

Учёному секретарю диссертационного
совета 24.2.316.01 при ФГБОУ ВО
«Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»
Проценко Александру Евгеньевичу
Россия, 681013, пр. Ленина, 27,
г. Комсомольск-на-Амуре

ОТЗЫВ

официального оппонента Люхтера Александра Борисовича на диссертацию и автореферат Яцко Дмитрия Сергеевича, подготовленную на тему «Создание магнитного материала из порошков Sm, Co и Fe методом лазерной аддитивной технологии на немагнитной подложке в постоянных магнитных полях» и представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 «Материаловедение»

Актуальность выполненной работы

Диссертационная работа Яцко Д. С. посвящена решению актуальной комплексной научно-технической задачи, имеющей существенное значение для развития страны, а именно изучению методов, условий и процессов создания перспективных для использования в промышленном производстве магнитных материалов на основе порошковых, в том числе редкоземельных, металлов с применением технологических операций и лазерного оборудования автоматизированных аддитивных технологий (АТ), предопределяющих возможность внедрения результатов диссертационного исследования на предприятиях серийного производства специализированных изделий современного машиностроения и приборостроения.

Соискателем в диссертационной работе правомерно обоснован выбор химического элемента лантаноида Самарий Sm в качестве перспективного компонента новых постоянных магнитов. Достигнутые результаты диссертационного исследования допускают возможность изготовления магнитов, интегрированных в структуру деталей сборочных единиц, что расширяет спектр вариантов новых актуальных конструкторских решений при проектировании магнитных функциональных узлов продукции машиностроения и приборостроения.

Структура и содержание работы

Предоставленный текст диссертации состоит из следующих разделов и

структурных элементов: оглавление, обозначенное соискателем под неправомерным наименованием «Содержание» (см. ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления», п.4б); введение; четыре главы; заключение; список литературы, включающий 126 наименований источников информации; и два приложения, ошибочно не включенных соискателем в перечень основных частей оглавления диссертации (см. ГОСТ Р 7.0.11-2011, п.5.2.1 и п.4и).

Диссертация оформлена на 134-ех страницах машинописного текста и содержит, в том числе, 54 рисунка и фактически 12 таблиц, так как таблица, приведенная на странице 93, соискателем не пронумерована и не имеет названия.

Во введении диссертации соискателем справедливо обоснована актуальность и проанализирована степень разработанности темы исследования, установлена цель и правомерно определены объект и предмет диссертационной работы, сформулированы 4 актуальных научных задачи, подлежащих решению.

Однако при изложении пунктов научной новизны результатов решения соискателем каждой из поставленных задач в тексте не отмечены научные отличия полученных соискателем новых знаний об объекте исследования, и отсутствует терминологическое единство формулировок в названии задач и в наименовании пунктов научной новизны достигнутых результатов решения каждой из поставленных задач.

Кроме того, в пункте 2 структурного элемента «Теоретическая и практическая значимость работы» (см. диссертацию, стр.9) соискатель ошибочно утверждает, что им предложен новый «Способ удержания металлических порошков при их лазерном сплавлении в магнитном поле», при этом авторское право соискателя на данный способ не подтверждено Патентом на изобретение. Вместе с тем необходимо отметить, что научная новизна данного предложенного соискателем технического решения и технологической разработки как «метода удержания металлических порошков при их лазерном сплавлении в магнитном поле» подтверждена рецензентами публикаций соискателя в научно значимых отечественных и международных изданиях, в том числе в докладах и в сборниках трудов российских и международных научных конференций и форумов.

При изложении положений, выносимых на защиту, соискатель приводит лишь обобщенные формулировки названия результатов решения поставленных задач (см. диссертацию, стр. 9) и не выносит на обсуждение научной общественностью свои утверждения и суждения о преимуществах достигнутых в диссертационной работе результатов решения каждой из задач. В то же время необходимо отметить, что данные утверждения и суждения соискателя, - то есть положения, выносимые на защиту, о преимуществах достигнутых результатов

решения каждой из поставленных задач, - изложены соискателем достоверно, правомерно и в полном объеме в разделе «Заключение» (см. диссертацию, стр.114-115, п.3-6).

