

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования



«Тульский
государственный
университет»
(ТулГУ)



Проспект Ленина, д. 92, г. Тула, 300012
Тел. (4872) 35-34-44, факс (4872) 35-81-81
e-mail: info@tsu.tula.ru, http://tsu.tula.ru

17.03.2016 № 202-04-1122

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО ТулГУ
В. Д. Кухарь

17.03.2016



ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» на диссертационную работу Янца Антона Юрьевича «Двухуровневая модель для описания неупругого деформирования поликристаллов: приложение к анализу сложного нагружения в случае больших градиентов перемещений», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»

На отзыв представлены: диссертационная работа на 149 страницах машинописного текста (в том числе 129 страниц основного текста), содержащего 19 иллюстраций и 5 таблиц; автореферат на 15 страницах, включая список из 13 основных публикаций автора по теме диссертационной работы, в том числе 8 статей в журналах из списка, рекомендованного ВАК, из которых 5 входят в базы цитирования Web of Science и Scopus и 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

При подготовке отзыва были рассмотрены работы автора, опубликованные в открытых научных изданиях. Основное содержание диссертации нашло отражение в данных работах. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 149 наименований.

Актуальность темы диссертации

В связи с постоянно растущей в настоящее время потребностью в совершенствовании существующих и разработке новых материалов и технологий широкое распространение получили процессы обработки,

реализующие интенсивные пластические деформации (ИПД), при этом большинство таких процессов связано с нагружением по траекториям деформаций, обладающих сложной внутренней геометрией.

Для описания поведения материала при сложном нагружении большинством исследователей используются макрофеноменологические модели неупругого деформирования. Модели данного класса базируются на установлении зависимостей между параметрами макроуровня, не вводя в рассмотрение в явном виде характеристик эволюционирующей микроструктуры материала, что приводит к усложнению операторных зависимостей, необходимости постановки и проведения ресурсоемких экспериментов на сложное нагружение.

Экспериментальные данные показывают, что микроструктура материала в ходе нагружения претерпевает существенные изменения; при этом текущее состояние структуры мезо- и микроуровня определяют физико-механические свойства материала на макроуровне. Попытки построения математических моделей, описывающих эволюцию мезо- и микроструктуры в широком диапазоне термомеханических воздействий, предпринимались еще с 30-50-х гг. XX века. Существенным преимуществом таких моделей перед макрофеноменологическими теориями является их значительная универсальность, в частности – отсутствие зависимости от сложности нагружения.

При математическом описании поведения сложных физико-механических объектов широкое распространение получил подход, основанный на введении внутренних переменных и многоуровневом моделировании, в котором в структуру модели включаются кинетические уравнения, отражающие эволюцию его структуры на различных масштабных уровнях. Основные отличия существующих многоуровневых моделей заключаются в способе связи между переменными различных уровней и выбором моделей, описывающих поведение элементов нижних уровней (в случае двухуровневых моделей поликристаллов – кристаллитов). Актуальность настоящей работы связана с необходимостью разработки двухуровневой конститутивной модели, основанной на одной из физических теорий пластичности, и анализ возможностей ее применения для описания нагружения представительного объема поликристалла при больших градиентах перемещений по траекториям с произвольной внутренней геометрией.

Структура и содержание диссертации

Во введении обосновывается актуальность и научная новизна диссертационного исследования, приводятся возможные сферы применения результатов работы; формулируются цель и задачи работы.

В первой главе представлены основные понятия и положения теории упругопластических процессов (УПП) А.А. Ильюшина. Приведен краткий обзор работ по экспериментальному исследованию нагружения по траекториям различной степени сложности и представлена их интерпретация с позиций теории УПП А.А. Ильюшина. Отмечены сложности задачи экспериментального исследования нагружения в случае больших градиентов перемещений.

Предложена модификация основных положений теории УПП А.А. Ильюшина на случай несимметричных мер напряженного и деформированного состояния: размерность соответствующих векторов и пространств, их содержащих, а также образа процесса нагружения (ОПН), увеличена с 5 до 9, введена гипотеза о выделении квазивердого движения и определение в терминах подвижной системы координат компонент соответствующих векторов. Введены скалярные параметры, характеризующие меру близости двух образов процессов, полученных при деформировании по траекториям с одинаковой внутренней геометрией, с целью оценки точности выполнения постулата изотропии.

