

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Келлера Ильи Эрнстовича “Особенности развития локализации деформации в металлах с существенной зависимостью от скорости деформации и их описание в рамках теории вязкопластичности”, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Актуальность избранной темы диссертации.

В диссертационной работе рассматриваются эффекты, связанные с неустойчивым поведением конструкционных сталей и сплавов, используемых в различных областях современной инженерной практики. Эти эффекты проявляются при определенном сочетании температурно-скоростных режимов нагружения и микроструктурном состоянии материалов (высокотемпературная ползучесть, структурная сверхпластичность, сверхпластичность превращения, динамическое деформационное старение). Например, в случае простого растяжения образца в состоянии структурной сверхпластичности наблюдаются нетипичные процессы локализации деформации с образованием множественных очагов шейкообразования, что приводит к значительной деформации образца.

Явление сверхпластичности, обнаруженное в 1945г. Бочваром на эвтектоидном сплаве цинк-алюминий, стало предметом многочисленных исследований в связи с применением этого явления в технологических процессах обработки металлов давлением, позволяющей получать детали сложной формы без дополнительной механической обработки. При этом значительно уменьшается трудоемкость и стоимость изготовления изделий и повышается коэффициент использования металла. Как показали дальнейшие исследования, подбором соответствующих температурно-силовых и

скоростных режимов воздействий можно перевести большинство конструкционных металлов в состояние сверхпластичности и, соответственно, выполнять необходимые процессы обработки и изготовление деталей в этом режиме. Научным и практическим вопросам по исследованию и использованию неустойчивых явлений в вязкопластических средах посвящены многочисленные работы. Эти работы выполняются методами физики материалов и материаловедения, а также механики материалов. В диссертации основное внимание уделяется развитию механических методов исследований, которые способствуют более глубокому пониманию и описанию особенностей развития локализации деформации в вязко-пластических средах и возможности их практического применения при обработке металлов давлением в горячем состоянии, в частности, при медленной формовке панелей в авиастроении в режиме сверхпластичности. Сказанное выше определяет актуальность и практическую важность избранной темы диссертации.

Отметим некоторые основные оригинальные результаты диссертационной работы, обоснованность научных положений и выводов. Выполнен исчерпывающий обзор теоретических и экспериментальных работ, опубликованных в мировой и отечественной научной литературе над металлами и сплавами, находящимися в состоянии структурной сверхпластичности, и сплавами с неподготовленной структурой. Выполнены также обзорные исследования экспериментов и разработанных на их основе математических моделей и физических теорий, описывающих эффекты локализации деформации в вязко-пластических материалах с существенной аномальной зависимостью напряжения течения от скорости деформации. На основе этих исследований соискателем сформулированы гипотезы и уравнения квазистатического движения вязкопластической среды с неизвестной материальной функцией, которую предложено устанавливать из условий расширения симметрий полевых уравнений, предположительно

создающих условия существования автоволновых режимов вязкопластической деформации. На основе записанных уравнений автором впервые выведены и исследованы слабо-нелинейные уравнения, описывающие процесс растяжения вязко-пластической полосы со свободными границами. Анализ полученного решения показывает, что степенная зависимость интенсивности напряжения от интенсивности скорости деформации приводит к автомодельной эволюции формы свободной границы растягиваемой полосы. При этом указан определенный интервал изменений показателя степени вязко-пластической модели, внутри которой форма продольной границы локализуется при определенном значении показателя и переходит в шейку, ограниченную двумя сглаженными ступеньками. В случае более сложных, например “разномодульных”, вязко-пластических сред слабо-нелинейная модель приводит к практически нереализуемым решениям.

Соискателем рассмотрены различные формы записи нелинейных уравнений в приложении к задаче о плоской деформации, для чего использованы комплексная форма уравнений Ильюшина, изостатические координаты и представления Леви декартовых компонент напряжений и скоростей деформаций, ведущие к наиболее простой записи уравнений равновесия и совместности в виде однородной квазилинейной системы. Уравнения пространственной задачи также записаны автором в аналогичном виде, для чего вместо представлений Леви использованы тригонометрические соотношения Новожилова - Черныха. Для материальной функции степенного вида получены формы всех однопараметрических инвариантно-групповых решений двумерных и трехмерных уравнений. Уравнения равновесия и совместности вязкопластической среды в двумерном случае исследованы геометрическими методами, в результате чего найдено новое двухпараметрическое семейство материальных функций, при котором эти уравнения полностью интегрируются. Показано, что

