УТВЕРЖДАЮ

Директор ИМиМ ДВО РАН
член-корреспондент РАН
А.А. Буренин
17 ноября 2014 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук, о диссертационной работе 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

Диссертация И.Э. Келлера посвящена, главным образом, поиску частных видов феноменологических определяющих соотношений вязкопластичности, направленных на описание различных реологических аномалий материалов (режимов сверхпластичности, эффектов Портвена – Ле Шателье) и допускающих развитие математической теории интегрирования соответствующих пространственных краевых задач.

Актуальность такой цели предпринятого исследования диктуется развитием технологий обработки материалов давлением, включающих в себя особые режимы деформирования, позволяющие повысить ресурс пластичности металлических сплавов и качественной улучшить функциональные свойства изготавливаемых изделий. Косвенным подтверждением тому является рост публикаций в научных журналах, затрагивающих проблемы локализации деформаций.

Анализ содержания диссертации

Введение к диссертации формулирует концептуальную постановку проблемы – поиск феноменологических моделей вязкопластичности, которые способны были бы обеспечить существование и продвижение медленных волн локализации деформаций при одноосном растяжении образца, конечность амплитуды подобных волн. Устанавливается актуальность изучения в рамках механики деформируемых твердых тел подобных процессов, отличающихся существенной их нелинейностью и нелокальностью сопутствующих явлений, анонсируются возможные подходы и возникающие при этом задачи, намечаются методы решения последних.

Первая глава посвящена обзору экспериментов, где обнаружены и описаны особенности кинематики распространяющихся мод локализации деформаций конечной амплитуды, их связь со свойствами металлических спла-

вов. Посредством анализа существующих модельных представлений явления сформулированы гипотезы, позволившие записать уравнения для вязкопластического деформирования полосы со свободными поверхностями. Для входящей в уравнения функции, задающей вязкопластические свойства материала полосы, предполагается задача поиска ограничений, которые гарантировали бы существование интересуемого явления в решаемой механической задаче.

Для интерпретации существования стоячих мод локализации деформаций конечной амплитуды в интервалах изменения модулей деформационного и скоростного упрочнения, соответствующих феноменологии сверхпластичности, во второй главе привлекаются соображения устойчивости процесса одноосного растяжения полосы относительно возмущений формы ее свободных границ.

Третья глава посвящена теоретическому описанию автомодельных локализованных форм свободных поверхностей вязкопластической полосы при ее одноосном растяжении в зависимости от значения модуля скоростного упрочнения. С этой целью, следуя методу многих масштабов выведены уравнения слабо-нелинейной формулировки задачи и проведен асимптотический анализ решений таких уравнений.

Четвертая глава посвящена, главным образом, выбору записи системы уравнений, удобной для анализа полноценно нелинейной формулировки задачи, решения которой определяются всей материальной функцией, а не значением ее производной в точке, лимитируемой рассмотренными выше подходами. Последовательно рассмотрены записи уравнений в терминах функций тока или напряжений, изостатических координатах и с использованием тригонометрического представления тензоров напряжений и скоростей деформаций. Последний вариант позволил свести уравнения равновесия и совместности скоростей деформаций к квазилинейной однородной системе, удобной для анализа. Выполнена групповая классификация уравнений, выписаны некоторые решения для обнаруженного расширения группы точечных симметрий уравнений на семействе материальных функций степенного вида.

В пятой главе найдено семейство материальных функций, гарантирующих полную интегрируемость системы. Данные функции имеют немонотонный сингулярный характер. Учет жесткости нагружающей системы ведет в простейшем случае к одномерному уравнению, описывающему уединенные автоволны, распространяющиеся с постоянной скоростью вдоль образца. Для существования такого решения существенна как немонотонность материальной функции, так и ее сингулярность. Данная модель описывает особенности кинематики процесса однородного растяжения образца, сопровождаемого распространением очага локализации деформации, регистрируемые экспериментально. Развиты элементы математической теории течения вязкопластической среды с найденным устройством материальной функции, отвечающей случаю плоской деформации.

Заключение содержит выводы по диссертационной работе и перспективы развития работы.

