

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН Института
проблем механики
им. А. Ю. Ишлинского РАН,
доктор физ.-мат. наук

С. Е. Якуш

ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук о диссертации Фирсова Сергея Викторовича «Одновременный учет деформации ползучести и пластического течения в материалах, обладающих упругими, вязкими и пластическими свойствами», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – механика деформируемого твердого тела

В работе С.В. Фирсова в рамках нелинейной механики деформируемого твердого тела сформулированы и решены граничные задачи упруговязко-пластического формоизменения. Актуальность диссертационного исследования обусловлена необходимостью расчета напряженно деформированного состояния в процессах технологической обработки материалов за счет их интенсивного формоизменения, основанных на медленной ползучести и не допускающих мгновенное формоизменение вследствие пластического течения. Однако, при этом часто невозможно избавиться от наличия областей пластического деформирования, где скорости деформации значительны. Наличие таких областей быстрого формоизменения, возможно небольших по занимаемому объему, существенно влияет на перераспределение остаточных

напряжений в теле и, как следствие, на процесс формоизменения в целом. В рассматриваемой диссертации решается задача моделирования механического отклика деформируемого материала, когда одновременно учитываются и ползучесть (нелинейная вязкость), и возникающие в пластические течения. Необходимость решения указанных задач механики деформируемого твердого тела обусловлена не только нуждами технологической практики, но и внутренней логикой развития механики деформируемого твердого тела. В диссертации С. В. Фирсова на примере классических задач механики деформируемого твердого тела о продавливании упруговязкопластического материала по трубе и о деформациях во вращающихся дисках и цилиндрах изучаются особенности протекания процессов необратимого деформирования на упруговязкопластических границах, разделяющих области упруговязкого деформирования (ползучести) и области пластического течения.

Научная новизна результатов диссертации обусловлена новыми решениями ряда прикладных задач. Одна из таких задач относится к теории больших деформаций, где продвижение материала по трубе рассчитывается в условиях его пристеночного вязкопластического течения. Впервые принимается, что до момента начала течения в материале наряду с упругими деформациями уже присутствуют накопленные необратимые деформации в форме деформаций ползучести. В условиях продолжающегося увеличения перепада давления последние продолжают накапливаться вне развивающейся области вязкопластического течения. В пластической области с целью учета последующего изменения деформаций ползучести исследуются два предельных случая: в-первом (параллельном) принимается продолжающийся их рост согласно принятому закону ползучести; во-втором (последовательном) на границах пластических областей деформации ползучести выступают только в качестве начальных условий для последующего роста необратимых деформаций в форме деформаций вязкопластического течения. Подобные постановки задач используются при изучении необратимого деформирования материала вращающихся с переменной угловой скоростью цилиндров. Рассмотрены случаи плоской деформации и обобщенного плоского деформируемого состояния. Для дисков принимается условие плоского напряженного

состояния. Выполняется сравнение результатов расчетов указанных предельных случаев со случаем упруговязкопластического деформирования.

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы. Мгновенные изменения в механизме производства необратимых деформаций на границах области пластического течения остается недостаточно изученной задачей современной механики деформируемого твердого тела. В рассматриваемой диссертации, этой фундаментальной проблеме уделено особое внимание. Результаты работы позволяют сформулировать несколько важных общетеоретических относящихся к развитию вязкопластического течения от граничных поверхностей полого цилиндра, возникновению области разгрузки внутри области течения, установившемуся вязкопластическому течению и т.д.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования связана с технологическими операциями формовки и обтяжки элементов конструкций, когда недопустимы высокие скорости деформирования в условиях вязкопластического течения. Однако устранить высокоскоростные режимы не всегда возможно, поэтому выбираются такие процессы, в которых области вязкопластических течений развиваются незначительно (стесненные упруговязкопластические состояния). Следовательно, закономерности возникновения и развития подобных областей течения оказываются важным инструментом выбора технологических режимов обработки материалов давлением.

Достоверность полученных результатов диссертации обеспечивается классическими подходами механики деформируемого твердого тела, геометрически непротиворечивой кинематикой процесса деформирования, термодинамической корректностью модели больших деформаций, непротиворечивостью постановок краевых задач теории, выбором конвенциональных численных схем расчетов и тщательным тестированием разрабатываемых программ.

Анализ содержания диссертации. Диссертация содержит введение, четыре главы основного текста и заключение. Список используемых литературных источников составляют 244 наименований. Работа изложена на 242 страницах, включая 56 рисунков и 2 таблицы, включенных в основной текст.

Во введении, после обзора литературы, посвященного главным образом постановкам и результатам решения краевых задач теории упруговязкопластического деформирования, которые предполагается обобщить введением процесса ползучести там, где ранее предполагалось только упругое деформирование, определяется цель и формулируются задачи исследования.

В первой главе диссертации приведены основные уравнения математической модели деформирования упруговязкопластического материала. Такие соотношения основываются преимущественно на монографии А. А. Буренина и Л. В. Ковтанюк «Большие необратимые деформации и упругое последствие» (Владивосток: Дальнаука, 2013). Следует заметить, что повторяющийся вывод соотношений соискателем несколько переработан с целью выхода на формулировку проблемы диссертационного исследования. Последний параграф первой главы выполняет эту задачу. Поэтому нетрудно заметить, что в первой главе не просто записываются соотношения модели, но и выполнено их развитие. Выделение обратимых и необратимых деформаций в качестве независимых термодинамических параметров процесса изотермического деформирования, установление для них дифференциальных уравнений их изменения позволило соискателю дать постановки задач не только в случае конечных деформаций, но и сконцентрировать внимание на существовании подобных проблем и в классическом случае малых деформаций.

