

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и
инновациям федерального государственного
бюджетного образовательного
высшего образования
«Кубанский государственный
технологический университет»

О. П. ШНИКОВ

О. П. ШНИКОВ

«28» августа 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный технологический университет» на диссертационную работу Гетто Елены Руслановны «Структурообразование и свойства магнитно-мягкого композиционного материала на основе порошков железа ПЖРВ, покрытых силикатами и солями калия и натрия», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Общие положения

Диссертационная работа Гетто Е.Р. выполнена на кафедре «Материаловедение и технология машиностроения» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав с общими выводами, библиографический список из 122 наименований. Работа включает 65 рисунков, 28 таблиц, 45 формул. Общий объем диссертации составляет 160 страниц машинописного текста.

Актуальность темы

В электронной и электротехнической промышленности и многих других отраслях народного хозяйства при производстве магнитопроводов и сердечников широко применяются магнитно-мягкие материалы различного химического состава. Среди них особое место занимают нелегированные и легированные кремнием и другими элементами листовые электротехнические стали, которые имеют наиболее низкие удельные потери в переменных полях. Поэтому цельнопрессованные порошковые магнитопроводы применяются в основном для магнитных систем с постоянными полями. Для устройств,

работающих в высокочастотных переменных магнитных, магнитопроводы и сердечники получают методами порошковой металлургии из карбонильных порошков железа, альсиферов и магнитно-мягких ферритов. Высокая стоимость листовой электротехнической стали и большие отходы при изготовлении из них сердечников обуславливает актуальность научно-исследовательских работ по разработке новых магнитно-мягких материалов для производства магнитопроводов сложной конфигурации, работающих в переменных магнитных полях в заданном диапазоне частот.

Для снижения удельных потерь в магнитопроводах в последнее время применяются порошки железа, покрытых полимерными диэлектриками. Однако температура спекания таких магнитопроводников ограничена из-за деструкции полимерных покрытий и связующих. Поэтому не полностью протекают восстановительные процессы в материалах частиц железа, что снижает их магнитную проницаемость и индукцию в полях напряженностью ниже 1 кА/м.

Актуальность данной диссертационной работы обусловлена тем, что она посвящена решению важной научно-технической задачи - повышению магнитных свойств магнитопроводов различного назначения путем нанесения диэлектрических нанопокровов на порошки железа отечественного производства и разработке технологического процесса получения из них магнитопроводов реле трансформаторов тока. Кроме этого уровень проведенных исследований позволяет расширить технологические возможности производства порошковых магнитопроводов сложной конфигурации с заданными функциональными свойствами.

Основные научные результаты и оценка их новизны

Результаты, полученные автором, являются новыми научными знаниями в области производства магнитно-мягких композиционных материалов, нанесения неорганических покрытий из силикатов и солей натрия и калия на порошки железа и производства из них магнитопроводов требуемой конфигурации. В диссертации получены следующие научные результаты, позволяющие оценить ее как научно-квалификационную работу и отличающие новизной:

1. Показан механизм формирования диэлектрических покрытий из силикатов и солей калия и натрия на распыленные порошки железа отечественного производства, позволяющие прогнозировать магнитные свойства магнитно-мягких композиционных материалов, создать научные основы для управления технологическим процессом с учётом внешних и

внутренних факторов и разработать инновационную технологию производства цельнопрессованных магнитопроводов;

2. Установлено, что на толщину диэлектрического покрытия из силикатов и солей натрия и калия влияет не только их концентрация в шихте и водных растворах, но и морфология частиц распыленных порошков железа, что позволило оценить влияние химического состава покрытий на структурообразование ММКМ на всех стадиях технологического процесса и магнитные и механические свойства материала;

3. Выявлено, что при механической активации распыленных порошков железа разного гранулометрического состава перед нанесением диэлектрического покрытия с их поверхности частично удаляются различные примеси и мелкие частицы порошков, слипшихся при их распылении и охлаждении, что позволяет прогнозировать толщину диэлектрического покрытия из силикатов натрия и калия, а также свойства ММКМ;

