



УТВЕРЖДАЮ

Временно исполняющий обязанности
директора ИМАШ РАН
д.т.н., проф.

Глазунов В.А..

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Маковского Сергея Владимировича на тему «Динамические характеристики модифицированных волокнистых композитов с вискеризованными волокнами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы и цель диссертационной работы

В настоящее время композитные конструкции находят широкое применение в различных других областях техники и материалы в них используются с различными комбинациями компонентов в структуре и имеют много преимуществ по сравнению с традиционными материалами. Механические свойства композитов формируются условиями контакта между волокном и матрицей в композите. На свойства материалов влияет характер взаимодействия фаз в области контакта этих фаз и изучение этого взаимодействия определяет качество интерфейса, в которое входит модификация поверхности волокна, улучшение химических взаимодействий, либо добавление третьей фазы (межфазного слоя) между волокном и матрицей. Это повышает межфазные адгезионные свойства, повышает эффект передачи нагрузок между волокнами и матрицей, что повышает характеристики материала. Для этого, в настоящее время, развивают технологию производства углеродных волокон, на поверхности которых выращивают специальные

Отдел документационного
обеспечения МАИ

09. 12 2020.

Г.А.А.

микроструктуры в виде нанопроволок и углеродных нанотрубок для повышения сдвиговых свойств композита, что подтверждается экспериментальными исследованиями. Кроме того, эта фаза с вискеризованными волокнами характеризуется высокими значениями прочности и жесткости при сдвиге по сравнению с применяемыми в настоящее время композитами. Все это позволяет заниматься прогнозированием свойств новых создаваемых мультифункциональных материалов с дополнительным вискеризованным слоем, которые влияют не только на прочность, жесткость, демпфирование, но и на усталость, электро- и теплопроводность и другие свойства. Поэтому рецензируемая диссертация посвящена актуальной проблеме моделирования демпфирующих свойств волокнистых слоистых с функциональными волокнами, имеющих дополнительный вискеризованный слой, и оценке эффективности свойств таких композитов.

Целью диссертацию является разработка методики моделирования эффективных свойств модифицированных волокнистых неоднородных композиционных материалов, в которой используется в аналитическом решении тестовых задач метод трех фаз для прогнозирования механических и динамических свойств с определением модулей потерь и динамических модулей на основе вязкоупругой аналогии и метода комплексных модулей упругости.

Результаты работы имеют практическое значение для получения нового поколения модифицированных волокнистых композитов с высокими демпфирующими свойствами и сохранением их механических показателей в процессе эксплуатации конструкций. Предложенная методика позволяет с помощью регулирования структуры элементов композита (свойства базового волокна и матрицы, свойства вискерсов и связующего в слое вискеризации, объемное содержание волокон и вискерсов).

Научная новизна

Впервые предложен подход и проведены исследования демпфирующих

свойств модифицированного композита с использованием вискеризованного межфазного слоя на поверхности волокон, который позволяет определять эффективные демпфирующие свойства этого слоя методом трех фаз для волокнистого композита.

Разработана методика и алгоритм расчета эффективных динамических свойств волокнистых композитов с вискеризованными волокнами в целом, основанная на методе самосогласования Эшелби и методе комплексных модулей. Это позволяет проводить оценку эффективных демпфирующих характеристик с учетом наноструктуры вискеризованного слоя при использовании в качестве матрицы межфазного слоя вязкоупругого полимера.

Разработана методика для определения эффективных свойств вискеризованного слоя, а затем эффективных свойств композита в целом.

Достоверность полученных результатов основана на использовании в работе строгих подходов теории упругости, механики композитов и апробированных математических методов осреднения, а также совпадением результатов, полученных автором с экспериментальными данными, приведенными в литературе и с результатами решения аналогичных проблем для дисперсных и волокнистых композитов, приведенных в работах других авторов, в том числе с результатами прямого численного моделирования методом асимптотического осреднения.

Рецензируемая диссертационная работа изложена на 129 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения, и списка литературы, состоящего из 104 наименований (из них 86 на иностранном языке).

Во введении сформулирована цель исследования, направленного на разработку подхода и проведения исследования демпфирующих свойств модифицированного композита, на разработку методики расчета эффективных динамических свойств волокнистых композитов с вискеризованными волокнами. Обосновывается актуальность темы. Сформулированы задачи исследования и сформулированы задачи

исследования.

