

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Еленской Наталии Витальевны
«Моделирование структуры решетчатых скаффолдов с учетом их механического отклика
и вариации морфометрических параметров»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности

1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Представленная работа посвящена изучению решетчатых скаффолдов, ячеек на основе трижды периодических минимальных поверхностей (ТПМП). Применение скаффолдов является одним из наиболее перспективных подходов регенеративной медицины. Важной составляющей применения скаффолдов является построение геометрически сложного объекта, подходящего по строению костной ткани. Дополнительно, важно не только построение скаффолдов, но и оценка их свойств с учетом различной морфологии. В этой связи данная работа представляет большой интерес для мирового научного сообщества. Отдельно хочется отметить, что такие структуры можно отнести к метаматериалам, а данное направление является новым для российской науки. Уникальность исследований, связанных с изучением механического отклика и морфометрических параметров, подтверждается при проведении литературного анализа. Для учета различных требований, предъявляемых к структуре будущего скаффолда, соискателем были разработаны алгоритм и программный продукт для проектирования скаффолдов на основе ТПМП с контролируемыми морфометрическими характеристиками.

В работе показаны два способа для построения образцов с различными ячейками на основе ТПМП: первый – утолщение минимальной поверхности с получением пластинчатой структуры, второй – рассмотрение объема, отсекаемого минимальной поверхностью, как твердого тела с получением скелетной структуры. Из множества возможных периодических ячеек выбраны пять наиболее часто используемых: алмазная (D_I), гироидная (G_I), ее вариация (G_{II}), примитивная (P_I) и I-WP (P_{II}). На их основе были спроектированы периодические и функционально-градиентные структуры. При этом, гибридные структуры с градиентом морфологического строения предложены в качестве скаффолдов для замещения участка на границе раздела различных типов костной ткани. Для численного исследования механического поведения полученных структур была сформулирована упругопластическая постановка задачи. Граничные условия соответствуют одноосному сжатию вдоль наибольшей длины образца.

В качестве результатов приводятся данные процентного соотношения конечных элементов, в которых возникли пластические деформации. Подобные результаты позволяют оценить долю элементов, превысивших предел текучести. Соответственно, сопоставляя эти данные, можно сделать выводы о том, какая конструкция более чувствительна к приложенной нагрузке.

Для функционально-градиентных структур, предназначенных для замещения трабекулярно-кортикальных участков костной ткани в работе также представлены результаты экспериментальных исследований. Образцы изготовлены методом послойного наплавления филамента (FFF) на основе спроектированных моделей. Полученные результаты сравнивались с численными и различия объяснялись идеализацией численной модели, а также дефектами, возникающими при производстве образцов. При этом, получено качественное и количественное соответствие результатов в упругой зоне, что позволяет верифицировать численные модели механического поведения.

Замечания и рекомендации:

- Указано, что к морфометрическим параметрам скаффолдов относятся размер и взаимосвязанность пор, степень пористости структуры, а также площадь

внутренней поверхности скаффолдов. Существует связь перечисленных параметров единым соотношением?

- Из результатов на рисунке 3 видно, что у рассматриваемой структуры P_1 наблюдается два пика, о чем это говорит?
- На основании каких результатов сделано следующее утверждение: «При этом пластинчатые структуры за редким исключением лучше сопротивляются сжимающим нагрузкам, чем скелетные.»
- При сочетании различных типов ячеек в гибридных структурах, каким образом происходит соединение на границе разных структур? Одна структура плавно переходит в другую или существуют разрывы между двумя морфологиями?
- О каких структурных параметрах говорится в главе 4? Или имеются ввиду морфометрические параметры?

Указанные замечания и рекомендации не снижают общей положительной оценки работы.

Диссертационная работа «Моделирование структуры решетчатых скаффолдов с учетом их механического отклика и вариации морфометрических параметров» соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученой степени кандидата наук, а ее автор – Еленская Наталья Витальевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Младший научный сотрудник лаборатории нелинейной механики метаматериалов и многоуровневых систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук.

кандидат физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела

Ахметшин Линар Ришатович

Адрес: 634055, Томск, Академический пр., 2/4

Тел. +7 (953) 923-80-13,

e-mail: akhmetshin.lr@ispms.ru

29 октября 2024

Ахметшин Линар Ришатович

Я, Ахметшин Линар Ришатович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Еленской Н.В. и их дальнейшую обработку

Подпись Ахметшина Л.Р. заверяю
ученый секретарь ИФПМ СО РАН



Н.Ю. Матолыгина