Во второй главе диссертации выполнены численные расчеты в задаче конечного продвижения материала по цилиндрической трубе под действием изменяющегося перепада давления. Указана роль дифференциальных уравнений изменения (переноса) составляющих деформаций в записи определяющих уравнений задачи. В качестве определяющих законов производства необратимых деформаций принимаются степенной закон ползучести Нортонна и ассоциированный закон пластического течения для классических поверхностей нагружения, обобщенных на случай вязкого сопротивления пластическому течению. Продвигаемый за счет пристеночного вязкопластического течения материал полагается несжимаемым. Анализируются результаты численных расчетов посредством их сравнения со случаями только ползу-

чести и комплексного упруговязкопластического деформирования. Оценивается взаимная зависимость ползучести и пластического течения.

Эволюция напряженных состояний в материале вращающегося цилиндра с переменной угловой скоростью изучается в третьей главе диссертации. Рассмотрены случаи закрепленных и свободных торцов. Указаны условия возникновения области вязкопластического течения при возрастании угловой скорости вращения и повторного течения в условиях торможения вращения в тех случаях, когда это оказывается возможным. Для целей тестирования программ расчетов приводятся точные решения упругой задачи и задачи об установившемся вязкопластическом течении при постоянной угловой скорости. Последнее особенно интересно, так как, по-видимому, точное решение получено соискателем впервые. Изменяющееся напряженно-деформированное состояние рассчитывается пошагово по времени для различных краевых условий на боковых поверхностях цилиндра. На упруговязкопластических границах принимаются условия параллельного и последовательного механизмов накопления необратимых деформаций. Также как и в предыдущей главе, в расчетах используются степенной закон ползучести Нортона и ассоциированный закон пластического течения при обобщенном условии пластичности Мизеса. Значительное место занимают результаты анализа найденных значений искомых параметров задачи.

В четвертой главе диссертации подходы к решению краевых задач, предложенных в предыдущей главе, переносятся на случай плоского напряженного состояния. Рассматриваются вращения дисков с переменной скоростью. Исследован ряд задач с разными граничными условиями. Следуя результатам расчетов, формулируются выводы о взаимовлиянии вязкого и пластического механизмов производства необратимых деформаций.

В качестве замечаний по диссертационной работе можно указать следующее:

1. Представляется неудачным выбор в качестве обезразмеривания параметра времени — времени протекания процесса. Из-за чего от времени процесса становится зависимыми и определяющий параметр ползучести в законе Нортона и коэффициент вязкости в вязком сопротивлении пластическому течению. Предпочтительней было бы для этой цели использовать па-

раметр максимальной угловой скорости вращения. Это сделало бы результаты расчетов более наглядными.

2. Наличие разрывов в искомых параметрах при торможении упруго-вязкопластических границ и начале их продвижения в обратную сторону не продиктовано используемой математической моделью. В этом проявляется недостаток используемого алгоритма расчетов. И деформации, и напряжения должны быть непрерывными, что должно следовать из выполнения краевых условий на подвижной упругопластической границе.

3. Текст диссертации, оформленный в целом удовлетворительно, содержит все же ряд опечаток. Они не затрудняют восприятие текста, но все же они присутствуют. Так, например, на стр. 5 «...операций обработки металлов давлением (прокатка, волочение, штамповка) рассчитываются в рамках...»; стр. 6 «...малых деформациях представлено довольно много...»; стр. 19 «расчитаны изменяющиеся деформации...».

4. Есть различия в обозначениях. Например символ r_{rz} на с. 48 ранее в формуле (1.16) обозначался как φ_{ij} ; ε_{zz}^p на с. 114 далее в формулах обозначается как ε_{zz} .

Общая оценка результатов диссертации. Переходя к общей оценке диссертации, можно сформулировать общий вывод: выполнено объемное и достаточно качественное исследование, позволяющее получить решения новых по постановкам и методам расчетов задач механики деформируемого твердого тела, одновременно проявляющего свои вязкие и пластические свойства. Численные результаты расчетов по разработанным алгоритмам и программам позволили установить степень взаимовлияния процессов ползучести и пластического течения и их совместное влияние на процесс деформирования в целом.

Таким образом, диссертация С. В. Фирсова, несмотря на отмеченные недостатки, является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на достаточно высоком научном уровне. В ней присутствуют все основания для ее защиты по специальности 1.1.8 — механика деформируемого твердого тела, а именно: научная новизна, теоретическая и практическая ценность результатов, их актуальность и достоверность. Не остается

сомнений в квалификации соискателя и его личном вкладе в получение и оформлении результатов исследовательской работы.

Учитывая сказанное выше, можно заключить, что диссертация полностью соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Фирсов Сергей Викторович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.

Отзыв заслушан и одобрен на заседании Лаборатории моделирования в механике деформируемого твердого тела Института проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН 20 января 2022 г., протокол № 1.

Радаев Юрий Николаевич,

д.ф.-м.н., профессор, ведущий научный сотрудник

Лаборатории моделирования в механике деформируемого твердого тела Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук

119526, Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1,

тел.+74954353592,

email: radayev@ipmnet.ru

_____ Ю. Н. Радаев ✓

