

УДК 629.111: 537.611

**НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОМПОНЕНТОВ ОПЫТНЫХ
ОБРАЗЦОВ МИНИЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА**

NEW MATERIALS AND THEIR APPLICATION FOR
THE DEVELOPMENT OF PROMOTION COMPONENTS
OF MINI ELECTRIC TRANSPORTATION

Нормирзаев А. Р., канд. техн. наук, доц.,
Тухтабаев М. А., канд. техн. наук, доц.,
Наманганский инженерно-строительный институт,
г. Наманган, Узбекистан

A. Normirzaev, Ph. D. in Eng., Ass. prof.,
M. Tukhtabaev, Ph. D. in Eng., Ass. prof.,
Namangan Institute of Civil Engineering, Namangan, Uzbekistan

В статье рассмотрен вопрос разработки и использования высокопроизводительной техники, создания новых материали для изготовления электродвигателей. Применительно к электрическим двигателям актуальной является научно-техническая задача разработки новых высокоэффективных магнитных материалов, создание двигателей различных размеров, которые будут соответствовать их функциональному назначению в общей системе электромотобиля. Применения технологии и создавать новые технические средства и их эффективное использование, результаты разработок и исследований магнитных материалов и комплексной технологии построения электродвигателей на их основе являются разрозненными, не позволяют создавать новые подходы для их массового внедрения.

This article discusses the development and use of high-performance equipment, the creation of new materials for the manufacture of electric motors. In relation to electric motors, the scientific and technical task of developing new highly efficient magnetic materials and creating motors of various sizes that will correspond to their functional purpose in the overall electric vehicle system are relevant. The application of technology and the creation of new technical means and their effective

use, the results of development and research of magnetic materials and complex technology for constructing electric motors based on them are disparate and do not allow the creation of new approaches for their mass implementation.

Ключевые слова: *композиционный материал, магнитомягкий материал, магнитные свойства, электромобиль, порошок, машина, металл, диэлектрик.*

Keywords: *composite material, soft magnetic material, magnetic properties, electric vehicle, powder, machine, metal, dielectric.*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время совершенно очевидно, что электрический транспорт благодаря огромному научно-технологическому развитию в области высокоэффективных электромагнитных двигателей и батарей завоевывают мировой рынок, является воплощением инновационного развития. Ведущие мировые производители начали серийный выпуск электрических модификаций своих электротранспортных средств. Общий объем продаж электромобилей вырастет с 2,5 млн. в 2020 году до 11,2 млн. в 2025 году, а к 2030 году достигнет 31,1 млн., электромобили обеспечат приблизительно 32 % общей доли рынка продаж новых автомобилей, и тенденция к увеличению их доли будет сохраняться.

Для эффективной работы автономных электрических устройств, включая электротранспорт, необходимо соблюдать баланс между энергией, запасенной батареей, и расходуемой мощностью электродвигателей. Естественно, что в электромобилях используются электромагнитные двигатели, причем кроме тяговых моторов, используется большое число исполнительных моторов в системах вращения, управления сканирующими зеркалами и камерами, заслонками климатического комфорта, эргономичного позиционирования кресел и других. То есть для применения в электротранспорте требуется номенклатура разнообразных двигателей, энергетические затраты которых будут соответствовать и оптимизированы по отношению к выполняемой функции.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ МИНИЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

В принятых программах развития электротранспорта в Беларуси и Узбекистане и стратегии действий дальнейшего развития Республики Узбекистан на 2021–2025 годы определены разработка и использование высокопроизводительной техники, создания и внедрения новых технологий и производственных мощностей и др. Применительно к электрическим двигателям актуальной является научно-техническая задача разработки новых высокоэффективных магнитных материалов, создание двигателей различных размеров, которые будут соответствовать их функциональному назначению в общей системе электромобиля. Для достижения этих показателей важно совершенствовать технологии и создавать новые технические средства и их эффективное использование.

Приведенные в научной исследовании результаты разработок и исследований магнитных материалов и комплексной технологии построения электродвигателей на их основе [1–4] являются разрозненными, не позволяют создавать новые подходы для их массового внедрения. Именно интегрирование, объединение разделов науки и техники позволит разработать научные основы и практическую возможность производства и внедрения двигателей различного назначения с применением порошковых магнитомягких материалов в системы электротранспорта.

