



**САМАРСКИЙ
ПОЛИТЕХ**
Опорный университет

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение
высшего образования
«Самарский государственный
технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

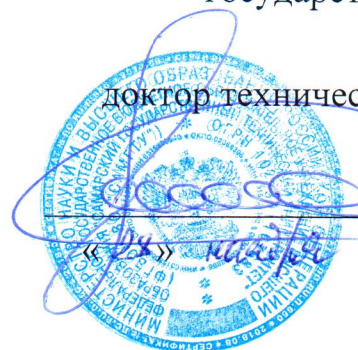
ул. Молодогвардейская, 244,
гл. корпус, г. Самара, 443100
Тел.: (846) 278-43-11, факс (846)
278-44-00

E-mail: rector@samgtu.ru
ОКПО 02068396, ОГРН
1026301167683,

ИНН 6315800040, КПП 631601001

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор – проректор по научной
работе ФГБОУ ВО «Самарский
государственный технический
университет»,
доктор технических наук, профессор



Ненашев М.В.

2019 г.

№ _____
На № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Струнгарь Елены Михайловны
выполненную на тему: «Неупругое деформирование и разрушение
слоисто-волоконистых полимерных композитов в зонах
концентрации напряжений»
и представленную к защите на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

1. Структура и объём диссертации. Диссертационная работа содержит введение, пять глав, заключение и список литературы из 181 источника, изложена на 171 странице (включая библиографический список), содержит 92 рисунка и 19 таблиц. Изложение материала четко подчинено раскрытию поставленных целей и задач исследования.

2. Актуальность исследования. Систематические и глубокие экспериментальные исследования поведения композитных материалов в зависимости от их текстуры, геометрии образцов и внешних нагрузок – одна из основных задач экспериментальной механики деформируемого твёрдого тела. Современное состояние в этой области отечественной науки, вообще

говоря, плачевное. Существуют единицы научных центров, в которых имеется комплексное сертифицированное оборудование для такого рода исследований, в одном из которых и выполнена рецензируемая диссертационная работа.

Несмотря на большое число экспериментальных подходов исследования деформационного поведения композитных материалов, в основном они позволяют лишь интегрально (по макрохарактеристикам) оценивать их прочность. Но для более детального изучения реакции композиционного материала (точнее – его текстуры), особенно для образцов с концентраторами напряжений, на внешние нагрузки необходимо иметь деформационное поле по всему объёму. Во-первых, здесь открывается возможность построения стохастических реологических моделей деформирования с последующим решением краевых задач в вероятностной постановке. Во-вторых, такой глубокий экспериментальный анализ необходим для усовершенствования текстуры (армирования) материалов для повышения их прочности или живучести при появлении дефектов. Поэтому актуальность затронутых в диссертационной работе вопросов комплексного теоретического и экспериментального исследований в области анализа закономерности формирования полей деформаций, процессов накопления повреждений, кинетики дефектов, влияния текстуры на прочностные характеристики композиционных материалов (в том числе и промышленного назначения) сомнений не вызывает.

3. Научная новизна результатов и выводов. Надёжных экспериментальных данных по исследованию деформационных и прочностных свойств композиционных материалов, полученных с использованием аттестованного оборудования и поверенных средств измерений, в отечественном научном пространстве крайне ограниченное число. В этом плане экспериментальные исследования данной диссертационной работы безусловно принадлежат к надёжным и достоверным. При анализе работ экспериментального плана в первую очередь следует дать оценку методики экспериментальных исследований, погрешности метода и новых результатов, полученных в эксперименте. Основным инструментом соискателя является метод корреляции цифровых изображений с использованием оптической системы. Несмотря на безусловные его преимущества как бесконтактного и неразрушающего, его настройка к рассмотренным композитным образцам требует большого искусства, поскольку при анализе неоднородных полей деформаций и процесса разрушения важную роль играет размер структурной неоднородности. Здесь диссертант чётко решил эту задачу и дал рекомендации по выбору размера подобласти (X) и шага (ΔX) для анализа деформаций на

макроскопическом уровне и на уровне структурной неоднородности материала. При этом для подтверждения точности измерений на основе цифровой оптической системы выполнено сравнение результатов с использованием навесного экстензометра с хорошей коррелированностью данных (погрешность отклонения около 1%).