Глава первая посвящена обзору литературы, посвященной современному состоянию вопроса экспериментальных исследований характеристик вискеризованных волокон и композитов и, на их основе, методов моделирования механических свойств композитов и вискеризованных волокнистых композитов. Приводятся основы микромеханики композитов в рамках классической теории упругости для определения эффективных свойств композиционных материалов. По результатам анализа литературы установлено, что до настоящего времени не было предложено обоснованной достаточно полной модели для одновременного учета различных характеристик вискерсов, например, длины, плотности, диаметра, и свойств вискерсов, которые влияют на свойства таких композитов и отсутствуют исследования эффективных диссипативных свойств таких композитов.

Во второй главе для решения задачи рассматривается представительный объем для волокнистого композита с плоскостью изотропии нормальной базовым волокнам, у которой есть 3 слоя, и предложена прикладная модель вискеризованного межфазного слоя как трансверсально-изотропной структуры с цилиндрической изотропией с пятью модулями упругости. Для оценки эффективных свойств материала в работе предложен метод самосогласованных фаз Эшелби. Приведена методика осреднения и аналитического расчета эффективных механических и динамических свойств функциональных волокнистых композитов, которые состоят из многофазных ортотропных тел. Эффективные динамические характеристики определяются с помощью метода комплексных модулей, в соответствии с которым полученные решения для эффективных модулей композита выражаются в комплексном виде, где действительная часть дает значение эффективного модуля упругости, а мнимая часть определяет модуль потерь.

Третья глава посвящена произведению оценки эффективных диссипативных свойств вискеризованного межфазного слоя

модифицированного композита с учетом различных образующих его материалов: вискерсов и матрицы, а также учета геометрических особенностей формирования слоя. Проведено исследование межфазного слоя как отдельную структуру методом комплексных модулей с учетом различных характеристик вискерсов и использования двух видов матриц: эпоксидной и на основе вязкоупругого полимера. Показано, что полимерная матрица с вязкоупругим полимером дает увеличение модуля потерь на порядок при оптимальной концентрации. Дана оценка динамических характеристик вискеризованного межфазного слоя в модифицированном композите с учетом различных характеристик его компонентов и применяемого метода осреднения, рассмотрено поведение характеристик в зависимости от объемной доли включений и показана зависимость этой объемной доли от длины вискерса. В качестве вискерсов предпочтительнее использовать вискерсы из углеродных нано трубок.

В четвертой главе даны оценки эффективных свойств демпфирования композита, связанных с трансверсальными деформациями, которые строятся с учетом свойств демпфирования вискеризованных слоев. Рассмотрены случаи возможной замены связующих в слоях вискеризации с эпоксидной матрицы на свойства вязкоупругого полимера в случае температуры стеклования и ниже нее. Выявлен класс композитов, в которых можно достичь высоких демпфирующих характеристик (вязкоупругий полимер на температуре стеклования), проведена оценка эффективных свойств на основе самосогласованного метода Эшелби и на основе упрощенных оценок типа Рейса для трехфазного материала.

Дополнительный материал к диссертации изложен в приложении, где излагаются свойства сред, доказательство теорем, преобразование формулы Эшелби.

Полученные в диссертации результаты предлагается использовать в Институте Прикладной механики (ИПРИМ) РАН, Вычислительном центре РАН, ФГБОУ ВО МАИ (национальном исследовательском университете) и

могут быть использованы в таких организациях, как ФГУП ВИАМ, АО «НПО им. С.А. Лавочкина», ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева, «ОКБ Сухого» и др.

Замечания по работе

1. Формулы (1.12) и (1.19) п.1.5 первой главы встречаются по 2 раза.
2. Ссылки на формулы из п.1.5 первой главы, указанные в главе 1 и 2 не соответствуют своему значению из-за смещения нумерации, из-за чего приходится полагаться на их описание.
3. Присутствуют стилистические, орфографические ошибки и опечатки, что сказывается на общем впечатлении о работе. Так, например, съехавшие номера страниц п.1.4.4 и п.1.4.5 в оглавлении, «добавление третьего фазы» на стр.4 и прочие, встречающиеся в содержании работы сказываются на общем впечатлении о работе.
4. Источники 31 и 88 в библиографическом списке повторяют друг друга.
5. Неясно отличие понятия диссипативных и демпфирующих характеристик, автору следует разобраться в используемых определениях.
6. Следовало бы сравнить результаты используемых методов осреднения Рейсса и трех фаз не только для двухфазной структуры межфазного слоя, но и для всего трехфазного композита в целом для оценки уровня погрешности при использовании упрощенной методики.

Указанные замечания носят уточняющий и редакционный характер и не снижают общего высокого уровня диссертационного исследования и полученных результатов.

Заключение

Рассмотренная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научно-техническая проблема анализа демпфирующих свойств модифицированного композита с использованием вискеризованного межфазного слоя на поверхности волокон, позволяющая оценивать эффективные демпфирующие свойства слоя для волокнистых композиционных материалов.

