

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Димаки Андрея Викторовича «Нелинейные закономерности контактного взаимодействия неметаллических материалов, обусловленные вязкостью и разрушением», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Актуальность темы диссертации

Контактное взаимодействие является одним из важнейших и повсеместно распространенных явлений, определяющих отклик материалов и сред различной природы, как естественного, так и технического происхождения. Установление закономерностей, определяющих связь физико-механических свойств материалов контактирующих тел, параметров нагружения и профиля шероховатости взаимодействующих поверхностей с величиной отклика контактирующей пары на внешнее воздействие является важной фундаментальной и прикладной проблемой. Относительное движение контактирующих тел включает в себя две стадии: 1) стадия схватывания (в англоязычной литературе – «stick»), на которой приложенная нагрузка еще недостаточна для инициирования макроскопического перемещения контактирующих тел как целых и 2) стадия проскальзывания («slip»), на которой участники контактной пары перемещаются друг относительно друга в касательном направлении с постоянной или переменной скоростью скольжения. Условие перехода «stick-slip» определяется величиной т.н. коэффициента трения покоя, механический отклик контактной пары на стадии «slip» определяется величиной коэффициента трения скольжения. Данные коэффициенты не являются материальными константами, а зависят от множества факторов, среди которых величина нормальной нагрузки, скорость нагружения, величина и характер рельефа шероховатости профилей контактирующих поверхностей, вязко-упругие свойства материалов, наличие пористости, а также содержание и состав жидкого и/или газообразного наполнения пор и т.д. Перечисленное многообразие факторов определяет комплексный и мультидисциплинарный характер проблемы изучения контактного взаимодействия. В материалах неметаллической природы ключевыми факторами, определяющими закономерности контактного взаимодействия, являются вязкость и локальное разрушение. В диссертационной работе А.В. Димаки проведено теоретическое изучение нелинейных закономерностей контактного взаимодействия неметаллических материалов, обусловленных диссипативными процессами на различных пространственных и временных масштабах. Изучена как стадия «stick», на которой сдвиговая прочность контакта при тангенциальном относительном перемещении контактирующих тел интерпретируется как величина «когезии», так и стадия «slip», на которой величина коэффициента трения определяется «запуском» процессов диссипации на различных пространственных и временных масштабах. Отметим, что наличие временной многомасштабности проявляется особенно ярко при трении

ИФЭМ СО РАН
« 27 СЕН 2017 » 201__ г.
вх. № _____
индекс _____

эластомеров, имеющих многомасштабную молекулярную структуру. Полученные в работе результаты, обобщенные в виде аналитических закономерностей, учитывающих, в том числе, взаимное влияние различных каналов диссипации упругой энергии, могут быть применены в широком спектре областей механики и материаловедения – от задач проектирования трибосопряжений до установления безопасных режимов эксплуатации подземных сооружений и месторождений полезных ископаемых. Сказанное определяет актуальность выбранной темы диссертации и полученных в работе результатов.

Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы из 266 наименований, содержит 214 страниц машинописного текста, иллюстрируется 65 рисунками и 2 таблицами.

Во введении раскрыта актуальность исследуемой проблемы, степень ее разработанности, сформулированы цель работы и решаемые задачи. Отмечена научная новизна полученных результатов, их теоретическая и практическая значимость, перечислены положения, выносимые на защиту, представлены апробация работы, публикации и личный вклад автора, описаны структура и объем диссертации.

Первая глава посвящена изложению теоретических основ метода редукции размерности и описанию результатов его применения для решения ряда контактных задач, включая теоретическое описание трения эластомеров в стационарных и нестационарных режимах скольжения, износ контактирующих тел, изучение влияния параметров шероховатого фрактального рельефа на коэффициент трения. Обсуждаются классы задач, где применение данного метода является эффективным. Указаны его ограничения, отмечена необходимость развития вычислительных методов для решения задач контактного взаимодействия сред, в которых диссипативные процессы являются нелокальными. К ним относятся многофазные флюидонасыщенные среды.