Соискателем дана оценка достоверности полученных результатов исследования на аттестованном промышленном и контрольно-измерительном оборудовании с использованием экспериментальных и вычислительных методов и средств научного теоретического исследования и компьютерного моделирования. Приведены данные об апробации результатов исследования на международных и всероссийских научных конференциях и форумах, а также документально оформлены сведения о практическом использовании полученных соискателем научных результатов в научно-исследовательской, образовательной и производственной деятельности промышленных предприятий, организаций и учреждений. Указан личный вклад соискателя в достижение научно-значимых результатов диссертационного исследования.

В первой главе на основе анализа литературных источников по теме диссертации соискателем показано современное состояние проблемы получения новых магнитных материалов на основе порошковых, в том числе редкоземельных, металлов. Представлены, изучены и систематизированы данные теоретических и экспериментальных исследований известных ученых и экспериментаторов в данной отрасли знаний, включая вопросы модификации структурного и химического состава компонентов материала постоянных магнитов. Дана оценка их влияния на магнитные характеристики, такие, как коэрцитивная сила и остаточная намагниченность.

Определены причины ограниченного распространения перспективных технологий лазерного сплавления частиц редкоземельных металлов. Обоснована возможность расширения сферы применения лазеров при решении задач промышленного изготовления магнитов сложной геометрической формы. На основе результатов выполненного анализа особое внимание соискателя правомерно уделено современным аддитивным технологиям формирования изделий из порошковых материалов. Приведена классификация основных направлений развития АТ, а также проанализированы основополагающие особенности модернизации АТ, включая проблемы обеспечения точности воспроизведения внешней и внутренней структуры магнитов, экономии редкоземельных металлов и эффективности проектирования перспективных изделий с магнитными свойствами.

Результаты выполненного аналитического исследования объекта и предмета диссертационной работы предопределили возможность постановки соискателем важных и актуальных научных задач.

Во второй главе обоснован и определен состав востребованного оборудования и необходимых средств технологического оснащения процесса экспериментального исследования магнитных свойств перспективных материалов. Соискателем проведено исследование и разработана структура специализированного оборудования, в том числе установки генерации и поддержания стабильного магнитного поля в рабочей зоне лазерной обработки исследуемых материалов и опытных образцов с отображением и регистрацией основных рабочих параметров и режимов функционирования установки.

Особое внимание соискателя уделено средствам научно-методического, технологического и технического сопровождения и обеспечения процесса подготовки и проведения экспериментов. Проработаны основные этапы процесса изготовления экспериментальных образцов. Соискателем научно обоснована, разработана и реализована функциональная структура исследовательского лазерного технологического комплекса в составе иттербиевого волоконного лазера ЛС-1-К (КПД до 70%), робота-манипулятора KR-30HA с позиционером DKP-400 (точность позиционирования не более 50 нм и 0,009 углового градуса), мобильной стойки управления комплексом KRC4, chillера вода-воздух IPGLC-70.01 и оптической головки IPGP FLW-D50. Управление комплексом реализовано через систему KUKA KR C4, в том числе в программной среде SprutCAM, реализующей, в том числе, методы 3D-моделирования исследуемых процессов. Магнитные свойства образцов правомерно оценивались с использованием средств SQUID-магнитометрии, а именно магнитометра MPMS XL (Quantum Design).

Кроме того, соискателем предложена методика тестирования экспериментального оборудования, определен реестр дополнительного контрольно-измерительного оборудования и технологической оснастки и обоснованы направления актуальных и востребованных теоретических, научно-прикладных и экспериментальных исследований. В результате выполненного исследования соискателем достоверно определены режимы сплавления в магнитном поле металлических частиц порошковых композиций.

В третьей главе выполнены исследования микроструктуры опытных образцов с использованием методов и средств сканирующей электронной SEM-микроскопии и энергодисперсионного EDS-микроанализа.

Установлено, что глубина сплавления частиц наносимого материала с подложкой изменяется в пределах от 0,6 мм до 1,5 мм. При этом происходит формирование на поверхности подложки прочных композитных структур с приемлемыми показателями адгезии расплава к поверхности подложки. Определено чёткое зональное распределение химических элементов в структуре наплавленных покрытий. А именно, в системах Sm-Fe обнаружены области с

повышенным содержанием самария (до 45 атомарных процентов) и зоны, обогащенные железом (до 70 атомарных процентов Fe с примесью хрома).

