

Отзыв официального оппонента

Маслова Леонида Борисовича

На диссертационную работу Большакова Павла Владиславовича

«Моделирование процессов деформирования элементов конструкций на основе учета влияния их структуры на напряженно-деформируемое состояние», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твёрдого тела»

Актуальность работы

Современные технические условия с помощью аддитивных технологий позволяют производить материал, обладающий сложной микроструктурой. Такая микроструктура позволяет не только уменьшить вес, но и сохранить прочностные свойства изделия. Однако при проектировании/оптимизации/коррекции таких структур необходимо учитывать эксплуатационные нагрузки, технологические параметры печати, а также геометрию базовой ячейки. На стадии формирования структур со сложной микроархитектурой тяжело предугадать работу базовой ячейки. Ввиду этого большинство исследований связанных с проектированием конструкций с помощью аддитивных технологий рассматривают изделия с однородным заполнением, то есть конструкция является набором одинаковых по типу и размеру базовых элементов. Работы, посвященные неоднородному заполнению изделий, в основном связаны с оптимизацией конструкций. Оптимизация позволяет уменьшить вес конструкций, но не сохранить ранее заданную микроструктуру. Другим способом решения данной проблемы является разработка методов коррекции пористых и решетчатых структур, которые будут позволять формировать изделия с неоднородным заполнением элементарных ячеек. Но в этом случае возникает задача оценки влияния структуры элементов конструкций на напряженно-деформируемое состояние. В работе проведено моделирование процессов деформирования решетчатых и пористых изделий с учетом влияния их структуры на напряженно-деформируемое состояние, предложены методы коррекции микроструктуры, которые позволяют формировать пористые и решетчатые изделия с неоднородным заполнением.

Научная новизна

К новым научным результатам диссертационной работы можно отнести:

1. Численный метод коррекции конструкций решетчатой структуры при условии сохранения прочностных свойств. Функции влияния геометрических параметров элементарной решетчатой ячейки (гексагональная бипирамида) на напряженно-деформированное состояние.
2. Численный метод коррекции конструкций пористой структуры, у которых элементарной ячейкой является куб с порой. Функции влияния геометрических параметров элементарной пористой ячейки (куб с порой) на механические характеристики.
3. Предложен и реализован новый подход, в рамках которого разработана численная методика коррекции конструкций с нерегулярной пористой структурой.

Достоверность полученных результатов

Результаты исследования обеспечиваются корректностью математической постановки задачи теории упругости, применением строгих математических методов, сравнением результатов с известными результатами других авторов, а также с результатами экспериментов.

Практическая значимость

1. Разработанные методы коррекции могут использоваться в персонализированной медицине. Например, при проектировании индивидуализированных эндопротезов длинных

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«12» 09 2024 г.

костей, тазобедренных имплантов и т.п. Созданные автором методы позволят не только производить более легкие импланты, что влияет на ценообразование изделия, но и не уступающим в несущих способностях по сравнению с современными имплантатами.

2. Полученные автором функции влияния геометрических параметров элементарной решетчатой и пористой ячейки на напряженно-деформированное состояние позволят инженерам ориентироваться при проектировании изделий со сложной микроструктурой.

Основные результаты

Основные результаты диссертационной работы опубликованы 23 работах. В том числе 3 из них в журналах, входящих в Перечень ВАК Минобрнауки РФ, 6 – в журналах и изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus (3 статьи в журналах Q1) и Russian Science Citation Index. Также, получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Содержание и оформление диссертационной работы

Диссертационная работа общим объемом 131 страниц состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 123 источника. Текст иллюстрируется 70 рисунками и 14 таблицами.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, ее научная новизна, практическая значимость, сформулированы цели и задачи исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава имеет обзорный характер и описывает современное состояние аддитивного производства. Описывает выбор решетчатого и пористого базового элемента, а также роль его распределения на поведение изделия. Отмечает роль аддитивного производства в медицине.

Вторая глава посвящена коррекции изделий с решетчатой структурой. В качестве базового решетчатого элемента выступают ребра гексагональной бипирамиды. Получены функции влияния геометрии решетчатых структур на напряженно-деформированное состояние. Сформулирован и реализован численный метод коррекции решетчатых структур. В качестве задачи для решетчатой элементарной ячейки был рассмотрен эндопротез ножки кролика.

