

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. А.Б. Фрейдина
на диссертационную работу Лемзы Александра Олеговича
«Большие необратимые деформации ползучести в условиях
локального пластического течения»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 — Механика деформируемого твёрдого тела

Диссертация А.О. Лемзы посвящена решению краевых задач механики деформируемого твердого тела для упруговязкопластических сред. В случае малых деформаций решение таких задач так или иначе изучалось, поскольку деформации могут суммироваться, а скорости деформаций – это просто производные по времени от соответствующих тензоров деформаций. В случае конечных деформаций проблемы начинаются уже при выборе тензоров деформаций и определении тензоров скоростей деформаций, которым предшествует определение декомпозиций характеристик деформированного состояния на упругую, вязкую, пластическую и другие (например, вследствие структурных – фазовых, химических – превращений) составляющие. Очевидно, что постановки и решения краевых задач зависят от этого выбора, при том что до сих пор этот выбор не стал однозначным. Автор справедливо отмечает, что несмотря на то что в настоящее время имеется много моделей процессов накопления больших деформаций, общепризнанной математической модели больших деформаций, включающей в себя одновременно и обратимые, и необратимые процессы, не существует.

В диссертации выбран один из подходов к описанию деформирования и решен ряд краевых задач, с одной стороны, имеющих значение для дальнейшего развития теории, а с другой стороны, мотивированных вполне конкретными инженерными приложениями. Этим определяются **актуальность, научная новизна и научная и практическая значимость** работы.

Структурно диссертационная работа организована следующим образом. Помимо введения и заключения диссертация содержит четыре главы. Список литературы содержит 197 наименований. Общий объем рукописи – 123 страницы в формате машинописного текста.

Во **введении** обосновывается актуальность работы. Формулируется цель работы: постановка и решение краевых задач о деформировании цилиндрического слоя при различных типах воздействия в условиях накопления деформаций ползучести и пластического течения и разработка соответствующих численных алгоритмов и программ. Затем формулируются решаемые задачи и перечисляются основные результаты.

В **первой главе** представлены основные соотношения теории больших упруго-пластических деформаций, развиваемой Дальневосточной школой механиков.

Во **второй главе** общие соотношения используются для решения задачи о деформировании материала, находящегося в зазоре между двумя коаксиальными цилиндрическими поверхностями, осуществляемом при силовом воздействии на внутренний вращающийся цилиндр. Особенностью задачи является разделение во времени ползучести и пластичности.

В **третьей главе** также исследуется деформирование цилиндрического слоя, но в отличие от первой задачи здесь в качестве краевого условия задается скорость вращения одного из цилиндров (вообще говоря, переменная). Такая постановка позволяет исследовать одновременное проявление одноползучести и пластического течения, а также релаксации напряжений.

В задачах, рассмотренных во второй и третьей главах, ставилось условие прилипания материала к стенкам внешнего и внутреннего цилиндров. В **четвертой главе** на одной из границ – внешней или внутренней – допускается проскальзывание. Исследуются два режима: до начала пластического течения и в случае преобладающего пластического течения.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы.

Основные новые результаты, полученные в диссертации.

1. Для случая конечных деформаций поставлены и решены краевые задачи о деформировании упруговязкопластического материала, помещенного в зазор между двумя коаксиальными цилиндрами. Исследованы три случая:
 - На стенках заданы условия прилипания. Внутренний цилиндр поворачивается под действием приложенной силы.

- На стенках заданы условия прилипания. Один из цилиндров поворачивается со скоростью, изменяющейся по заданному закону.
 - На одной из стенок допускается проскальзывание. Один из цилиндров поворачивается со скоростью, изменяющейся по заданному закону.
2. Разработаны алгоритмы и программы для численного решения поставленных задач, а именно для определения напряженно-деформированного состояния и выделения вклада неупругих деформаций на различных этапах деформирования.
 3. Детально исследованы сменяемость и взаимодействие деформаций ползучести и пластичности, исследовано продвижение границы области пластичности при развитии и торможении течения, исследована релаксация напряжений после остановки цилиндра в случае запрета проскальзывания.

