

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

**Староверова Олега Александровича**

**«Деформирование и разрушение полимерных композитов в условиях комплексных механических воздействий»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 - «Механика деформируемого твёрдого тела»

### **Актуальность**

Диссертационная работа О.А. Староверова представляет собой важное научно-методическое исследование, связанное с экспериментальным анализом деформирования и разрушения композитных материалов при комплексных воздействиях. В работе рассмотрены современные слоистые и пространственно армированные волокнами материалы, работающие при приближённых к реальным условиям эксплуатации, в которых циклическое нагружение предваряет квазистатическую перегрузку, на квазистатическое растяжение накладывается высокочастотное кручение, за ударным нагружением следует квазистатический изгиб и др. Подобные исследования имеют большое значение для широкого круга практических задач. Актуальность темы не вызывает сомнения, поскольку для проектирования надежных и современных композитных конструкций высокого весового совершенства необходим инструментарий для оценки уровня повреждений и остаточной прочности после разного рода предварительных воздействий. Ввиду недостаточной развитости математических моделей, описывающих комплексные программы нагружения, необходим экспериментальный базис, на создание которого и нацелена данная работа. Актуальность темы диссертации подтверждается ещё и тем, что значительная часть результатов диссертации О.А. Староверова получена при выполнении грантов Российского научного фонда, Российского фонда фундаментальных исследований, государственных заданий Минобрнауки Российской Федерации.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературных источников. Работа изложена на 140 страницах, содержит 97 рисунков, 3 таблицы. Список литературы включает 168 источников.

**Во введении** раскрыта актуальность темы исследования, сформулированы цели и основные задачи работы. Приведены основные результаты, показана их научная новизна и практическая значимость.

**Первая глава** посвящена обзору отечественных и зарубежных литературных источников по аспектам экспериментальных исследований композитных материалов при квазистатических, циклических, ударных воздействиях, а также их сочетаниях. Определённое внимание уделено вопросам накопления повреждений, деформированию и разрушению полимерных композитов, сформулированы задачи, требующие решения в рамках данной диссертации.

**Во второй главе** приведено описание механических испытательных систем и техник неразрушающего контроля, применяемых в данной работе. Приведены отечественные и зарубежные стандарты для испытаний композитов при статических, циклических и динамических воздействиях. Справедливо отмечено, что в имеющихся стандартах не отражены вопросы сложного нагружения или чередования разнородных тестов, в связи с чем предложены определённые последовательности действий, или



методики.

**Третья глава** диссертации посвящена изучению взаимодействия циклических и квазистатических испытаний при комнатных и повышенных температурах. Получены определенные закономерности накопления повреждений (снижения жесткости) и остаточной прочности. Автор связывает снижение жёсткости со снижением остаточной прочности, что, впрочем, неудивительно для композитов, в составе которых имеются слои с ориентацией волокон в направлении нагружения. Кстати, эта связь могла бы быть сформулирована как гипотеза, доказательство которой проведено в диссертации на двух различных композитах. Расширение списка исследованных материалов с доказательством правомерности использования универсальной кривой (рис.3.6, с.52) могло бы быть темой диссертации.

В третью главу автор включил взаимодействие продольной нагрузки на стержневые образцы однонаправленной структуры и крутильных колебаний разной амплитуды. Неясно, почему в одном приспособлении (медные полугильзы) кручение снижало продольную прочность (рис.3.17, с.63), а в другом (латунные гильзы, рис.3.19, с.64) не снижало? Информация об изменении наклона ниспадающей кривой далее никак не комментируется, и в целом непонятно, как её можно использовать далее?

В итоге можно заключить, что автор разработал интересные методические приёмы для проведения испытаний, но цель этих испытаний и направления дальнейшего использования результатов неясны. Везде приводятся усилия и перемещения, а не напряжения и деформации.

**Четвертая глава** посвящена исследованию взаимодействия предварительных ударных воздействий на остаточную статическую и усталостную прочность. Гипотеза о стадийности взаимовлияния воздействий не подтвердилась. Взаимовлияние не обнаружено.

В п.4.2 исследуется остаточная прочность при сжатии слоистого углепластика со структурой  $[0/\pm 45]_n$  толщиной 4 мм после низкоскоростного удара стальным сферическим индентором с энергиями до 25 Дж. К сожалению, условия закрепления и размеры отверстия в опоре не отмечены. Анализ результатов испытаний показывает в 2-3 раза больший разброс прочности при сжатии после удара, чем у исходных образцов. Анализа этого факта в тексте не приводится

В разделе 4.3 изучается сопротивление локальному удару композитных пластин с трехмерным армированием. Приводятся их англоязычные названия, мало что говорящие о структуре. Отсутствие подобной информации затрудняет перенос результатов на другие материалы или теоретическое осмысление данных.