Важные результаты получены в главе 3 при анализе механизмов неупругого деформирования и разрушения плоских композитных образцов с концентраторами напряжений. Здесь фактически исследованы механические свойства реальных 8 типов промышленных композитных материалов (хотя прямо в диссертации об этом не сказано), которые либо уже используются, либо планируются к использованию в элементах конструкций. А для инженерной практики нужна определённая паспортизация механических характеристик этих материалов и реакция элементов конструкций с концентраторами напряжений на внешние нагрузки, а на данном этапе это возможно только экспериментальным путём, что в диссертации успешно реализовано. Поэтому все полученные результаты, связанные с анализом закономерности неупругого деформирования образцов в зонах концентрации напряжений (поля продольных, поперечных и сдвиговых деформаций, диаграммы деформирования), оценкой влияния размера концентратора напряжений относительно параметров структуры слоисто-волокнутого композита на его процесс деформирования и разрушения и масштабного фактора на процессы инициирования и развития дефектов безусловно нужно отнести к новым, поскольку других (полученных теоретически) просто нет. Отдельно можно отметить предложенные рекомендации при определении механических характеристик углепластиков при сдвиге с использованием бесконтактной оптической видеосистемы.

Важные новые результаты получены в главе 4 при комплексном экспериментальном анализе деформирования и накопления повреждений в композитных образцах с концентраторами технологического или эксплуатационного характера. Прямые исследования образцов с концентраторами и такого же типа образцов с залеченными дефектами (хотя каким образом и по каким технологиям производится операция «залечивания» в диссертации не указано, но об этом речь пойдёт ниже в пункте 8) открывают ясные и прозрачные перспективы использования этих результатов для прогнозирования показателей надёжности композитных изделий (по критериям прочности) по так называемому техническому состоянию при условии залечивания дефектов на эксплуатируемом объекте. Понятно, что это позволит в более полном объёме использовать деформационные ресурсы

элементов конструкций из рассмотренных типов композиционных материалов по сравнению с назначенным ресурсом, который, как правило, назначается с большим коэффициентом запаса. Безусловно, полученные в главе 4 экспериментальные данные для двух видов нагружения (растяжение и совместные растяжение/сжатие с кручением) обладают новизной, получены впервые и являются основой для решения указанной выше задачи прогнозирования ресурса.

Заслуживают отдельного упоминания результаты главы 5, где впервые рассмотрены основные вопросы совместного использования двух независимых измерительных систем неразрушающего контроля (бесконтактной оптической видеосистемы и волоконно-оптических датчиков деформаций). Высокая степень коррелированности измерений полей деформации по этим двум системам (но, по всей видимости, на поверхности образца – в диссертации это чётко не прописано) даёт уверенность в перспективности использования волоконно-оптических датчиков для измерения трёхмерных полей деформаций, встроенных в эксплуатируемые элементы конструкций, хотя вопросов здесь возникает ещё много.

Можно также отметить, что полученная база экспериментальных данных сама по себе имеет научную ценность, во-первых, как первичная информация для построения феноменологических детерминированных и стохастических теорий неупругого деформирования и разрушения композитных материалов рассмотренных структур, во-вторых, эта информация имеет и явное прикладное значение в области паспортизации механических характеристик материалов и их использования для оценки ресурса реальных конструкций.

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

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

Отрасль «Физико-математические науки» также не вызывает сомнений, поскольку работа направлена на получение фундаментальных научных знаний

в области механики композитных материалов, а не на решение конкретных технических задач.

4. Теоретическая и практическая ценность результатов. С точки зрения внутренней логической завершенности работы соискателем сделан существенный вклад в развитие методологии использования бесконтактных средств идентификации деформационных полей и исследования на этой основе кинетики накопления поврежденности и разрушения композитных материалов с широким спектром схем армирования и компонентов, включая образцы с концентраторами напряжений. Отдельного внимания заслуживает методология совмещенной работы двух систем: бесконтактной оптической системы и встраиваемых в материал волоконно-оптических датчиков для измерения деформаций, в силу огромной важности оценки и контроля внутреннего состояния материала.

