

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.16

по диссертации Гетто Елены Руслановны

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Диссертация «Структурообразование и свойства магнитно-мягких композиционных материалов на основе порошков железа ПЖРВ, покрытых силикатами и солями калия и натрия» по научной специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы принята к защите «27» июня 2025 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.16, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от «05» октября 2022 г. № 92 в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым - четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. N 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. N 1792-р.

Соискатель – Гетто Елена Руслановна, 1995 года рождения, в 2018 г. окончила с отличием магистратуру в ФГБОУ ВО «Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М. И. Платова» по направлению 23.04.01 «Технология транспортных процессов», в 2022 г. окончила очную аспирантуру ФГБОУ ВО «Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М. И. Платова» по направлению подготовки 22.06.01 «Технологии материалов».

Диссертация выполнена на кафедре «Материаловедение и технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель - Гасанов Бадрудин Гасанович, доктор технических наук (05.16.06 Порошковая металлургия и композиционные материалы), профессор кафедры «Международные логистические системы и комплексы» ФГБОУ ВО

«Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»

Официальные оппоненты:

Егоров Максим Сергеевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Материаловедение и технологии металлов», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону);

Кулевич Виталий Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и композиционные материалы», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (г. Волгоград) дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет» (г. Краснодар) в своем положительном заключении, утвержденном проректором по научной работе и инновациям, кандидатом технических наук В.В. Шапошниковым, заслушанном на расширенном заседании кафедры «Инженерии систем управления, материалов и технологий в машиностроении» (протокол заседания № 1 от 28.08.2025г.) и подписанном заведующим кафедрой «Инженерии систем управления, материалов и технологий в машиностроении» Пломодьяло Романом Леонидовичем, кандидатом технических наук, доцентом, указала, что представленная работа по форме и содержанию отвечает требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, и порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным приказом ректора ПНИПУ от 28.05.2024 №27-О, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

По теме диссертации соискателем опубликовано 11 научных трудов, в том числе 3 работы – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени по специальности 2.6.5, из них 1 работа – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и Scopus, получен патент на изобретение. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об

опубликованных соискателем научных трудах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Махмудова (Гетто) Е.Р.,** Гасанов Б.Г., Тамадаев В.Г., Богачёв В.О. Кинетика формирования диэлектрического покрытия на порошки железа для получения композиционных магнитно-мягких материалов // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2019. № 4. С. 44–54 *(представлены результаты по определению кинетики формирования диэлектрического покрытия на порошках железа, соискателем обоснованы актуальность и эффективность применения силикатсодержащего неорганического покрытия в качестве электроизолирующего слоя при производстве магнитно-мягких композиционных материалов (ММКМ) из порошков железа;*
2. **Гетто Е.Р.,** Гасанов Б.Г., Михайлов В.В., Нис Я.З., Баев С.С. Влияние гранулометрического состава и морфологии частиц порошка железа на структуру и свойства магнитно-мягких композиционных материалов // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2024. № 4. С. 67-76 *(соискателем представлены исследования влияния гранулометрического состава и морфологии частиц железа, покрытых силикатом калия, на плотность магнитно-мягкого материала, кинетику структурной деформации при прессовании и распределение компонентов в покрытии при спекании);*
3. **Гетто Е.Р.,** Гасанов Б.Г., Михайлов В.В. Технологические особенности получения магнитно-мягких композиционных материалов из распыленных порошков железа, покрытых силикатом калия и кремнийорганическим лаком // Технология машиностроения. 2025. № 3. С. 33-40 *(показано исследование параметров технологических процессов получения магнитно-мягких композиционных материалов из распыленных порошков железа, покрытых силикатом калия и кремнийорганическим лаком. Соискателем установлено, что после прессования при давлении 600 МПа и последующего нагрева в диапазоне 600–700 °С толщина покрытия меняется и происходит частичное перераспределение компонентов в диэлектрическом слое);*
4. **Гетто Е.Р.,** Гасанов Б.Г., Михайлов В.В., Нис Я.З. Влияние химического состава диэлектрического покрытия на структурообразование и свойства магнитно-мягких композиционных материалов из порошков железа // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2022. № 4. С. 57-64 *(представлены результаты исследования влияния*

спекания на структурообразование и свойства магнитно-мягких композиционных материалов из порошков железа, соискателем установлено, что после спекания прессовок при 650–700 °С химический состав диэлектрического покрытия изменяется: в зоне межчастичных контактов концентрация калия снижается в 2–3 раза по сравнению с его содержанием в покрытии до спекания, образуются соединения кремния на границах частиц порошков и на их свободной поверхности, что повышает диэлектрические свойства покрытия).

