

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора Панина Сергея Викторовича на диссертацию Струнгарь Елены Михайловны на тему «**Неупругое деформирование и разрушение слоисто-волоконистых полимерных композитов в зонах концентрации напряжений**», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы исследований. Полимерные композиционные материалы благодаря своим высоким удельным физико-механическим свойствам широко применяются в конструкциях авиационного назначения. При проведении уточненных прочностных расчетов элементов ответственных конструкций необходимо учитывать особенности механического поведения в зонах концентрации напряжений. В связи с этим экспериментальные исследования эффектов, связанных с наличием концентраторов напряжений, на основе использования современных расчетно-экспериментальных методов механики деформируемого твердого тела представляются актуальными как с теоретической, так и с практической точек зрения.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, изложена на 171 странице, содержит 92 рисунка и 19 таблиц, библиографический список включает 181 источник.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, сформулированы цель, задачи исследования и новизна, указана научная и практическая значимость результатов, выносимых на защиту, отмечен личный вклад автора.

В первой главе приведен литературный обзор иностранных и российских публикаций, посвященных исследованию закономерностей неупругого деформирования и разрушения композиционных материалов при наличии неоднородных деформационных полей. Приведен обзор экспериментальных методов регистрации деформационных полей, а также отмечены особенности механического поведения композиционных материалов в зонах концентрации напряжений, связанные с механизмами структурного разрушения.

Вторая глава посвящена методическим вопросам проведения эксперимента с использованием цифровой оптической системы. Рассмотрены вопросы выбора параметров расчета при анализе неоднородных полей перемещений и деформаций в композитных изделиях с использованием метода корреляции цифровых изображений. Показана связь выбранных параметров корреляционного анализа и масштаба наблюдения процессов деформирования.

В третьей главе представлены экспериментальные исследования механического поведения слоисто-волоконистых композиционных материалов в области концентраторов напряжений. Оценено влияние размера отверстия и характерного размера структурных элементов композиционного материала на процессы неупругого деформирования и разрушения.

Приведены результаты экспериментального исследования влияния концентраторов на механическое поведение образцов углепластиков с различными пространственными армирующими каркасами.

Четвертая глава посвящена экспериментальному исследованию влияния заложенных (технологических) и залеченных (в результате ремонтно-восстановительных работ) дефектов на остаточную прочность элементов конструкций из композиционных материалов на основе совместного использования систем регистраций полей деформаций и температур при экспериментах на растяжение и кручение. Отдельное внимание уделено анализу эволюции полей деформаций для получения информации о характере развития повреждений.

В пятой главе рассматривается применимость метода корреляции цифровых изображений для решения проблемы рационального использования волоконно-оптических средств измерений. Показано, что использование видеосистемы для трехмерного расчета полей перемещений и деформаций позволяет выработать рекомендации по конкретному расположению и калибровке встроенных волоконно-оптических датчиков деформаций. Проведены исследования при совместном использовании указанных систем при квазистатическом и циклическом воздействии, сложных режимах с выдержками как на однородном образце, так и на образце с концентратором.

Научная новизна результатов работы заключается в получении новых экспериментальных данных о закономерностях и механизмах деформирования и разрушения образцов слоисто-волоконистых тканых и пространственно-армированных полимерных композиционных материалов. Также к элементам новизны следует отнести результаты, демонстрирующие зависимость прочности композитных объектов от соотношения размеров отверстий и характерных размеров элементов структурной неоднородности в определенном диапазоне указанных параметров. Получены новые экспериментальные данные о влиянии концентраторов на механическое поведение образцов углепластиков с различными пространственными схемами армирования. В работе впервые показана эффективность использования бесконтактной оптической видеосистемы трехмерного анализа полей перемещений и деформаций для решения задач волоконно-оптических технологий изделий из композиционных материалов.

Все сформулированные элементы новизны соответствуют следующим областям исследования паспорта специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела:

- 1) экспериментальные методы исследования процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе объектов, испытывающих фазовые структурные превращения при внешних воздействиях.
- 2) механика композитных и интеллектуальных материалов и конструкций;
- 3) теория накопления повреждений, механика разрушения твёрдых тел и критерии прочности при сложных режимах нагружения.

Теоретическая значимость результатов состоит в развитии методологических основ применения современных бесконтактных средств регистрации деформационных полей и метода корреляции цифровых изображений, а также получении на этой основе новых экспериментальных данных о закономерностях механического поведения и условиях разрушения слоисто-волоконистых полимерных композитных тел с концентраторами.

Практическое значение работы подтверждается тем, что результаты исследований используются на предприятии ПАО «ОДК-Сатурн» при оценке свойств полимерных композиционных материалов (ПКМ) в зависимости от типов переплетения при проектировании деталей из 3D-армированного ПКМ, а также в учебном процессе кафедры «Экспериментальная механика и конструкционное материаловедение» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций. Основные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, научно обоснованы и аргументированы. Достоверность результатов достигнута использованием апробированных методик экспериментальных исследований, использованием аттестованного оборудования и поверенных средств измерений в условиях аккредитованной испытательной лаборатории Центра экспериментальной механики ПНИПУ.