Одним из методов получения высокоэффективных материалов для электротехнических применений является метод капсулирования частиц металлических порошков, например, порошков железа, оксидными покрытиями [4–6]. Известные методы капсулирования порошка железа тонким оксидным слоем, а именно механическим наплавлением оксидного слоя, формированием оксидного слоя в результате разложения сульфатов и нитридов металлов и формированием оксидного слоя из газового оксидного слоя, создают некачественное покрытие и являются малоэффективными [7–8].

Предлагаемый нами метод капсулирования порошка железа оксидным слоем является высокоэкономичным методом, практически не изменяющим стоимость последнего, и, с позиций получения заданного состава с заданными магнитными параметрами и удельным электросопротивлением, может быть широко использован в практи-

ке для получения МДМ-сплавов («металл-диэлектрик-металл») с особыми магнитными и электрическими свойствами [9–18].

На сегодняшний день широко распространенными стали различные электромобили для детского возраста, предназначенные для аренды на детских площадках в парках, а также для индивидуального применения. Развлечения в виде катания на детских электромобилях стали популярными у детей любого возраста [10–13]. Большинство существующих машин для детей импортные, многие из которых недостаточно адаптированы к местным климатическим условиям, а некоторые и морально устарели. Для решения задачи изготовления собственного миниэлектротранспорта, прежде всего, необходимо создать и внедрить в производство самые качественные и безопасные машины на основе новых материалов и новых конструктивных решений.

Большинство детских электромобилей имеет один или два мотора. Модели с одним мотором (мощностью от 60 до 100 Вт) развивают максимальную скорость до 4,5 км/ч. Такие электромобили, как правило, способны преодолевать угол подъема только до 5 %, поэтому их можно использовать только на ровных поверхностях. Все эти характеристики делают эти модели идеальными для детей младшего возраста.

Электромобили с двумя моторами различаются по мощности: от 140 до 170 Вт; от 170 до 240 Вт; и от 240 Вт. Двигатели мощностью от 140 до 170 Вт позволяют развивать максимальную скорость до 7,5 км/ч и обеспечивают преодоление угла подъема до 10 %. Модели, оснащенные двигателями мощностью от 170 до 240 Вт, разгоняются до 10 км/ч, а электромобили с двигателями мощностью от 240 Вт – это настоящие внедорожники, преодолевающие подъем до 17 %, с разгоном до 17 км/ч. Эти модели можно использовать за городом и на любых неровных поверхностях. Таким образом, электротранспорт для детей не требует большой мощности двигателя [18–25].

Научная идея работы состоит в улучшении характеристик электродвигателей путем применения новых материалов на основе металлических порошков, покрытых изолирующим слоем, при изготовлении магнитопроводов. Изготовление магнитопроводов методами порошковой металлургии позволяет снизить потери на вихревые токи из-за того, что каждая частица материала изолирована от других, а также снизить производственные отходы, таким

образом повысить экологичность производства. Новизна научной идеи заключается в том, что будут разработаны физические и химические принципы технологии создания нового класса композиционных магнитомягких материалов, обеспечивающих в разрабатываемом миниэлектродвигателе достижение высокой мощности и уменьшение массогабаритных параметров.

Методика нанесения покрытий включала в себя этап предварительного смешивания исходного порошка железа ASC100.30 с заданным количеством реактива, в состав которого входил спиртовой раствор ортофосфорной кислоты в соотношении – 40 % H_3PO_4 + 60 % этиловый спирт. На следующем этапе приготовленный порошок помещали в реактор для нанесения изоляционных покрытий. Обработку смеси проводили в реакционном барабане при давлении от 10^5 до 10^6 Па, нагреваемом до температуры 150–200 °С в течение 15–30 мин. Изготовление композитов проводится путем гидростатического прессования капсулированных порошков в изготовленных пресс-формах под давлением 0,5–0,6 ГПа при нормальных условиях. Спрессованные композиты подвергаются термообработке и нормализации физических параметров. Отжиг образцов производится при температуре 400–450 °С в специальных автоклавах в зависимости от требований [12–18].

Изучение кристаллической структуры композитов выполнено на дифрактометре ДРОН-3 М в CuK_α излучении в диапазоне углов $20 \leq 2\theta \leq 90$ при комнатной температуре. Морфология и химический состав порошков изучена методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на микроскопе Hitachi SEM, Zeiss. Перед проведением исследований поверхность композита предварительно шлифовалась и полировалась для удаления поверхностного оксидного слоя.

Исследования намагниченности исходных порошков железа ASC 100.30 и композитов на основе капсулированных оксидом фосфора порошков ASC 100.30 проведены в интервале температур 77–1100 К в магнитном поле 0,86 Тл пондеромоторным методом. Полевые зависимости намагниченности изучены с помощью вибрационного магнетометра универсальной измерительной системы «Liquid Helium Free High Field Measurement System» компании «Cryogenic Ltd» при 300 К в магнитном поле до 14 Тл [8–11].