Во второй главе представлен обзор существующих физических теорий пластичности и двухуровневых моделей, основанных на них. Выделены недостатки существующих моделей: использование симметричных ориентационных тензоров систем скольжения (СС) и меры деформированного состояния. Представлен обзор теорий упрочнения, наиболее часто используемых в конститутивных моделях. Предложен подход, основанный на аддитивности вклада в упрочнение от различных механизмов. Приведен обзор возможных вариантов решения проблемы о разложении движения на квазивердое и деформационное на мезоуровне; представлены наиболее часто используемые модели ротации элементов мезоуровня, проанализированы их достоинства и недостатки. В заключение второй главы представлена общая структура статистической двухуровневой упруговязкопластической модели для описания деформирования представительного объема поликристаллического материала в случае больших градиентов перемещений. Приведены определяющие и эволюционные соотношения модели мезоуровня. Представлены условия согласования ОС масштабных уровней, с использованием которых получены

выражения для упругой и неупругой составляющих меры скорости деформации.

Третья глава посвящена построению модификации двухуровневой модели неупругого деформирования моно- и поликристаллов, основанной на несимметричной теории упруговязкопластичности. Освещены вопросы построения геометрически нелинейных определяющих соотношений, базирующиеся на физически обоснованном разложении движения. Предложено разложение движение на квазиверное и деформационное на мезоуровне, заключающееся в привязке на протяжении всего процесса к одному из кристаллографических направлений и плоскости, содержащей данное направление. В качестве альтернативы существующим способам разложения движения на макроуровне предлагается способ, основанный на условии согласования определяющих соотношений макро- и мезоуровней, в соответствии с которым спин квазиверного движения на макроуровне равен среднему значению спинов элементов мезоуровня. С позиции построенной двухуровневой конститутивной модели был показан физический смысл вводимой несимметричной неголономной меры деформированного состояния. В заключение третьей главы представлен алгоритм реализации модели для описания нагружения представительно объема, определенного в терминах подвижной системы координат (ПСК), которая считается связанной с материалом и испытывающей квазиверное движение соответственно выбранной гипотезе о разложении движения.

Четвертая глава содержит изложение алгоритма численной реализации предлагаемой модели, описание и анализ результатов численных экспериментов по нагружению представительного объема поликристаллического материала с ОЦК решеткой по траекториям различной степени сложности в случае малых и больших градиентов перемещений. Представлена также постановка и результаты решения оптимизационной задачи идентификации параметров модели для материала Ст45. Приведены результаты численных экспериментов и их сравнение с данными натурных экспериментов в случае сложного нагружения при малых градиентах перемещений. Показано хорошее соответствие результатов численных и натурных экспериментов в части векторных и скалярных характеристик процесса нагружения. Приведены результаты численных экспериментов для ряда траекторий различной степени сложности при больших градиентах перемещений, заданных в терминах подвижной системы координат (ПСК). Показано, что при реализации нагружения по траектории, заданной в терминах ПСК, траектория в лабораторной системе координат (ЛСК), в которой происходит непосредственное нагружение, существенно отличается

от заданной в ПСК как внутренней геометрией, так и размерностью пространства, в которое она вложена. В связи с этим выявлены сложности реализации произвольной траектории нагружения, заданной в терминах ПСК, предложены пути возможного решения. Было подтверждено выполнение постулата изотропии А.А. Ильюшина в терминах ПСК с различной степенью точности в случаях принятия различных гипотез о разложении движения на макроуровне.

В заключении сформулированы основные результаты проведенного диссертационного исследования.

Научная новизна диссертационной работы определяется следующими результатами исследования, полученными лично соискателем:

1. модификация двухуровневой конститутивной модели, основанной на физической теории упруговязкопластичности, использующей несимметричные меры скорости изменения деформированного состояния и деформации;
2. введение нового физически обоснованного способа разложения движения на квазиверное и деформационное на мезо- и макроуровне;
3. модификация способа построения образа процесса нагружения в терминах подвижной системы координат; доказательство независимости получаемого образа процесса от выбора системы отсчета и обобщение указанных понятий и определений на случай больших градиентов перемещений, базирующихся на введенном способе разложения движения на квазиверное и деформационное;
4. определение программы нагружения в терминах лабораторной системы координат (испытательной машины) по предписанной траектории нагружения в терминах подвижной системы координат;
5. применение модели для физического объяснения эффектов сложного нагружения, описание и анализ полученных результатов численного моделирования процессов нагружения по траекториям различной степени сложности в случае больших и малых градиентов перемещений;
6. оценка точности выполнения постулата изотропии А.А. Ильюшина в случае больших градиентов перемещений.

