

## ОТЗЫВ

официального оппонента, д.ф.-м.н. Белова П.А.,

на диссертационную работу

**КРИВЕНЬ Галины Ивановны**

### **«ПРОЧНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ С ВИСКЕРИЗОВАННЫМИ ВОЛОКНАМИ»**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и

аппаратуры»

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № 21 / 11 2019

### АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ И СООТВЕТСТВИЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Диссертационная работа посвящена методу оценки прочности модифицированных волокнистых композитов с вискеризованными волокнами при статическом нагружении. Композитные волокнистые материалы активно используются при изготовлении различных изделий в авиастроении, машиностроении и других отраслях промышленности, так как такие композиты показали себя как достаточно прочные, жесткие и легкие материалы. Но несмотря на их высокие показатели по прочности и жесткости наблюдается следующая закономерность – при повышении объемного содержания волокна растут прочность и жесткость волокнистого композита при одноосном растяжении, но при этом, те же показатели падают при воздействии трансверсальных нагрузок, поэтому для компенсации вышеуказанного недостатка при изготовлении изделий увеличивают число монослоев, состоящих из волокнистых композитов, что приводит к еще одному недостатку – увеличиваются масса изделия и его габариты.

Для увеличения трансверсальной прочности волокнистых композитов в последнее время разрабатывают различные методы, одним из них является выращивание на поверхности волокна специальных наноструктур – нановолокон или вискерсов. И в этой работе как раз исследуется влияние объемного содержания волокна и длин наноструктур на напряженно-деформированное состояние в элементах структуры модифицированного композита и на основе полученных данных разрабатывается метод оценки прочности модифицированного композита с

вискеризованными волокнами, который позволяет оценить запас по прочности и жесткости модифицированных композитов по сравнению с классическими.

Таким образом, тема диссертационной работы соискателя Кривень Галины Ивановны является **актуальной и соответствует** специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы из 72 позиций. Содержание работы изложено на 156 страницах машинописного формата, включает 71 рисунок.

*Во введении*, в соответствии с требованиями к содержанию и оформлению диссертационных работ, автором обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели диссертационного исследования и задачи, поставленные для достижения перечисленных целей, формулируются полученные автором результаты, имеющие существенную научную новизну, с учетом полученных результатов обоснована теоретическая и практическая значимость работы, а также изложены методы исследования, перечислены положения, выносимые автором на защиту диссертационной работы, приведены сведения об апробации результатов диссертационного исследования и о важнейших публикациях автора.

*В первой главе* диссертационной работы описано современное состояние по разработкам в области модификации поверхности волокна специальными наноструктурами и оценке их эффективных свойств, а также проведен аналитический обзор существующих критериев прочности для волокнистых композитов, подтверждающий что вопрос прочности волокнистых композитов с выращенными на поверхности волокна специальных наноструктур не изучен.

*Во второй главе* с использованием многомасштабной модели моделирования модифицированных композитов определяются выражения для нахождения напряженно-деформированных состояний в элементах структуры модифицированного композита для рассматриваемых видов статического нагружения, а также эффективных модулей. Кроме этого, в этой же главе

представлен новый метод определения эффективного модуля поперечного сдвига, который позволяет обойти необходимость решения нелинейной системы уравнения, возникающей при использовании метода трех фаз для описания поведения волокнистого композита, как классического, так и модифицированного, при воздействии чистого сдвига поперек волокна.

*В третьей главе* проводится оценка влияния объемного содержания волокна и длины вискерсов на напряженно-деформированное состояние в элементах структуры модифицированного композита при воздействии различных статических нагрузок. В качестве примера рассматривается конкретный композит, образованный углеродным волокном Т-650, межфазным вискеризованным слоем, состоящем из углеродных нанотрубок и эпоксидной матрицы, и матрицей. Для каждой рассматриваемой модификации композита при заданных видах нагрузки были построены графики распределения напряжения и деформация в элементах структуры. Такие же графики были построены для классических волокнистых композитов с теми же объемными содержаниями волокна, а также для традиционных волокнистых композитов с объемным содержанием волокна 60 %. Для соблюдения условия эквивалентности нагрузки на композит задавалось воздействие деформации, рассчитанное как отношение единичной нагрузки к значению эффективного модуля рассматриваемого композита.

