

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Тант Зин Хейн «Исследование влияния размера сферических включений в полимерном композиционном материале на физико-механические характеристики», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин

Актуальность и цель диссертационной работы

В настоящее время композиционные материалы (КМ) являются важным компонентом во многих областях техники, таких как аэрокосмическая, авиационная, автомобильная промышленность, автомобилестроение, машиностроение, приборостроение и медицина. Во многих случаях для создания материалов с требуемыми механическими характеристиками используются различные добавки и наполнители, которые влияют на прочность и физико-механические характеристики получаемых образцов. Современные технологии позволяют производить наполнители микронного размера в виде полых микросфер, которые обычно изготавливаются из стекла, керамики или полимеров и имеют диаметр в диапазоне от нескольких микрон до нескольких миллиметров. Введение таких наполнителей в композиционный материал на основе полимерной матрицы позволяет существенно улучшить его физико-механические характеристики и придать ему дополнительные демпфирующие свойства.

Основной целью представленной диссертации как раз и является исследование влияния размера и объемного содержания таких полых микросфер на физико-механические характеристики полимерных композиционных материалов, называемых сферопластиками. В рамках этой темы предполагаются микроструктурные исследования с целью получения статистических характеристик по размерам включений и их распределению по объему образца, экспериментальные исследования эффективных изгибных и компрессионных свойств материала при квазистатическом и высокоскоростном нагружении, получение аналитических решений, моделирующих нестационарное взаимодействие упругих волн давления и микросферических частичек, а также проведение полноценного конечно-элементного моделирования композиционного образца в условиях статического и динамического нагружения. Поэтому, тема диссертационной работы является актуальной и соответствует специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Научная новизна заключается в:

– экспериментальном исследовании влияния объемного содержания полых сферических включений в композитном материале на физико-механические характеристики при статическом и динамическом нагружении;

Отдел документационного
обеспечения МАИ

« 1 » 12 2023

- разработке метода исследования динамического поведения сферической оболочки в упругой среде, путем решения задачи о дифракции упругих плоских и сферических волн, распространяющихся в композиционном материале со сферическими включениями;
- получении и верификации конечно-элементной модели, позволяющей исследовать влияние формы, размера, объемного содержания и характера распределения включений на физико-механические характеристики материала.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка литературы, состоящего из 150 наименований. Общий объем составляет 121 страницу, включая 59 рисунков и 3 таблицы.

Во введении обосновывается актуальность диссертационной темы, формулируются цели и задачи работы, приводится научная новизна, излагаются методы исследования, обосновывается достоверность полученных результатов.

В первой главе дается обзор работ по теме научного исследования, показывается, что композиционные материалы с включениями широко используются в производстве перспективных изделий. Из анализа цитируемых работ было показано, что с появлением новых технологий стало возможным за счет использования микросфер различного типа создавать материалы со значительным улучшением их физико-механических характеристик. В частности, был сделан вывод, что в литературе практически отсутствуют аналитические исследования динамического поведения композитов со сферическими включениями под действием нестационарных нагрузок.

Во второй главе приведены результаты экспериментальных исследований композитов на основе эпоксидной смолы и стеклянных микросфер. В качестве матрицы использовалась эпоксидная смола ЭД-20, а в качестве включений – микросферы ПБС-50 с характерным диаметром около 50 мкм. Исследовались образцы из чисто эпоксидной смолы и с включениями, объемное содержание которых составляло 0%, 5%, 10%, 15%. Были проведены микроструктурные исследования и экспериментальные исследования образцов на изгиб и сжатие с различным объемным содержанием включений в условиях статического и динамического нагружения. Во время динамических испытаний проводилась высокоскоростная съемка. Динамические испытания проводились также с целью верификации аналитических и численных моделей, представленных в следующих главах.

В третьей главе рассматривается нестационарная задача о воздействии плоской и сферической волны на сферическую оболочку в упругой среде. Здесь для решения этой задачи использовалось интегральное преобразование Лапласа по времени и разложение образа решения в ряды по системам собственных функций. По результатам определения оригиналов искомых функций получены

аналитические выражения для радиальных и меридиональных смещений и напряжений, что позволило исследовать нестационарное напряженно-деформированное состояние и функцию перемещений как на поверхности оболочки, так и в любой точке упругого пространства.

В четвертой главе проводится численное моделирование сферопластиков в конечно-элементном комплексе ANSYS на основе микромоделей, подготовленных на основе микроструктурных данных в программном комплексе DIGIMAT. Проведено сравнение полученных результатов с соответствующими экспериментальными данными по статическому и динамическому нагружению образцов на изгиб и на сжатие (вторая глава). Моделирование проводилось для различных объемных наполнений с процентным содержанием 5%, 10%, 15%, 20% и 25%.

В заключении диссертации представлены общие выводы по работе и перечислены основные результаты проведенного исследования.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов диссертации обуславливается использованием строгих подходов механики твердого тела, теории дифференциальных уравнений, использованием стандартов проведения статических и динамических испытаний. Конечно-элементное моделирование проводилось с использованием сертифицированного программного обеспечения. Результаты аналитических расчетов подтверждаются численным конечно-элементным моделированием.

