

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Новикова Геннадия Витальевича «Оценка межслоевой трещиностойкости армированных слоистых ПКМ экспериментальными и численным методами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение

Актуальность работы. Полимерные композиционные материалы (ПКМ), в том числе и пластики, армированные непрерывными высокопрочными волокнами, в настоящее время занимают лидирующее место среди конструкционных материалов, благодаря сочетанию высокой прочности и низкого удельного веса. Подбирая соответствующим условиям эксплуатации компоненты (матрицы и волокна), схемы армирования и способов получения, можно изготавливать изделия с требуемыми свойствами. Однако за всеми преимуществами композитов стоит существенный недостаток — это низкая межслоевая прочность и трещиностойкость. Кроме этого следует отметить, что способы оценки собственно трещиностойкости, и использование ее параметров, как энергетических, так и силовых в инженерных расчетах композиционных материалов практически не развиты. Поэтому новые подходы к оценке межслоевой прочности и трещиностойкости позволят более точно прогнозировать поведение пластиков, армированных волокнами, в процессе эксплуатации и расширить область применения современных ПКМ в том числе при изготовлении силовых деталей для авиакосмической техники.

В диссертации Новикова Геннадия Витальевича разработана и применена методика оценки трещиностойкости на основе экспериментально определенных параметров закона когезионной зоны (ЗКЗ) различных по природе и составу непрерывно армированных

полимерных композиционных материалов с использованием имплантированного в метод конечных элементов ЗКЗ.

Общая характеристика работы.

В работе рассмотрены подходы к оценке трещиностойкости с помощью методов линейно-упругой механики разрушения (ЛУМР) и основной численный метод моделирования - метод конечных элементов (МКЭ). Один из основных способов численного решения различных задач механики разрушения является - метод декогезии, известный как модель когезионной зоны (МКЗ). МКЗ представляет собой, модель в которую в МКЭ имплантированы разработанные в рамках ЛУМР физические (микромеханические) модели, аналитически описывающие необратимые процессы хрупкого или псевдо-хрупкого предразрушения в локальной зоне впереди кончика трещины, развитие которых предшествует началу роста трещины и исключает сингулярность напряжения в ее вершине.

В работе исследовались 4 варианта слоистых ПКМ: углекомпозит на основе реактопластичного эпоксидного связующего (УК-ЭАП), углекомпозит на основе термопласта полиэфирэфиркетона (УК-ПЭЭК), стекло- (СК-ПКА) и органокомпозит (ОП-ПКА) на основе термопластичного поликапроамида. Для расчета длины когезионной зоны, экспериментально определены параметры ЗКЗ: локальная межслоевая прочность σ_{IC} и интенсивность высвобождения упругой энергии G_{IC} для органо-, стекло- и углекомпозитов на основе эпоксидной, ПЭЭК и ПКА матриц. Выявлены закономерности изменения этих параметров, в зависимости от природы компонентов ПКМ.

Разработана и успешно апробирована методика численного расчета закономерности изменения нагрузки на края трещины от ее раскрытия для 3D конечно-элементной модели критического роста трещины в двухконсольной балке с имплантированным билинейным и экспоненциальным законом когезионной зоны.

Научная новизна состоит в следующем:

- С помощью оригинального метода определен параметр закона когезионной зоны - локальная межслоевая прочность σ_{1C} .
- Основываясь на экспериментальном определении параметров когезионной зоны (σ_{1C} и G_{1C}) рассчитана ее длина $l_{кз}$ для слоистых композиционных материалов разной природы.
- Предпринята успешная попытка использовать энергетический параметр – трещиностойкость в расчетах силовых конструкций.

Практическая значимость заключается в возможности применения 3D конечно-элементной модели критического роста трещины, новых экспериментально полученных параметров ЗКЗ, для достоверной оценки межслоевой трещиностойкости деталей из слоистых ПКМ. Это дает возможность оценивать трещиностойкость деталей из ПКМ с применением 3D модели с апробированными интерфейсными элементами при проектировании авиакосмической техники.

Достоверность полученных результатов подтверждается совпадением численных расчётов с экспериментальными данными.

По выполненной работе возникают следующие вопросы и замечания:

1. В расчетах диссертант использовал модуль упругости ПКМ при растяжении. Повысится ли точность расчетов, если использовать модуль упругости при изгибе, учитывая тот факт, что при расслоении двухконсольной балки ее концы деформируются при изгибе?
2. Как связана длина когезионной зоны и параметр трещиностойкости G_{1C} ?
3. В главе 4 диссертантом приводятся «обработанные» и «необработанные» диаграммы расслоения двухконсольных балок. В чем заключалась дополнительная обработка диаграмм?

4. Не полностью описан механизм роста трещины, хотя в работе приведены диаграммы расслоения и фотографии образцов ПКМ после разрушения.

5. Не описана подробно оригинальная методика определения локальной межслоевой прочности, как меняется величина σ_{IC} от площади склейки.

Приведенные замечания не снижают значимости и научной ценности проделанной работы.

Заключение:

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную работу, в которой изложены научно обоснованные следующие технические решения: для 4-х типов исследуемых ПКМ с помощью экспериментально определенных параметров КЗ, рассчитана длина когезионной зоны, разработана и успешно применена 3D конечно-элементная модель образца в виде двухконсольной балки из слоистого ПКМ при нагружении по моде I для оценки трещиностойкости исследуемых типов ПКМ, определено оптимальное количество интерфейсных элементов, приходящихся на длину когезионной зоны при применении экспоненциального и билинейного ЗКЗ.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 12 научно-технических конференциях и опубликованы в 14 печатных работах, в том числе 2 статьи в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК и 1 статья в зарубежном научном издании, входящем в реферативную базу Scopus. Результаты работы могут быть использованы в авиакосмической отрасли, при проектировании высоконагруженных деталей из ПКМ.

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 Новиков Геннадий Витальевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Официальный оппонент

Старший научный сотрудник,
ФИЦ ХФ РАН, к.т.н



Солодилов Виталий Игоревич

06.12.2021г.

Подпись Солодилова Виталия Игоревича удостоверяю

(фамилия имя отчество оппонента полностью)

Ученый секретарь ФИЦХФРАН

(должность)

(подпись)

Лахизев М.Н.

(Ф.И.О.)



Адрес организации: 119991, г. Москва, ул. Косыгина, д.4.

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук

Электронный адрес: icp@chph.ras.ru

Телефон: +7(499)137-29-51