

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ ИМЕНИ Э.С. ГОРКУНОВА  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИМАШ УрО РАН)

URAL BRANCH OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES  
INSTITUTE OF ENGINEERING SCIENCE

Комсомольская ул., д. 34, г. Екатеринбург, 620049  
Тел.: (343) 374-47-25, факс: (343) 374-53-30, E-mail: [ges@imach.uran.ru](mailto:ges@imach.uran.ru),  
ОГРН 1036603482992, ИНН/КПП 6660005260/667001001

30.11.2022 № 16347/02-3479-189  
на № \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Директор Федерального  
государственного бюджетного  
учреждения науки Института  
машиноведения имени Э.С. Горкунова  
Уральского отделения Российской  
академии наук  
(ИМАШ УрО РАН),  
доктор технических наук, профессор

ин В.П.

«30» но:

### О Т З Ы В

ведущей организации ИМАШ УрО РАН на диссертационную работу Грибова Дмитрия Сергеевича «Физически-ориентированная трёхуровневая модель для исследования неупругого деформирования поликристаллов: описание сложного циклического нагружения материалов с различной энергией дефекта упаковки», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

#### 1. Актуальность темы выполненного исследования.

Актуальность работы определяется большой значимостью математического моделирования для разработки новых и совершенствования существующих технологий термомеханической обработки металлов и сплавов. В точности и адекватности моделирования особую роль играют определяющие соотношения,

описывающие свойства конкретных материалов. Поскольку физико-механические свойства сплавов и рабочие характеристики изделий из них определяются главным образом мезо- и микроструктурой материалов, то необходимо развивать и применять модели, позволяющие явным образом описывать изменение структуры материалов в процессах обработки, осуществляемых методами неупругого деформирования в условиях сложного нагружения, в том числе – циклического нагружения материалов с низкой энергией дефекта упаковки (ЭДУ), сопровождаемого существенным ростом предела текучести.

## 2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Сформулированные в диссертационной работе Д.С. Грибовым положения, выводы и рекомендации подтверждаются обширным анализом научной литературы по тематике диссертационной работы на русском и английском языках; удовлетворительным соответствием данных натурных экспериментов и результатов, полученных в численных экспериментах на сложное циклическое деформирование материалов с разной величиной ЭДУ с использованием разработанной модели; отсутствием логических противоречий в постановке и результатах решения задачи; выводами по диссертации, которые соответствуют положениям математического моделирования.

С использованием численных экспериментов осуществлена проверка способности разработанной диссертантом модели описывать явления, наблюдаемые при циклическом нагружении, такие как выход амплитуд напряжений на стационарные значения при циклических нагружениях с фиксированными амплитудами деформаций, дополнительное циклическое упрочнение, увеличение плотностей дефектов с появлением барьеров на расщеплённых дислокациях.

## 3. Научная новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Осуществлена модификация базовой двухуровневой конститутивной модели, основанной на физической теории упруговязкопластичности, за счет введения дополнительного уровня для описания эволюции дефектной структуры.



На этой основе построена новая замкнутая система эволюционных уравнений для описания изменения плотностей дефектов микроструктуры материала. Представляет научный интерес конкретизация соотношений для описания эволюции внутренних переменных мезоуровня-2 и кинетические уравнения для определения плотностей дефектов решётки (образование и аннигиляция дислокаций, формирование барьеров).

Введение в модель явного описания реакций по образованию барьеров Ломера – Коттрелла и Хирта на расщеплённых дислокациях позволило сформулировать закон упрочнения, учитывающий взаимодействие дислокаций с барьерами различной природы.

Предложенная модифицированная трехуровневая модель позволяет описывать процессы произвольного нагружения, включая непропорциональное циклическое, представительного макрообъема поликристаллических материалов с различной величиной ЭДУ.

Полученные с использованием разработанной модели новые результаты, позволяют объяснить физическую природу явления дополнительного циклического упрочнения в материалах с низкой ЭДУ.

#### 4. Значимость результатов для науки и практики.

Разработанная трехуровневая модель, алгоритмы и программа ее реализации могут быть применены при описании отклика поликристаллических материалов с различной величиной ЭДУ в условиях сложного деформирования.

Модель позволяет анализировать характеристики текущего состояния дефектной микроструктуры, такие как плотности дислокаций по системам скольжения, плотности барьеров Ломера–Коттрелла и Хирта, плотности источников дислокаций, при исследовании процессов обработки металлов и сплавов.

#### 5. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.

Достоверность подтверждена удовлетворительным соответствием данных натуральных экспериментов и результатов, полученных в численных экспериментах на сложное циклическое деформирование образцов из материалов с разной

величиной ЭДУ с использованием разработанной модели. Полученные новые результаты широко доложены на научных конференциях. Основные результаты исследований по теме диссертации представлены в 6 научных статьях, опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК и входящих в базы цитирования Web of Science и/или Scopus.

Разработанная программа прошла государственную регистрацию программ для ЭВМ.

#### 6. Оценка содержания диссертации и автореферата.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Общий объем диссертационной работы составляет 111 страниц, библиографический список включает 137 источников. Материал достаточно полно раскрыт в соответствии с поставленными целями и задачами. Автореферат диссертации правильно и полно отражает ее содержание. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в научной и технической литературе. Публикации в достаточной мере отражают основные научные результаты соискателя.

#### 7. Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.

Диссертационная работа по своему содержанию соответствует паспорту специальности 1.2.2 (05.13.18) – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, в том числе следующим областям исследования из паспорта специальности 1.2.2: п.2. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий; п.3. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента; п.7. Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования.

#### 8. Рекомендации по использованию результатов и выводов работы

Разработанная модель, алгоритмы и программа для ЭВМ могут быть включены в системы инженерного анализа для моделирования реальных



технологических процессов обработки металлов давлением на машиностроительных предприятиях.

### 9.Замечания по содержанию и оформлению работы

1. Во введении к достоинствам модели относится возможность применения для описания отклика различных металлов и сплавов. Необходимо пояснить алгоритм определения параметров модели для исследования отклика материалов с другими типами решётки.

2. В третьей главе указывается на учёт краевых дислокаций и барьеров на расщеплённых дислокациях, в то же время влияние винтовых дислокаций не учитывается, следует объяснить данное предположение.

3. В четвёртой главе недостаточно внимания уделено исследованию устойчивости решения относительно параметров модели и используемых схем интегрирования.

4. Материалы с низкой энергией дефекта упаковки подвержены двойникованию, следует объяснить, по какой причине двойникование не рассматривается в модели.

### 10. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней.

Таким образом, диссертация Грибова Дмитрия Сергеевича «Физически-ориентированная трёхуровневая модель для исследования неупругого деформирования поликристаллов: описание сложного циклического нагружения материалов с различной энергией дефекта упаковки», является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной задачи математического моделирования, связанной с разработкой многоуровневой модели, вычислительных алгоритмов и программ для исследования неупругого деформирования поликристаллов в условиях сложного циклического нагружения материалов, соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Грибов Дмитрий Сергеевич, заслуживает

присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Отзыв составлен профессором, доктором технических наук,  
главным научным сотрудником лаборатории механики деформаций  
Коноваловым Анатолием Владимировичем

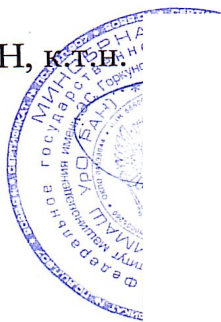
Отзыв рассмотрен и утвержден на научном семинаре отдела механики машин и технологий Института машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук,  
протокол № 4 от 29 ноября 2022 г.

Руководитель семинара  
профессор, доктор технических наук

*А*

Коновалов Анатолий Владимирович

Подпись Коновалова А.В. заверяю  
ученый секретарь ИМАШ УрО РАН, к.т.н.



В.В. Привалова