

Утверждаю
Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Институт механики
Уральского отделения Российской
академии наук

доктор технических наук
В.Б. Дементьев

« 21 / 12 / 2016 » 2016 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт механики Уральского отделения Российской академии наук
на диссертацию Скрипняк Натальи Владимировны

на тему «Механическое поведение легких алюминиевых, магниевых и титановых сплавов,
модифицированных методами интенсивной пластической деформации»,
по специальности 01.02.04 -Механика деформируемого твёрдого тела,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Актуальность избранной темы

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена потребностью в повышении прочностных свойств и усталостной долговечности магниевых, титановых и алюминиевых сплавов, используемых в машиностроении, судостроении и аэрокосмической отрасли. Модификация легких алюминиевых, магниевых и титановых сплавов методами интенсивной пластической деформации позволяет повысить их прочность в широком диапазоне скоростей деформации и усталостную долговечность.

Тема диссертационной работы Н.В. Скрипняк, связанная с установлением закономерностей процессов деформации и разрушения легких конструкционных сплавов, а также с созданием методов численного моделирования механического поведения легких сплавов с неоднородным распределением размеров зерен, ультрамелкозернистыми слоистыми структурами, отвечает потребностям практики в создании легких и надежных конструкций.

Научные исследования диссертационной работы отвечают приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации

«Транспортные и космические системы» и перечню критических технологий Российской Федерации, утвержденному Указом Президента РФ от 07.07.2011 г. №988 .

Связь работы с планами соответствующих отраслей науки

Результаты диссертационной работы имеют важное значение для развития механики деформируемого твердого тела в области установления законов деформирования, повреждения и разрушения ультрамелкозернистых легких конструкционных сплавов, а также разработки математических моделей и численных методов анализа применительно к задачам, не допускающим прямого аналитического исследования. Направления исследований диссертационной работы соответствуют пунктам 1, 8 паспорта специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

Диссертационная работа Н.В. Скрипняк непосредственно связана с планами развития приоритетных направлений науки и техники в РФ. Результаты диссертационной работы получены при выполнении ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» Минобрнауки РФ (ГК № 14.132.21.1700 «Компьютерное моделирование деформации и разрушения наноматериалов при механических воздействиях на основе многоуровневого подхода»; ГК № П666 «Влияние структурированного поверхностного слоя на прочностные характеристики легких сплавов при динамических воздействиях»), а также стипендиальной программы Президента РФ молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики: СП 1916.2015.2 – «Моделирование физико-механических свойств конструкционных материалов для ядерных реакторов IV поколения».

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В диссертационной работе выполнены новые экспериментально-теоретические исследования механического поведения ряда отечественных марок конструкционных магниевых, титановых и алюминиевых сплавов с бимодальным распределением размеров зерен в объеме и с поверхностными ультрамелкозернистыми слоями в широком диапазоне скоростей деформации. Для теоретических исследований процессов деформации легких сплавов с учетом параметров зеренной структуры разработана физико-математическая модель и методика многоуровневого моделирования в 3D постановке.

С помощью численного моделирования впервые изучены закономерности деформации, повреждения и разрушения образцов тонколистового проката алюминиевых, магниевых, титановых сплавов с ультрамелкозернистой поверхностными слоями в диапазоне скоростей деформации от 10^{-3} до 10^3 с⁻¹.

Основные новые научные результаты и выводы, полученные автором, состоят в следующем:

1. Разработана физико-математическая модель механического поведения легких сплавов, обработанных методами интенсивной пластической деформации и имеющих бимодальные распределения зерен по размерам, позволяющая описывать процессы деформации, повреждения и разрушения в диапазоне скоростей деформации от 10^{-3} до 10^3 с⁻¹.

2. Установлены закономерности деформации и разрушения легких сплавов с кубической гранцентрированной и гексагональной плотноупакованной решетками (АД-1, алюминиевого сплава 1560 (АМг-6), МА2-1, ВТ5-1) в условиях квазистатического и высокоскоростного растяжения, сжатия, циклического знакопеременного нагружения в малоциклового области. Показано, что повышение сопротивления деформированию, пределов прочности при растяжении у сплавов с ультрамелкозернистыми поверхностными слоями в диапазоне скоростей деформации от 10^{-3} до 10^3 с⁻¹ сочетается с повышением предельной деформации до разрушения.

3. Установлены закономерности деформации и разрушения легких сплавов с бимодальными распределениями зерен по размерам. Определены зависимости параметров деформационного упрочнения и предельной деформации до разрушения при высокоскоростном растяжении от параметров структуры поверхностных ультрамелкозернистых упрочненных слоев в листовом прокате легких сплавов.

