

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», доктор физико-математических наук


Иконин Иван Варфоломеевич
« 15 » мая 2018 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» на диссертацию **Билалова Дмитрия Альфредовича** «Механизмы локализации деформации и разрушения в металлах при динамическом нагружении», представленную на соискание ученой степени **кандидата физико-математических наук** по специальности **01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела**

Актуальность темы диссертации

Решения ряда актуальных проблем аэрокосмической техники, атомной энергетики, машиностроения и транспорта связаны с необходимостью установления закономерностей механического поведения и оценки надежности перспективных конструкционных материалов в широком диапазоне интенсивностей нагружения, при которых проявляются эффекты локализации пластического течения и развития поврежденности. Изучение механизмов локализации пластического течения и поврежденности при динамическом нагружении – комплексная задача, требующая как

экспериментальных, так и теоретических исследований. Ввиду существенной нелинейности наблюдаемых при этом явлений, в частности – формирования полос адиабатического сдвига, разработка и применение методов вычислительного эксперимента в сопоставлении с результатами лабораторных экспериментов является актуальной задачей в области фундаментальных и прикладных проблем механики деформируемого твердого тела.

Таким образом, работа Д.А. Билалова посвящена решению актуальной задачи – разработке и обоснованию комплексной модели локализации пластической деформации при динамическом нагружении, учитывающей механизмы термического разупрочнения и структурной релаксации, обусловленной коллективным поведением дефектов мезоскопического уровня; идентификации параметров модели с использованием данных оригинальных экспериментов, обоснованию вклада указанных механизмов в процессы локализации пластической деформации при различных условиях динамического нагружения.

Связь диссертации с планами отраслей науки

В диссертации Д.А. Билалова получено решение задачи, отвечающей Приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и Перечню критических технологий Российской Федерации, утвержденному Указом Президента РФ от 07.07.2011 г. № 988 (Транспортные и космические системы, Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика).

Диссертация Д.А. Билалова выполнена в рамках ряда проектов РФФИ и РФФИ, Президиума РАН.

Характеристика содержания диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения. Исследование представлено на 107 страницах, содержит 38 рисунков, 7 таблиц и список литературы из 94 наименований.

Первая глава посвящена обзору и обсуждению проблемы моделирования закономерностей формирования полос адиабатического сдвига при динамическом нагружении материалов, экспериментальным методам исследования стадийности развития локализованного пластического течения и переходам к разрушению, термодинамическим и структурным механизмам, которые связываются с данным явлением.

Обосновано проведение комплексного исследования, включающего построение определяющих соотношений, связывающих эффекты термического разупрочнения и механизмы структурной релаксации, обусловленные многомасштабным коллективным поведением ансамблей дефектов мезоскопического уровня. Определены типы лабораторных экспериментов, которые используются для идентификации параметров модели и верификации результатов вычислительного эксперимента.

Вторая глава посвящена построению математической модели, которая учитывает кинетику дефектов посредством введения двух переменных: масштабно-инвариантный параметр структурного скейлинга и тензор плотности микросдвигов. Для учёта термического разупрочнения предлагается Аррениусовская зависимость вязкости от температуры. Предложены и апробированы методики для определения констант модели на примере нескольких материалов (АМг6, А6061, сталь 25ХН3МФС, Д16). Идентификация проводилась с использованием экспериментальных данных для одноосного нагружения. Верификация констант модели проведена сопоставлением с экспериментами при нагружении металлов и сплавов с различными скоростями деформации и температурами в диапазоне от 25 °С до 400 °С, а также сравнением результатов моделирования с литературными данными по деформированию и разрушению материалов на примере внедрения ударника в мишень. Проведён анализ и обоснование метода численного интегрирования для решения краевых задач, соответствующих конкретным экспериментальным постановкам. Построенная модель

реализована в виде пользовательской подпрограммы в конечно-элементном пакете ABAQUS.