Из анализа температурных зависимостей полученного порошкового композита установлено, что нанесение оксидного покрытия P_2O_5 не приводит к изменению магнитных характеристик в пределах погрешности измерений. Величина удельной намагниченности композита на основе капсулированного оксидом титана порошка составляет $217 \text{ A}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$, а температура Кюри равна 1002 K . При температурных измерениях в режиме охлаждения от 1060 K в обоих случаях (до и после капсуляции) наблюдается незначительное снижение величины удельной намагниченности на $\sim 10 \text{ A}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$, что можно объяснить отжигом образцов в процессе измерений.

Результаты магнитометрических измерений подтверждаются исследованиями полевых зависимостей удельной намагниченности при комнатной температуре (рис. 1 и 2).

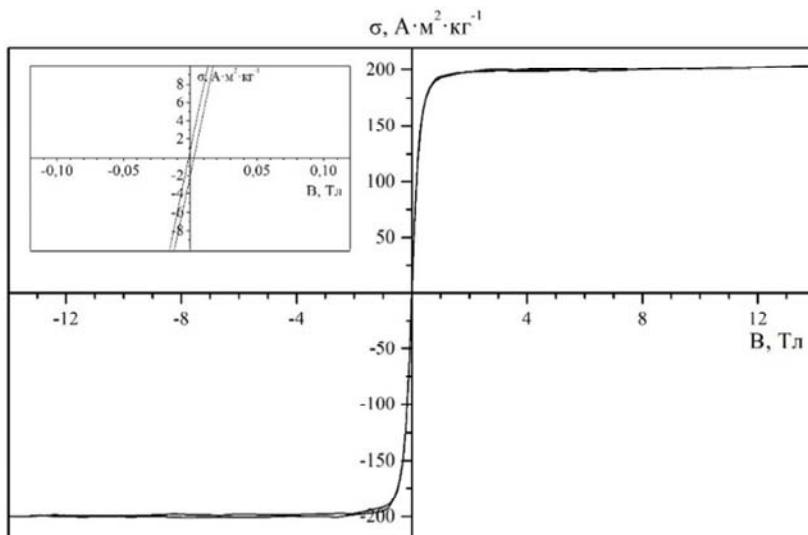


Рисунок 1 – Полевые зависимости удельной намагниченности исходного порошка железа ABC100.30

Композит и порошок основы обладают петлей гистерезиса, характерной для магнитомягких материалов. Намагниченность достигает насыщения в низких полях до 1 Tл , и при снятии внешнего магнитного поля спонтанная намагниченность практически равна нулю.

Таким образом, синтезированные композиты на основе порошка железа АВС100.30, частицы которого капсулированы оксидом фосфора, обладают магнитными характеристиками, необходимыми для изготовления электротехнических компонентов электродвигателей.

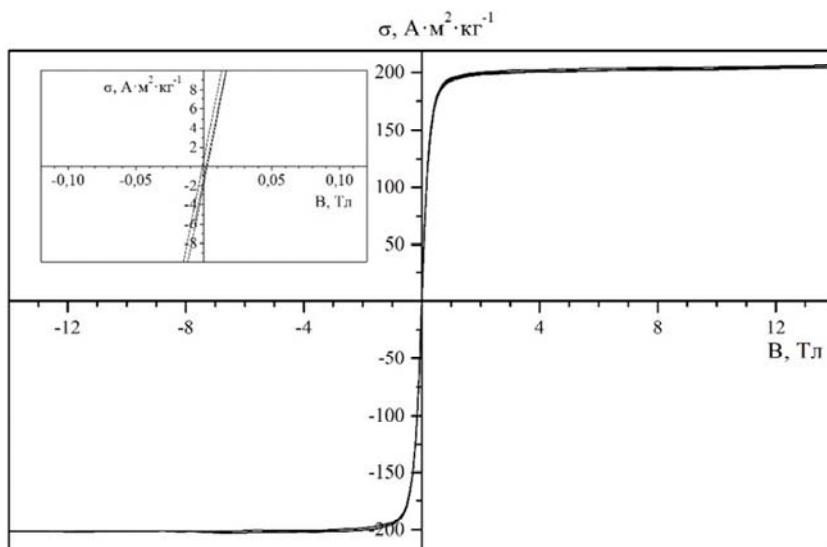


Рисунок 2 – Полевые зависимости удельной намагниченности порошкового композита ASC100.30+ P₂O₅

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено изготовление магнитомягкого композиционного материала с требуемыми параметрами методом капсулирования порошка железа тонким оксидным слоем на основе P₂O₅. Проведены исследования структуры и морфологии поверхности полученных композиционных материалов. Величина плотности, рассчитанная из данных рентгеноструктурного анализа, примерно на 3 % больше, чем непосредственно измеренных значений, которые составляют 7,7 г/см³. Низкая пористость композитов подтверждается результатами SEM и EDX.