4. Определены закономерности усталостной долговечности проката легких сплавов, обработанных методами интенсивной пластической деформации и имеющих бимодальные распределения зерен по размерам. Обнаружено, что зависимости $(\Delta\sigma/2 - \log_{10} N_f)$ в области малоциклового нагружения (до $N_f < 10^4$) сплавов магния МА2-1, МА8-1 и алюминия 1560, обработанных методами интенсивной поверхностной пластической деформации, могут быть аппроксимированы линейными функциями. Для исследованных сплавов формирование слоев с ультрамелкозернистой структурой приводит к повышению числа циклов до разрушения N_f при фиксированных амплитудах напряжений $\Delta\sigma/2$ по сравнению со сплавами с поликристаллической структурой. Повышение малоциклового долговечности легких сплавов с ультрамелкозернистыми слоями связано с отклонением

траектории формирующихся усталостных трещин и распространением их вдоль упрочненных слоев.

Сформулированные в диссертационной работе рекомендации имеют перспективы использования при решении широкого круга прикладных задач, связанных с разработкой легких и надежных конструкций из модифицированных методами интенсивной пластической деформации сплавов, созданием новых образцов техники с высокими эксплуатационными характеристиками (надежностью, долговечностью, и т.д.).

Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов

На основе полученных диссертантом экспериментальных и теоретических результатов установлены закономерности деформации и разрушения магниевых, титановых и алюминиевых сплавов, расширяющие и уточняющие знания о механическом поведении легких сплавов, модифицированных методами интенсивной пластической деформации, в широком диапазоне скоростей деформации.

В диссертации Н.В. Скрипняк развит подход многоуровневого моделирования в 3D постановке для выявления новых связей между зеренной структурой легких сплавов, характером механических воздействий и процессами деформации и разрушения.

Разработанная физико-математическая модель позволяют повысить достоверность прогнозирования пределов прочности и малоциклового усталостной долговечности легких сплавов с ультрамелкозернистой, в том числе с бимодальной зеренной структурой.

С помощью численного моделирования изучены закономерности деформации, повреждения и разрушения тонколистового проката алюминиевых, магниевых титановых сплавов с ультрамелкозернистыми поверхностными слоями. Даны рекомендации по особенностям применения указанных легких сплавов в условиях динамического и циклического нагружения.

Выводы диссертационной работы углубляют понимание закономерностей механического поведения легких сплавов и могут быть использованы при разработке технологий обработки изделий методами поверхностной интенсивной пластической деформации.

Полученные в диссертационной работе экспериментальные данные о механических свойствах легких сплавов в широком диапазоне скоростей деформации представляют интерес для инженерной практики.

Результаты диссертационной работы Н. В. Скрипняк могут представлять интерес для научных коллективов, выполняющих поисковые и прикладные исследования,

связанные с разработкой конструкций из легких сплавов, подвергающихся динамическим воздействиям.

Результаты диссертации могут быть использованы в машиностроении, судостроении, аэрокосмической индустрии при проектировании элементов конструкций из легких алюминиевых, магниевых и титановых сплавов, а также при решении технических и технологических задач создания легких и надежных конструкций из сплавов с градиентными и слоистыми зеренными структурами.

Результаты, полученные в диссертации Н.В. Скрипняк, могут быть использованы в учреждениях Российской академии наук, включая: Институт Механики сплошных сред УрО РАН (г. Ижевск), Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (г. Москва), Институт физики и прочности материалов СО РАН (г. Томск), Институт проблем химической физики РАН (г. Черноголовка), Институт теоретической и прикладной механики СО РАН (г. Новосибирск); институтах Российских Федеральных Ядерных Центров: ВНИИТФ (г. Снежинск), ВНИИЭФ (г. Саров); в вузах Российской Федерации: МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва), СПбПУ (г. Санкт-Петербург), ННГУ им. Н.И. Лобачевского (г. Нижний Новгород), ПНИПУ (г. Пермь) КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева (г. Казань), НИ «Томский политехнический университет», НИ «Томский государственный университет» и др.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации Н.В. Скрипняк, подтверждаются применением апробированных экспериментальных методик и современного сертифицированного оборудования.

Разработанная физико-математическая модель основана на базовых положениях классических теорий механики деформируемого твердого тела, что обеспечивает корректность математических постановок задач. Для решения задач применены апробированные численные методы. Полученные теоретические результаты имеют хорошее согласие с экспериментальными данными, в том числе с опубликованными данными других исследователей.

Таким образом, выносимые на защиту научные положения, выводы и заключения являются обоснованными и достоверными и не противоречат современным положениям механики деформируемого твердого тела.

