

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки
Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения
Российской академии наук
(ПФИЦ УрО РАН)
филиал

Институт механики сплошных сред
Уральского отделения
Российской академии наук
(ИМСС УрО РАН)

614013, г. Пермь, ул. Ак. Королёва, 1
тел. (342) 237-84-61, факс (342) 237-84-87
e-mail: mvp@icmm.ru, http://www.icmm.ru
ОКПО 15727771, ОГРН 1025900517378
ИНН 5902292103, КПП 590201001

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор «ИМСС УрО РАН»
академик РАН

Матвеенко В.П.Матвеенко
«05» 06 2018 г.



от 05.06.2018 № 17400/01-и 105

на № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации, «Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» – филиала федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук («ИМСС УрО РАН») (ранее - федерального государственного бюджетного учреждения науки Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук), о диссертационной работе Шубина Сергея Николаевича «Моделирование термоупругого поведения эластомерных композитов с внутренними механизмами адаптации к температурным воздействиям», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 — Механика деформируемого твердого тела.

Диссертационная работа С.Н. Шубина посвящена разработке математических моделей деформирования эластомерных композитов с внутренними механизмами адаптации к воздействию пониженных температур. В работе построены соотношения, позволяющие определять связи между структурой материала, характером внешних воздействий и процессами деформирования.

Задачи, рассмотренные в диссертационной работе, являются актуальными как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения. Необходимость детального исследования процессов деформирования эластомерных композитов определяется проблемами перехода к новым материалам с заданными физико-механическими свойствами, эксплуатируемым в условиях Арктического климата.

С фундаментальной точки зрения диссертационная работа вносит существенный вклад в проблемы построения виртуальных моделей представительного объёма дисперсно-упрочненных композиционных материалов и развития методов моделирования композиционных материалов, имеющих включения с нетривиальными физическими свойствами. В работе численно исследован ряд новых эффектов и получены рекомендации по оптимизации компонентного состава исследуемых материалов.

Научная новизна результатов диссертации заключается в разработке и реализации нового алгоритм синтеза пространственной микроструктуры композита с включениями эллипсоидальной формы, построение модели деформирования композитов с нелинейно-упругой эластомерной матрицей и включениями, имеющими отрицательный коэффициент температурного расширения, модели физико-механического поведения композита с эластомерной матрицей и включениями, претерпевающими фазовые превращения.

Практическая значимость результатов заключается в анализе работы уплотнений, изготовленных из двух новых типов композиционных материалов в условиях эксплуатации, приближенных к реальным условиям работы газотранспортного оборудования в Арктике.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в организациях, осуществляющих научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области создания новых композиционных материалов или моделирования поведения дисперсно-упрочнённых композитов при сложных термо-механических воздействиях. Результаты работы практически используются в исследованиях по созданию новых уплотнительных материалов, проводимыми

ведущими компаниями нефтегазовой промышленности FMC KONGSBERG SUBSEA AS и STATOIL Petroleum AS.

Анализ содержания работы. Работа состоит из введения, трёх глав и списка использованной литературы. Объем работы составляет 133 страницы, работа содержит 65 рисунков и 124 ссылки на цитируемую литературу.

Во введении сформулирована актуальность темы исследования, определены цели и задачи, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, отражена научная новизна и личный вклад автора.

Первая глава посвящена разработке и реализации алгоритма построения пространственных микроструктур дисперсно-упрочненных композитов. В главе детально описан математический аппарат, необходимый для геометрического моделирования включений в представительном объеме композиционного материала, разобраны основные шаги алгоритма и детали их численной реализации. Убедительно продемонстрирована эффективность алгоритма по сравнению с ранее известными методами построения виртуальных моделей представительного объема.