В третьей главе приведены результаты численного моделирования процессов динамического деформирования материалов на примере трёх различных схем нагружения: «П-образцы», образцы для испытания по схеме «сдвиг-сжатие» и пробивание преград ударником. В рамках указанных постановок проведён количественный анализ вкладов термического и дефектного разупрочнений в общую релаксацию при локализации пластической деформации и разрушения в зависимости от скорости деформации в диапазоне от 1000 с^{-1} до 30000 с^{-1} . Показано, что существенное влияние температуры на напряжение течения начинается со скоростей деформации 10000 с^{-1} (для сплава АМг6); при меньших скоростях деформации решающую роль играют дефекты структуры материала. Полученные результаты моделирования согласуются с оригинальными экспериментальными данными, полученными в Лаборатории физических основ прочности ИМСС УрО РАН, а также данными других авторов и находятся в удовлетворительном соответствии. Для всех постановок задач моделирования проведён анализ сходимости численного решения.

В заключении сформулированы научные результаты и выводы.

Научная новизна работы

В диссертации Д.А. Билалова получены следующие новые научные результаты:

Проведено обобщение модели деформируемого твердого тела, описывающей связь структурных переходов, обусловленных дефектами, с релаксационными свойствами материалов на случай динамического деформирования металлов с учетом эффектов термического разупрочнения.

Развиваемая модель твердых тел с дефектами применена для расчета процесса пробивания преград в двух- и трехмерной пространственной постановках в сопоставлении с данными оригинальных лабораторных

экспериментов по инициированию разрушения в условиях локализованного пластического сдвига.

С помощью предложенной модели проведено сравнение дефектного и термического вкладов в разупрочнение материала, обуславливающее процесс локализации пластической деформации при динамическом нагружении.

Предложена и апробирована методика определения параметра характерной температуры для учета термического разупрочнения в рамках используемой модели.

Обоснованность и достоверность результатов работы

Достоверность теоретических результатов диссертации обеспечивается математической корректностью постановок задач, применением апробированных вычислительных методов, соответствием расчетных данных экспериментальным исследованиям, а также согласием полученных результатов с опубликованными данными, полученными другими исследователями.

Достоверность полученных новых экспериментальных данных обеспечивается применением современных экспериментальных методик, согласием полученных результатов с известными данными, приведенными в литературе.

Значимость диссертации для науки и практики

Научная значимость диссертации Д.А. Билалова определяется тем, что полученные результаты расширяют представление о закономерностях деформации и разрушения материалов при нагружении в широком диапазоне скоростей деформации в условиях локализации пластической деформации и поврежденности. Развитый подход численного моделирования, включая математическую модель, расширяет возможности теоретического исследования механического поведения конструкционных сплавов, с учетом влияния структуры и дефектов мезоскопического уровня на закономерности деформации и разрушения при динамическом нагружении.

Значимость результатов диссертации для практики состоит в том, что они могут быть использованы при создании ответственных элементов конструкций и прогнозировании механических свойств новых материалов в условиях интенсивных динамических воздействий. Разработанные модели, методики моделирования и определения параметров модели могут применяться для решения широкого круга научных и практических задач механики структурно-неоднородных сред.

Результаты диссертации Д.А. Билалова получены при выполнении ряда проектов РФФИ и РНФ, Президиума РАН.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы для развития численно-аналитического аппарата механики деформируемого твердого тела, проведении исследований механического поведения перспективных материалов при динамическом и ударно-волновом нагружении.

Результаты диссертации Д.А.Билалова могут представлять интерес для исследования новых материалов авиакосмического назначения в учреждениях РАН, вузах и Российских федеральных ядерных центрах, таких как ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ИФПМ СО РАН, Институт механики УрО РАН, ИМСС УрО РАН, ИТПМ СО РАН, ИГ им. М.А. Лаврентьева СО РАН, НИ Томский государственный университет, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Санкт-Петербургский государственный университет, Сибирский государственный аэрокосмический университет им. Акад. М.Ф. Решетнева, Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, МГТУ имени Н.Э. Баумана, НИ Томский политехнический университет, РФЯЦ ВНИИЭФ, РФЯЦ ВНИИТФ и в ряде других российских организаций.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации, полученные в диссертации результаты.