*Четвертая глава* посвящена разработке метода оценки прочности модифицированного композита с вискеризованными волокнами. В основу метода положен структурный критерий прочности, и прочность модифицированного композита определяется слабой фазой, а именно, в случае одноосного растяжения, прочность композита контролируется волокном, а в остальных случаях – чистом сдвиге вдоль волокна, чистом сдвиге поперек волокна и всесторонней нагрузке поперек волокна прочность модифицированного композита контролируется прочностью матрицы. Кроме этого в главе показано, что межфазный модифицированный слой обладает повышенными характеристиками по прочности и полученные в диссертационной работе численные значения по оценке прочности модифицированных композитов, с предельными объемными содержаниями

волокна, т.е. композитов, образованных лишь волокном и межфазным слоем, идут в запас.

*В заключении* перечислены результаты работы, составляющие основу проведенного исследования, имеющие научную новизну и практическую ценность.

### НАУЧНАЯ НОВИЗНА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Анализ современной периодической литературы и важнейших монографий по профилю диссертационной работы позволяет сделать заключение о степени новизны полученных автором результатов, удовлетворяющей требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

### ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Достоверность научных результатов обосновывается использованием метода трех фаз, расширенного на многофазную среду, для определения эффективных характеристик композита и напряженно-деформированного состояния в элементах структуры композита. Метод трех фаз показал себя как наиболее точный метод для определения характеристик композита для достаточно высоких концентраций включений.

### ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Результаты диссертационной работы позволяют при разработке изделий из волокнистого композитного материала принять решение о необходимости модификации поверхности волокна специальными наноструктурами, а также подобрать оптимальные структуру и материал элементов композита в зависимости от видов воздействующих нагрузок

**Достоинством работы** является то, что с достаточно высокой степенью точности можно получить оценки прочности для модифицированных композитов с вискеризованными волокнами с различными по составу элементами структур, объемными содержаниями волокон, длинами вискерсов и объемными содержаниями вискерсов в межфазном слое, избежав проведения множества дорогостоящих испытаний.

Содержание диссертации **соответствует** содержанию опубликованных работ. Существенных замечаний к качеству оформления диссертации и изложению материала нет.

Содержание автореферата **соответствует** содержанию диссертации.

## ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1 На стр. 30 ссылка на несуществующую формулу (26)

2. На стр.38 Необоснованное утверждение: «Очевидно, что межфазный слой имеет переменные свойства в направлении длины вискерсов, однако, в связи с тем, что длина вискерсов довольно мала, полагаем, что вискеризованный межфазный слой является материалом с трансверсально изотропными свойствами с плоскостью изотропии поперек вискерсов и его свойства являются постоянными по длине вискерсов»

Считаю, что multiscale-эффекты вполне могут быть порядка длины вискерса и даже короче. Было бы логично привести анализ длины multiscale-эффекта от базового волокна без вискерсов, сравнить его с длиной вискерса и тогда уже делать выводы о пренебрежимости переменности свойств матрицы вдоль вискерса.

Справедливости ради следует отметить, что в обоснование этого утверждения сделаны ссылки на четыре источника, хотя не мешало бы привести их в диссертации в виде цитат.

3. На стр. 40 приведен коэффициент Пуассона вискерса. Учет коэффициента Пуассона вискерса считаю "ловлей блох", так как относительное уменьшение диаметра вискерса ничтожно мало по сравнению с удлинением базового волокна.

Указанные замечания не снижают научной ценности и практической значимости результатов, полученных автором в диссертационной работе.

Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация является законченной самостоятельной квалификационной работой, посвященной решению актуальной прикладной научной задачи – оценке прочности модифицированных волокнистых композитов с вискеризованными волокнами.

Диссертация **соответствует** требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Кривень Галина Ивановна, **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

Официальный оппонент

Белов Пётр Анатольевич,

доктор физико-математических наук,

ведущий научный сотрудник

ФГБУН «Институт прикладной механики

Российской академии наук»

Адрес места работы:

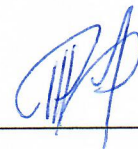
Москва, Ленинградский проспект, 7, стр. 1

E-mail: [belovpa@yandex.ru](mailto:belovpa@yandex.ru)

Специальность ВАК, по которой защищена

диссертация – 01.02.04 «Механика

деформируемого твердого тела»



П. А. Белов

Подпись Белова П. А. заверяю.

*Учёный секретарь ИГиЛ РАН*

