

ОТЗЫВ официального оппонента
о диссертации 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»

Диссертация Д.К. Ильницкого посвящена численному моделированию нестационарных динамических процессов деформирования и разрушения материалов при импульсных тепловых или механических воздействиях. В работе рассматриваются волновые процессы, возникающие при действии на металлы ультракороткого лазерного излучения, а также при взаимодействии нагретых тонких металлических пленок со стеклянными подложками. Кроме того, исследуется динамическое поведение энергетических материалов (взрывчатые вещества, пиротехнические составы), подверженных слабоинтенсивному механическому воздействию с учетом пластических деформаций. Подобного рода процессы и сопутствующие им явления проявляются в разнообразных технических приложениях, однако, несмотря на известные экспериментальные и теоретические результаты в этой области, многие вопросы остаются изученными недостаточно. Таким образом, **актуальность** темы диссертации несомненна как в теоретическом, так и в практическом плане.

Целью диссертационной работы является разработка математических моделей, описывающих поведение материалов под действием импульсных внешних воздействий. Она включает в себя:

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

системах типа «тонкая металлическая пленка – стеклянная подложка», подвергаемых облучению ультракороткими лазерными импульсами;

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

Содержание диссертации составляют введение, три главы, заключение и список литературы из 79 наименований. Работа изложена на 117 страницах, включая 42 рисунка.

Во введении обоснованы актуальность темы диссертации, ее научная новизна, достоверность и практическая значимость. Сформулирована цель работы и представлены положения, выносимые на защиту.

Дальнейшее содержание диссертации является последовательным, развернутым и методичным обоснованием выносимых на защиту положений, сформулированных во введении.

Первая глава посвящена описанию распространения упругих волн в монокристаллах металлов при воздействии ультракоротких (субпикосекундных) лазерных импульсов. Амплитуда этих волн велика (порядка 1-10 ГПа) по сравнению с обычно наблюдаемыми амплитудами волн (порядка 0,1 ГПа) при микросекундном воздействии. Для корректного описания распространения упругих волн большой амплитуды существующие двухтемпературные математические модели дополнены слагаемыми, учитывающими упругие свойства ионной подсистемы. Разработан специальный вычислительный код, позволяющий проводить математическое моделирование двухтемпературных динамических процессов в металлах с учетом упругих свойств. Это позволило изучить двухтемпературное упругое динамическое поведение металлов вплоть до их плавления.

Во второй главе исследовано поведение тонкой металлической пленки (10 – 100 нм), находящейся на толстой (несколько мкм) стеклянной подложке, при воздействии ультракороткого лазерного импульса. Впервые численно изучена зависимость характера движения пленки на подложке от

поглощенной лазерной энергии. Установлено существование трех режимов движения пленки в зависимости от поглощенной энергии излучения: колебательный режим, движение пленки при полном ее отрыве от подложки и движение при внутреннем разрушении пленки.

Третья глава посвящена исследованию процесса инициирования анизотропного взрывчатого вещества (ВВ) за счет локализации пластической деформации при механических ударах слабой интенсивности. Для математического моделирования такого процесса впервые использован конечно-элементный метод кристаллической пластичности, который позволяет учесть анизотропные свойства отдельных кристаллов ВВ, а также их взаимодействие.

Закключение содержит перечень основных результатов работы

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Впервые в существующие двухтемпературные математические модели среды, описывающие ультракороткие лазерные воздействия, были добавлены слагаемые, отвечающие за упругие 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.

2. Впервые проведено подробное численное исследование влияния стеклянной подложки на динамическое поведение тонкой металлической пленки, находящейся на ней, при ее лазерном облучении с учетом отрыва и разрушения пленки. Ранее исследования ограничивались аналитическим рассмотрением упрощенных задач либо рассматривались свободные пленки.

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

Практическая ценность работы состоит в том, что ее результаты можно использовать для более глубокого понимания разнообразных технологических процессов, связанных с применением лазеров, а также с использованием энергетических материалов (ВВ, пиротехнических составов).

Обоснованность и достоверность результатов диссертации обусловлена корректностью постановок задач, применением адекватных численных методов и согласием результатов с экспериментальными данными, а также согласием (в частных случаях) с результатами, полученными другими методами.

По работе имеются следующие замечания:

1. В первой главе на стр. 37 упомянуто широкодиапазонное уравнение состояния алюминия для описания поведения стекла. Было бы уместным прокомментировать это уравнение в диссертации.

2. В первой главе при формулировке задачи об импульсном нагреве алюминиевой пленки, расположенной на стеклянной подложке, не выписаны условия на контакте пленки и стекла.

3. В пятом разделе первой главы в задаче об ударе поршнем по алюминиевому образцу следовало бы сформулировать начальные и граничные условия.

4. В третьей главе диссертации желательно было бы представить подробно полную математическую постановку задачи для рассматриваемого образца взрывчатого вещества.

5. Стоило бы указать величины скоростей деформаций хотя бы в некоторых из рассмотренных в диссертации задач.

6. Замечания редакционного характера. В тексте имеется ряд неточностей и опечаток, несколько затрудняющих восприятие материала. Так, например, на рис. 1.10, 1.11 отсутствуют обозначения и цифры по оси ординат; на стр. 74 в формуле (2.25) содержится опечатка. Не для всех

величин, входящих в уравнения (1.27), (1.28) на стр. 52, в тексте дана расшифровка обозначений. Это же относится и к формуле (3.3) на стр. 86.

Сделанные замечания не снижают высокой оценки диссертации Д.К. Ильницкого, которая изложена достаточно подробно и хорошо оформлена.

Заключение. Диссертационная работа Д.К. Ильницкого выполнена на высоком научном уровне, ее материалы изложены аргументированно и вполне обоснованы. Она представляет собой целостное законченное исследование, в котором получены новые важные результаты в области математического моделирования динамического поведения материалов, которые имеют как научное, так и практическое значение. Автореферат правильно и полно отражает ее содержание, основные результаты опубликованы в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ, в международных рецензируемых журналах, индексируемых в системах Scopus или Web of Science, а также апробированы на международных и российских научных конференциях. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени 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 имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени 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,
ведущий научный сотрудник лаборатории динамических испытаний
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
(Научно-исследовательский институт механики Московского
государственного университета имени М.В. Ломоносова)

ПШЕНИЧНОВ Сергей Геннадиевич

12 ноября 2019 г.

Контактные данные:

тел.: +7(916)3719882, e-mail: s

Специальность, по которой офи.

защищена диссертация:

01.02.04 – Механика деформируемого

Адрес места работы:

119192, г. Москва, Мичуринский проспект,

Научно-исследовательский институт механики

Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова,
лаборатория динамических испытаний

Тел.: +7(495) 939 55 12; e-m

Подпись ведущего научного

НИИ механики МГУ С.Г. Г

Ученый секретарь НИИ мех

М.Ю. Рязанцева