Практическая значимость работы заключается:

- в возможности применения разработанной модели для анализа процессов нагружения материала по произвольным траекториям деформаций (в том числе – при больших градиентах перемещений), задаваемых в терминах

подвижной системы координат, реализуемых с использованием машин сложного нагружения;

- в возможности применения для решения фундаментальных и прикладных проблем механики деформируемого твердого тела разработанного комплекса проблемно-ориентированных программ для ЭВМ с применением современных технологий параллельных вычислений для проведения численных экспериментов по нагружению представительного объема поликристаллического материала по произвольным траекториям;
- в возможности разработки новых и усовершенствование существующих методик проведения натурных экспериментов по сложному нагружению в случае больших градиентов перемещений на основе проведенных в диссертации теоретических исследований поведения поликристаллических материалов в случае существенной геометрической нелинейности.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Разработанные автором модель и программа её реализации на ЭВМ могут быть использованы для моделирования процессов глубоких пластических деформаций поликристаллических тел с учетом изменения внутренней микро- и мезоструктуры, а также для прогнозирования физико-механических свойств материала на макроуровне. Предложенный автором алгоритм реализации нагружения в терминах подвижной системы координат и выявленный физический смысл неголономной меры деформации могут быть использованы при постановке натурного эксперимента и интерпретации получаемых данных.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в ряде академических вузов и институтов:

- Институт машиноведения РАН (г. Москва);
- Институт проблем механики РАН (г. Москва);
- Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск);
- Институт механики МГУ (г. Москва);

а также в организациях, занимающихся разработкой технологических режимов обработки материалов:

- Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН (г. Москва);
- НПО «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения» (г. Москва);
- Физико-технический институт НАН Беларуси (г. Минск).

Замечания по диссертации

- Автором принята аддитивность скоростей упругих и неупругих составляющих скоростей деформации (2.52), однако в работе «Л.И. Седов. Механика сплошной среды. Т2. 1984» показано, что аддитивность справедлива только для ковариантных компонент данных тензоров в лагранжевой системе координат, а не для самих тензоров.
- Автором не обсуждается применимость и степень адекватности использования гипотезы Фойгта (2.58) при моделировании процессов неупругого деформирования металлов.
- В качестве закона упрочнения используется соотношение (2.32), учитывающее малое количество механизмов упрочнения, число которых при глубоких деформациях, вероятно, значительно больше.
- При описании квазивердого движения кристаллита предлагается введение подвижной системы координат, жестко связанной с кристаллографическим направлением и плоскостью. При этом не указано, будут ли зависеть результаты от выбора направления и плоскости.

Работа написана литературным языком научных работ, грамотно, стиль изложения доказательный. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Заключение. Диссертационная работа Янца А.Ю. «Двухуровневая модель для описания неупругого деформирования поликристаллов: приложение к анализу сложного нагружения в случае больших градиентов перемещений» является законченной научно-исследовательской работой, имеющей научное и практическое значение. Диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а её автор, Янц Антон Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Отзыв составлен д. ф. – м.н., профессором Маркиным А.А.

Отзыв обсужден и утвержден на расширенном заседании кафедры «Математическое моделирование» ФГБОУ ВО Тульского государственного университета от 12.02.2016 года, протокол № 6.

Почтовый индекс, адрес организации: 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92

Заведующий кафедрой
математического моделирования,
д. ф. – м.н., профессор Маркин Алексей Александрович

сот. тел.: 8-910-704-03-75; markin-nikram@yandex.ru

Диссертация обсуждена на научном семинаре по механике ФГБОУ
ВО Тульский государственный университет, протокол № 6 от
12.02.2016 г.

д. ф. – м.н.,  Глаголев Вадим Вадимович
профессор кафедры математического моделирования ТулГУ

сот. тел.: 8-910-947-04-11; vadim@tsu.ru

д. ф. – м.н.,  Соколова Марина Юрьевна
доцент кафедры математического моделирования ТулГУ

сот. тел.: 8-910-551-59-06; m.u.sokolova@gmail.com

Подписи А.А. Маркина, В.В. Глаголева, М.Ю. Соколовой заверяю.

Начальник отдела кадров ТулГУ  М.В. Метелищенко

