

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. Кондрашова Станислава Владимировича на диссертационную работу Новикова Геннадия Витальевича на тему: «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. В современном авиастроении спрос на применение слоистых полимерных композиционных (ПКМ) материалов растет с каждым годом. Однако, за всем комплексом преимуществ ПКМ по удельной прочности, жесткости, и, следовательно, удельному весу и стойкости к коррозии, в сравнении с традиционными видами материалов, стоит существенный недостаток – низкая межслоевая прочность и малая стойкость к распространению трещин. Адекватная оценка этих величин является актуальной проблемой всего авиастроения в целом.

В диссертации Новикова Геннадия Витальевича использован подход к оценке трещиностойкости различных по природе и составу непрерывно армированных полимерных композиционных материалов с использованием имплантированного в метод конечных элементов закона когезионной зоны (ЗКЗ) (экспоненциального и билинейного) и определенных экспериментально его параметров.

Общая характеристика работы.

В работе использовались 4 типа слоистых ПКМ: Два типа углекомполитов (УК): углекомполит на основе эпоксидного связующего (УК-ЭАП), и углекомполит на основе связующего из полиэфирэфиркетона (УК-ПЭЭК), стеклокомполит (СК-ПКА) и один органокомполит (ОП-ПКА) на основе поликапроамида. Для всех исследуемых типов ПКМ выполнен комплекс экспериментальных исследований и получены новые данные о влиянии состава ПКМ на трещиностойкость слоистых ПКМ. Экспериментально получены зависимости усилие-раскрытие трещины в процессе расслоения образцов типа

ДКБ и по ним рассчитаны критические значения интенсивности высвобождения упругой энергии при росте трещин.

Впервые экспериментально получены данные о критических параметрах закона когезионной зоны: локальной межслоевой прочности σ_{IC} , деформации при максимальной нагрузке δ_{IC} , а также ее длине $l_{кз}$ для исследованных ПКМ. Выявлены закономерности изменения этих параметров, в зависимости от природы входящих в их состав компонентов.

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

Обобщены экспериментально полученные значения критической интенсивности высвобождения упругой энергии (G_{IC}) и локальной когезионной прочности (σ_{IC}) для 4-х типов армированных слоистых ПКМ.

Разработана и исследована 3D конечно-элементная модель критического роста трещины в двухконсольной балке с имплантированным экспоненциальным и билинейным законом когезионной зоны с использованием экспериментально определенных параметров когезионной зоны и упругих констант для 4-х типов ПКМ.

Научная новизна состоит в следующих положениях:

- Разработан метод численной оценки трещиностойкости слоистых ПКМ в условиях нагружения по моде I образцов в виде двухконсольной балки, основанный на использовании физической модели Баренблатта;

- Получены экспериментальные результаты для 4-х типов ПКМ по интенсивности выделения упругой энергии G_{IC} и длине когезионной зоны.

- Показано влияние размеров интерфейсных элементов, располагающихся по длине когезионной зоны, на точность расчетов в конечно-элементной модели возникновения и развития трещины для слоистых органо-, стекло-, углекомполитов на основе терморепактивных и термопластичных матриц.

- Установлено минимально возможное без ущерба для точности вычислений количество ИЭ с экспоненциальным ЗКЗ по длине когезионной зоны для УК-ЭАП, равное 4-м при длине ИЭ 0,9 мм и для УК-ПЭЭК - 4.5 при длине ИЭ 0,2мм. Соответственно, минимально возможное количество ИЭ по длине когезионной зоны для СК-ПКА равно 5-ти при длине ИЭ 0,2 мм и для ОК-ПКА -3,6 при длине ИЭ 0,3 мм.

- Установлено, что для достижения точности расчета усилия возникновения и развития трещины, соизмеримой с достижимой при применении ИЭ с экспоненциальным ЗКЗ, необходимо использовать большее количество ИЭ с билинейным ЗКЗ. Меньшее или равное их количество приводит к значительному от 6% до 10% расхождению расчетных и экспериментальных данных.

-Показано, что для УК-ЭАП, при длине ИЭ с билинейным ЗКЗ 0,45 мм, минимально возможное их количество равно 8, для УК-ПЭЭК при длине ИЭ 0,1 мм – 8, для СК-ПКА при длине ИЭ 0,1 мм – 9 и для ОК-ПКА при длине ИЭ 0,1 мм – 11.

Практическая значимость заключается в возможности применения 3D конечно-элементной модели критического роста трещины с имплантированным законом когезионной зоны (ЗКЗ) для образца в виде двухконсольной балки при нагружении по моде I для достоверной оценки межслоевой трещиностойкости слоистых полимерных композиционных материалов. Это дает возможность использовать апробированные в 3D модели интерфейсные элементы для точной оценки трещиностойкости конструкций из ПКМ.

Достоверность полученных результатов подтверждается адекватным совпадением численных расчётов с экспериментальными данными. Установленное оптимальное количество интерфейсных элементов обеспечивает расхождение расчетных и экспериментально полученных значений не более 5% для слоистых органо-, стекло-, углекомполитов на основе терморепактивных и термопластичных матриц при допустимом минимальном объеме вычислений.

По выполненной работе следует отметить ряд замечаний:

1. Насколько обоснованным является применение модели трещины Баренблатта, которая первоначально была выведена для изотропной среды, в случае расчета разрушения ПКМ по границе связующее-волокно?
2. В ходе дальнейших исследований целесообразно установить связь между вычисленным значением длины когезионной зоны адгезионными и релаксационными характеристиками ПКМ.
3. Целесообразно было бы изложить общие выводы более компактно.

Приведенные замечания носят рекомендательный характер и не снижают значимости и научной ценности проделанной работы.

Заключение:

Представленная диссертация написана на высоком техническом уровне и представляет собой законченную работу, в которой изложены научно обоснованные технические решения: получены для 4-х типов ПКМ параметры ЗКЗ (интенсивность высвобождения упругой энергии G_{IC} и локальная когезионная прочность σ_b), разработана 3D конечно-элементная модель образца в виде двухконсольной балки из слоистого ПКМ при нагружении по моде I с билинейным и экспоненциальным ЗКЗ, и впервые проведен сравнительный анализ применения конечно-элементных моделей с билинейным и экспоненциальным ЗКЗ по определению оптимального количества интерфейсных элементов, приходящихся на длину когезионной зоны.

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 авиастроении, при проектировании ответственных 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», утвержденного 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

Заместитель начальника лаборатории

полимерных материалов со

специальными свойствами по науке

НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ,

Доктор технических наук

специальность 05.16.09 –Материаловедение

(машиностроение)

Кондрашов


2.12.2021

Станислав Владимирович

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ)

Адрес: 105005 г. Москва, ул. Радио, д.17

E-mail: priem@viam.ru

Телефон: 8(495)263-85-43

Подпись Кондрашова Станислав Владимирович удостоверяю,

Ученый секретарь «Ученого совета»

к.т.н., доцент

Свириденко


2.12.2021

Данила Сергеевич

