

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.2.039.02 (Д999.122.02)
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» И ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____
решение объединенного диссертационного
совета от 18.02.2022 г. № _____

О присуждении Полуянову Виталию Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Закономерности коррозионного растрескивания под напряжением в магниевых сплавах» по специальности 2.6.17. Материаловедение принята к защите 06 декабря 2021 г. (протокол заседания №23), объединенным диссертационным советом 99.2.039.02 (Д 999.122.02), созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет», 443100, Самара, Молодогвардейская 244, и федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 443086, Самара, Московское шоссе, 34, приказ Минобрнауки Российской Федерации №45/нк от 30.01.2017 г.

Соискатель Полуянов Виталий Александрович, 27.03.1988 года рождения, в 2011 году окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тольяттинский государственный университет», по специальности «Физика металлов». В 2013 году с отличием окончил очную магистратуру по направлению «Материаловедение и технологии материалов».

В период подготовки диссертации Полуянов В.А. с 2018 г. по настоящее время работает младшим научным сотрудником научно-исследовательского института прогрессивных технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет».

Диссертация выполнена в научно-исследовательском институте прогрессивных технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – д.ф.-м.н. профессор Мерсон Дмитрий Львович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет», научно-исследовательский институт прогрессивных технологий, директор.

Официальные оппоненты:

- Маркушев Михаил Вячеславович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук», лаборатория «Материаловедение и технологии легких сплавов», заведующий;

- Чистопольцева Елена Александровна, кандидат технических наук, общество с ограниченной ответственностью «ИТ-Сервис», отдел материаловедения, начальник дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва в своем положительном отзыве, утвержденном Равиковичем Юрием Александровичем д.т.н., профессором, исполняющим обязанности проректора по научной работе, подписанном Бецофеном Сергеем Яковлевичем, д.т.н., профессором, кафедра «Технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов», профессором кафедры, указала, что рецензируемая диссертационная работа, посвященная систематическому исследованию закономерностей проявления коррозионного растрескивания под напряжением в магниевых сплавах, является актуальной и практически важной.

Заключение содержит следующие замечания: в диссертации полностью игнорируется аспект кристаллографической текстуры исследуемых материалов; в работе исследовано по одному структурно-фазовому состоянию материалов перед испытаниями, однако выбор этих состояний не обоснован, а также они не варьируются; в диссертационной работе отсутствуют зависимости, каких-либо свойств (например, предела прочности/текучести) от размера зерна сплавов МА2-1 и/или МА14; нигде не приводятся конкретные величины плотности дислокаций.

Соискатель имеет 16, опубликованных по теме диссертации, работ, из них 1 в изданиях, рекомендованных ВАК, 6 в изданиях, индексируемых базой данных Scopus и Web of Science.

Публикации соискателя посвящены детальному изучению природы коррозионного растрескивания под напряжением и водородной хрупкости металлов и сплавов с целью повышения долговечности элементов конструкций, эксплуатируемых при воздействии агрессивных водородосодержащих сред. В работах, выполненных в соавторстве, вклад соискателя заключается в непосредственном участии в экспериментальных и аналитических этапах исследований. Суммарный объем, принадлежащего соискателю опубликованного материала по теме диссертации, составляет 7,84 печатных листа. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. Merson E., **Poluyanov V.**, Myagkikh P., Merson D., Vinogradov A. / Effect of strain rate and corrosion products on pre-exposure stress corrosion cracking in the ZK60 magnesium alloy // Materials Science and Engineering: A. - 2022. - Т. 830. - 142304. DOI: 10.1016/j.msea.2021.142304. Авт. вклад 0,21 п.л.

2. Merson E., **Poluyanov V.**, Myagkikh P., Merson D., Vinogradov A. / Inhibiting stress corrosion cracking by removing corrosion products from the Mg-Zn-Zr alloy pre-exposed to corrosion solutions // Acta Materialia. - 2021. Т. 205. - 116570. DOI: 10.1016/j.actamat.2020.116570. Авт. вклад 0,25 п.л.