В третьей главе сформулирована и исследована задача численного метода коррекции пористой конструкций. В качестве базового пористого элемента выступает куб с порой. Предложен метод определения функциональной связи между внутренней структурой и её эффективными механическими свойствами. Сформулирован и реализован метод коррекции пористых изделий. Проведены численные и натурные эксперименты изделий, полученных на основе разработанного метода коррекции пористой структуры.

Четвертая глава посвящена формированию конструкций с нерегулярной пористой структурой. Предложен и реализован численный метод, основанный на обобщенной диаграмме Вороного, коррекции нерегулярных пористых структур. Решена проверочная задача, для отработки метода. Произведены численные расчеты конструкций с нерегулярной пористой структурой.

В заключении перечислены основные результаты диссертационной работы.

Содержание диссертационной работы адекватно отражено в автореферате и отражено в основных публикациях.

Замечания по диссертационной работе.

По содержанию диссертационной работы можно сделать следующие замечания.

1. В работе представлен оригинальный подход оптимизации напряженно-деформированного состояния метаматериалов со сложной внутренней структурой (решетчатых и пористых) на основе функций влияния и предложенной целевой функции, записанной через

них и дополнительные масштабные коэффициенты. Однако к данному подходу есть несколько вопросов: 1) из работы не понятны значения масштабных коэффициентов, использованных в расчетах конкретных конструкций; 2) хотелось бы знать, проведена ли какая-либо верификация разработанного метода?

2. В диссертации встречаются специальные названия конечных элементов из библиотеки программного комплекса ANSYS. Хотя при этом даются основные характеристики конечных элементов, скрывающиеся за этими названиями, хотелось бы видеть более детальную информацию об используемых конечных элементах (функции формы, матрицы жесткости и т.п.). В частности, есть вопрос, почему конечный элемент BEAM188 имеет квадратичную аппроксимацию, хотя в классической теории МКЭ стержневые элементы, работающие на растяжение, описываются линейными функциями формы, а работающие на изгиб – полиномами Эрмита третьего порядка?

3. Глава 3 посвящена расширению предложенного подхода на пористые регулярные структуры, который основан на построении зависимости тензора упругих модулей ячейки периодичности от двух параметров. Поскольку оценка эффективных упругих модулей является сама по себе отдельной и не простой задачей, то есть вопросы к эффективности нахождения такой зависимости численными методами, т.е. не рациональнее ли использовать аналитические оценки на основе теорий эффективного поля и тензора Эшелби? Если нет, то хотелось бы уточнить постановку и численное решение задачи на нахождение эффективных упругих модулей.

4. С точки зрения механобиологии и тканевой инженерии важным аспектом при разработке скаффолдов является значение пористости, которая должна быть в определенных пределах для обеспечения регенерации ткани в поровом пространстве скаффолда. Поскольку одним из практических приложений диссертации является регенеративная медицина, то необходимо отметить, что в работе не приведены явно значения целевой и получаемой в результате оптимизации пористости разработанных эндопротезов решетчатой структуры.

Сделанные замечания, тем не менее, не снижают положительной оценки диссертационной работы ввиду оригинальности разработанных подходов и их математического содержания.

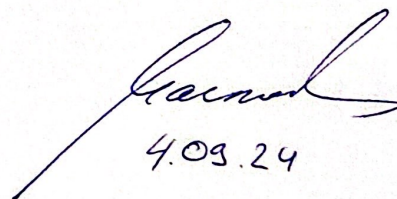
Заключение

Диссертационная работа Большакова Павла «Моделирование процессов деформирования элементов конструкций на основе учета влияния их структуры на напряженно-деформируемое состояние», является завершенной научно-квалификационной работой, которая по актуальности, научному уровню и практической значимости полученных результатов соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, установленным в Постановлении Правительства РФ от 24.09.2013 №842 «О порядке присуждения учёных степеней». Считаю, что автор диссертационной работы Большаков Павел Владиславович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент

Маслов Леонид Борисович

доктор физико-математических наук, доцент,
заведующий кафедрой теоретической и прикладной
механики федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Ивановский государственный
энергетический университет имени В.И. Ленина»,
г.Иваново



4.09.24

Адрес места работы:
Российская Федерация, 153003, г. Иваново, ул.
Рабфаковская, д. 34
office@ispu.ru, +7 (4932) 269-999

Подпись Маслова Леонида Борисовича удостоверяю

Ученый секретарь Ученого
совета ИГЭУ

кандидат экономических наук



Вылгина Ю.В
(Фамилия И.О)

С отзывом ознакомлен 12.09.2024