Переходя к общей оценке выполненной работы, результаты которой составили предмет обсуждаемой диссертации, отметим, что проведено достаточно масштабное, целенаправленное исследование наблюдаемого в опытах явления локализации деформаций с их возможным продвижением по необратимо деформируемым телам. Предложения по модельному учету подобных эффектов деформирования в достаточной степени убедительны и послужат более глубокому пониманию процессов квазистатического деформирования с изменениями в структуре обрабатываемых материалов. Разработанные математические приемы и методы исследования сложного, принципиально нелинейного и нелокального процесса имеют самостоятельную ценность и могут успешно использоваться в моделировании иных процессов и явлений механики деформирования.

Научная новизна результатов диссертации определяется использованием нелокальных методов поиска конкретных видов определяющих соотношений, позволяющих обойти методические затруднения, связанные с локализацией деформаций и неустойчивостью процесса деформирования материалов. Впервые выведены слабо-нелинейные уравнения задачи одноосного растяжения вязкопластической полосы с произвольной функцией, задающей деформационные свойства материала, и со свободными поверхностями. Проанализированы возможные автомодельные режимы эволюции граничных поверхностей в зависимости от степени модельного учета прочностных и деформационных свойств материала полосы. Для существенно нелинейной формулировки задачи найдено семейство таких немонотонных сингулярных функций свойств деформируемого материала, которые гарантируют интегрируемость уравнений равновесия и совместность скоростей деформаций. Характерные особенности установленных функций обеспечивают существование решений в форме распространяющихся с постоянной скоростью очагов локализации деформаций, параметры которых качественно соответствуют данным опытов. В рамках предлагаемой модели, способной описать особенности в макроскопических свойствах материала, задающие некоторые критические явления зависимостью напряжений от скорости деформаций, предложены элементы математической теории точного и численного решения плоских краевых задач соответствующей теории.

Практическая значимость результатов заключается в перспективах численного моделирования процессов обработки металлов давлением в горячем состоянии, сопровождающихся медленными волновыми процессами распространения очагов локализации деформации. В частности к таким процессам относится медленная формовка панелей в авиастроении в режиме сверхпластичности. В работе устанавливаются особенности феноменологии вязкопластических свойств, обеспечивающих условия отсутствия неограниченного роста локализации деформации и последующего вязкого разрушения, в чем также видится практическая значимость результатов.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в организациях, осуществляющих моделирование горячих процессов обработки металлов давлением, с особенности сопровождаемых распространением медленных волн локализации вязкопластической деформации, вызванных фазовыми превращениями, динамической рекристаллизацией или динамическим деформационным старением: НИИ механики при Нижегородском государственном университете имени Н.И. Лобачевского, Институте машиноведения Уральского отделения РАН, Московском институте электроники и математики, Комсомольском-на-Амуре государственном политехническом университете, Новосибирском государственном техническом университете и других научно-исследовательских и проектно-конструкторских организациях.

В качестве замечания напрашивается следующее:

Явление локализации деформаций опытно связывается не только со свойствами материалов, проявляемые в зависимости от скорости деформирования, но и в зависимости от температуры испытаний. Включение в исследование данного фактора безусловно утяжелило бы работу, но принимаемую гипотезу о его отсутствии следовало бы обсудить более детально, тем более, что он присутствует явственно. Хотя за изотермический подход автора голосуют ряд полученных результатов.

Это безусловно не влияет на общий вывод о диссертации, заключающийся в том, что проделана нужная для прогресса механики деформирования работа, демонстрирующая высокий профессионализм автора. Диссертация несомненно представляет собой законченную научно-квалификационную работу, результаты которой являются важным научным достижением. Автореферат диссертации достаточно полно и корректно представляет ее основное содержание.

Диссертационная работа И.Э. Келлера «Особенности развития локализации деформации в металлах с существенной зависимостью от скорости деформации и их описание в рамках теории вязкопластичности» удовлетворяет требованиям Постановления Правительства РФ о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Заместитель директора ИМиМ ДВО РАН
по научной работе, д.т.н. И.Г. Сапченко

Научный доклад соискателя по материалам диссертации на заседании семинара ИМиМ ДВО РАН состоялся 23 октября 2014 г. (http://www.imim.ru/index.php/meropriyatiya/83-seminar-imim-dvo-ran-23-oktyabrya-2014-goda-v-14-00), протокол № 4. Настоящий отзыв заслушан и одобрен на Ученом совете института 11.11.2014 г., протокол № 4.

Ученый секретарь ИМиМ ДВО РАН,
к.ф.-м.н. А.В. Погорелова