4. Установлено, что при спекании образцов из порошков железа марок ПЖРВ 2.200.28 ПЖРВ 2.200.30 с диэлектрическим покрытием из силиката калия и неорганического лака в интервале 600 - 700 °С завершается первичная рекристаллизация материала частиц железа и активируются диффузионные процессы на их поверхностях и границах, из покрытия частично удаляется калий, формируется диэлектрический слой, содержащий соединения кремния, снижающие удельные магнитные потери ММКМ;

5. Разработан алгоритм и предложены расчетно-аналитический модель для расчета технологических параметров нанесения диэлектрических покрытий из силикатов и солей калия, позволяющий полнее использовать предложенную технологию получения ММКМ и расширить области применения магнитопроводов, полученных из распыленных порошков железа отечественного производства.

Достоверность и обоснованность результатов исследований

Достоверность результатов исследований обеспечивается использованием большого объема экспериментов и созданием специального экспериментального оборудования, применением для исследования структурообразования ММКМ современных методов оптической микроскопии, спектрального, рентгеноструктурного анализа.

Интерпретация полученных в ходе исследования результатов проведена на высоком методическом уровне, научные положения и выводы вполне обоснованы и надежно подтверждены результатами вычислительных экспериментов и расчетных оценок.

Достоверность исследований подтверждается многократной повторяемостью экспериментальных данных, полученных с использованием общепринятых методов исследований, адекватностью разработанных моделей исследуемым рабочим процессам, а также согласованностью теоретических данных с результатами экспериментов.

Значимость полученных автором результатов для развития науки и производства

Значимость для науки и производства заключается в разработке новой методики нанесения неорганических диэлектрических покрытий на распыленных порошки железа, производимые в АО «Северсталь», позволившей автору диссертационной работы разработать инновационную технологию получения цельнопрессованных магнитопроводов для трансформатора тока релейной защиты. Создана принципиально новая система проектирования технологических процессов нанесения функциональных покрытий с учётом требуемых свойств и их устойчивости к внешним воздействиям, позволяющая учитывать эксплуатационные условия и прогнозировать качество типовых изделий.

Разработаны и внедрены новая технология, устройство и технологичные растворы, адаптированные к производственным условиям, с заданным содержанием силиката калия и кремнийорганического лака, позволившие повысить качество магнитопроводов, улучшить экологическую безопасность и снизить себестоимость производства.

Полученные соискателем результаты использованы при разработке технологии получения магнитопроводов трансформаторов тока, что позволяет рекомендовать использовать их при производстве микроэлектродвигателей и других электротехнических устройств.

Полученные результаты использованы в учебном процессе для подготовки бакалавров и магистров в разделах учебных дисциплин «Технология машиностроения», «Порошковая металлургия», «Электротехнические материалы», а также в качестве материала для исследовательских дипломных работ, аспирантских и магистерских диссертаций.

В научных публикациях автора отражены результаты, развивающие представления:

- о влиянии химического состава, способа и режима получения магнитно-мягких композиционных материалов, конструкции и магнитопроводов и сердечников, на свойства и устройств магнитных систем;

- о влиянии химического состава диэлектрического покрытия, морфологии частиц порошков, режимов механической активации порошков на магнитные и механические свойства ММКМ.

Практическая ценность работы

Разработана новая технология подготовки порошков железа, нанесения покрытий из силикатов калия и натрия, а также кремнийорганического лака, адаптированные к производственным условиям, позволившие улучшить качество и снизить материальные и энергетические затраты при получении магнитно-мягких композиционных материалов. Разработана технология получения магнитопроводов трансформаторов тока релейной защиты из активированных распыленных порошков железа ПЖРВ 2.200.300, покрытых силикатом калия. Результаты испытаний, проведенных в ООО «Композит НЧК», г. Новочеркасск, показали, что по магнитным и механическим характеристикам разработанный ММКМ превышал в среднем на 10 - 30 % используемый ММКМ из неактивированного порошка железа, экономический эффект от снижения себестоимости изготовления магнитопроводов на 1000 деталей составляет 209899 руб. на 1000 деталей.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты и выводы диссертации рекомендуется использовать в научно-исследовательских, проектно-конструкторских и промышленных предприятиях, занимающихся разработкой, изготовлением и эксплуатацией изделий из конструкционных и спеченных сталей работающих в условиях абразивного и ударно-абразивного воздействия.

