

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Устинова Андрея Анатольевича «Расчетно-экспериментальная оценка устойчивости конструкционных клеевых соединений к критическому и докритическому росту трещин с использованием модели когезионной зоны при квазистатическом нагружении», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение

Актуальность

При создании современных аэрокосмических конструкций активно применяются различные конструкционные клеи, использование которых взамен механических и клеемеханических соединений обеспечивает существенный выигрыш в весе и герметичности конструкций. Поэтому возрастает актуальность разработки методов определения прочности и долговечности клеевых соединений, в том числе оценки их трещиностойкости.

В диссертации Устинова Андрея Анатольевича использован подход к оценке трещиностойкости и сопротивления к докритическому росту трещин клеевых соединений, основанный на использовании компьютерного моделирования и экспериментальных методик определения необходимых параметров. Для создания компьютерной модели применялась популярная программная среда ANSYS®, используемая, в том числе, при проектировании аэрокосмических конструкций. Определение свойств отечественных клеев: эпоксидных марок ВК-9, ЭПК-1 и эпоксикремнийорганического марки К-300-61, проводилось с использованием, как стандартных методик, так и с помощью их расширения с учётом актуальных разработок, представленных в литературном обзоре.

Общая характеристика работы

Во введении показана актуальность решаемой проблемы, сформулированы цель работы и вытекающие из нее решаемые задачи, основной из которых является создание численной конечно-элементной модели для анализа критической трещиностойкости клеевых соединений, а также алгоритма и методики численной оценки кинетики докритического роста трещины при длительном квазистатическом нагружении. Рассмотрены научная новизна, практическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту, достоверность и обоснованность результатов исследования, личный вклад соискателя и апробация работы.

В первой главе детально рассмотрена специфика конструкционных клеев, применяемых в ракетной и авиационной технике, представлен обзор отечественных и зарубежных научно-технических источников, посвященных прогнозированию долговечности клеевых соединений, оценке трещиностойкости и кинетике докритического роста трещин. Проводится анализ методик оценки трещиностойкости клеевых соединений, основанных на линейной упругой механике разрушения и микромеханических моделях. Показаны эффективные направления развития имеющихся методик, применительно к условиям нециклического квазистатического усталостного нагружения.

Основная часть диссертации начинается с определения параметров клеевого соединения, необходимых для создания модели когезионной зоны. Для этого были использованы как стандартные подходы (по ГОСТ 28966.1-91, ГОСТ Р 56815-2015) с некоторыми изменениями для создания модели постоянного раскрытия трещины, так и нестандартная методика, заимствованная из иностранного источника.

Первая предлагаемая в работе конечно-элементная модель разработана с использованием метода конечных элементов и модели когезионной зоны. Она создана для условий критического роста трещины конструкционного клеевого соединения и позволяет рассчитывать нагрузку начала расслоения при минимальном объеме вычислений.

Далее предлагаются алгоритм и расчетная методика для условий докритического роста трещины при квазистатической моде нагружения I, которые основываются на пошаговом прирастании трещины на длину когезионной зоны. В результате получают G-V диаграммы, которые позволяют прогнозировать статическую долговечность конструкционных клеевых соединений при условии длительного квазистатического нагружения.

После описания принципов работы модели для условий критического роста трещины и алгоритма с расчетной методикой для условий докритического роста трещины при квазистатической моде нагружения I в диссертации проведено сравнение получаемых расчётных и экспериментальных данных, которое показывает адекватность разработанной модели и методики.

Научная новизна

1. Для критического роста трещины в конструкционных клеевых соединениях разработана оригинальная 3D модель, полученная имплантацией в метод конечных элементов модели когезионной зоны, позволяющая, с использованием экспериментально определённых локальных

параметров, рассчитывать нагрузку начала расслоения с достаточно высокой требуемой точностью при минимальном объеме вычислений. Проверкой модели на адекватность показано хорошее совпадение расчетных и экспериментально полученных данных.

2. Для условий длительных квазистатических нагрузок на клеевое соединение разработаны алгоритм и расчетная методика оценки кинетики докритического роста трещин в конструкционных клеевых соединениях. Её принцип состоит в суммировании микроступенчатых подрастаний трещины на длину когезионной зоны, с использованием имплантации в метод конечных элементов модели когезионной зоны. Показано хорошее совпадение полученных расчетных данных с экспериментальными.

3. Для клеевых соединений пластин из алюминиевого сплава Д-16 и трех конструкционных клеев: эпоксидных марок ВК-9, ЭПК-1 и эпоксикремнийорганического марки К-300-61 экспериментально получены свойства когезионной зоны при разрыве по моде I и критический параметр трещиностойкости G_{IC} . Отдельно для клеевых соединений Д-16+ВК-9+Д-16 получены кинетические зависимости докритического роста трещин при длительном нагружении.

Практическая значимость

1. Методика применения модели когезионной зоны в методе конечных элементов позволяет оценить устойчивость к росту и инициированию трещин в конструкционных клеевых соединениях в элементах конструкций даже со сложной геометрией.

2. Разработанные алгоритм и методика позволяют резко сократить длительность и объем необходимых экспериментов и вычислений для оценки критериев роста трещин конструкционных клеевых соединений различной природы и геометрии.

Достоверность полученных результатов определяется хорошим совпадением численных расчётов с экспериментальными данными.

Замечания по диссертации и автореферату:

1. В диссертации и автореферате клей К-300-61 называется эпоксидным, тогда как по составу связующего он относится к эпоксикремнийорганическому. В таблице 2.1 диссертации и в табл.

1 автореферата компоненты клея К-300-61 обозначены некорректно: Декалит-6 по ОСТ 6-05-5125-82 называется смолой марки СЭДМ-6, нитрид бора обозначается в виде формулы как NB, а не NiB.

2. К сожалению, анализ докритического роста трещин в клеевых соединениях проведён только для одной марки клея .
3. Не показана возможность использования полученных характеристик степенной функции кривой докритического роста трещины для аналитического расчёта долговечности клеевых соединений.

Приведенные замечания носят рекомендательный характер и не снижают значимости проделанной работы. Диссертация написана доступным техническим языком и, в общем, производит хорошее впечатление.

Заключение:

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические решения: оригинальная 3D модель критического роста трещины в конструкционных клеевых соединениях, алгоритм и расчетная методика оценки докритического роста трещины, а также методика определения необходимых для этого параметров клеевых соединений.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 8 научно-технических конференциях, опубликованы в 12 печатных работах, в том числе 2 статьи в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в области проектирования аэрокосмических конструкций.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Устинов Андрей Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение

Кандидат химических наук, ведущий специалист
ООО «Научно-производственная фирма «Адгезив»

Специальность – 02.00.04

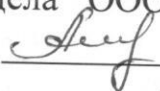
Гладких Светлана Николаевна

 С.Н. Гладких

11.11.2021

Подпись кандидата химических наук, ведущего специалиста
Гладких С.Н. заверяю

Начальник юридического и кадрового отдела ООО НПФ «Адгезив»

 Н.В. Алексеева

ООО НПФ «Адгезив»

600000 г. Владимир, ул. Б. Нижегородская 77

+79267762010

kompolit@yandex.ru

