих авиационных предприятиях, разрабатывающих и изготавливающих конструкции из ПКМ.

Диссертация отвечает всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Титов Сергей Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов.

Официальный оппонент:

Председатель НТС
АО «РТ-Химкомпозит», член
НТС ГК «Ростех», доктор
технических наук

В.Б. Литвинов

Адрес: 119435, г. Москва, ул. Большой Саввинский пер., д. 11.
E-mail: litvinov@rt-cc.ru, тел. +7 (495) 783-6444, +7 (495) 280-12-65, доб. 103

Подпись председателя НТС АО «РТ-Химкомпозит», члена НТС ГК «Ростех», профессора, доктора технических наук, Литвинова Валерия Борисовича заверяю.

Руководитель направления
кадровой и социальной
политики
(должность)



(подпись)

Жарылкапов С.Ж./
(Фамилия И.О.)