Особый интерес представляют результаты рентгенофазового анализа образцов. Установлен факт образования интерметаллических соединений, в частности фазы SmCo_5 , в системах Sm-Co. При этом известно, что данное интерметаллическое соединение своим присутствием предопределяет уникально высокие магнитные свойства сплавов и является перспективным для использования в структуре высокоэнергетических постоянных магнитов.

Кроме того, соискателем сформулирована и успешно изучена сопряженная задача создания постоянных магнитов методом последовательной послойной наплавки порошков Sm, Co и Fe на поверхность подложки. Соискателем справедливо определено, что данный метод не имеет существенных преимуществ, в сравнении с изготовлением образцов постоянных магнитов методом сплавления частиц в составе композиций, то есть в составе смеси частиц различных металлических порошков.

В четвертой главе соискателем приведены данные экспериментального исследования магнитных свойств материалов, полученных методом лазерной аддитивной технологии в условиях воздействия постоянного магнитного поля. Особое внимание уделено сравнительному анализу двух основных систем, а именно Sm-Fe и Sm-Co, которые справедливо рассматриваются соискателем как наиболее перспективные для создания постоянных магнитов нового поколения.

Магнитометрические исследования выполнены на SQUID-магнитометре в широком диапазоне значений температуры от 4 К до 300 К.

Для системы Sm-Fe установлено, что коэрцитивная сила (H_c) при нормальной температуре составляет от 20 Э до 100 Э и намагниченность насыщения (M_s) достигает 110-112 эме/г, причём магнитные свойства формируемой структуры постоянных магнитов предопределяются соединением $\text{SmCo}_{8.5}$ ($\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$). Кроме того, определено, что влияние материала подложек на основе сплавов железа (12Х18Н10Т) или сплавов алюминия (АМг3) на магнитные свойства образцов является минимальным.

Соискателем экспериментально доказано, что направление наплавки частиц металлов на поверхность подложки не оказывает существенного влияния на ориентацию магнитных полюсов исследуемых образцов. Основное влияние на ориентацию полюсов и на магнитные свойства изготовленных образцов оказывает направление ориентации силовых линий внешнего магнитного поля, воздействующего на опытные образцы, находящиеся в рабочей зоне лазерного облучения. Кроме того, установлено, что замена канифоли, - как связующего технологического материала для частиц наплавляемых порошковых металлов, - на

полистирол не оказывает влияния на магнитные свойства образцов, но снижает количество дефектов в наплавленной структуре, таких, как поры и трещины.

В заключении соискателем правомерно сформулированы итоги выполненного диссертационного исследования и определены рекомендации и перспективы дальнейших научных работ по совершенствованию технологии изготовления постоянных магнитов, в том числе, сложной и уникальной геометрической формы.

Научная новизна результатов решения поставленных задач

Достигнутые результаты диссертационного исследования имеют важное научное и практическое значение для создания новых магнитных материалов с востребованными и актуальными физическими свойствами. Научная новизна полученных результатов и сформулированных выводов состоит: в разработке физико-химического процесса изготовления магнитного материала из порошков Sm, Co, Fe на немагнитной подложке; в определении рациональных характеристик защитной среды и параметров лазерного излучения в рабочей зоне; в установлении закономерностей формирования микроструктуры при лазерной наплавке композиции порошков $\text{Sm}_{20}\text{Fe}_{80}$ и $\text{Sm}_{37}\text{Co}_{63}$ на немагнитную металлическую подложку.

