

О Т З Ы В

официального оппонента

на диссертационную работу Щербатюк Галины Анатольевны
«Условие максимальных приведенных напряжений в качестве средства
расчетов одномерных неустановившихся температурных напряжений
в упругопластических цилиндрических телах»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Актуальность работы

При обработке и получении материалов в высокоэнергетических технологических системах, а также при действии интенсивных внешних нагрузок и температур в ходе эксплуатации деталей в современных тяжело нагруженных узлах и механизмах приходится иметь дело с чрезвычайно высокими температурами и значительными их градиентами. Следствием таких температурных условий являются существенные внутренние напряжения, которые представляют собой фактор, определяющий прочность и долговечность материала.

Исследование новых, неоднородных материалов, целенаправленно создаваемых на основе различных технологий получения композитных и градиентных структур, а также использование более сложных расчетных схем, близких к реальным условиям, приводит к увеличению числа факторов, которые необходимо учитывать при исследовании напряженно-деформированных состояний и усложняет расчет. В зависимости от условий нагружения, во внимание должны приниматься эффекты вязкоупругости, пластичности, ползучести, накопления повреждений и другие. Особый интерес представляют задачи расчетного прогнозирования остаточных напряжений, формирующихся в материале при различных термомеханических технологических воздействиях (горячая штамповка, механическая обработка трудно деформируемых металлов и сплавов, сварка, горячая посадка, поверхностное упрочение концентрированными потоками энергии и др.). К числу вопросов, которые нужно рассматривать в первую очередь при решении конкретных задач, относятся также: выбор модели поведения материала, расчетной схемы системы, метода решения соответствующих уравнений.

Для преодоления возрастающей сложности решения задач о термо-силовом деформировании тел, как правило, используются возможности

численных методов и соответствующих современных вычислительных комплексов. При этом для существенно нелинейных задач, учитывающих необратимое (пластическое) деформирование материалов, зависимость их механических свойств от температуры, общие теоретические вопросы о расчетном обосновании и верификации используемых математических моделей требуют разработки и исследования достоверных аналитических методов расчета неустановившихся температурных напряжений.

В этой связи диссертационная работа Щербатюк Галины Анатольевны, посвященная теоретическому обоснованию, изучению особенностей использования и сравнительному анализу кусочно-линейных условий пластичности, включая условие максимальных приведенных напряжений, в расчетах эволюции одномерных неустановившихся температурных напряжений при нагреве и последующем остывании упругопластических тел, представляется весьма своевременной и актуальной.

Степень обоснованности результатов

Формулировка задач исследования, предложенная в диссертации, базируется на тщательном анализе существующих подходов к расчетам неустановившихся напряжений в упругопластических телах при интенсивных термомеханических воздействиях, а также особенностей использования при решении кусочно-линейных условий пластичности, позволяющих для определенного класса задач термоупругопластичности получить конечные зависимости для напряжений и деформаций от распределения температуры.

В приведенном литературном обзоре из 170 источников рассмотрены современные и классические исследования в области теорий термоупругости, термопластичности, термовязкоупругости, призванных с высокой степенью точности определять качественные и количественные эффекты в деформируемых телах, включая задачи формирования уровня и распределения остаточных напряжений в ходе технологических операций.

Автором выработан и реализован системный подход к использованию условия пластичности максимальных приведенных напряжений (условие Ишлинского–Ивлева) при решении задач термоупругопластичности, заключающийся в алгоритмическом выделении моментов времени зарождения и исчезновения областей пластического течения и их деления на части, в которых течение подчинено разным дифференциальным уравнениям при переходе напряженных состояний с грани на ребро и далее на соседнюю грань

поверхности наклонной призмы Ивлева в пространстве главных напряжений, и соответствующем перестроении постановочной части задач.

