

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»

Диссертация посвящена вопросам численного моделирования процессов, протекающих в материале, подвергнутом кратковременному интенсивному воздействию. В работе рассматривается нагружение металлических плёнок лазерными импульсами с длительностями в фемто- и пикосекундном диапазоне и детонация взрывчатых веществ в результате ударного нагружения.

Актуальность темы

Вопросы, рассматриваемые в работе, представляют интерес, как с практической точки зрения, поскольку они связаны с рядом современных технологий, так и с точки зрения понимания фундаментальных основ поведения материалов в экстремальных условиях. Об актуальности темы свидетельствуют многочисленные статьи, публикуемые в последние годы в ведущих научных журналах.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность выводов работы обусловлена использованием известных моделей физики и механики, стандартных численных методов, сравнением полученных результатов с расчётами, выполненными другими авторами, и с имеющимися экспериментальными данными.

Положения, выносимые на защиту, и выводы по работе логично вытекают из проведённого анализа и представленных результатов расчётов.

Оценка достоверности и новизны результатов

В первой главе рассматриваются процессы, связанные с прохождением в металле ударной волны, инициированной интенсивным кратковременным лазерным импульсом. Автор предлагает модель, основанную на традиционных подходах континуальной механики. Хорошо известно, что перенос тепла в металлах осуществляется в основном электронной подсистемой. За рассматриваемое время не успевает проходить выравнивание температуры между электронной и ионной подсистемами, поэтому применение двухтемпературной модели, безусловно, оправдано. Не вызывает также сомнений правомерность использования одномерного приближения. Основным результатом главы, выносимым на защиту, является учёт в модели не только гидродинамических свойств ионной подсистемы, но и её упругих свойств. Вследствие запаздывания текучести материал может оставаться в упругом (метастабильном) состоянии при давлениях порядка 10 ГПа. В работе рассмотрено распространение ударной волны из жидкого слоя в твёрдый. Распад метастабильного упругого описывался дислокационной моделью, в которую автором был добавлен источник зарождения дислокаций.

Достоверность полученных результатов подтверждается сравнением результатов расчётов с экспериментальными данными, а также расчётами, выполненными методами молекулярной динамики. Предлагаемая автором модель обладает безусловной новизной, поскольку использовавшиеся ранее модели, не учитывающие упругих свойств решётки, не позволяют получить удовлетворительное соответствие с экспериментом.

Вторая глава посвящена моделированию взаимодействия лазерного импульса в фемтосекундном диапазоне длительностей с металлической плёнкой на стеклянной подложке. Автору удаётся установить зависимость поведения плёнки от поглощённой энергии и промоделировать три возможных сценария — колебания плёнки, отслаивание плёнки от подложки с образованием купола, внутреннее разрушение плёнки (откол). Данный

результат обладает несомненной научной новизной. В работе приводится сопоставление с данными экспериментов на золотых плёнках.

В третьей главе проводится моделирование детонации взрывчатого вещества при механическом воздействии. Автор рассматривает наиболее сложный случай — воздействия слабой интенсивности (менее 1 ГПа). Простые модели в этой ситуации оказываются неприменимы, поскольку заранее трудно определить, какой из факторов окажется более значимым.

Для описания неоднородного разогрева взрывчатого вещества автор применяет модель кристаллической пластичности, которая внедрялась в метод конечных элементов (программа LSDyna). Результаты расчётов показывают образование полос сдвига, соответствующих повышению температуры на 200-300 К, что достаточно для начала детонации. Таким образом, учёт анизотропии механических свойств отдельных зёрен, позволяет на качественном уровне описать инициирование детонации при низкоскоростном ударе. В работе предложена также упрощённая модель, которая даёт согласие с экспериментом. Разработанная модель использует большое число трудно определяемых параметров, поэтому её верификация весьма затруднена, особенно учитывая недостаток информации по механическим свойствам взрывчатых веществ. Однако даже в представленном виде она представляет интерес и обладает научной новизной.

Значимость для науки и практики

Разработанные модели позволяют проводить расчёты, имеющие непосредственную связь с рядом технологических процессов. Модели показывают хорошее согласие с методами молекулярной динамики, однако, с учётом их континуального характера, могут применяться в ситуациях, когда применение молекулярно-динамических расчётов становится невозможным. Результаты работы могут служить основой для разработки новых моделей ультракоротких процессов в материалах.

Замечания по диссертационной работе

1. Несмотря на хорошее в целом оформление и грамотный язык изложения, работа не свободна от погрешностей, иногда затрудняющих понимание. Так, например, в формуле 1.18 описаны не все её параметры, а при записи закона Гука на странице 41 допущена опечатка. В первой главе довольно трудны для восприятия длинные описания качественного характера кривых на графиках, при этом не всегда корректно используются термины «перегиб», «изгиб», «разрыв», «скачок» и т.д. Не вполне удачным представляется также использование понятий «положительное» и «отрицательное» по отношению к напряжению сдвига.

2. В работе подчёркивается, что, несмотря на высокие значения температуры и давления, важно учитывать упругие свойства материала, поскольку, в связи с конечностью времени релаксации, возможно появление метастабильных состояний. Однако во второй главе диссертации критерий адгезионной прочности формулируется по критическому значению напряжения (давления) без учёта длительности интервала времени, в течение которого реализуются данные значения. Следовало, возможно, учесть, что отрыв плёнки от подложки происходит не мгновенно, этот процесс обладает определённой длительностью и характерным временем релаксации.

3. Хорошо известно, что откольная прочность существенно зависит от скорости деформации или длительности растягивающего импульса. Во второй главе, однако, критерий откольной прочности включает только давление и температуру (формула 2.3). Использовать для определения параметров этого критерия данные молекулярно-динамических расчётов возможно, следовательно, только, если характерный временной масштаб рассматриваемых процессов в обоих случаях одинаковый. Поскольку этот вопрос не обсуждается в тексте диссертации, сомнения в корректности использования зависимости 2.3 могут оставаться.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не влияют на положительную оценку работы.

Заключение

Указанные выше 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 кафедрой математики
Санкт-Петербургского государственного
технологического института
(технического университета)

А. А. Груздков

«04» ноября 2019 г.

Тел.: +7 (911) 288-37-48; email: gruzdkov@mail.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
01.02.04 — «Механика деформируемого твердого тела»



Адрес места работы:

190013, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 26.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический
институт (технический университет)»

тел.: +7 (812) 494-92-45

E-mail: maths_dept@technolog.edu.ru