Вторая глава диссертационной работы посвящена построению модели физико-механического поведения композиционного материала с включениями, имеющими отрицательный коэффициент температурного расширения. В данной главе проведена оценка эффективности использования композита в качестве уплотнителя в условиях низких температур, построена аналитическая модель композита в линейном приближении и численная модель нелинейного термоупругого поведения композита при больших деформациях. В главе проведено исследование влияния формы и объемной доли частиц на эффективные термоупругие свойства композита, представлены результаты решения задач по расчёту контактного давления, создаваемого композитным уплотнением, в зависимости от температуры, объемной доли и формы частиц и локального напряженно-деформированного состояния на границе раздела матрица-включение в зависимости от формы частиц.

Третья глава посвящена эластомерным композитам с включениями, претерпевающими фазовые превращения. В данной главе решена модельная задача о промерзании композитной пластинки с расположенными регулярным образом

включениями, определены эффективные температурные свойства, проведена валидация используемых подходов гомогенизации и сравнение решений задач о нестационарном промерзании гетерогенной и эквивалентной гомогенной пластинок. Разработана математическая модель микроструктуры материала с частицами для реальных образцов композитов, определены термоупругие свойства и решена задача по расчёту контактного давления композитного уплотнения в соединительном узле при кратковременном понижении температуры.

Заключение содержит выводы по диссертационной работе.

По диссертации имеются следующие замечания.

1. Работа посвящена построению виртуальной модели представительного объёма дисперсно-упрочнённого композита. По определению представительный объём материала – это объём, в котором содержится достаточное для статистического описания состояния тела число «носителей» рассматриваемых механизмов процесса. В работе сравнительно мало внимания уделено анализу представительности полученных реализаций. Эффективные свойства рассчитываются путём осреднения по реализациям, но не указывается степень разброса полученных данных и их зависимость от размера представительного объёма. Например, на странице 104, указано, что эффективные свойства получены по десяти реализациям, но не указаны полученные значения дисперсии.

2. В работе используется гипотеза мгновенности фазового перехода в частицах наполнителя. Это, по-видимому, означает, что рассматриваются только макроскопические включения с «простыми» наполнителями. В реальных системах, например, во влажных пористых грунтах, фазовый переход имеет ярко выраженную кинетику с характерными временами порядка сотен секунд, а наличие минеральных добавок и процессы взаимодействия с каркасом приводят к существованию равновесной влаги при температурах существенно ниже температуры фазового перехода в объёме жидкости. Интересно проанализировать, насколько данная гипотеза применима к частицам малых размеров (единицы микрон, для исследуемого композиционного материала) и насколько это изменит представленные в работе расчёты и выводы.

3. В работе рассматриваются поведения композиционного материала в условиях больших деформаций (например, до 30% на рисунке 3.16). В тексте диссертации нет информации об используемых мерах деформации, а при определении первого и второго инвариантов тензора деформации на странице 105 явно присутствует опечатка.

Высказанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы и имеют дискуссионный характер.

Структура диссертации является логичной. Стиль изложения материала диссертации – ясный, количество ошибок стилистического и орфографического характера минимально. Автор хорошо знаком с текущим состоянием в области проведенного исследования, убедительно демонстрирует новизну и эффективность полученных результатов.

Объекты исследования являются актуальными и содержат в своем поведении большое число нетривиальных физических эффектов. Этот факт определяет интерес к работе и хорошие перспективы практического использования её результатов.

По своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне данная диссертационная работа соответствует пункту 2 «Теория моделей деформируемых тел с простой и сложной структурой» и пункту 4 «Механика композиционных и интеллектуальных материалов и конструкций» паспорта специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Автореферат диссертации полностью соответствует основному тексту диссертации и опубликованным работам. Уровень апробации результатов работы (публикации в международных научных журналах и выступления на конференциях) – соответствует требованиям ВАК. Результаты работы опубликованы в профильных периодических научных журналах с высокими импакт-факторами.

Диссертация Сергея Николаевича Шубина является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение ряда актуальных научных задач, вносящих существенный вклад в развитие моделей деформирования дисперсно-армированных композиционных материалов.

В целом представленная диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. II.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред.

от 28.08.2017), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а С.Н. Шубин заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Заместитель директора по науке
«ИМСС УрО РАН»
д.ф.-м.н.

О.А. Плехов