На каждом из этапов проведено сравнение ряда решений задач теории необратимых температурных напряжений, полученных при условии максимальных приведенных напряжений (Ишлинского–Ивлева) с подобными решениями, использующими условие максимальных касательных напряжений (Треска–Сен-Венана), условие максимального октаэдрического напряжения (Губера–Мизеса). Разрабатываемые подходы выверяются на основе литературного обзора отечественных и зарубежных научных источников.

Различные аспекты работы докладывались и обсуждались на семинарах и конференциях в ведущих научных коллективах в области механики деформируемого твердого тела, вычислительной механики, компьютерного моделирования, материаловедения. Результаты диссертации опубликованы в 10 публикациях, из них 5 статей — в изданиях из перечня ВАК.

Все это дает возможность говорить о достаточной обоснованности научных положений диссертации, полученных в работе результатов, а также сформулированных выводов и рекомендаций.

Достоверность полученных результатов

Достоверность результатов при решении поставленных задач обеспечивается:

использованием научно обоснованных расчетных схем, адекватных математических и физических моделей, применением фундаментальных подходов классической механики сплошных сред в области теории упругопластического деформирования, подробно описанных в научной литературе и соответствующих современному уровню исследований в области рассматриваемых явлений;

использованием при постановке и формулировании задач широко известных кусочно-линейных условий пластического течения с учетом зависимости параметров модели от температурно-временных условий термомеханического нагружения тела;

соответствием расчетных результатов, полученных автором, известным литературным данным — оценка уровня точности получаемых решений на количественном и качественном уровне производилась на основе тестирования на имеющихся точных решениях и на результатах расчетов, полученных с использованием условия пластичности максимальных касательных напряжений.

Новизна и практическая значимость научных положений, выводов и рекомендаций

В диссертации Щербатюк Г.А. выполнены оригинальные исследования в области постановки и решения одномерных задач теории неустановившихся температурных напряжений с использованием кусочно-линейного условия пластичности максимальных приведенных напряжений.

Автором разработана оригинальная методика решения одномерных задач теории неустановившихся температурных напряжений на основе условия пластичности максимальных приведенных напряжений, позволяющая в конечных формах получить зависимости напряжений и деформаций от температуры с описанием динамики формирования характерных областей пластического течения на этапах нагружения (при нагреве) и разгрузки (при охлаждении).

При разработке данной методики выявлены принципиальные отличия в построении постановочной части исследуемых задач в зависимости от стадии образования и эволюции во времени и объеме тела различных областей пластического течения (в которых деформирование подчинено разным системам дифференциальных уравнений), соответствующих различным соотношениям выбранного кусочно-линейного условия пластичности.

Учет таких особенностей позволил, с одной стороны, расширить круг задач термоупругопластичности (например, задачи о локальном нагреве пластины при различных способах закрепления), для которых могут быть найдены замкнутые решения (невозможные при использовании условия Треска–Сен-Венана), а с другой — выделить класс одномерных осесимметричных задач, для которых достигается существенное снижение трудоемкости аналитического решения за счет уменьшения числа характерных областей и используемых условий пластического течения.

Для указанного класса задач на основе условия максимальных приведенных напряжений (Ишлинского–Ивлева) автором найден ряд новых решений, значимых как для развития теории неустановившихся температурных напряжений (где впервые полномасштабно исследованы особенности использования различных условий пластичности), так и для инженерной практики (где, например, получены методики расчета и зависимости для остаточных напряжений и деформаций, формирующихся в цилиндрических деталях и узлах при нагреве и охлаждении).

Практическая направленность и значимость диссертации Щербатюк Г.А. выражается в приложениях предлагаемых подходов к решению важных задач управления различными технологическими процессами термомеханической обработки металлоизделий в металлургии, в технологиях горячей сборки конструкций, интенсивной механической обработки, поверхностного упрочнения, нанесения покрытий и др. Другой значимой областью приложения полученных автором решений являются методики расчетного обоснования и верификации результатов математического моделирования высоко-температурных процессов на базе численных методов.