Во второй главе развит подход, основанный на совмещении методов сеток и дискретных элементов, для теоретического изучения механического отклика и разрушения многофазных материалов и сред, свободный объем внутренней поровой структуры которых заполнен жидкостью или газом. Данный подход получил название метода гибридных клеточных автоматов (ГКА). Приведены результаты верификации развитого метода путем сравнения получаемых в построенной модели распределений порового давления с известными аналитическими решениями и экспериментальными данными.

В третьей главе описаны результаты применения развитой во второй главе гибридной модели для теоретического изучения влияния газообразного и жидкофазного флюидов, заполняющих поровое пространство образцов, на их прочность в различных условиях нагружения: при одноосном сжатии и стесненном сдвиге. Построены обобщенные зависимости прочности флюидонасыщенных образцов от параметров нагружения, физико-механических свойств вмещающего упруго-пластического проницаемого каркаса и флюида. Дано исчерпывающее объяснение нелинейного характера этих зависимостей с точки зрения физико-механических процессов, протекающих в проницаемых пористых средах, включая массоперенос флюида в пористом каркасе и дилатансию материала при его неупругом деформировании.

В заключении сформулированы выводы по результатам выполнения диссертационного исследования, в числе которых можно отметить следующие, являющиеся наиболее актуальными и представляющими наибольший научный интерес.

1. Получена обобщенная нелинейная зависимость коэффициента трения в паре «вязкоупругий материал – жесткое контртело» от параметров нагружения, свойств материала и параметров шероховатости поверхности контртела, имеющей фрактальный рельеф.

2. Построена обобщенная зависимость прочности на одноосное сжатие упруго-хрупких пористых флюидонасыщенных образцов от физико-механических параметров пористого материала и флюида, скорости деформации и размеров образца. Показано, что величина прочности хрупких флюидонасыщенных материалов определяется конкуренцией процессов роста порового давления жидкости при сжатии и снижения порового давления за счет оттока жидкости в окружающее пространство.

3. На основании анализа результатов численного моделирования установлен общий вид зависимости прочности проницаемой упруго-пластической флюидонасыщенной среды от физико-механических свойств пористого материала и жидкости, а также параметров нагружения при стесненном сдвиге. Обнаружено, что данная зависимость приобретает пороговый скачкообразный характер, связанный с переходом от упруго-пластического к упруго-хрупкому поведению материала.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность научных результатов, положений и выводов, полученных в ходе выполнения диссертационной работы, обеспечивается корректностью постановки целей и задач исследования, применением современных математических моделей для описания вязко-упругих и упруго-пластических пористых проницаемых сред, эффективных и адекватных решаемой задаче методов

численного моделирования, согласием результатов моделирования с данными других авторов (как теоретическими, так и экспериментальными), их непротиворечивостью с существующими научными представлениями о характере влияния процессов диссипации упругой энергии на отклик неметаллических материалов.

Результаты работы были апробированы в ходе обсуждения на российских и международных конференциях, опубликованы в 23 статьях в журналах, входящих в список изданий, рекомендованных ВАК РФ, из них 12 статей в зарубежных журналах, включенных в библиографические базы данных Web of Science и Scopus.

Автореферат диссертации полностью соответствует содержанию диссертационной работы и отражает ее основные результаты, положения и выводы.

Научная значимость результатов диссертационной работы заключается в том, что они вносят существенный вклад в развитие современных представлений о влиянии каналов диссипации упругой энергии, обусловленных вязкостью и разрушением, на контактное взаимодействие тел, образованных неметаллическими материалами. Полученная обобщенная зависимость величины коэффициента трения от шероховатости фрактального рельефа поверхности контакта и нормальной нагрузки является фундаментальной и служит основой для построения новых моделей контактного взаимодействия вязко-упругих материалов, учитывающих вязкость материала на различных пространственных и временных масштабах. Предложенная в работе зависимость величины прочности флюидонасыщенных материалов от управляющего параметра, характеризующего взаимное влияние процессов фильтрационного переноса флюида в поровом объеме и изменения порового объема при нагружении, расширяет теоретические представления об особенностях деформирования и разрушения таких сред, как горные породы и пористые органические материалы.