На диссертацию поступило 6 отзывов, все положительные, от: д.т.н., профессора кафедры «Химии и химической технологии» Новосибирского государственного технического университета Крутского Ю.Л.; д.т.н., профессора, главного химика ПАО НПО «Искра», заслуженного технолога РФ Шайдуровой Г.И. и к.т.н. заместителя технического директора, главного технолога ПАО НПО «Искра» Васильева И. Л.; д.т.н., профессора кафедры «Технологические машины и оборудование» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) Хетагурова В. Н.; д.ф.-м.н., профессора, заведующего кафедрой «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» Самарского государственного технического университета Амосова А.П.; начальника управления АО «Северсталь Менеджмент» Никопова С. В.; д.т.н., профессора, и.о. заведующего кафедрой «Сварочное, литейное производство и материаловедение» Пензенского государственного университета Розена А.Е.

В отзывах отмечается актуальность темы диссертации, практическая и научная значимость работы, новизна полученных результатов и делается заключение, что соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

В отзывах на автореферат имеются **замечания**: на стр. 6 автореферата сообщается о том, что при изготовлении ММКМ в качестве диэлектрической составляющей применяют различные органические вещества: смолы типа бакелита, эпоксидные и полиэфирные смолы, полистирол, аминопласты, казеин, шеллак, а также неорганические диэлектрики (в частности, силикаты натрия и калия); автор в своей работе использовал неорганические диэлектрики, и, если автор в исследовании не применил органические вещества, то следовало мотивированно указать их недостатки по сравнению с неорганическими; автор в качестве неорганического диэлектрика использовал силикат калия, указав, что жидкое калиевое стекло по

сравнению с натриевым характеризуется большей вязкостью и лучшей клеящей способностью; автору следовало провести сравнительные эксперименты по получению ММКМ с использованием силиката натрия; в автореферате не показаны положения, выносимые на защиту, как это принято по квалификационным признакам, которые должны характеризовать выполнение поставленных научно-прикладных задач, при оформлении автореферата; автореферат не содержит целевых параметров по заранее задаваемым магнитным свойствам, хотя в выводах утверждается, что магнитные свойства по результатам исследований достигнуты; из автореферата не ясно, как диссертант определил толщину диэлектрического покрытия после прессования и спекания, а также как он оценивал влияние величины деформации покрытия из силиката натрия при прессовании на магнитные свойства материала; при обработке шихт в планетарной центробежной мельнице не определялся нагрев шихты в процессе обработки и его влияние на шихту; на стр. 7 утверждается: «В частности, частицы порошков железа покрываются силикатом калия относительно равномерно (рис. 1, а), ...», с чем трудно согласиться, глядя на рис. 1, а; на стр. 13 написано: «В целом толщина покрытия на исследуемых порошках колебалась в пределах от 10 до 60 нм.», в чем можно усомниться, чтобы такие тонкие нанопокрyтия различить на растровом электронном микроскопе (РЭМ) «EDAX» и определить их толщину, соответствующие РЭМ-изображения в автореферате не приводятся; из автореферата не ясно использовал ли автор в своей работе органические вещества и если не использовал, то следовало указать их недостаток по сравнению с неорганическими; из автореферата не понятно на основе каких исследований автор считает, что на границе частиц железа и покрытия из силиката калия образуется слой, содержащий соединения кремния; в таблице 2 следовало выделить, при каком давлении прессования получена указанная плотность материала и нет ссылки в двух последних строках на источники, из которых взяты характерные свойства ММКМ.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их научной специализацией: Егоров М. С. - доктор технических наук по специальности 2.6.5 - Порошковая металлургия и композиционные материалы, Кулевич В.П. – кандидат технических наук по специальности 2.6.5 - Порошковая металлургия и композиционные материалы, оба оппонента имеют публикации в области порошковых материалов (п.27 а Положение о совете); официальная ведущая организация широко известна своими достижениями в области порошковых

материалов (п.27 б Положение о совете), имеется научная школа, где работают известные специалисты в соответствующем направлении.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

доказана перспективность разработки нового композиционного магнитно-мягкого материала из распыленных порошков железа, покрытых теплостойкими неорганическими соединениями – силикатами и солями натрия и калия;

разработана технология нанесения диэлектрических покрытий на основе силикатов и солей калия и натрия на распылённые порошки железа отечественного производства, а также методы повышения свойств магнитно-мягкого композиционного материала из них;

установлено, что в процессе механической активации распыленных порошков железа с поверхности крупных частиц удаляются инородные включения и частицы мелких фракций, что позволило повысить физические свойства магнитопровода;