Предложенный метод капсулирования порошка железа оксидным слоем является высокоэкономичным методом для нанесения покрытий различного химического состава на металлические по-

рошки, и может быть широко использован в практике для получения электротехнических материалов. Проведены комплексные исследования свойств полученных образцов порошковых композиционных материалов на основе железа ABC100.30, частицы которого капсулированы оксидом фосфора.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках совместного проекта БРФФИ-Узбекистан № T21УЗБГ-006.

ЛИТЕРАТУРА

1. Das, J. Novel powder metallurgy technique for development of Fe–P-based soft magnetic materials. / J. Das [et al.] // J. of Mag. and Mag. Mat. – Vol. 320, № 6. – 2008. – P. 906–915.

2. Birčáková, Z. Magnetic properties of Fe-based soft magnetic composite with insulation coating by resin bonded Ni-Zn ferrite nanofibers / Z. Birčáková [et al.] // J. of Mag. and Mag. Mater. – Vol. 485. – 2019. – P. 1–7.

3. Gheiratmand, T. Iron-borosilicate soft magnetic composites: The correlation between processing parameters and magnetic properties for high frequency applications / T. Gheiratmand [et al.] // J. of Mag. and Mag. Mat. – Vol. 429. – 2017. – P. 241–250.

4. Hilzinger, R. Magnetic materials: fundamentals, products, properties, applications / R. Hilzinger, W. Rodewald // Hanau : Vacuum-schmelze. – 2013. – 608 p.

5. Структура и морфология магнитомягких материалов на основе капсулированного фосфидами порошка железа ABC100.30 / А. О. Ларин [и др.] // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: материалы 15-й Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 4–16 сент. 2022 г.) / Нац. акад. наук Беларуси [и др.] ; редкол.: А. Ф. Ильющенко (гл.ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2022. – С. 261–264.

6. Хакимов, Р. Переход на электротранспорт и пути развития / Р. Хакимов [и др.] // Energetika sohasini rivojlantirishda muqobil energiya manbalarining roli mavzusida vazirlik miqyosidagi ilmiy-amaliy konferensiya ishtirokchilarining ilmiy ma ruza materiallari kiritilgan. NamMQI. – 2022. – С. 351–354.

7. Нормирзаев, Р. Х. Электротранспортни яратишга қаратилган изланишлар / Р. Х. Нормирзаев, М. А. Тухтабоев, Б. Туманбоева // Energetika sohasini rivojlantirishda muqobil energiya manbalarining roli mavzusida vazirlik miqyosidagi ilmiy-amaliy konferensiya ishtirokchilarining ilmiy ma ruza materiallari kiritilgan. – NamMQI, 2022. – P. 354–358.

8. Vetcher, A. Electromagnetic Characteristics and Corrosion Resistance of New Magnetosoft Materials Based on Capsulated Iron Powders / A. Vetcher [et al.]. – Chem. Res. Chin. Univ. 36. – 2020. – P. 1326–1331.

9. Jingxin, Li The preparation and magnetic performance of the iron-based soft magnetic composites with the Fe@Fe₃O₄ powder of in situ surface oxidation / Li Jingxin [et al.]. – Journal of Magnetism and Magnetic Materials, – Vol. 454. – 2018, P. 103–109.

10. Govor, G. A. Magnetic properties of low-frequency composite soft magnetic material / G. A. Govor, A. O. Larin // Promising materials. – No. 7. – 2018. – P. 43–48.

11. Свойства композиционного материала на основе железных порошков / Г. А. Говор [и др.] // Механика и технология. – 2022. – Т. 4. – №. 9. – С. 178–184.

12. Tumanbaeva, B. M. Mini elektromobil uchun yangi turdagi elektruritmani ishlab chiqish / B. Tumanbaeva, B. Valiev, M. To'xtaboev // Fan va innovatsiya 2022: rivojlanish va ustuvor yo'nalishlari mavzusida Respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy konferensiya materiallari to'plami. 2-qism, – Namangan : NamMQI, 2022. – С. 134–136.