3. Merson E., **Poluyanov V.**, Myagkikh P., Merson D., Vinogradov A. / On the role of pre-exposure time and corrosion products in stress-corrosion cracking of ZK60 and AZ31 magnesium alloys // Materials Science and Engineering: A. - 2021. - Т. 806. - 140876. DOI: 10.1016/j.msea.2021.140876. Авт. вклад 0,28 п.л.

4. Merson E.D., **Poluyanov V.A.**, Myagkikh P.N., Merson D.L., Vinogradov A. / Fractographic features of technically pure magnesium, AZ31 and ZK60 alloys subjected to stress corrosion cracking // Materials Science and Engineering: A. - 2020. - Т. 772. - 138744. DOI: 10.1016/j.msea.2019.138744. Авт. вклад 0,21 п.л.

5. Merson E., Myagkikh P., **Poluyanov V.**, Merson D., Vinogradov A. / On the role of hydrogen in stress corrosion cracking of magnesium and its alloys: Gas-analysis study // Materials Science and Engineering: A. - 2019. - Т. 748. - Р. 337-346. DOI: 10.1016/j.msea.2019.01.107. Авт. вклад 0,16 п.л.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы официальных оппонентов.

В отзыве официального оппонента, **Маркушева Михаила Вячеславовича**, указаны следующие основные замечания: использование термина «матрица» для характеристики структуры чистого магния в нескольких местах текста и выводах не совсем уместно; термин «укрывистость» обычно применяют для материалов типа лакокрасочных покрытий и его использование в рамках настоящей работы также не вполне корректно; для того, чтобы результаты, полученные в данной работе могли быть распространены на другие магниевые сплавы в работе напрашивается более детальная систематизация полученных и данных литературы с позиции более глубокой детализации параметров структурно-фазового состояния известных магниевых сплавов; вывод о том, что «для снижения эффекта коррозионного растрескивания под напряжением рекомендуется использовать сплавы с повышенной стойкостью к общей коррозии» напрашивается исходя из общих соображений, и в рамках настоящей работы, к сожалению, декларативен, так как не имеет достаточного анализа и обоснования.

В отзыве официального оппонента, **Чистопольцевой Елены Александровны**, сформулированы следующие замечания: не в полной мере понятно, почему технически чистый магний, в отличие от магниевых сплавов МА2-1 и МА14, не восприимчив к коррозионному растрескиванию под напряжением; полученный в работе результат о влиянии дисперсности микроструктуры на коррозионное растрескивание под напряжением не приведен в основных выводах по диссертационной работе; не совсем понятно, что автор подразумевает под формулировкой «диффузионно-подвижный водород»; недостаточно полно описаны

структура и состав продуктов коррозии; принимая во внимание доверительные интервалы значений степени деформации до разрушения, правомерно ли утверждать, что для образцов из сплава МА14 после предварительной выдержки в агрессивной среде, наблюдается снижение пластичности с уменьшением скорости деформации (рис. 4б автореферата)?

На автореферат поступили 9 положительных отзывов от:

Е.А. Наумкина д.т.н., профессора, заместителя заведующего кафедрой «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (УГНТУ) (г. Уфа); А.Е. Романова д.ф.-м.н., доцента, декана факультета лазерной фотоники и оптоэлектроники ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (г. Санкт-Петербург); В.Е. Громова д.ф.-м.н., профессора, главного научного сотрудника НОЦ «Физика конденсированного состояния», заведующего кафедрой естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк); Л.Р. Ботвиной д.т.н., профессора, главного научного сотрудника лаборатории «Структурной механики и физики разрушения» учреждения российской академии наук «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН» (г. Москва); А.В. Макарова чл.-корр. РАН, д.т.н., заведующего отделом материаловедения и лабораторией механических свойств, главного научного сотрудника ФГБУН «Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН» (г. Екатеринбург); Е.Г. Астафуровой д.ф.-м.н., доцента, заведующей лабораторией физики иерархических структур в металлах и сплавах ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения СО РАН» (г. Томск); А.А. Попова, д.т.н., профессора, заведующего кафедрой Термообработки и физики металлов ФГАОУ ВО УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург); С.В. Гладковского, д.т.н., доцента, заведующего лабораторией деформирования и разрушения Института машиноведения имени Э.С. Горкунова УрО РАН (г. Екатеринбург); А.В. Кудри, д.т.н., профессора, профессора кафедры материаловедения и физики прочности ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС» (г. Москва).

В замечаниях указано, что в работе не показано влияние шероховатости поверхности испытуемых образцов на результаты экспериментов; не приведен элементный анализ слоя продуктов коррозии; при анализе результатов исследования не были учтены существенные различия прочностных характеристик исследуемых сплавов; в основных выводах не приведены результаты исследования влияния дисперсности микроструктуры на коррозионное растрескивание под напряжением и концентрацию водорода в магнии и его сплавах; не ясно с чем по мнению диссертанта связано транс- и интеркристаллитное хрупкое разрушение сплавов МА14 и МА2-1, соответственно, при испытаниях на коррозионное растрескивание под напряжением; не вполне понятно почему автор не использовал для оценки стойкости исследуемых сплавов к КРН наблюдения *in situ* - по измерениям акустической эмиссии; интересно каков механизм образования хрупкой периферийной зоны в изломе образцов после испытания на предэкспозиционную хрупкость и связана ли неоднородность геометрии строения этой зоны с морфологией структуры. Ответы на остальные

замечания содержатся в тексте диссертации, но отсутствуют в автореферате из-за его ограниченного объема. Все отзывы оппонентов и на автореферат положительные, отмечают актуальность темы диссертации, научную новизну и практическую значимость основных положений работы, соответствие диссертационной работы Полуянова Виталия Александровича требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» и что её автор – Полуянов Виталий Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью в области исследований структуры и свойств сплавов на основе магния, а также коррозионного растрескивания под напряжением и водородной хрупкости металлических материалов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана** новая научная концепция, исключая ведущую роль водорода в механизме коррозионного растрескивания под напряжением применительно к чистому магнию и сплавам МА14 и МА2-1;

- **доказано**, что на коррозионное растрескивание под напряжением в магниевых сплавах наиболее сильное влияние оказывают состав коррозионной среды и время нахождения в ней, тогда как влияние увеличения концентрации ловушек диффузионно-подвижного водорода за счет увеличения степени пластической деформации и протяженности границ зерен – не существенно;

- **предложены** пути повышения сопротивления коррозионному растрескиванию под напряжением в магниевых сплавах, основанные на недопущении или минимизации образования на их поверхности продуктов коррозии;

- **введено** представление о роли продуктов коррозии: их толщины и сплошности – в явлении коррозионного растрескивания под напряжением в магниевых сплавах

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказано** на основе экспериментальных исследований, что образование слоя продуктов коррозии на поверхности магниевых сплавов при их взаимодействии с агрессивной средой приводит к охрупчиванию этих материалов, причем этот эффект может быть полностью устранен путем удаления слоя продуктов коррозии;

- путем проведения термодесорбционного анализа концентрации водорода в магниевых сплавах, взаимодействовавших с коррозионной средой, **установлено**, что проникновение водорода вглубь металла основы сильно ограничено;

- **установлены и изложены** зависимости механических характеристик магниевых сплавов, испытанных по схеме одноосного растяжения на воздухе после предварительной выдержки в коррозионной среде, от длительности выдержки, состава коррозионной среды и скорости деформации;

- **раскрыто и изучено** влияние массы, толщины и сплошности продуктов коррозии на степень предэкспозиционного охрупчивания магниевых сплавов;