показан механизм физико-химических процессов, протекающих при подготовке шихты и спекании ММКМ на границах частиц распыленных порошков железа, покрытых силикатом калия и кремнийорганическим лаком, заключающийся в том, что после спекания прессовок при 650 - 700 °С химический состав диэлектрического покрытия изменяется, и в зоне межчастичных контактов концентрация калия снижается в 2 -3 раза по сравнению с его содержанием в покрытии до спекания, образуются обменно-реакционные связи, как на границах частиц порошков, так и на их свободной поверхности, что повышает диэлектрические свойства покрытия.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что **доказана** эффективность применения водного раствора силиката калия для получения диэлектрического покрытия при производстве магнитопроводов из распыленных порошков железа отечественного производства; **установлено**, что на химический состав и структурообразование покрытий влияют гранулометрический состав и морфология распыленных порошков железа, концентрация K_2O-SiO_2 в водном растворе и параметры технологии нанесения покрытий; **определены** оптимальные условия, при которых возможно достижение повышенных магнитных свойств в магнитно-мягком композиционном материале из активированных порошков ПЖРВ с добавлением силиката калия, с оптимальной концентрацией вводимой добавки 1,0 %

по массе после спекания при температуре 650 °С; **установлено**, что отличительной особенностью уплотнения активированных порошков железа размером частиц 100 – 160 мкм с покрытием из силиката калия является преобладание структурной деформации при давлении прессования ниже 700 - 800 МПа.

Результаты диссертационного исследования рекомендуется использовать в теории и практике порошковой металлургии, в научно-исследовательских организациях и на промышленных предприятиях, разрабатывающих магнитные материалы и производящих изделия из них.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что **создана и апробирована** новая технология подготовки распыленных порошков железа для нанесения покрытия из силикатов и солей натрия и калия для производства магнитопроводов для трансформаторов тока релейной защиты; **показано влияние** технологических параметров получения магнитопроводов, напряженности и частоты намагничивающего поля на магнитную проницаемость, индукцию и удельные потери ММКМ из порошков ПЖРВ, покрытых силикатом калия и другими диэлектриками. В частности, с повышением частоты перемагничивания с 50 до 1000 Гц магнитная проницаемость в поле напряженностью 1,6 кА/м максимальная магнитная проницаемость снижается с 530 до 160, а удельные магнитные потери при этом возрастают с 8 до 24 Вт/кг. Аналогично снижается и магнитная индукция ММКМ с повышением частоты намагничивающего поля с 1,6 Тл до 0,6 Тл; **экспериментально выявлено**, что максимальная магнитная проницаемость и магнитная индукция ММКМ получены на изделиях, изготовленных из механически активированных порошков ПЖРВ 2.200.30 с размерами 100 - 160 мкм, а минимальные удельные магнитные потери при частоте перемагничивания 50 Гц имеют образцы, изготовленные из порошков фракции 35 - 63 мкм, покрытых солями калия и натрия или кремнийорганическим лаком; **разработан** новый магнитно-мягкий композиционный материал, представляющий собой порошок-железа с низким содержанием примесей, покрытый электроизолирующим слоем из силиката калия или кремнийорганического лака толщиной 20-60 нм, для производства сердечников и магнитопроводов микроэлектродвигателей электрических машин, трансформаторов тока релейной защиты и других устройств (патент РФ 2810561); **разработана** и успешно испытана технология получения опытной партии магнитопроводов трансформаторов датчика тока релейной защиты из

активированных распыленных порошков железа ПЖРВ 2.200.300, покрытых силикатом калия (акт испытаний ООО «Композит НЧК», г. Новочеркасск); **составлены** практические рекомендации по выбору режимов нанесения покрытия на порошки железа в водном растворе силиката калия, прессования и спекания, позволяющие разработать технологию получения магнитопроводов с заданными свойствами.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что **экспериментальные результаты** получены на сертифицированном оборудовании, показана воспроизводимость результатов в различных условиях; **теория** построена на фундаментальных основах порошковой металлургии и материаловедения, и согласуется с ранее опубликованными работами других авторов, а также результатами экспериментов; **идея** базируется на анализе существующих проблем улучшения магнитных, механических и эксплуатационных характеристик порошковых магнитно-мягких материалов и возможности их решения путем разработки новых составов и технологий; **установлено** качественное и количественное соответствие авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике; использованы современные методики сбора и обработки исходной информации и сравнительные испытания свойств разработанных материалов, проведена статистическая обработка данных.

Личный вклад соискателя состоит в анализе научных данных по теме исследования, сравнении представленных подходов, подготовке и проведении экспериментов лично автором или при его непосредственном участии, сборе, систематизации и анализе экспериментальных данных; подготовке основных публикаций по теме диссертации и формулировке выводов.

Диссертационный совет пришел к **выводу** о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным приказом ректора ПНИПУ от 09 декабря 2021 г. № 4334-В: в ней изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения для получения магнитно-мягких материалов из отечественных порошков с повышенными

магнитными характеристиками, имеющие важное значение для развития отрасли машиностроения страны.

На заседании «19» сентября 2025 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.16 принял решение присудить Гетто Елене Руслановне ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания №3).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени - 12, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета

Д ПНИПУ.05.16,

доктор технических наук, доцент

_____/ Оглезнева С.А. /

Ученый секретарь диссертационного совета

Д ПНИПУ.05.16,

кандидат технических наук

_____/ Кульметьева В.Б. /

«19» сентября 2025 г.

М.П.