предложенная материальная функция при любом значении параметров имеет немонотонный график и сингулярную точку. Автором развиты методы интегрирования краевых задач квазистатического движения вязкой среды с неустойчивой реологией обнаруженного вида, главным образом, относящиеся к случаю гиперболического типа уравнений, получены и исследованы новые центрированные автомодельные решения. Особенности динамики вязкопластической среды с немонотонной сингулярной функцией раскрыты автором диссертации для одномерной формулировки модели. Показана роль жесткости системы образца и нагружающей машины, обнаружены условия существования автоволновых решений модели в виде распространяющихся с постоянной скоростью (выражение для которой получено) фронта либо очага локализации вязкопластической деформации, найдено, что данная новая простая модель качественно описывает особенности феноменологии и кинематики распространяющихся мод локализации деформации, сопровождающих сверхпластичность превращения типа эффекта Портевена – Ле Шателье.

Результаты диссертации опубликованы в 20 работах, из которых 11 в научных журналах, рекомендованных ВАК, 13 работ выполнены без соавторов. Для каждой публикации указан личный вклад автора и соавторов. В большинстве совместных публикаций соискателю принадлежат формулировка идей, математическая постановка и решение задач. Исследования по теме диссертационной работы выполнены в рамках 5 научных проектов. Результаты работы доложены на 14 Международных и Российских конференциях и семинарах.

Диссертация содержит 330 страниц, состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 518 наименований. Замечания по оформлению диссертационной работы и автореферату отсутствуют.

В то же время имеется следующее замечание по содержанию работы, касающееся постановки задачи. В диссертации рассматривается

реологическая модель вязко-пластической среды. Известно, что процессы пластической деформации осуществляются дислокационными механизмами и связаны с кооперативным движением атомов. Процессы вязкого течения осуществляются индивидуальным движением отдельных атомов. Вязкое течение может происходить по всему объему материала, а также по границам зерен. Чисто вязкое течение материала не должно приводить к его упрочнению. При отсутствии усложняющих факторов скорость чисто вязкого течения с момента приложения нагрузки должна быть постоянной (ニュ顿овское течение). Такая формулировка может быть использована для описания несжимаемой среды, которая была бы идеальной для практического применения. Подобную модель в первом приближении можно использовать для описания процессов деформации в случае структурной сверхпластичности. В общем же случае для перевода конструкционных сплавов, например алюминиевых, в сверхпластическое состояние требуется сложная термомеханическая обработка, сопровождающаяся фазовыми, структурными и деградационными (пористость, микротрешины) изменениями. Полученный такой обработкой материал следует считать сжимаемым. Поэтому для описания поведения методами механики сплошных сред следует вводить в реологические вязко-пластические уравнения систему параметров сплошности или поврежденности (по терминологии Качанова-Работнова), для которых должны быть сформулированы дополнительные кинетические соотношения. К сожалению, в диссертации эти вопросы не рассматриваются.

Отмеченное замечание не снижает высокого научного уровня диссертационной работы.

Диссертант в полной мере осведомлен о современном состоянии рассматриваемых проблем, при решении которых применяется сложный математический аппарат. При этом математические решения нацелены на объяснения, описания известных и предсказания новых практически важных

эффектов при термомеханических и скоростных обработках конструкционных металлов и сплавов.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

В заключение отметим, что в диссертационной работе Келлера Ильи Эрнстовича разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Работа является законченным научным исследованием и полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а сам автор заслуживает присвоения ему искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 — механика деформируемого твердого тела.

Ведущий научный сотрудник
математико-механического факультета
Санкт-Петербургского госуниверситета,
доктор физико-математических наук,
профессор, Иностранный член НАН
Республики Армения

 Арутюнян Р.А.

10 ноября 2014 г.

Арутюнян Роберт Ашотович, рабочий телефон 8 (812) 5266591, e-mail:
Robert.Arutyunyan@paloma.spbu.ru, Санкт-Петербург, 192281,
 Купчинская ул., д. 17, корпус 1, кв. 96. Санкт-Петербургский
 государственный университет, Математико-механический факультет,
 ведущий научный сотрудник, профессор.

Ученый секретарь
математико-механического факультета
Санкт-Петербургского госуниверситета
кандидат физико-математических наук,
доцент