#### **Основные научные результаты и выводы, их новизна**

Автором исследованы прочностные характеристики стекло- и углепластиков при комплексных воздействиях. Следует отметить, что автор разработал *новые методики анализа результатов различных последовательных воздействий на материалы*, при этом сами воздействия являются типовыми, широко использующимися на практике. Поэтому говорить о «новых оригинальных методиках испытаний...» представляется неточным (п.1 Заключения, с.116). Что касается выводов по результатам испытаний (п.2-5 Заключения, с116-117), то к ним претензий нет, формулировки корректные, новизна, безусловно, присутствует.

В целом, к числу основных научных результатов работы можно отнести разработанные методические рекомендации по проведению испытаний композитных материалов, обработке и анализу опытных данных при комплексных



последовательных и дополнительных механических воздействиях; новые экспериментальные данные, отражающие влияние параметров циклических, ударных и вибрационных нагружений на механические характеристики, деформирование и разрушение волокнистых полимерных композитов в условиях комнатных и повышенных температур. Выводы содержат анализ закономерностей и особенностей механического поведения композитов при комплексных квазистатических, циклических и ударных воздействиях. Полученные автором результаты в области экспериментальных исследований процессов деформирования, повреждения и разрушения композиционных материалов при сложных режимах нагружения и диаграммы чувствительности представляют научную новизну и практический интерес.

### **Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации**

В данной диссертации, как *научно-методической работе*, проведены обширные экспериментальные исследования механического поведения стекло- и углепластиков конструкционного назначения при различных сочетаниях воздействий. В качестве разумного предположения (научной гипотезы) автор формулирует наличие *обязательной стадийности* чувствительности одного воздействия на результаты другого и обсуждает экспериментально обнаруженные критические точки на этой зависимости. Полученные результаты и выводы в диссертационной работе О.А. Староверова достаточно обоснованы и не противоречат данным, опубликованным в отечественных и зарубежных источниках.

**Достоверность экспериментальных результатов** обеспечивается корректным использованием подходов и методов экспериментальной механики деформируемого тела. Диссертант использовал в своих исследованиях современное поверенное испытательное оборудование и методики.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

*Теоретическая значимость* заключается в том, что полученные экспериментальные результаты комплексных механических воздействий на композитные материалы и методика их анализа с указанием стадий чувствительности одного воздействия на результаты другого позволяют рассматривать будущие *расчётные модели материалов* с учётом отмеченной стадийности для различных областей применения этих материалов. *Практическая значимость* результатов достаточно очевидна и заставляет проектировщиков ответственных изделий учитывать возможные снижения механических свойств после нештатных или штатных событий, что приводит к повышению надёжности композитных изделий в эксплуатации. Результаты исследований (глава 4) используются в ПАО «ОДК-Сатурн» при проектировании деталей из трёхмерно армированных ПКМ (имеется акт использования). Разработанные методики широко используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «ПНИПУ» (имеется акт внедрения).

### **Апробация результатов работы**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных и региональных конференциях, научных семинарах. Результаты исследования достаточно полно представлены в 13 публикациях, из которых пять – в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science, а восемь – в изданиях, индексируемых РИНЦ.

### **Замечания по диссертационной работе**

Замечания редакционного характера высказаны выше, при анализе содержания

работы. Замечания, по существу, приведены ниже:

1. Выбор *сочетаний воздействий и их очерёдности* в работе не обсуждается, также, как и область применения изделий с таким характером комплексного нагружения. Хотелось бы увидеть цельность всего комплекса исследований, иначе видимая эклектичность снижает оценку работы.

2. В исследованных *структурах укладка слоёв* в композитах автором не поясняется, поэтому влияние конкретных параметров на вид диаграмм чувствительности в итоге становится случайным.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждении ученых степеней»**

Диссертация Староверова Олега Александровича «Деформирование и разрушение полимерных композитов в условиях комплексных механических воздействий», является законченной научно-квалификационной работой, которая вносит существенный вклад в развитие механики композитных материалов и соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года

Считаю, что Староверов Олег Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 - «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент, профессор кафедры технической механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет),

доктор технических наук (01.02.04), профессор

Сапожников Сергей Борисович

«30» ноября 2020 г.

Адрес: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76,  
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

Адрес эл. почты: [sapozhnikovsb@susu.ru](mailto:sapozhnikovsb@susu.ru)

Телефон: +7 (351) 267-91-19

Я, Сапожников Сергей Борисович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного Совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись С.Б. Сапожникова заверяю:

