

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук
Ильницкого Дениса Константиновича
на тему «Численное моделирование процессов деформации и
разрушения материалов при импульсных нагрузках»

по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела»

В диссертации рассматривается численное моделирование процессов деформации и разрушения материалов при импульсных нагрузках. Изучаются процессы, происходящие при воздействии на металлы ультракороткого лазерного излучения, при взаимодействии нагретых тонких металлических пленок со стеклянными подложками, а также пластическая деформация энергетических материалов (взрывчатые вещества (ВВ), пороха, пиротехнические составы) при слабоинтенсивном механическом воздействии на них. Данные явления широко используются в разнообразных технологических приложениях, поэтому их математическое описание является **актуальной** задачей.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, изложена на 117 страницах, включает 42 рисунка и библиографию из 79 наименований.

Во Введении дается описание актуальности, достоверности, научной новизны и практической ценности задач, рассматриваемых в работе. Кратко сформулированы цели работы.

Целью диссертационной работы является развитие математических моделей описания поведения материалов под действием импульсных нагрузок, включающих в себя:

- 1) описание поведения монокристаллов металлов при субпикосекундном лазерном воздействии с учетом их упругих свойств,
- 2) учет наличия сил адгезии между пленкой и подложкой, а также возможность внутреннего разрушения пленки и ее отрыва от

подложки в системах «тонкая металлическая пленка - стеклянная подложка», подвергаемых облучению ультракороткими лазерными импульсами,

- 3) учет анизотропных свойств отдельных кристаллов энергетических материалов и их взаимодействия друг с другом при механическом нагружении слабой интенсивности.

Содержание диссертации является последовательным, развернутым и достаточно методичным обоснованием описанных во введении основных **положений, выносимых на защиту:**

1. Для корректного описания распространения упругих волн большой амплитуды в монокристаллах металлов при воздействии ультракоротких лазерных импульсов необходимо дополнить существующие двухтемпературные математические модели слагаемыми, учитывающими упругие свойства ионной подсистемы.

2. При облучении ультракороткими лазерными импульсами тонких металлических пленок (10 - 100 нм), расположенных на толстых стеклянных подложках (несколько мкм), существуют три режима движения пленки в зависимости от поглощенной энергии излучения: колебания, отрыв ее целиком и внутреннее разрушение пленки.

3. Инициирование ВВ за счет локализации пластического течения при механических ударах слабой интенсивности возможно моделировать с помощью конечно элементного метода кристаллической пластичности, который позволяет учитывать анизотропные свойства отдельных кристаллов ВВ, а также их взаимодействие.

Первая глава посвящена описанию распространения упругих волн большой амплитуды (порядка 1-10 ГПа по сравнению с обычно наблюдаемыми при микросекундном воздействии порядка 0,1 ГПа) в монокристаллах металлов при субпикосекундном лазерном воздействии.

Глава 2 посвящена описанию поведения тонкой металлической пленки на стеклянной подложке, при воздействии ультракороткого лазерного импульса.

Третья глава посвящена описанию инициирования анизотропного ВВ за счет локализации пластической деформации, причем для описания этого процесса используется конечно элементный метод кристаллической пластичности.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

Впервые в существующие двухтемпературные математические модели среды, описывающие ультракороткие лазерные воздействия, были добавлены слагаемые, отвечающие за прочностные свойства материалов. Данная модификация позволила описать множество экспериментов по генерации упругих волн большой амплитуды в металлических пленках, что до этого не удавалось сделать в рамках континуального моделирования.

Подробное численное описание влияния стеклянной подложки на динамическое поведение тонкой металлической пленки, находящейся на ней, при ее лазерном облучении с учетом отрыва и разрушения пленки также является новым. Ранее исследования ограничивались аналитическим рассмотрением упрощенных задач либо рассматривались свободные пленки.

Впервые для моделирования инициирования анизотропного ВВ применен конечно элементный метод кристаллической пластичности. Такой подход позволяет рассмотреть напрямую влияние анизотропии кристаллов материалов и их взаимодействия на локализацию пластического течения без введения дополнительных предположений.

Работа выполнена на высоком научном уровне, материалы работы изложены аргументировано. Автореферат отражает основные положения диссертационной работы. Материалы диссертации достаточно полно опубликованы и прошли необходимую апробацию на конференциях и семинарах. Основные результаты опубликованы в международных рецензируемых журналах, индексируемых в системах Scopus или Web of Science. **Достоверность** результатов исследований

обусловлена их согласием с экспериментальными данными и результатами моделирования, проведенными атомистическими методами.

Диссертационная работа представляет собой целостную научную работу, в которой развиты математические модели материалов, имеющие как фундаментальное, так и прикладное значение.

По содержательной части работы имеются следующие **замечания**:

1. В Главе 1 часть результатов соответствует случаю, когда в пленке сосуществуют твердая и жидккая фаза. Но не понятно, их каких соображений в этом случае задавалась начальная конфигурация и как описывалось плавление.
2. В тексте диссертации не удалось найти пояснения уравнению (1.12), согласно которому электронный и ионный вклады в давление суммируются, хотя, как известно, что электронный газ в металлах не является идеальным газом.
3. На странице 30 в диссертации сказано, что «метод МД не позволяет описывать двухтемпературное состояние материала». Это не так и подобные работы существуют. Поэтому было бы уместно сравнить предлагаемую в Главе 1 модель и полученные результаты с недавними работами сотрудников ОИВТ РАН по сравнению молекулярно-динамических и континуальных двухтемпературных моделей (см., например, V.B.Fokin et al., Appl. Surf. Sci., 2017, 396, 1802).
4. При обсуждении в Главе 3 метода кристаллической пластичности для твердых ВВ рассуждения ведутся слишком отвлеченно. При отсутствии соответствующих экспериментальных данных для ВВ можно было бы, например, привести данные по пластичности для других кристаллов, состоящих из молекул сложной структуры. Описание сравнения результатов расчетов с экспериментом в Главе 3 чересчур краткое, что затрудняет понимание соответствия модели и измерений.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом им. М.В.

Ломоносова к работам подобного рода.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова. Диссертационная работа оформлена согласно приложениям №5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель **Ильницкий Денис Константинович** заслуживает присуждения ученой степени **кандидата физико-математических наук** по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук,
заведующий отделом многомасштабного
суперкомпьютерного моделирования,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Объединенный
высоких температур Российской
наук (ОИВТ РАН)

Стегайлов Владимир
Владимирович

Контактные данные: тел. +7 (92
Специальность, по которой офи
01.04.07 – физика конденсирова

Адрес места работы:

104556, Россия, г. Москва, ул. И

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный
институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН)
тел. 8 (495) 485-83-45

Подпись Стегайлова Владимира Владимировича заверяю

Ученый секретарь ОИВТ РАН
д.ф.-м.н.

Р.Х. Амиров

М.П.