С прикладной точки зрения всё очевидно, поскольку выполнено комплексное исследование композитных материалов промышленного опытного назначения и сделаны выводы о реакции материалов на концентраторы, структуру, тип внешних нагрузок, что может непосредственно использовать в отраслях промышленности, где используются эти композиты при проектировании элементов конструкций. Вышеизложенное подтверждается соответствующими актами о внедрении результатов исследования на ПАО «ОДК-Сатурн». Не последнюю роль играет использование результатов диссертации в учебном процессе по двум дисциплинам магистерской подготовки. Очевидно, что все теоретические и экспериментальные результаты будут полезны в научных исследованиях академических институтов, организациях Высшей Школы и отраслевых научно-исследовательских институтах, занимающихся подобными проблемами.

5. Апробация работы и полнота опубликованных результатов. Основные положения рецензируемой работы в достаточной мере опубликованы в рецензируемых научных журналах и изданиях, включая публикации из перечня ВАК Минобрнауки и в изданиях из базы данных Web of Science и Scopus, и материалах ряда Международных, Всероссийских и региональных научных конференций. Поэтому считаем, что рецензируемая диссертационная работа в достаточной мере опубликована и апробирована.

6. Диссертация и автореферат написаны ясным и понятным научным языком. Содержание диссертации достаточно полно, подробно и ясно раскрывает постановку, методы и результаты решения рассмотренных задач. Автореферат в целом отражает содержание диссертации. Оформление

диссертации и автореферата в основном соответствует существующим требованиям. Судя по автореферату и диссертации основные результаты, сформулированные в пункте «Заключение», принадлежат лично автору.

7. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций. Приведённые в диссертации экспериментальные результаты получены на аттестованном оборудовании аккредитованной испытательной лаборатории «Центр экспериментальной механики ПНИПУ», одной из лучших в Российской Федерации. Используются как уже апробированные методики экспериментальных исследований, так и в определённой мере модернизированные и новые методики применительно к классу рассмотренных композиционных материалов, выполнена тщательная настройка инструментария. Полученные результаты не противоречат известным результатам в частных случаях и в определённой мере обобщают экспериментальные результаты, полученные ранее другими авторами.

8. Рекомендации по использованию результатов работы. Результаты диссертационной работы Струнгарь Е.М. могут быть использованы как в учебном процессе, так и в научных исследованиях Московского государственного технического университета имени М.Э. Баумана (г. Москва), Институте механики МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва), Санкт-Петербургском государственном университете (г. Санкт-Петербург), Пермском национальном исследовательском политехническом университете (г. Пермь), Самарском государственном техническом университете (г. Самара), Комсомольск-на-Амуре государственном университете (г. Комсомольск-на-Амуре) и во многих других высших учебных заведениях, а также в учреждениях РАН: Институте гидродинамики СО РАН (г. Новосибирск), Институте проблем механики им. А.Ю. Ишлинского (г. Москва), Институте механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь) и многих других научных и научно-исследовательских организациях, занимающихся родственными проблемами.

9. Замечания по содержанию и оформлению работы. Недостатков, ставящих под сомнение справедливость какого-либо результата, в диссертации не обнаружено. Тем не менее, замечания по диссертационной работе Е.М. Струнгарь можно квалифицировать как по оформлению диссертации, так и по существу работы.

1. Поверхностный слой плоских деталей и образцов является изначально ослабленным и, вообще говоря, с другими деформационными свойствами материала. Поэтому при использовании бесконтактных оптических методов для пластин необходимо считаться с тем, что, например, при растяжении

деформационные характеристики на поверхности будут определены верно, на глубинных слоях они могут быть другими, а это приведёт к перераспределению напряжений по объёму детали. Это касается и результатов пятой главы по совместному использованию бесконтактной оптической видеосистемы и волоконно-оптических датчиков деформаций (ВОДД). И если ВОДД расположены на поверхности детали, то определённая синхронизация результатов измерений двумя системами возможна, но если ВОДД встроены в глубинные слои, то вопрос так однозначно вряд ли можно решить.

2. Каждая глава диссертации обычно начинается с информации о том, в соответствии с какими опубликованными работами соискателя излагается материал этой главы. Это даёт представление о полноте опубликованных результатов. К сожалению, эта информация отсутствует.

К сожалению, в некоторых местах текст диссертации изложен без должных комментариев с определённой долей невнимательности, что затрудняет его понимание. Дальнейшие замечания связаны именно с этим.

3. В главе 2 имеется сбой нумерации рисунков (нет рисунка с номером 2.2). Текстуально не описаны результаты, представленные на рис 2.3, а идёт лишь ссылка на рис. 2.4, 2.5 (стр. 34). О какой пластине идёт речь, какая её толщина, как расшифровать деформации и т.д. понять из рис. 2.3-2.5 сложно.

