

ОТЗЫВ

официального оппонента Славина Андрея Вячеславовича
на диссертационную работу Синицына Артема Юрьевича
«Совершенствование процесса трансверсальной прошивки тонколистовых слоистых
эпоксигуглекомполитов и ее влияние на их деформационно-прочностные свойства и
межслоевую трещиностойкость», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по научной специальности
2.6.17. Материаловедение (технические науки)

Актуальность темы диссертации

Слоистые армированные композиционные материалы широко применяются при изготовлении элементов конструкций авиационной и ракетно-космической техники. При этом в последнее время большой интерес проявляется к безавтоклавным способам формования таких материалов. При изготовлении центроплана и панелей крыла из ПКМ самолета МС-21 используется технология вакуумной инфузии.

Однако основным недостатком композитов, формируемых методом вакуумной инфузии, является их низкая устойчивость к межслоевым расслоениям. В настоящее время одним из наиболее перспективных способов повышения такой устойчивости является трансверсальная прошивка. Машинная прошивка отличается прежде всего простотой и высокой скоростью технологического процесса, но требует его точной организации, а ее эффективность в решающей степени зависит от параметров, таких как плотность прошивки, тип, свойства прошивочных нитей и т.д.

Поэтому решение вопросов по совершенствованию процесса трансверсальной прошивки слоистых ПКМ и комплексной оценке ее эффективности являются актуальными и важными материаловедческими задачами в авиационной и ракетно-космической отраслях. Работа Синицына А.Ю. посвящена решению этих проблем.

Общая характеристика работы

Автором рассмотрены основные технологии и компоненты, применяемые при изготовлении элементов конструкций авиационной техники из слоистых армированных ПКМ, а также материаловедческо-технологические способы повышения их устойчивости к межслоевому разрушению. Обобщены данные о типах, схемах трансверсальной прошивки, а также методах оценки влияния ее параметров на устойчивость к ударным воздействиям и расслоениям.

Автором усовершенствован процесс машинной прошивки композитов на основе углеродной ткани саржевого переплетения и эпоксидного связующего в технологии вакуумной инфузии. Показано, что разработанные технические решения позволяют снизить влияние механических воздействий процесса прошивки на структурные изменения пакета слоев, и приводят к более точной и четкой организации этого процесса. При этом результаты проведенного исследования влияния параметров прошивки для двух типов нитей (арамидной и стеклянной) на деформационно-прочностные свойства слоистых углекомполитов (УКМ) в плоскости слоев свидетельствуют о том, что изменения жесткости и прочности прошитых пластин в сравнении с непрошитыми в решающей степени определяются шагом прошивки, обратным ее плотности. Чем меньше шаг, тем существеннее это влияние. Эти эффекты

более заметны при прошивке более хрупкой и менее прочной стеклянной нитью, при приложении нагрузки перпендикулярно швам прошивки и при изгибе.

С помощью специально разработанных в работе оригинальных методик определения межслоевой трещиностойкости и прочности, автором установлена четко выраженная локальность этих показателей относительно элементов прошивки (строк и узлов). Адекватность этих разработанных методик подтверждается установленными корреляционными связями интенсивности высвобождения упругой энергии, как параметра межслоевой трещиностойкости, с удельной работой разрушения узлов переплетения прошивочных нитей, стежков и областей без элементов прошивки (работой разрушения локальных контактов при отрыве). Автором также показано, что для объективной оценки межслоевой трещиностойкости прошитых ПКМ следует определять удельные локальные показатели, учитывающие направление распространения трещины и количество активных стежков, взаимодействующих с ней.

Проведенные исследования влияния прошивки на устойчивость к внеплоскостному удару показали, что решающее влияние на размеры повреждений и остаточную прочность при сжатии после удара с заданной энергией оказывают шаг прошивки и количество стежков в области удара. Приведенная потеря прочности равная отношению предела прочности при сжатии после удара прошитых образцов УКМ к прочности непрошитых, в интервале шага прошивки от 3 мм до 10 мм, уменьшается от 1,58 до 1,14, при уменьшении количества прошивок в области удара от 90 до 19 шт.

На заключительном этапе работы установлена достаточно четкая корреляционная связь между параметрами повреждаемости (глубины повреждения, отнесенной к толщине образца) и остаточной прочности после удара с параметрами локальной удельной трещиностойкости и работой разрушения локальных контактов при отрыве (определенных по разработанным методикам), умноженных на число прошивок в области удара.

