

В диссертационный совет Д002.075.01
на базе Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
«Институт проблем машиноведения РАН»

ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н., доцента Фрумена Александра
Исааковича на диссертацию **Шубина Сергея Николаевича**,
«Моделирование термоупругого поведения эластомерных
композитов с внутренними механизмами адаптации к
температурным воздействиям», представленную на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности **01.02.04 – «Механика**
деформируемого твердого тела».

Диссертация С.Н. Шубина посвящена развитию моделей механики деформируемого тела применительно к дисперсным композитам с наполнителями – частицами, демонстрирующими специальное поведение при охлаждении, а именно, имеющими отрицательный коэффициент термического расширения или претерпевающими фазовые превращения.

Актуальность и практическая значимость исследований связана, в частности, с разработкой оборудования для эксплуатации в экстремальных условиях Арктики, в том числе, нефтегазового оборудования. Важными элементами такого оборудования являются уплотнительные элементы, которые, как правило, делаются из эластомеров. Разница коэффициентов термического расширения эластомера и металла приводит к падению контактного давления в соединении при уменьшении температуры, что в свою очередь может привести к протечкам с экологическими последствиями. Для решения этой проблемы в диссертации предлагается использовать в качестве наполнителя частицы с отрицательным коэффициентом линейного температурного расширения и частицы, претерпевающие при охлаждении

фазовый переход. Расширение частиц при охлаждении и выделение тепла при фазовом превращении и являются заявленными в названии механизмами внутренней адаптации к температурным воздействиям.

В диссертации показывается, что частицы первого типа целесообразно использовать при длительных низкотемпературных воздействиях, когда, например, оборудование собирается при положительных температурах, а используется при отрицательных. Частицы второго типа “работают” при резком падении внешней температуры, так как тепловыделение, сопровождающее фазовый переход, задерживает остывание уплотнительного элемента. В первом случае контактное давление на уплотнительном элементе поддерживается при уменьшении температуры за счет увеличения объема частиц, а во втором случае давление не падает резко, так как остывание задерживается тепловым эффектом фазового превращения.

Научная новизна и научная значимость работы обоснованы тем, что С.Н. Шубиным предложены, апробированы и верифицированы математические модели, позволяющие выявить закономерности термомеханического поведения таких композитов. Ранее подобные исследования или вообще не проводились (как в случае исследований термомеханического отклика композитов с частицами-капсулами, испытывающими фазовые превращения) или проводились для частных случаев линейно-упругой матрицы и шаровых включений. Разработанные модели описывают поведение композитов с нелинейно-упругой матрицей и учитывают такие нелинейные эффекты, как отслоение частиц от матрицы при деформировании. Следует также отметить разработанный С.Н. Шубиным алгоритм по созданию представительных элементов объема дисперсных композитов с эллипсоидальными включениями. Этот алгоритм не только позволил проводить численные эксперименты, представленные в диссертации, но и, очевидно, может использоваться в дальнейшем для численных исследований термомеханических свойств композитов с нелинейно-упругой

матрицей и высокими степенями наполнения частицами несферической формы.

Структурно диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 124 наименований. Объем работы – 133 страницы.

В первой главе представлен разработанный автором алгоритм численной генерации микроструктур дисперсных композитов с эллипсоидальными включениями. Следует отметить, что алгоритм позволяет получать микроструктуры с высокими степенями наполнения частицами, в том числе, вытянутыми, а на «входе» процедуры могут использоваться реальные микроструктурные данные о размерах и форме частиц.

Во второй главе исследуются композиты с включениями, имеющими отрицательный коэффициент термического расширения. Вначале для случая линейно-упругой матрицы дана аналитическая оценка эффективности использования таких частиц для поддержания контактного давления при длительном воздействии низких температур. Затем численно исследуется случай нелинейно-упругой матрицы. Для генерации структур, в том числе с высокими степенями наполнения, используется метод, разработанный в первой главе. Кроме того исследуется, как отслоения матрицы от включений влияет на диаграммы деформирования. Следует отметить, что исследуемые микроструктуры не являются просто абстрактными математическими объектами: большое внимание уделяется сравнению полученных теоретических и имеющихся экспериментальных результатов. Практический вывод состоит в том, что частицы с отрицательным коэффициентом термического расширения, действительно позволяют сохранить контактное давление на приемлемом уровне.

В третьей главе рассматривается задача о термомеханическом отклике композита, имеющим включения, которые при охлаждении претерпевают фазовое превращение с тепловыделением. Показывается, что при резком падении температуры вследствие, например, резкого падения давления в

трубе, тепловой эффект фазового превращения может приводить к существенному уменьшению зоны промерзания – области, в которой температура опускается ниже температуры стеклования.

Научные положения, и выводы сформулированы с использованием физических и математических моделей, адекватных изучаемым эффектам и экспериментальным данным, и, следовательно, являются достоверными.

По диссертации имеются замечания:

1. В представленном алгоритме создания микроструктур (Глава 1) исключение области пересечения проведено итерационным способом. Однако видится возможным делать данную операцию в один шаг. Почему выбор сделан в сторону итерационной процедуры?
2. При моделировании композитов с жесткими частицами, имеющими отрицательный коэффициент линейного расширения (глава 2), на границе матрицы и включений рассматривались контактные условия двух типов: идеальный контакт и контакт, допускающий отслоение матрицы от включения. Кажется представляющим практический интерес рассмотрение промежуточных ситуаций “пятен” контакта с идеальной адгезией.
3. В третьей главе, посвященной моделированию эластомерных композитов с частицами, претерпевающими фазовые превращения, при определении напряженно-деформированного состояния, возникающего в уплотнительном кольце при монтаже соединения, в расчет закладывалась экспериментальная диаграмма деформирования. Было бы уместно сравнить экспериментальную диаграмму деформирования с расчетной, аналогично тому, как это было сделано в главе 2 для случая частиц, имеющих отрицательный коэффициент линейного расширения.

Указанные замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы. Работа является законченным исследованием, выполнена на высоком научном уровне и содержит результаты, вносящие существенный вклад в механику композитных материалов.

Работа оформлена в соответствии с требованиями ГОСТа Р 70.11-2011. По теме диссертации опубликовано 10 работы в научных журналах и сборниках трудов Российских конференций и семинаров, в том числе 4 статей в реферируемых изданиях из перечня ВАК РФ. Публикации содержат основные положения теоретических и экспериментальных исследований. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

В целом диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.02.04 - «Механика деформируемого твердого тела» и отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, **Шубин Сергей Николаевич**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 - «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент

Профессор кафедры «Строительная механика корабля» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», кандидат технических наук, доцент.

Фрумен Александр Исаакович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» (СПбГМТУ).

Адрес: Россия, 190121, г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, д.3
тел.: +7 (812) 494 09 42; e-mail: grossfrum@post.ru

Подпись А.И. Фрумена заверяю:

Начальник управления персоналом

А.В. Богослов