

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Остаповича Кирилла Вадимовича «Проектирование рационально текстурированных поликристаллических изделий на основе двухуровневой статистической модели упруговязкопластического деформирования», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Одной из важнейших проблем современного материаловедения является проектирование функциональных материалов для изготовления деталей и конструкций с наилучшими показателями качества эксплуатации (функционирования) в заданных условиях. Ключевую роль при этом играет внутренняя структура, определяющая многие эффективные свойства материалов и, как следствие, рабочие характеристики создаваемых из них изделий. Возможность управления такой структурой посредством различных контролируемых термомеханических воздействий ставит перед исследователями задачи прогнозирования и оптимизации характеристик готовых изделий, получаемых при реализации конкретных технологических процессов их производства. Подобные вопросы находятся на стыке материаловедения и механики деформируемого твердого тела, и их решение не представляется возможным без привлечения аппарата физически-ориентированного математического моделирования и специализированных численных методов. В диссертации К.В. Остаповича рассматривается рациональное текстурирование поликристаллических изделий, изготавливаемых методами интенсивной пластической деформации. Практический интерес к такого рода задачам обусловлен необходимостью совершенствования существующих и создания новых технологических операций, настроенных на производство изделий с улучшенными эксплуатационными свойствами. Диссертационная работа посвящена

развитию методов математического моделирования требуемых свойств функциональных материалов и изделий из них что, безусловно, является **актуальным**.

Научная новизна работы включает в себя:

- математическую постановку задачи установления режимов деформирования поликристаллической заготовки, обеспечивающих получение изделия с текстурой, наилучшим образом соответствующей предполагаемым условиям эксплуатации;
- вариант алгоритмов численной реализации контактных краевых и начальных условий для скоростной квазистатической постановки задачи деформирования твердого тела;
- способ адаптивного определения текстурных параметров на основе их вклада в оптимальность функционирования получаемого изделия;
- результаты, иллюстрирующие работу элементов предложенного математического моделирования, включая демонстрационный пример решения задачи поиска режима деформирования в процессе равноканального углового прессования для получения изделия с требуемой упругой податливостью на макроуровне.

Теоретическую значимость работы составляет развитие в ней методов оптимизации рационального текстурирования изделий на основе многоуровневых моделей упруговязкопластического деформирования поликристаллов.

Практическая значимость представлена разработанными в рамках предложенных методик прикладными программами для численного анализа и редуцированного представления модельных кристаллографических текстур, а также их генерации по экспериментальным данным.

На **достоверность полученных результатов** указывают строго формализованные постановки соответствующих им задач, а также

удовлетворительное соответствие выходных данных тестовых расчетов известным из литературы экспериментальным сведениям.

Структура работы и основные научные результаты.

Диссертация изложена на 123 страницах и состоит из списка сокращений, введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы из 169 наименований, а также приложения, содержащего 2 полученных свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Автореферат диссертации в полной мере отражает ее содержание и имеет идентичную логическую структуру.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы и оценивается степень ее разработанности. Ставятся цель и задачи исследования, описывается методологическая база работы. Приводятся сведения о научной новизне, теоретической и практической значимостях. Формулируются основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводится общая постановка задачи функционально-ориентированного проектирования (ЗФОП) изделия из поликристаллического материала. Предварительно даются все необходимые определения, в том числе составляющие основу математического аппарата исследования.

Вторая глава посвящена формулировке модели для описания технологических процессов деформационной обработки поликристаллических заготовок с учетом образования текстуры. Приводятся концептуальная и математическая постановки начально-краевой задачи интенсивного упруговязкопластического деформирования твердого тела. При этом рассматривается взаимодействие деформируемой заготовки с жестким инструментом, осуществляющим деформирование, то есть задача ставится как односторонняя контактная. Используется скоростная формулировка уравнения равновесия, в рамках которой для численной реализации условий контакта в работе предлагается оригинальный алгоритм. В роли системы

определяющих соотношений в задаче выступает двухуровневая статистическая упруговязкопластическая модель представительного макрообъема поликристалла. Образование текстуры описывается явно – в терминах ориентаций отдельно взятых кристаллитов. Моделирование деформирования предварительно текстурированного материала в таком подходе требует задания их начальных значений. Для решения этого вопроса в диссертации предложен новый алгоритм типа Монте-Карло, позволяющий генерировать требуемые выборки ориентаций по известным полюсным фигурам. Обоснована корректность метода, рассмотрены иллюстрирующие примеры его использования.