Воспроизводимость и оригинальность результатов диссертационной работы подтверждены данными экспериментальных исследований на аттестованном высокоточном оборудовании. Перспективным направлением дальнейших научных исследований, базирующихся на достижениях соискателя Яцко Д.С., является изучение теплофизических и особых функциональных свойств созданных соискателем магнитных материалов.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации

Достоверность представленных в диссертации результатов обеспечивается корректным использованием методов теоретического и экспериментального исследования фундаментальных связей состава и структуры металлических, неметаллических материалов и композитов с применением аттестованного технологического, аналитического и контрольно-измерительного оборудования, методов планирования экспериментов, статистической обработки экспериментальных данных и лицензированных компьютерных вычислительных и моделирующих средств программного обеспечения. Основные результаты работы основываются на количественном и качественном анализе структуры, состава и магнитных свойств экспериментальных образцов. Полученные данные интерпретируются, исходя из достоверных положений материаловедения и физики. Выводы, сформулированные соискателем по результатам выполненной

диссертационной работы, убедительно и логично обоснованы в полном соответствии с данными экспериментальных исследований.

Автореферат достоверно отражает основное содержание, положения и выводы диссертации.

Опубликование основных результатов диссертации в научных изданиях

По теме диссертации опубликовано самостоятельно и в соавторстве 10 работ, в том числе 3 в рецензируемых изданиях согласно Перечню ВАК по специальности 2.6.17 «Материаловедение», изданы доклады в сборниках трудов Международных научных конференций, включенных в международные базы научного цитирования «Scopus».

Замечания по содержанию диссертации и автореферата

1. В работе не представлено комплексное решение проблемы окисления редкоземельных компонентов (в особенности химического элемента Sm) в процессе выполнения технологических операций лазерной наплавки. Необходимо проведение более детального изучения процессов формирования и оптимизации газовой защитной среды в рабочей зоне лазерной обработки частиц порошковой смеси.

2. В диссертации недостаточно чётко отражена проблема масштабирования технологии для условий серийного производства постоянных магнитов, в том числе вопросы оценки и определения граничных условий экономической целесообразности промышленного производства постоянных магнитов при увеличении программы выпуска изделий.

3. Отсутствуют данные о стабильности параметров и магнитных характеристик полученных материалов в условиях длительной эксплуатации изделий, в том числе в режиме термоциклирования и при воздействии внешних дестабилизирующих факторов.

4. При изложении текста диссертации соискатель зачастую использует недопустимые разговорные обороты (см. п.3 ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления»; а также см. п.5.3 ГОСТ Р 2.105-2019 «Общие требования к текстовым документам»).

5. Оформление списка литературы в диссертации и в автореферате не в полной мере соответствует требованиям ГОСТ 7.0.100-2018 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

6. В тексте диссертации и автореферата имеются ошибки, опечатки и отступления от ряда нормативных требований Положения ВАК и ГОСТ Р 7.0.11-2011, ГОСТ Р 2.105-2019, а именно в части изложения текста и оформления оглавления, заголовков, межстрочных интервалов, рисунков и таблиц. Печатный

объем автореферата превышает один авторский лист.

Мнение о научной работе соискателя в целом

Перечисленные замечания не снижают научную значимость и практическую ценность выполненных соискателем исследований.

Содержание диссертации соответствует пунктам 2 и 4 Паспорта специальности 2.6.17 «Материаловедение», а именно в части:

- установление закономерностей физико-химических процессов, происходящих в гетерогенных структурах;
- разработка физико-химических и физико-технологических процессов формирования новых металлических материалов, обладающих уникальными функциональными и эксплуатационными свойствами, оптимальной себестоимостью и экологической чистотой.

Закключение

Диссертационная работа на тему «Создание магнитного материала из порошков Sm, Co и Fe методом лазерной аддитивной технологии на немагнитной подложке в постоянных магнитных полях» является законченным научным исследованием и в целом соответствует основополагающим критериям и требованиям, предъявляемым Положением ВАК к кандидатским диссертациям (см. пункты 6 и 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. №842 в редакции от 25.01.2024г.), а ее автор Яцко Дмитрий Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 «Материаловедение».

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Яцко Д.С. и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент директор Научно-образовательного центра внедрения лазерных технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ), к.т.н., доцент

600014, г. Владимир,
ул. Белоконской, 3Б,
Телефон: +7(4922) 47-97-34
Факс: +7 (4922) 47-98-88
<https://laser33.ru>
E-mail: info@laser33.ru

Люхтер Александр Борисович
«24» сентября 2025 г.

Подпись доцента Люхтера А.Б. заверяю
Ученый секретарь Ученого совета ВлГУ

Т. Г. Коннова
«24» сентября 2025 г.