

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИПСМ РАН,

Член-корреспондент РАН

Р.Р. Мулюков

«29» ноября 2018 г.



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук на диссертационную работу Васильева Евгения Викторовича на тему «Кинетические особенности механизмов деформации магниевых сплавов при статическом и циклическом нагружении», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

**Актуальность работы.** В настоящее время в мировой практике наблюдается всплеск интереса к магниевым сплавам в связи с их высокой удельной прочностью. С практической точки зрения постоянно требуется разработка все новых сплавов, методов их получения и обработки с целью достижения более высоких механических и эксплуатационных свойств. Для успешной реализации таких работ необходимо фундаментальное понимание основ механического поведения магния и его сплавов, как материала с ГПУ решеткой. В связи с этим диссертация Васильева Е.В. находится в тренде актуальных направлений исследований.

Диссертация направлена на (1) получение конструкционных сплавов магния системы Mg-Zn-Zr с повышенными механическими характеристиками и (2) расширение представлений о кинетических особенностях механизмов деформации магниевых сплавов при различных условиях нагружения. Для этого автором проанализировано влияние различных методов изготовления и термомеханической обработки на структуру и механические свойства сплавов ZK30 и ZK60, определены оптимальные способы и режимы получения комплекса характеристик механических свойств. Показано, что дислокационное скольжение и двойникование являются ключевыми механизмами, определяющими их поведение и характер разрушения в условиях усталостного нагружения. Путем совмещения различных методов и уровней наблюдения, как-то акустической эмиссии, видеосъемки полированной поверхности деформируемых образцов, анализа кривых нагружения и аттестации структуры, установлены

кинетические особенности механизмов деформации при различных видах нагружения. Предложена феноменологическая модель кинетики двойникования, учитывающая параметры микроструктуры, и показавшая хорошее согласование с экспериментальными данными.

**Научная значимость.** Основные научные результаты, полученные автором, заключаются в следующем:

- На основе синхронизированной записи механических диаграмм, сигналов акустической эмиссии и видеосъемки поверхности установлены основные механизмы и особенности деформационного поведения чистого магния и сплавов системы Mg-Zn-Zr при различных условиях нагружения.
- Установлены нижние пределы скорости образования и роста двойника, составляющие порядка 100 м/с и  $10^{-4}$ - $10^{-3}$  м/с, соответственно.
- Разработана феноменологическая модель кинетики двойникования, учитывающая структурные характеристики материала и позволяющая определять объемную долю двойников как функцию от приложенного напряжения.

Важность полученных результатов состоит в получении новых фундаментальных знаний о кинетике развития и особенностях механизмов деформации магния и его сплавов, контролирующих их механическое поведение. Получение этих знаний является важным и необходимым этапом на пути к разработке методологии эффективного создания новых сплавов с регламентируемым уровнем свойств, определяемым их структурно-фазовым состоянием.

**Практическая ценность** работы заключается в следующем:

- Разработан алгоритм обработки видеоданных для определения объемной доли двойников.
- Изучены особенности деформационного поведения чистого магния и его сплавов в зависимости от их структуры, метода получения и нагружения
- Предложенная феноменологическая модель накопления двойников может быть использована для разработки и прогнозирования свойств новых сплавов.

Результаты диссертации могут быть использованы на металлургических и машиностроительных предприятиях, производящих металлоемкую продукцию с использованием легких сплавов, а также научно-исследовательских лабораториях, изучающих физические аспекты производства новых материалов и изделий. Для эффективного использования результатов автору рекомендуется продолжить работу по совершенствованию модели кинетики двойникования с расширением параметров и включением дислокационно-двойникового взаимодействия. В дальнейшем желательно довести модель до уровня прогнозической, характеризующей регламентированный уровень отдельных и комплекса механических свойств материала при придании структуре заданных параметров.