Практическая значимость результатов работы состоит в разработке ряда математических моделей, пригодных для описания контактного взаимодействия материалов и сред различной природы с учетом влияния вязкости и разрушения. Так, построенная модель износа позволяет прогнозировать динамику износа, что является важным для оценивания износостойкости различных узлов машин и механизмов, как в режиме малоамплитудных тангенциальных осцилляций, так и при продолжительном скольжении. Развитые модели деформирования и разрушения флюидонасыщенных проницаемых материалов могут использоваться при анализе и прогнозировании прочностных свойств контактных зон в блочных интерфейсных средах, насыщенных жидкостью или газом, в частности, в горных породах. Результаты изучения зависимости сдвиговой прочности контактной зоны

во флюидонасыщенной блочной среде могут применяться при анализе динамики приближения состояния фрагментов разломных зон к критическому.

Замечания по диссертационной работе

1) В первой главе диссертации, посвященной решению контактных задач при помощи метода редукции размерности, все развитые модели сформулированы в квазистатической постановке. Такие характеристики, как плотность материалов контактирующих тел, масса элементов и т.п. не учитываются. В связи с этим не ясно, возможен ли в методе редукции размерности учет инерционных свойств элементов контактирующих тел и этих тел как целых, а также насколько учет данных свойств может повлиять на результаты моделирования.

2) При рассмотрении износа тел вращения при их контактном взаимодействии данные тела полагаются линейно упругими. В то же время известно, что износу предшествует пластическая деформация контактирующих тел. Сказанное позволяет усомниться в адекватности построенной модели износа и ее применимости для описания износа реальных материалов.

3) Во второй главе при описании результатов верификации метода гибридных клеточных автоматов не проведено исследование влияния шага конечно-разностной сетки на результаты моделирования (либо результаты таких исследований не описаны в работе).

4) При описании метода подвижных клеточных автоматов для обозначения одной и той же сущности используются три различных термина: «дискретный элемент», «автомат» и «подвижный клеточный автомат».

5) Приведенное в третьей главе выражение (3.1) для критерия разрушения Друккера-Прагера уже было записано ранее во второй главе.

6) Полученные в третьей главе управляющие параметры, контролирующие величину прочности флюидонасыщенных образцов на сжатие и сдвиг, имеют размерность давления. Из текста работы не ясно, какой физический процесс соответствует приведенным величинам давления. Возможно ли получить данные управляющие комбинации параметров в безразмерном виде?

В целом, высказанные замечания не подвергают сомнению достоверность развитых в работе моделей и полученных закономерностей.

Заключение

Диссертационная работа А.В. Димаки представляет собой завершённую, выполненную на высоком уровне научно-квалификационную работу, которая отвечает всем критериям Положения о присуждении ученых степеней. В работе развиты научные положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, вносящее существенный вклад в механику деформируемого твердого тела, а именно в расширение существующих представлений о влиянии каналов диссипации упругой энергии, обусловленных вязкостью и разрушением,

на нелинейный отклик неметаллических материалов при контактном взаимодействии.

По своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне полученных результатов данная диссертационная работа соответствует пункту 1 «Законы деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых» паспорта специальности 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела, физико-математические науки.

Официальный оппонент

Директор Института кадастра, экономики и инженерных систем в строительстве, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», доктор физико-математических наук (01.02.04 – механика деформируемого твердого тела), профессор

25.09.2017 г.



Радченко Андрей Васильевич

Адрес: 634057, Россия, г. Томск, ул. 79 Гвардейской Дивизии, д.25/1, корп. №11, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», Институт кадастра, экономики и инженерных систем в строительстве.

Подпись А.В. Радченко заверяю:

Проректор по НР ТГАСУ



В.И. Клименов

