

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу

Кольжановой Дарьи Юрьевны

«Моделирование конечных упругих деформаций слоистых композиционных материалов на основе метода асимптотического осреднения»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Актуальность диссертационного исследования. Для практических целей большое значение имеет задача определения эффективных упругих характеристик композитов на основе информации о микроструктуре и свойствах входящих в него фаз. Методов решения этой задачи существует довольно много, однако большинство из них неприменимо для композитов с конечными деформациями, поскольку в этом случае задача обладает существенной нелинейностью. Для расчета эффективных характеристик композитов наиболее перспективен метод гомогенизации. В настоящее время он достаточно хорошо развит и успешно численно реализован для разных задач механики, но главным образом для линейных задач. Непосредственное использование метода гомогенизации для построения определяющих соотношений затруднительно, поскольку он основан на решении специальных задач микроскопического деформирования на ячейках периодичности (ЯП). В линейном случае задачи микро- и макроскопического деформирования разделяются, но для конечных деформаций эти задачи связаны. Расчеты макроскопического деформирования, например, методом конечных элементов, когда в каждом узле сетки приходится решать задачу на ЯП, приводят к очень большим объемам вычислений. В связи с этим весьма перспективным и актуальным становится вопрос о разработке метода, который позволил бы разделить задачи макро- и микроскопического

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«14» 09 2021 г.

деформирования нелинейно-упругих композитов и значительно уменьшить количество вычислений.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке варианта метода асимптотического осреднения слоистых композиционных материалов при конечных деформациях с использованием универсального представления определяющих соотношений для комплекса различных моделей сред и методики построения эффективных определяющих соотношений для трансверсально-изотропных сжимаемых и несжимаемых композитов с конечными деформациями на основе численного решения серии локальных задач.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием проверенных методов механики деформируемого твердого тела и классических положений математического аппарата.

Практическая значимость диссертационного исследования состоит в том, что метод расчета эффективных диаграмм деформирования и напряжений в слоях композиционного материала может быть использован при проектировании композиционных материалов с заданными свойствами для конструкций летательных аппаратов, мягких покрытий, амортизаторов и пр.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 6 научных работах, из них 3 в журналах, входящих в Перечень ВАК РФ, 2 статьи в журналах, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Апробация результатов диссертации проводилась на различных международных научных конференциях.

Содержание глав диссертации подтверждает научно-обоснованный подход автора к решению поставленных задач. Работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения. Диссертационная работа изложена на 160 страницах, состоит из введения, четырех глав и выводов. Список литературы содержит 123 наименования, в том числе и зарубежные издания.

Во введении автором представлен обзор литературы и обосновывается актуальность темы диссертационной работы. Формулируются цели и задачи исследования, изложены методы исследования, обоснованы научная новизна и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту, дана информация о публикациях автора и апробация работы.

В первой главе предложен вариант метода асимптотического осреднения для слоистых упругих композитов с конечными деформациями и периодической структурой с использованием универсального представления определяющих соотношений для сжимаемых и несжимаемых слоев композита. На основе асимптотической теории гомогенизации построена рекуррентная последовательность локальных задач нелинейной теории упругости для сжимаемых и несжимаемых сред. Получены аналитические решения локальных задач для слоистых композитов с конечными деформациями. Для численной реализации этих решений применен метод вложенной оптимизации. Для вычисления перемещений автором получена осредненная задача нелинейной теории упругости, после чего были определены осредненные определяющие соотношения сжимаемых и несжимаемых композитов для эффективного тензора истинных напряжений.

Во второй и третьей главах описывается разработка алгоритма построения эффективных определяющих соотношений для трансверсально-изотропных композитов, на основе разработанного в первой главе диссертации варианта метода асимптотического осреднения. Поскольку решение локальных задач на ЯП, особенно для случая композитов с конечными деформациями, требует больших объемов вычислений, автор переходит от точного решения этих задач в каждом конкретном случае нагружения ЯП системой осредненных напряжений к построению аналитически эффективных определяющих соотношений для композита в целом. Константы, входящие в эти определяющие соотношения, определяются с помощью аппроксимации диаграмм деформирования

композитов для частных задач деформирования, при этом сами диаграммы деформирования рассчитываются при ограниченном числе вариантов решений задач на ЯП композита. Предлагаемый метод представляет собой численный эксперимент, в котором вместо нахождения диаграмм деформирования экспериментальным путем используется численное решение задач на ЯП. В дальнейшем как в численном, так и в реальном физическом эксперименте автор подбирает наиболее удачный аналитический вариант определяющих соотношений, которые наилучшим образом описывают максимальное число диаграмм деформирования в стандартном верификационном наборе экспериментов. Представлены результаты численного моделирования предложенным методом для нелинейно-упругих слоистых композиционных материалов, показавших хорошую точность аппроксимации, которая достигается благодаря предложенному методу разделения связанных задач микро- и макроскопического деформирования.

В четвертой главе автором решена задача о цилиндрическом изгибе несжимаемой слоистой композиционной пластины. Представлены зависимости момента от кривизны цилиндрического изгиба панели и распределение компонент тензора напряжений Коши по радиусу панели при цилиндрическом изгибе для различных значений толщин пластины. Представлены результаты численного решения осредненной задачи по методике расчета напряженно-деформированного состояния конструкций из слоистых композиционных материалов путем разделения осредненной задачи нелинейной теории упругости анизотропных сред и локальных задач на ЯП.

В выводах перечислены основные результаты диссертационной работы.

Замечания по диссертационной работе:

1. В список литературы желательно было включить статью Levin V.A., Zingerman K.M., Vershinin A.V., Yakovlev M.Ya. Numerical analysis of effective mechanical properties of rubber-cord composites under finite strains // Composite Structures. 2015. V. 131. P. 25–36.

2. Применение метода вращений к нахождению главных удлинений (п. 2.2.2, с. 51-53 диссертации) представляется избыточным, т.к. матрица имеет малую размерность, и проще найти её главные значения аналитически.
3. Метод решения локальных краевых задач на ячейке периодичности целесообразно было изложить более подробно, записав решаемые уравнения в явном виде для одного из исследуемых классов определяющих соотношений.
4. В формулах (6), (8) на с. 8 в автореферате имеются нижние индексы, которые начинаются со знака наклонной черты. Желательно было пояснить в автореферате смысл этого обозначения так же, как это сделано в диссертации.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Кольжановой Д.Ю.

Автореферат достаточно правильно и полно отражает основное содержание диссертационной работы.

Считаю, что представленная диссертационная работа «Моделирование конечных упругих деформаций слоистых композиционных материалов на основе метода асимптотического осреднения» представляет собой законченное научное исследование, которое по актуальности, научному уровню и практической значимости полученных результатов соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, установленным в п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842. Автор диссертационной работы, Кольжанова Дарья Юрьевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент

Заведующий кафедрой математического моделирования и вычислительной математики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Тверской государственный университет», доктор физико-математических наук, профессор

К.М. Зингерман

10.09.2021

Адрес места работы:

170100, Россия, Тверская обл., Тверь,
ул. Желябова, 33

e-mail: Zingerman.KM@tversu.ru

тел. (4822) 58-53-20 (доб. 119)

Специальность ВАК, по которой защищена
диссертационная работа – 01.02.04 «Механика
деформируемого твердого тела»

Подпись К.М. Зингермана заверяю:

Профессор по НИО

(должность)

М.П.



[Handwritten signature]

(подпись)

Зиновьев Д.В.

(Ф.И.О.)