В третьей главе описывается способ построения пространства текстурных параметров для конкретизации постановки ЗФОП и перехода к ее вычислительной реализации. С целью адаптации редуцированной параметризации (по существу – текстурно-компонентного разложения) к характерным для исследуемого процесса деформирования текстурам, производится предварительная идентификация преимущественных ориентаций (текстурных компонент), получаемых в результате прямого моделирования допустимых режимов. Для этого применяется специальный алгоритм, основанный на кластерном анализе в пространстве ориентаций кристаллических решеток. В главе также обсуждается важный вопрос оценки значимости получаемых текстурных параметров с позиции их вклада в оптимальность функционирования создаваемого изделия.

Четвертая глава содержит описание разработанного алгоритма решения ЗФОП. В качестве демонстрационного примера рассмотрена его реализация на модельном приближении процесса равноканального углового прессования с двумя проходами, в котором определялся режим деформирования, обеспечивающий получение материала с наименьшей упругой податливостью в заданном направлении. В роли оптимизируемого параметра выступал угол поворота деформируемой заготовки вокруг оси подачи перед

вторым проходом. Установленный с помощью предложенной методики оптимум оказался близким к достижимому в исследуемом процессе.

В заключении перечислены основные результаты и выводы диссертационного исследования. Резюмируются итоги решения задач, поставленных для достижения цели работы – создания «на базе статистической двухуровневой конститутивной модели упруговязкопластического деформирования поликристалла вычислительно эффективного подхода к решению ЗФОП». Данную цель можно считать достигнутой.

Замечания и вопросы по работе:

1. Вызывает вопрос представление тензора вихря в виде (2.23). Когда рассматривается стадия упругого деформирования кристаллита тензор вихря, в соответствии с (2.24), совпадает с антисимметричной составляющей транспонированного градиента скорости. В чем отличие такого представления тензора вихря от представления в виде (2.23)?
2. Предложенный метод Монте-Карло генерации выборок ориентаций, воспроизводящих текстуру в поликристалле, не позволяет контролировать распределение размера зерен. Известно, что подобная характеристика структуры оказывает существенное влияние на многие механические свойства материала на макроуровне, а потому ее включение в рассмотрение представляется важным.
3. Левая часть закона пластического течения Шмидта (2.25) является симметричным тензором (вязкопластическая составляющая тензора деформации скорости). Почему в правой части (2.25) стоит несимметричная диада, а не её симметричная составляющая?
4. Не ясно отличается ли, приведенная на стр. 43-46 система соотношений, определяющая поведение кристаллита на мезоуровне, от известных моделей. Если имеется отличие от предыдущих моделей, предложенных П.В.Трусовым с соавторами, то надо было указать в чем оно состоит.

5. В разделе "конечно-элементная реализация контактных краевых условий" сказано :

"Пусть численное решение задачи (2.1)-(2.40) строится в скоростях..." При этом отсутствует формулировка того в чем заключается задача, что понимается под её решением (независимо от того будет ли оно численным или нет) , какие неизвестные и в какой последовательности подлежат определению.

6. В качестве процесса деформационной обработки заготовки исследовалось модельное приближение двух проходов равноканального прессования под прямым углом, описываемых активными стадиями кинематического нагружения с постоянными градиентами. Не понятно из каких условий задавались диадные разложения эти градиентов, приведенные на стр. 101.

Заключение по диссертации.

Результаты диссертационной работы опубликованы в достаточном числе статей. Автореферат отражает содержание диссертации. Тема работы соответствует паспорту специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Направление исследований: 1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений (физико-математические науки).


Диссертация является завершенным научно-квалификационным исследованием, в котором решена важная научно-техническая задача разработки методов математического моделирования рационального текстурирования поликристаллических изделий на основе двухуровневой статистической модели упруговязкопластического деформирования.

Считаю, что диссертационная работа К.В. . Остаповича «Проектирование рационально текстурированных поликристаллических изделий на основе двухуровневой статистической модели упруговязкопластического деформирования» удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №

842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук (01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела), профессор кафедры «Вычислительная механика и математика», ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92, тел. +7 (910) 70-40-375, e-mail: markin.nikram@yandex.ru.

 / А.А. Маркин

Я, Маркин Алексей Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Остаповича Кирилла Вадимовича, и их дальнейшую обработку.

 / А.А. Маркин

Подпись официального оппонента А.А. Маркина заверяю.