Оценка полноты опубликования результатов диссертации

Результаты диссертации Билалова Д.А. опубликованы в 8 статьях, в том числе 5 в журналах, включенных в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, 5 – в изданиях, входящих в базу цитирования Web of Science и Scopus.

Диссертация соответствует специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, физико-математические науки, по областям исследования: «Математические модели и численные методы анализа применительно к задачам, не допускающим прямого аналитического исследования» (пункт 8 паспорта специальности).

Критические замечания по работе заключаются в следующем:

1. Диссертанту следовало бы более подробно обсудить вопросы использования динамического критерия прочности материала в решаемых задачах о механическом поведении металлов и сплавов при динамическом нагружении в температурном диапазоне от 25 °С до 400 °С. При математической формулировке задачи в разделе 2 предложено использовать критерий разрушения в форме соотношения (2.21). Используемая в критерии разрушения $\sqrt{p:p} \geq p_c$, мера $\sqrt{p:p}$ по своему физическому смыслу является деформацией, обусловленной дефектами. Зависимость от температуры критического значения интенсивности тензора плотности микродефектов p_c , не обсуждается и явно не учитывается. Остается открытым вопрос о правомерности использования вместо критерия прочности соотношений (2.17) и (2.24), определяющих влияние температуры на вязкость сплошных материалов.
2. Диссертанту следовало бы обосновать границы применимости разработанной математической модели для описания процесса локализации пластической деформации и разрушения при динамическом нагружении для разных изомеханических групп металлических материалов. Принятая диссертантом гипотеза о несущественном изменении механических и

теплофизических параметров материалов (массовой плотности, модуля упругости и теплоемкости), в частности, алюминиевых сплавов в диапазоне температур от 25 °С до 400 °С ($0.32 < T/T_m < 0.75$, где T_m – температура плавления) требует обоснования.

3. В диссертации представлено сопоставление полученных теоретических результатов с экспериментальными данными. Следовало бы указывать конкретный источник экспериментальных данных. Информация об источнике экспериментальных данных и интервалах погрешностей отсутствует для результатов, представленных на рис.3.15, рис.3.18, рис.3.24, рис.3.27, рис.3.30, а также в таблице 3.2.


Сделанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Д.А. Билалова.

Заключение

Диссертация Билалова Д.А. «Механизмы локализации деформации и разрушения в металлах при динамическом нагружении» является законченной научно-квалификационной работой, в которой обоснована роль структурных переходов, обусловленных коллективным поведением дефектов, в процессе локализации пластической деформации; построена математическая модель, позволяющая описывать влияние термического разупрочнения и структурных переходов. В диссертации Д.А. Билалова развиты методики идентификации параметров модели по данным оригинальных лабораторных экспериментов.

На основании изложенного считаем, что диссертация «Механизмы локализации деформации и разрушения в металлах при динамическом нагружении» по содержанию, объему выполненных исследований, новизне, научной и практической значимости результатов, соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N 842, (П. 9) к кандидатскими диссертациям, а ее автор, Билалов Дмитрий Альфредович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Материалы диссертационной работы, отзыв на диссертацию обсуждены и одобрены на научном семинаре кафедры Механики деформируемого твёрдого тела физико-технического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», (протокол № 9 от 11.05.2018).

Заведующий кафедрой механики деформируемого твердого тела
Федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный
университет»,
доктор физико-математических наук (05.13.18 Математическое
моделирование, численные методы и комплексы программ),
профессор  Скрипняк Владимир Альбертович
14.05.2018

Сведения об организации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
государственный университет»,
Российская Федерация,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
(3822) 52-98-52
rector@tsu.ru
<http://www.tsu.ru>

Генеральный директор
удостоверен