Научно-практическая ценность работы заключается в возможности применения полученных результатов для создания материалов с требуемыми физико-механическими характеристиками за счет использования различных наполнителей. Практически такие материалы используются во всех областях техники, особенно в аэрокосмической, авиационной и медицинской промышленности. Представленные аналитические результаты позволят более эффективно и детально оценивать прочность КМ с включениями.

Публикации и апробация. По теме диссертации опубликовано 6 работ в научных журналах, в том числе 4 научные статьи в международных изданиях, индексируемых Scopus, и 2 научные статьи в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК РФ. Апробация результатов диссертационной работы проводилась на различных международных симпозиумах и научно-практических конференциях.

Замечания по диссертационной работе:

1. По-видимому, автор работы не очень хорошо владеет русским языком, что проявляется в некоторых литературных казусах. Например, при описании результатов численного моделирования эффективных характеристик в главе 4 (рисунки 4.8-4.13) представлены зависимости, в которых объемная доля

включений откладывается на оси абсцисс, характеризуются в тексте и в подрисуночных надписях наоборот, как “...зависимости объемного содержания от эффективного модуля...” (стр. 79), т.е. текст приходится читать справа налево, а не слева направо, как у нас принято.

2. Если говорить по сути, то, конечно, “...численные результаты хорошо согласуются с экспериментальными результатами...” (стр. 87), однако, в них обозначена противоположная тенденция в зависимостях эффективных характеристик от объемного содержания: в экспериментах эта характеристика падает (рисунок 2.14 и таблица 1), а в численных расчетах, наоборот, растет (рисунок 4.3 и 4.18). В диссертации этот аспект никак не комментируется.
3. Непонятно, для чего приведены расчеты с разным диаметром включений (рисунки 4.8-4.14). Надо полагать, автор хотел понять, наблюдается ли масштабный эффект. Но, как это и следовало ожидать, на масштабах порядка десятков микрон все кривые для разных размеров включений абсолютно точно совпадают. Следовало бы дать соответствующий комментарий на этот счет, и вообще, сформулировать общие выводы по главе 4, которые отсутствуют.
4. В постановке задачи о дифракции волн на оболочке в упругой среде решение получено для двух типов волн: плоской и сферической. Однако, расчёты приведены только для случая плоской волны и для других характеристик упругой среды: вместо эпоксидной матрицы наполненной стеклянными микросферами, что является темой диссертации, результаты представлены для стальной матрицы, подкрепленной медной оболочкой. Почему?
5. Контактные условия в этой задаче рассмотрены в обобщённой постановке с параметром сцепления, который предполагает возможность рассмотрения условий контакта от свободного проскальзывания до жесткого сцепления. Логично было бы исследовать влияние этого коэффициента, а, следовательно, и типа контакта, на процесс дифракции. Однако в работе этого нет.
6. На рисунках 2.16, 2.20, 2.21 не указано для какого образца (с каким объемным наполнением) приведены эти экспериментальные данные. На рисунках 4.8, 4.9, 4.13 неправильно указана размерность приводимой величины: модули жесткости здесь должны быть в единицах $ГПа$, а не $МПа$, а коэффициент теплопроводности (рисунок 4.13) никак не может измеряться в градусах (К).
7. В работе наблюдается много погрешностей редакционного плана. Например, на стр. 39 указано, что ПБС-50 это отвердитель эпоксидной смолы, тогда, как это полые стеклянные микросферы с характерным размером 50 мкм (что указано на стр. 38). Аббревиатура ПБС нигде не расшифрована, а аббревиатура ПТК на стр. 23 расшифрована как “полититанам калия”, в то время как это вещество является *полититанатом калия*, т.е. соединением калия с оксидом титана. На стр. 16 термин “*broken*” из статьи [55] (broken hollow glass microsphere) не удачно

переведен на русский язык как “разбитый”, тогда как лучше было бы использовать термин “разрушенный” и т.д.

Сделанные замечания не имеют принципиального значения и не влияют на положительную оценку работы.

Заключение.

Диссертационная работа представляет собой завершённое научно-практическое исследование, посвящено решению актуальной проблемы, и её результаты имеют теоретический и практический интерес. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Основные результаты и положения апробированы на ряде конференций и симпозиумов, в том числе и на международных.

Считаю, что диссертационная работа Тант Зин Хейн **соответствует** критериям и требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 «О порядке присуждения ученых степеней» (с изменениями и дополнениями), а её автор, Тант Зин Хейн, **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Официальный оппонент:

Ведущий научный сотрудник
Института прикладной механики
РАН

к.ф.-м.н.



Д.Б. Волков-Богородский

подпись

«30» ноября 2023 г.

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной механики Российской академии наук

Адрес места работы: 125040, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 7, стр. 1.

Телефон: +7 (909) 659-54-75

E-mail: v-b1957@yandex.ru

Научная специальность, по которой защищена диссертация: 01.01.07 – «Вычислительная математика».

Подпись ведущего научного сотрудника, кандидата физико-математических наук Волкова-Богородского Дмитрия Борисовича удостоверяю

Ученый секретарь ИПРИМ РАН

Ю.Н. Карнет

С отзывом ознакомлен

 01.12.2023