Замечания по диссертационной работе

Одной из центральных идей, воплощенных в диссертационном исследовании Щербатюк Г.А., является идея построения методики расчета неустановившихся температурных напряжений на основе кусочно-линейных пластических потенциалов, позволяющей в любой области обратимого и необратимого деформирования записать уравнения равновесия в перемещениях и проинтегрировать его в конечных формах, связывающих напряжения с распределением температуры, что дает возможность для ряда задач отказаться от использования приближенных численных методов. В таком случае возникает необходимость анализа областей применимости предложенных моделей и используемых условий, убедительного расчетно-теоретического и экспериментального обоснования полученных результатов и выделения характерных количественных условий термомеханического воздействия, для которых разработанные методы расчета и принятые допущения оправданы.

Поскольку некоторые из этих вопросов не в полной мере раскрыты в тексте диссертации, выскажем их в форме следующих замечаний.

1. В диссертации отсутствует обоснование и сравнительный анализ областей применимости различных условий пластичности (классических и неклассических), используемых при решении задач термомеханики. В качестве основного условия пластичности в работе рассматривалось условие максимальных приведенных напряжений (Ишлинского–Ивлева). Автором показано несколько конкретных задач, при решении которых использование данного условия дает возможность получить более эффективное решение, чем в иных случаях. Однако из текста диссертации не ясно, насколько в принципе широк круг таких задач. Существуют ли в рамках рассматриваемой теории неустановившихся напряжений задачи, для которых применение условия

максимальных приведенных напряжений может сопровождаться ростом вычислительных затрат, алгоритмическими трудностями или противоречиями (как, например, в случае с условием Треска–Сен-Венана)?

2. Отсутствует развернутый сопоставительный и верификационный анализ результатов, полученных при помощи разработанных в диссертации методов, с аналогичными результатами на основе альтернативных подходов — существующих аналитических и численных решений тестовых задач, литературных данных, модельных и натурных экспериментов и т.д.

Например, для практически значимых в инженерных приложениях задач о температурных и остаточных напряжениях при нагреве полого цилиндра, при горячей посадке «вал – втулка», «кольцо – кольцо» и т.д., сопоставительный анализ дается лишь по результатам однотипных расчетов с учетом двух различных условий пластичности. При этом вопросы количественного и качественного соответствия полученных расчетных результатов реальным (экспериментальным) распределениям активных и остаточных напряжений, натягов, температур в соответствующих узлах и элементах конструкций не рассматриваются.

Данные замечания в целом не снижают научного уровня диссертационной работы и значимости полученных результатов, а скорее подчеркивают сложность решаемой задачи, большой объем необходимых исследований и перспективность избранного автором научного направления.

Заключение

Диссертация Щербатюк Г. А. «Условие максимальных приведенных напряжений в качестве средства расчетов одномерных неустановившихся температурных напряжений в упругопластических цилиндрических телах» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой классическими методами механики деформируемых сред даны новые решения для ряда актуальных задач теории неустановившихся температурных напряжений при нагреве и последующем остывании упругопластических тел на основе использования кусочно-линейных условий пластичности.

Работа выполнена на высоком научном уровне, содержит новые результаты, обладающие теоретической и практической ценностью и опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях. Содержание автореферата соответствует тексту диссертации, отражает ее основные идеи и выводы.

Диссертация соответствует паспорту специальности 01.02.04 — механика деформируемого твердого тела, а по объему и содержанию отвечает требованиям Положения ВАК РФ о порядке присуждения научным и научно-педагогическим работникам ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Ее автор, Щербатюк Галина Анатольевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 — механика деформируемого твердого тела.

доктор технических наук (специальность 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела), доцент, заведующий кафедрой сопротивления материалов Волгоградского государственного технического университета

_____ Захаров Игорь Николаевич

Россия, 400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ВолгГТУ»), www.vstu.ru, тел.(8442) 24-81-37, E-mail: sopromat@vstu.ru.

Я, Захаров Игорь Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Щербатюк Галины Анатольевны, и их дальнейшую обработку.

26.11.18