Замечания по содержанию и оформлению работы

1. В диссертационной работе проведен достаточно подробный аналитический обзор публикаций по влиянию химического состава и технологических параметров на свойства магнитодиэлектриков на основе порошков карбонильного железа и альсифера, но в исследованиях были использованы только распыленные порошки железа.

2. В работе следовало бы более подробно указать области применения ММКМ с добавками в качестве диэлектрика полимеров, их недостатки и преимущества.

3. Поскольку экспериментально показано, что ММКМ с покрытием частицами стеклоэмали значительно уступают по магнитным свойствам материалу их порошков железа, покрытых силикатом калия, то с какой целью

исследовали влияние состава из смеси солей калия и натрия на строение и свойства ММКМ.

4. Автор диссертации убедительно показала, что механоактивация распыленных порошков железа позволяет повысить свойства ММКМ в результате более равномерного распределения диэлектрического слоя из силиката калия на порошках размером частиц от 100 до 160 мкм, но не исследовала влияние дефектов кристаллической решетки железа на кинетику смачивания согласно выражению 4.1 (стр.94)

5. В диссертации показано влияние режима спекания прессовок на магнитные свойства ММКМ с покрытием разного химического состава, но недостаточно представлены количественные данные степени протекания восстановительных процессов в порошках железа, т. к. исследуемые магнитные свойства относятся к структурно чувствительным;

6. В работе приведены результаты математического планирования экспериментов и обработки результатов в виде уравнений регрессии для оптимизации режима спекания образцов из предложенных материалов, но не понятно, как использована полученная функциональная модель в практических рекомендациях.

7. Имеются в диссертации стилистические погрешности. Например, в таблице 2.2 в двух строках написано силикат натрия вместо силиката калия, что хотела диссертант показать в табл. 3.3. Допущены неточности в тексте и подписях (например, под рисунками 3.16, 4.15, 4.18 и других, в которых следовало бы более подробно указать структурно-составляющие материала)

Указанные замечания носят частный характер, не снижают теоретическую и практическую значимость основных положений и выводов. По своей сути они представляют собой предложения и пожелания для дальнейших исследований.

Общая оценка диссертации.

Диссертация Гетто Е. Р. на тему «Структурообразование и свойства магнитно-мягкого композиционного материала на основе порошков железа ПЖРВ, покрытых силикатами и солями калия и натрия» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных автором исследований решена научно-техническая задача, имеющая хозяйственное значение, именно разработаны новая научно-обоснованная технология получения магнитно-мягких композиционных материалов из отечественных порошков железа. Результаты исследований вносят значительный вклад в развитие теории и практики порошковой металлургии,

так как позволят повысить функциональные свойства магнитопроводов электротехнических устройств, работающих в переменных магнитных полях.

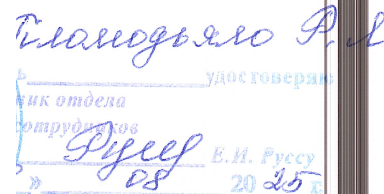
Содержание автореферата отражает основные положения и результаты диссертационной работы. По теме диссертации опубликовано 11 статей, в том числе 3 в журналах, рекомендованных ВАК России по специальности 2.6.5, в которых изложены основные результаты исследований.

Рассматриваемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения по разработке новых магнитно-мягких материалов, вносит значительный вклад в развитие народного хозяйства страны, полностью удовлетворяет критериям пунктов 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в ред. от 11.09.2021), а ее автор, Гетто Елена Руслановна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Диссертация, автореферат, отзыв обсуждены и одобрены на расширенном заседании кафедры «Инженерии систем управления, материалов и технологий в машиностроении» Кубанского государственного технологического университета «28» августа 2025г., протокол №1.

Заведующий кафедрой «Инженерии систем
управления, материалов и технологий в машиностроении»
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
технологический университет»,
канд. техн. наук, доцент

Пломодьяло Р.Л.



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кубанский государственный технологический
университет»

Почтовый адрес: 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2

Телефон: +7 (861) 274-52-53; E-mail: rector@kubstu.ru