Апробация работы и полнота опубликованных результатов. Основные положения работы опубликованы в рецензируемых научных журналах и изданиях, включая публикации из перечня ВАК, и из баз данных Web of Science и Scopus. Результаты работы представлялись на российских и международных научных конференциях. Диссертация докладывалась и обсуждалась на научных семинарах. Рецензируемая диссертационная работа в достаточной мере опубликована и апробирована.

Замечания по содержанию и оформлению работы. По работе имеется ряд замечаний.

1. Не совсем понятна первая задача исследований, ориентированная на «анализ методических особенностей проведения испытаний с использованием цифровой оптической системы и обоснование выбора эффективных параметров математической обработки данных по методу корреляции цифровых изображений применительно к объектам из композиционных материалов». При использовании систем типа DIC есть практические рекомендации по выбору параметров построения векторных полей, в том числе используемый автором параметр «доверительный интервал». Не совсем очевидно, зачем автору было необходимо выносить эти промежуточные данные по подбору параметров построения векторных полей в качестве научного результата.
2. По мнению оппонента в качестве положения, выносимого на защиту, должно формулироваться четко структурированное обобщение, подтверждаемое полученными результатами. Однако автор попыталась в качестве большинства защищаемых положений вынести именно совокупность результатов, в то время как правильность и объективность

результатов достигается, прежде всего, за счет правильной методической постановки диссертационного исследования. Данный способ формулировки, по мнению оппонента, является не совсем удачным.

3. Автор сообщает, что в работе «выявлена связь выбранных параметров обработки экспериментальных данных методом корреляции цифровых изображений с масштабными уровнями рассмотрения процессов деформирования композиционных материалов». Термин «масштабные уровни» здесь выбран не вполне оправдано, поскольку их всего два, и их следует классифицировать как масштабы наблюдения. Вряд ли следует методический аспект выбора параметров построения векторных полей связывать с выявлением характерных масштабов локализации деформации. Кроме того, автор пишет, что «получены новые экспериментальные данные, демонстрирующие наличие масштабного эффекта прочности слоисто-волоконистых композитов с концентраторами в зависимости от структурных и размерных параметров». Указанный термин также следует считать не вполне удачным. Фактически определен размер концентратора, приводящий к выходу локализации деформации на макромасштабный уровень.

4. В работе присутствуют и другие терминологические неточности, например: «упругие участки композитов совпадают», «степень реализации закритической стадии», «возможные исходные технологические повреждения в области отверстия привели к перерезанию волокон», «несущая способность образца», «вопрос организации режима равновесного роста трещины» и др.

5. В третьей главе автор пишет, что «видеосистема обладает преимуществом по сравнению с тензорезисторами и более предпочтительна в использовании, так как позволяет увидеть полную картину распределения сдвиговых деформаций на поверхности образца». Поскольку принцип работы системы корреляции цифровых изображений априори двумерный, данное заключение не несет какой-либо новизны либо оригинальности.

6. В работе получено много новых качественных и количественных результатов, однако в выводах не содержится ни одного полученного или достигнутого численного значения, что лишает их изящности и желаемой информативности.

Высказанные замечания носят, скорее, частный характер, и не затрагивают сути основных выводов и положений, выносимых на защиту оппонируемой диссертационной работы.

Оформление диссертации. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, предъявляемыми к кандидатским диссертациям (ГОСТ Р 7.0.11-2011). Материал диссертации изложен последовательно и логично грамотным научным языком. **Автореферат** диссертации соответствует её содержанию.

Публикации по работе. Основные результаты диссертации отражены в 13 печатных трудах, рекомендованных ВАК РФ, включая 10 статей, опубликованных в изданиях, индексируемых в WoS или Scopus. Все публикации соответствуют теме диссертации.

Заключение. По актуальности избранной темы, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверности и новизне, а также значимости для науки и практики диссертация Струнгарь Елены Михайловны на тему «Неупругое деформирование и разрушение слоисто-волоконистых полимерных композитов в зонах концентрации напряжений» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Диссертационная работа соответствует требованиям П. 9 «Положения о присуждении ученых степеней ВАК Минобрнауки РФ», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842. Она является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором системных исследований получены новые результаты, вносящие существенный вклад в развитие экспериментальных методов механики деформируемого твердого тела. Диссертационная работа по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует паспорту специальности 01.02.04. Автор диссертации Струнгарь Елена Михайловна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор



С.В. Панин

Панин Сергей Викторович,
ученая степень: доктор технических наук,
шифр научной специальности: 01.02.04 –
Механика деформируемого твердого тела,
ученое звание: профессор по специальности
МДТТ, профессор РАН
должность: заведующий лабораторией механики
полимерных композиционных материалов
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт физики прочности и
материаловедения Сибирского отделения
Российской академии наук (ИФПМ СО РАН),
адрес: 634055, г. Томск, пр-т Академический,
д. 2/4,
Телефон: +7 (3822) 49-18-81,
E-mail: root@ispms.tomsk.ru

03.12.2019

подпись С.В. Панин заверяю,
Ученый секретарь ИФПМ СО РАН,
Кандидат физико-математических наук



Н.Ю. Матолыгина

Я, Панин Сергей Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документ, связанный с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