4. В каком смысле понимать среднюю величину σ_{mean} (стр. 37)? Если речь идёт о доверительных интервалах, то σ_{mean} – это математическое ожидание? Но тогда, во-первых, с какой вероятностью они построены, во-вторых, из таблицы 2.2 следует, что σ_{mean} расположена несимметрично относительно σ_{max} и σ_{min} , в-третьих, какой закон распределения использовался?

5. В пункте 2.4 (стр. 46, 47) описана методика проверки точности видеосистемы и приводятся результаты измерений двумя методами по базе 50 мм. Но для более адекватного оценивания стохастических полей деформаций можно было бы осуществить «суммирование» всех локальных продольных деформаций по длине 50 мм (например, переходом к локальным продольным удлинениям) и сравнить конечные деформации для базы 50 мм.

6. Почему в ряде экспериментов использованы разные скорости нагружения для однотипных образцов при различных внешних воздействиях? Это же затрудняет выполнение сопоставимости результатов испытаний, поскольку, вообще говоря, скорость нагружения влияет на диаграмму деформирования, особенно при наличии у материала вязкоупругих свойств.

7. Непонятен смысл решения краевой задачи в пункте 3.3. Почему при решении материал зоны повреждения композита задавался как изотропный, а

вне её как ортотропный? Никаких комментариев по поводу решения этой задачи (за исключением данных расчёта на рис. 3.14) не последовало.

8. В главе 4 совершенно не описано, каким образом производилось залечивание дефекта, по какой технологии (используется в промышленности, разработанной диссертантом, другой?) Желательно было бы привести на рис 4.2 ещё один график для исходного (образца без дефекта), поскольку это дало бы возможность судить об остаточном ресурсе (по крайней мере, по деформационным характеристикам).

9. В незначительном количестве имеются опечатки и неточности. Так, на стр. 96 вместо ссылки на рис. 3.38 должна быть ссылка на рис. 3.39, на стр. 110 вместо рис. 10 должно быть 4.10, сбой в нумерации рисунков в главе 5: отсутствуют номера и рисунки 5.4 и 5.5. В пункте 3 выводов по главе 4 непонятно на какие характеристики можно оценить влияние технологических дефектов. Текстуально не описана величина $\varepsilon_i^0(t)$ в формуле (5.1), поэтому трактовка этой формулы затруднена.

Разумеется, отмеченные недостатки носят частный характер и ни в коей мере не влияют на общую положительную оценку работы Елены Михайловны Струнгарь.

10. Заключение по диссертации. Оценивая работу в целом, считаем, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной соискателем самостоятельно и на достаточно высоком научном уровне. Совокупность научных исследований можно классифицировать как разработку новых и модификацию известных методов экспериментального исследования процессов деформирования и разрушения композитных материалов различной структуры, в том числе с технологическими дефектами, в условиях стохастической неоднородности полей деформаций.

Полученные результаты достоверны, выводы и умозаключения обоснованы. Работа базируется на достаточном объеме полученных экспериментальных и теоретических результатов и вносит существенный вклад в соответствующий раздел механики деформируемого твердого тела.

Исходя из вышеизложенного, считаем, что диссертационная работа Струнгарь Е.М. «Неупругое деформирование и разрушение слоисто-волоконистых полимерных композитов в зонах концентрации напряжений» соответствует специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, имеет важное научное и прикладное значение, соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013

года (в редакции от 01.10.2018 года), а её автор – Струнгарь Елена Михайловна – заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Отзыв рассмотрен и утвержден на расширенном заседании кафедры «Прикладная математика и информатика» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» под председательством заведующего кафедрой, д.ф.-м.н., профессора Радченко В.П.

Присутствовало – 23 человека.

Результаты голосования: «за» – 23 человек, «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Протокол №4 от 21 ноября 2019 г.

Отзыв подготовлен:

заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет»,

доктор физико-математических наук (01.02.04),

профессор

Радченко Владимир Павлович

Служебный телефон:

8(846)3370443

E-mail: radchenko.vp@samgtu.ru

Служебный адрес:

443100, г. Самара

ул. Молодогвардейская ,244,

Главный корпус СамГТУ,

кафедра «Прикладная математика и информатика»



Радченко В.П. заверяю
учёный секретарь федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет»
Ю.А. Малиновская