Научная новизна диссертационной работы Синицына А. Ю. не вызывает сомнения и заключается в следующем:

- разработана комплексная методология оценки устойчивости прошитых тонколистовых слоистых ПКМ к расслоению с применением методики расклинивания заданной межслоевой трещины в образцах двойной консольной балки и методики отрыва локальных зон контакта слоев, с определением критических параметров межслоевой трещиностойкости при росте трещины и удельной работы разрушения контактных зон соответственно, с установлением корреляции этих показателей;

- впервые выявлены эффекты локальности и анизотропии трещиностойкости прошитых тонколистовых эпоксидных УКМ и установлена зависимость параметров трещиностойкости от количества узлов прошивки, взаимодействующих с кончиком трещины при ее прорастании;

- впервые установлено влияние плотности прошивки и энергии удара на параметры повреждаемости и остаточную прочность при сжатии после удара прошитых арамидной и стеклянной нитями образцов слоистых УКМ;

- установлено, что при трехкратном увеличении межслоевой удельной трещиностойкости в области узла прошивки, умноженной на кол-во узлов в области

удара, отнесенная к толщине образца глубина повреждения уменьшается практически в 2 раза, а остаточная прочность при сжатии после удара увеличивается на 16%.

Практическая значимость работы:

- разработаны технические решения по совершенствованию процесса машинной прошивки слоев углеродной ткани, обеспечивающие уменьшение структурных повреждений ткани и прошивочных нитей, а также обеспечивающие заданную плотность прошивки, тип стежка, предельное натяжение нитей и др. технологические параметры;

- проведенная комплексная оценка эффективности прошивки дает возможность для проведения более точного прогноза ее влияния на свойства тонколистовых эпоксидных УКМ при их применении в составе элементов конструкций авиационной и ракетно-космической техники.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием современного поверенного оборудования с лицензионным программным обеспечением. Все результаты получены в испытательной и научно-исследовательской лаборатории по разработке методов и средств определения физико-механических свойств и неразрушающего контроля изделий из полимерных композиционных материалов, аккредитованной межгосударственным авиационным комитетом (№ ИЛ – 142).

Замечания

1. В диссертационной работе исследование ограничено только тканями углеродными композитами, тогда как в авиастроении широко применяются материалы на основе однонаправленных лент. Расширение исследования на однонаправленные ПКМ повысило бы практическую ценность работы, позволив выделить общие закономерности влияния прошивки для разных типов армирования и разработать более универсальные рекомендации по ее применению.

2. В работе представлен ценный экспериментальный материал по исследованию прошитых композитов, изготовленных методом вакуумной инфузии. Вместе с тем, было бы полезно дополнить исследование анализом аналогичных материалов, полученных по RTM-технологии, которая находит широкое применение при производстве сложнопрофильных авиационных конструкций.

3. Рекомендуются рассмотреть возможность использования полученных экспериментальных данных в качестве основы для разработки численных моделей. Такой подход мог бы стать эффективным инструментом для прогнозирования эксплуатационных характеристик прошитых композитов при различных параметрах технологического процесса.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации и общей высокой оценки работы.

Считаю диссертационную работу Синицына Артема Юрьевича самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения по прошивке тонколистовых слоистых УКМ, и комплексной оценки ее влияния на изменения деформационно-прочностных свойств и устойчивость к межслоевому расслоению.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 7 научно-технических конференциях, опубликованы в 10 печатных работах, из них 2 в изданиях, входящих в перечень ВАК и 2 патента на изобретение.

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 Синицын Артем Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. – Материаловедение (технические науки).

Официальный оппонент

Начальник научно-исследовательского
отделения «Функциональные материалы
и технологии синтеза»

НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ,

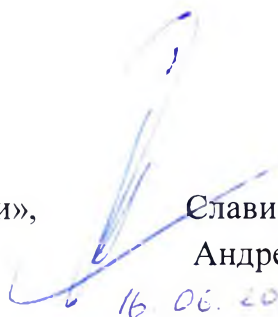
доктор технических наук

научная специальность

05.02.07 - «Технология и оборудование

механической и физико-технической обработки»,

доцент


Славин
Андрей Вячеславович
16.06.2025

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(499) 263-88-90

Подпись Славина Андрея Вячеславовича удостоверяю

Зам. председателя «Ученого совета»,
к.т.н., доцент



Свириденко
Данила Сергеевич