Оценка содержания диссертации, ее завершенности в целом, замечания по оформлению

Диссертация состоит из введения, трех разделов и заключения, списка литературы, изложенных на 156 страницах машинописного текста, включая 98 рисунков, 5 таблиц. Список литературы включает 189 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, новизна и практическая ценность полученных результатов, представлены положения, выносимые на защиту.

В первом разделе обсуждаются вопросы, связанные с проведением экспериментальных исследований закономерностей деформации и разрушения алюминиевых, магниевых и титановых сплавов (АД-1, алюминиевого сплава 1560 (АМг-6), МА2-1, ВТ5-1) в условиях квазистатического и высокоскоростного растяжения, сжатия, циклического знакопеременного нагружения в малоцикловой области. Исследованы сплавы в поликристаллическом состоянии (состоянии поставки) и с модифицированной структурой на поверхности образцов.

Во втором разделе диссертации содержится описание разработанной модели механического поведения легких сплавов с УМЗ структурой при квазистатическом и динамическом нагружениях, результаты численного моделирования закономерностей деформации и разрушения при высокоскоростном продавливании пластин из алюминиевого сплава 1560 и титанового сплава ВТ5-1 полусферическим индентером.

В третьем разделе диссертации приведены результаты численного исследования влияния толщины ультрамелкозернистых поверхностных слоев на сопротивление пластическому течению поликристаллических легких сплавов при высокоскоростном растяжении, влияния бимодального распределения зерен на сопротивление высокоскоростной деформации и разрушения легких сплавов, а также процессов деформации и разрушения УМЗ легких сплавов в условиях знакопеременного циклического нагружения.

В заключении приводятся основные результаты и выводы диссертационной работы.

В диссертационной работе Н.В. Скрипняк содержится решение научных задач, связанных с выявлением новых связей между структурой легких сплавов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения, установлением законов деформирования, повреждения и разрушения легких алюминиевых, магниевых и титановых сплавов, модифицированных методами интенсивной пластической

деформации, разработкой физико-математической модели для описания деформации, повреждения и разрушения легких сплавов с учетом зеренной структуры в широком диапазоне скоростей деформации.

Оценивая содержание диссертации в целом, можно заключить, что она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную в рамках актуального научного направления, содержащую новые научные результаты и имеющую практическое значение. Диссертационная работа написана грамотным научным языком и хорошо оформлена.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат в полной мере соответствует основным положениям диссертации.

Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати

Основные научные результаты, содержащиеся в диссертации, изложены в 32 опубликованных работах, в том числе 8 статьях в журналах, включенных в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, 2 статьях в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science.

Замечания по работе

1. Следовало бы большее внимание уделить методикам проведения экспериментов, в частности подготовки образцов с модифицированной зеренной структурой, поверхностными ультрамелкозернистыми слоями, а также результатам исследования зеренной структуры, измерению кинематических параметров при проведении испытаний образцов.

2. При обсуждении физико-математической модели для пластической деформации и поврежденности легких сплавов с ГПУ и ГЦК решетками, следовало бы более подробно изложить методику определения предельная степень пластической деформации до разрушения ϵ_f в соотношении (2.27) на стр. 75.

3. Следовало бы дать более полную информацию об используемых компьютерных платформах, разработанных диссертантом алгоритмах и программах.

Сделанные замечания не снижают научную и практическую значимость и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Н.В. Скрипняк.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация Н.В. Скрипняк соответствует отрасли «физико-математические науки», а содержательная часть и полученные результаты соответствуют специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

Диссертация представляет собой специально подготовленную рукопись, содержит совокупность новых научных результатов и имеет внутреннее единство. Личный вклад автора в решение поставленных проблем не вызывает сомнений. Оформление диссертации в целом отвечает требованиям, установленным ВАК Министерства образования науки Российской Федерации.

Таким образом, диссертация Скрипняк Натальи Владимировны «Механическое поведение легких алюминиевых, магниевых и титановых сплавов, модифицированных методами интенсивной пластической деформации» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения научных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. N 842, к кандидатским диссертациям, а ее автор, заслуживает присуждения ей ученой степени.

Отзыв заслушан и одобрен на совместном заседании научно-технического семинара группы механики наноструктур и базовой кафедры "Нанотехнологии и микросистемная техника", протокол № 12 от 21.11.2016.

Заведующий базовой кафедрой
"Нанотехнологии и микросистемная техника",
Главный научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт механики Уральского отделения Российской академии наук
доктор физико-математических наук, профессор



Вахрушев Александр Васильевич

426067. г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34
+7 (3412) 50-82-00, +7 912 466 8029
ipm@udman.ru
vakhrushev-a@yandex.ru