К основным недостаткам работы можно отнести следующее:

- Работа имеет два основных направления: первое – анализ структурно-механического поведения магния и его сплавов, полученных различными методами и, второе – изучение природы механизмов деформации и их моделирование. Несмотря на попытки автора их связать воедино, в представленном виде они выглядят довольно разрозненно и обособленно.
- В работе доминирующее внимание уделено сопротивлению сплавов усталости, хотя из названия работы следует, что автор должен был уделить не меньшее внимание и статическим испытаниям, в том числе анализу механизмов деформации и разрушения. Такие разделы, как фрактография, топографический анализ развития рельефа на поверхности статически растягиваемых образцов, акустическая эмиссия, вообще отсутствуют в работе. Поэтому автор не смог раскрыть роль двойникования и двойниковых границ при статическом деформировании, что интересно и важно было бы оценить в сплавах с ультрамелкозернистой структурой.
- В тексте диссертации автор постоянно говорит об однородности структуры исследуемых объектов. Однако, при этом, количественная оценка однородности отсутствует. Это касается данных по однородности распределения зерен (рекристаллизованных зерен) и вторых фаз по размерам и объему образцов, которые помогли бы автору более достоверно оценить места и кинетику развития деформационных механизмов и корректнее описать характеристики структуры, учитываемые в модели.
- В выводах и заключениях автор, как общепринято для ГПУ металлов, часто упоминает о роли текстуры и говорит о необходимости ее контроля для управления их свойствами. Однако в работе анализ ни кристаллографической, ни металлографической текстуры практически не проводился, во всяком случае, на требуемом для диссертации уровне, что ставит под сомнение некоторые заключения автора. К сожалению, это можно сказать и о контроле параметров избыточных и вторичных фаз, которые зачастую оказывают доминирующий эффект на структурно-механическое поведение и разрушение исследованных термически упрочняемых сплавов.

В то же время, отмеченные недостатки не снижают научную и практическую значимость работы. Диссертация представляет собой завершенное научное исследование, выполненное автором самостоятельно и на высоком уровне. В ней содержится: важный прикладной результат в виде анализа механического поведения сплавов, фундаментальное описание природы получаемых свойств и моделирование механизмов деформации. В целом полученные автором выводы достаточно обоснованы и корректны.

Результаты работы могут быть полезны организациям, занимающимся исследованием, разработкой и практическим применением материалов из легких сплавов: ОАО «ВИАМ», ОАО «ВИЛС», ИМЕТ РАН, ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», НПО «Энергия» и др.

**Заключение.** Диссертационная работа Васильева Евгения Викторовича выполнена на актуальную тему и представляет собой законченный научно-исследовательский труд. Полученные экспериментальные результаты обоснованы и достоверны, имеют практическую и научную ценность. Автореферат и опубликованные труды автора полностью отражают основные положения диссертационной работы, а результаты исследований хорошо представлены в периодических изданиях и трудах отечественных и международных научных конференций.

Диссертационная работа Васильева Е.В. «Кинетические особенности механизмов деформации магниевых сплавов при статическом и циклическом нагружении» соответствует предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук требованиям согласно п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

Диссертационная работа и настоящий отзыв обсуждены и одобрены на научном семинаре ИПСМ РАН (протокол № 4 от 19.09.2018 г.).

Назаров Айрат Ахметович,  
доктор физико-математических,  
заместитель директора по научной работе ИПСМ РАН,  
Адрес: ул. Халтурина 39, 450001 Уфа, Россия  
Телефон: (347) 282-3750  
E-mail: AANazarov@imsp.ru

Автократова Елена Викторовна,  
Кандидат технических наук,  
Старший научный сотрудник лаборатории 08 ИПСМ РАН,  
Адрес: ул. Халтурина 39, 450001 Уфа, Россия  
Телефон: (347) 282-3856  
E-mail: avtokratova@imsp.ru

Подписи и контактную информацию Назарова А.А. и Автократовой Е.В. удостоверяю:

Начальник отдела кадров ИПСМ РАН

Соседкина Т.П.