Полученные результаты и сформулированные в диссертации выводы представляются **обоснованными и достоверными**. Работа логично выстроена и для материала сложной реологии на примере конкретной задачи позволяет проследить за тем, как и когда проявляются и взаимодействуют различные моды неупругого деформирования и как эти моды зависят от граничных условий.

По работе имеются замечания.

1. Обсуждение и критика декомпозиции Ли с точки зрения выполнения второго закона термодинамики и принципа объективности содержатся в работах В.А. Пальмова, в том числе в работе [112] из приведенного в диссертации списка литературы. Поэтому ссылка на [112] как на источник, «отражающий» эту декомпозицию, «несмотря на обозначенные выше недостатки» (стр. 8), представляется неуместной.
2. Полагаю, что соотношение $\partial\Psi/\partial T = -s$, как и первое из соотношений (1.32), следуют из второго начала термодинамики в виде неравенства Клаузиуса – Дюгема. При чтении диссертации (с. 23-25) создается ощущение, что автор считает, что это следствие баланса энергии.

3. В работе принимается гипотеза о независимости свободной энергии от необратимых деформаций. Но эта гипотеза исключает термодинамическую мотивацию эффектов упрочнения, связанных со скрытой свободной энергией, запасаемой дислокациями и другими дефектами (см., например, статью А.А. Вакуленко о термодинамике неупругого деформирования). Конечно, можно вводить влияние необратимых деформаций через функцию нагружения в ассоциированном законе пластичности, но в диссертации обсуждается влияние необратимых деформаций на функцию нагружения только через скорость пластических деформаций (с.29-30). В столь общем представлении теории было бы уместным более детально обсудить эти вопросы.
4. Для удобства восприятия во второй главе в постановке задачи (параграф 2.1) было бы хорошо сразу и в одном месте увидеть все уравнения и граничные условия. Сейчас граничные условия появляются на шестой странице повествования, а уравнения равновесия записываются после граничных условий. При этом, уже в конце параграфа, появляется «некое» краевое условие $\sigma_{rr}(R,t) = \sigma_0$ (2.49). Означает ли это, что на внешнем радиусе одновременно задаются нулевой (согласно вышеупомянутым граничным условиям) угол закручивания и величина радиального напряжения? Чему равно σ_0 при численной реализации? Аналогичное замечание может быть сделано относительно третьей главы.
5. Судя по представленным графикам в численных реализациях задач, рассмотренных во второй и четвертой главах, деформации весьма малы, и только в третьей главе одна из компонент тензора необратимых деформаций достигает 10%. В связи с этим было бы интересно получить решения напрямую в приближении малых деформаций, сравнить результаты и дать обоснование необходимости использования аппарата конечных деформаций.
6. Терминологическое замечание к стр. 19: производную Коттера – Ривлина иногда называют ковариантной производной Олдройда, так как она появляется естественным образом при дифференцировании тензора, представленного во взаимном базисе актуальной конфигурации.

Замечания не снижают положительную оценку диссертационной работы. Результаты апробированы на конференциях и семинарах и опубликованы, в том числе в пяти научных журналах из списка ВАК, из них две статьи в изданиях индексируемых в WoS и Scopus. Автореферат хорошо представляет работу. Диссертационная работа А.О. Лемзы «Большие необратимые деформации ползучести в условиях локального пластического течения», отвечает всем требованиям «Положения о присуждении научных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года и предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Лемза Александр Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Заведующий лабораторией математических
методов механики материалов Института
проблем машиноведения РАН,
доктор физико-математических наук
по специальности 01.02.04 – механика
деформируемого твердого тела,
старший научный сотрудник,

Фрейдин Александр Борисович

Тел.: +7 921 349-7849 (моб)
E-mail: alexander.freidin@gmail.com
Институт проблем машиноведения РАН,
Большой пр. 61, В.О., 199178 Санкт-Петербург

30.04.2019