13. Electromagnetic properties of composite material based on ABC100.30 iron capsulated by phosphorus oxide / O. F. Demidenko [et al.] // Book of abstracts of VIII Euro-Asian Symposium «Trends in Magnetism» (EASTMAG-2022) – August 22-26, 2022, Kazan, Russia. – 2022. – Vol. II. – P. 190–191.

14. Properties of a Composite Magnetically Soft Material Based on Coated Iron Powders / G. A. Govor [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 365. – P. 05001(9).

15. New Magnetic Materials and Their Application for Development of Prototype Mini-Electric Transport Components / O. F. Demidenko [et al.] // International Journal of Early Childhood Special Education (INT-JECSE). – 2022. – Vol. 14, N. 06. – P. 518–525.

16. Магнітопроводи на аснове капсуліраваных металічных порошковаў для вытворэння высокаэфектыўнага электродвигатэля / Г. А. Говор [і др.] // Актуальныя праблемы фізікі цвёрдага тэла: сб. докл. X Міжнарод. навуц. канф., Мінск, 22–26 мая 2023 / ГО «НПЦ НАН Беларусі па матэрыялаведэнню»; редкол.: В. М. Федосюк (пред.) [і др.]. – Мінск : А. Н. Вараксін, 2023. – С.170–172.

17. Разробка метадыкі вытворэння магнітопроводаў на аснове капсуліраваных металічных порошковаў для стварэння высокаэфектыўнага электродвигатэля / Г. А. Говор [і др.] // Актуальныя праблемы фізікі цвёрдага тэла: сб. тезісаў X Міжнарод. навуц. канф., Мінск, 22–26 мая 2023, ГО «НПЦ НАН Беларусі па матэрыялаведэнню» – Мінск : 2023. – С. 214.

18. Вытворэнне мотор-каліса для опытных абразцаў мініэлектратранспарта на аснове новых магнітомягкіх матэрыялаў / Г. А. Говор [і др.] // Қурилиш ва таълим илмий журнали (Научный журнал «Строительство и образование»). – 2023. – № 3. – С.70–76.

19. Production of motor-wheels for prototypes of mini-electric vehicles based on new soft magnetic materials / G. A. Govor [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol.452. – P. 04012.

20. Demidenko, O. F. Elektrodvigatel ishlab chiqarishda yumshoq magnitli materiallardan foydalanish afzalliklari / O. F. Demidenko, B. F. Valiyev // Механика и технология. – 2023. – Т. 3. – № 12. – С. 141–148.

21. Особенности роста микро- и наноструктур серебра в порах ионно-трековых темплатов SiO₂/Si / Д. В. Якимчук [і др.] // «Техника ва технологіалар ривожини истиқболлари: муаммолар ва yechimlar» mavzusida Xalqaro ilmiy-amaliy konferentsiya materiallari to'plami. 1-qism, NamMQI, 18-oktyabr, 2023-yil. – Namangan, 2023. – С. 211–215.

22. Демиденко О. Вытворэння мотор-каліса для опытных абразцаў мініэлектратранспарта / О. Демиденко, Б. Валиев // «Qishloq xo'jaligi va transportda innovatsion texnika va технологіалар: muammolar, yechimlar va истиқболлар» / Respublika ilmiy-amaliy anjumani ilmiy maqolalar to'plami. – Qarshi, 2023. – С. 61–65.

23. Выбор оптимального состава исходных металічных порошковаў и наносимого покрытия на поверхность электромотора / О. Ф. Демиденко [і др.] // Қурилиш ва таълим илмий журнали

(Научный журнал «Строительство и образование»). – 2023. – № 3. – С. 77–82.

24. Влияние прекурсоров на особенности фазовых превращений в условиях политермического синтеза стронций-замещенного ферромолибдата / А. В. Петров [и др.] // «Техника va texnologiyalar rivojining istiqbollari: muammolar va yechimlar» mavzusida Xalqaro ilmiy-amaliy konferentsiya materiallari to‘plami. 1-qism, NamMQI, 18-oktyabr, 2023-yil. – Namangan, 2023. – С. 206–211.

25. Последовательность фазовых превращений при кристаллизации твердого раствора двойного перовскита / Н. А. Каланда [и др.] // «Техника va texnologiyalar rivojining istiqbollari: muammolar va yechimlar» mavzusida Xalqaro ilmiy-amaliy konferentsiya materiallari to‘plami. 1-qism, NamMQI, 18-oktyabr, 2023-yil. – Namangan, 2023. – С. 202–206.

Представлено 22.05.2024