- **определено**, что роль диффузионно-подвижного водорода в механизме коррозионного растрескивания под напряжением и предэкспозиционной хрупкости магния и его сплавов незначительна.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- **разработаны** методические приемы по оценке содержания водорода в металле основы магниевых сплавов после выдержки или испытания в коррозионной среде, которые использованы и **внедрены** в Заводской лаборатории ООО «Соликамский опытно-металлургический завод»;

- **определены** новые представления о закономерностях коррозионного растрескивания магния и его сплавов, которые необходимо учитывать при создании деформируемых сплавов на основе магния с повышенной стойкостью к коррозионному растрескиванию под напряжением;

- **установлены** зависимости механических свойств от наличия и свойств продуктов коррозии на поверхности исследуемых материалов, которые могут быть использованы в качестве справочных данных для оценки работоспособности этих материалов при эксплуатации в агрессивных средах;

- **представлено** подтверждение об использовании и внедрении полученных в ходе выполнения работы результатов в учебный процесс ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» для подготовки магистров по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

все экспериментальные результаты получены с применением сертифицированного современного оборудования;

- **теория** основана на известных базовых положениях и постулатах водородной хрупкости и коррозионного растрескивания под напряжением металлов и сплавов;

- **идея** базируется на анализе и обобщении устоявшихся положений об основных причинах и механизме коррозионного растрескивания под напряжением магния и сплавов на его основе, представленных в научных статьях отечественных и зарубежных ученых;

- **использованы** обоснованные современные, апробированные, в том числе стандартизованные методики получения и последующей обработки исходных экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач и непосредственном участии во всех этапах экспериментальной и аналитической работы, в частности, проведении механических испытаний, десорбционного анализа концентрации водорода в исследуемых материалах, фрактографического анализа, а также обработки полученных данных и построении зависимостей; участии в подготовке основных опубликованных работ по результатам диссертации; формулировке основных научных положений и выводов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: 1) в работе не приведена количественная оценка плотности дислокаций в образцах после предварительной пластической деформации; 2) в докладе прозвучала фраза о том, что к снижению предела прочности приводит уменьшение сечения

образца, а влияет ли на эту характеристику состояние поверхности образца? 3) как соискатель рекомендует бороться с коррозионным растрескиванием магниевых сплавов при эксплуатации?

Соискатель Полуянов Виталий Александрович ответил (согласился с замечаниями) на задаваемые в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию: 1) действительно, в работе не приведена количественная оценка плотности дислокаций, однако в нашем случае требовались не абсолютные цифры, а гарантированное существенное изменение плотности дислокаций, что достигалось благодаря хорошо известной зависимости плотности дислокаций от степени деформации; 2) безусловно, наряду с уменьшением сечения образца, на прочностные свойства влияет и состояние поверхности, а именно наличие концентраторов напряжений, однако какой из этих факторов является превалирующим в данной работе детально не исследовалось; 3) для снижения эффекта коррозионного растрескивания под напряжением при эксплуатации конструкций из промышленных деформируемых магниевых сплавов в агрессивной атмосфере рекомендуется использовать сплавы с повышенной стойкостью к общей коррозии, а также не допускать образования целостного слоя продуктов коррозии на поверхности материала путем их периодического удаления.

На заседании 18 февраля 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Полуянову Виталию Александровичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.6.17 Материаловедение за решение научной задачи по установлению закономерностей коррозионного растрескивания под напряжением в магниевых сплавах, имеющей важное значение для развития материаловедения.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.6.17, участвующих в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введено на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» присуждение ученой степени – 16 человек; «против» – 0 человек.

Председатель диссертационного
совета 99.2.039.02 (1999.122.02)



 Клебанов Яков Мордухович

Секретарь диссертационного
совета 99.2.039.02 (1999.122.02)

 Луц Альфия Расимовна

18 февраля 2022 г.