

JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 1, 2024 Vol. 1
ISSN: 2181-2438



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



JOURNAL OF TRANSPORT

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

ISSN 2181-2438

VOLUME 1, ISSUE 1

MARCH, 2024



journals.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 1, ISSUE 1 MARCH, 2024

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

Founder of the scientific and technical journal “Journal of Transport” – Tashkent State Transport University, 100167, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Temiryo‘lchilar str., 1, office: 465, tel. +998977189944; e-mail: publication@tstu.uz.

The “Journal of Transport” publishes the most significant results of scientific and applied research carried out in universities of transport profile, as well as other higher educational institutions, research institutes, and centers of the Republic of Uzbekistan and foreign countries.

The journal is published 4 times a year and contains publications in the following main areas:

- Business and Management;
- Economics of Transport;
- Organization of the Transportation Process and Transport Logistics;
- Rolling Stock and Train Traction;
- Infrastructure;
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields;
- Technology and Organization of Construction, Management Problems;
- Water Supply, Sewerage, Construction Systems for Water Protection;
- Technosphere Safety;
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications, Electrical Engineering;
- Materials Science and Technology of New Materials;
- Technological Machines and Equipment;
- Geodesy and Geoinformatics;
- Car Service;
- Information Technology and Information Security;
- Air Traffic Control;
- Aircraft Maintenance;
- Traffic Organization;
- Operation of Railways and Roads;

Tashkent State Transport University had the opportunity to publish the scientific-technical and scientific innovation publication “Journal of Transport” based on the Certificate No. 1150 of the Information and Mass Communications Agency under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. Articles in the journal are published in Uzbek, Russian and English languages.

Energy-efficient composite materials for electrical engineering

U.T. Berdiyev¹^a, U.B. Sulaymonov¹^b, N.R. Amanlikova¹^c

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The article discusses methods of using soft magnetic composite materials for elements of electrical equipment. High densities usually improve magnetic properties, both to reduce hysteresis losses and to obtain high magnetic induction. In addition, in order to further reduce hysteresis losses, heat treatment of the pressed part is required to relieve stress. This effect is achieved when soft magnetic composite materials are used for magnetic circuits of electric motors.

Keywords: composite, soft magnetic, effect, cores, hysteresis curve, field uniformity, electromagnet, ponderomotive force

Энергоэффективные композитные материалы для электромашиностроения

Бердиев У.Т. ¹^a, Сулаймонов У.Б. ¹^b, Н.Р. Аманликова ¹^c

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В статье рассмотрены методы использования магнитномягких композиционных материалов для элементов электротехнических оборудования. Высокие плотности обычно улучшают магнитные свойства, как для уменьшения потерь на гистерезис и для получения высокой магнитной индукции. Кроме того, для того чтобы еще больше снизить потери на гистерезис, требуется термообработка спрессованной детали для снятия напряжений. Это даёт эффект при использовании для магнитных цепей электродвигателей магнитномягких композиционных материалов.

Ключевые слова: композиционные, магнитномягких, эффект, сердечники, гистерезисной кривой, однородности поля, электромагнит, пондеромоторная сила


1. Введение

Магнитные материалы активно используются в электронной, компьютерной и телекоммуникационной отраслях. В течение последних десятилетий использовались различные типы магнитных материалов, включая чистое железо и его сплавы. Как известно, что из всех металлов только три металла, например, железо, никель, кобальт обладают ферромагнетизмом, т.е. способностью значительно сгущать магнитные силовые линии, что характеризуется магнитной проницаемостью. Относительная магнитная проницаемость ферромагнитных металлов достигает десятков и сотен тысяч единиц; для остальных она близка к единице, если относительная проницаемость несколько больше единицы, то она является парамагнитным, а если меньше единицы диамагнитным [1, 3].

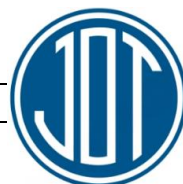
Магнитно-мягкие материалы используют для таких применений, как материалы сердечников в индукторах, статорах и роторах для электрических машин, приводов, датчиков и сердечников трансформаторов.

Традиционно магнитно-мягкие сердечники, такие как роторы и статоры в электрических машинах, изготавливают из наборных стальных пластинчатых магнитопроводов. Магнитно-мягкие композиционные (ММК) материалы основаны на магнитно-мягких частицах, обычно на основе железа, с электроизолирующим покрытием на каждой частице [2, 3, 4]. Путем прессования изолированных частиц, необязательно вместе со смазками и/или связующими, с использованием традиционного процесса порошковой металлургии, получают ММК-детали. Путем использования данной порошковой металлургической технологии можно получать ММК-компоненты с более высокой степенью свободы по конструкции, чем при использовании стальных пластинчатых магнитопроводов, поскольку ММК-материал может переносить трехмерный магнитный поток, а также поскольку в результате процесса прессования могут быть получены трехмерные формы. Для того чтобы сделать ММК-детали высокоэффективными и уменьшить их размеры, необходимо улучшить

^a <https://orcid.org/0000-0003-3513-049X>

^b <https://orcid.org/0009-0006-5488-3023>

^c <https://orcid.org/0009-0003-9388-6305>



эксплуатационные характеристики магнитно-мягких порошков [4, 5, 8].

2. Методология

Одним важным параметром для улучшения эксплуатационных характеристик ММК-деталей является снижение их характеристик потерь в сердечнике. Когда магнитный материал подвергают воздействию переменного поля, возникают потери энергии как из-за потерь на гистерезис, так и из-за потерь на вихревые токи. Потери на гистерезис пропорциональны частоте знакопеременных магнитных полей, тогда как потери на вихревые токи пропорциональны квадрату частоты. Таким образом, при высоких частотах имеют значение преимущественно потери на вихревые токи, и возникает особая необходимость в снижении потерь на вихревые токи и в то же время в поддержании низкого уровня потерь на гистерезис. Это означает, что является желательным повышение удельного электросопротивления магнитных сердечников [6, 9].

Экспериментальная плотность определялась методом гидростатического взвешивания [3, 4], который заключается в следующем. Сначала взвешивается образец на воздухе при комнатной температуре, а затем – образец, погруженный в дистиллированную воду [7, 10, 14]. Для взвешивания брались образцы в виде спрессованных сердечников. Экспериментальная плотность $d_{\text{экс}}$ определяется из выражения:

$$d_{\text{экс}} = \frac{P_1 \cdot d_T - P_1 \cdot d_{\text{возд}}}{P_1 - P_2}$$

где P_1 – вес образца на воздухе,

P_2 – вес образца, погруженного в дистиллированную воду,

d_T – плотность дистиллированной воды при данной температуре,

$d_{\text{возд}}$ – плотность воздуха.

Точность этого метода определяется точностью определения его веса и плотности применяемой жидкости.

Кроме того, для того чтобы еще больше снизить потери на гистерезис, требуется термообработка спрессованной детали для снятия напряжений. Для достижения эффективного снятия напряжений термообработку следует предпочтительно осуществлять при температуре выше 300°C и ниже температуры, при которой изолирующее покрытие будет повреждено, т.е. примерно 600°C, в невосстанавливающейся атмосфере [7, 8, 13].

При изучении магнитных свойств образцов использована установка, в основу которой положен метод измерения пондеромоторной силы. Метод дает возможность исследовать температурные зависимости намагниченности и магнитной восприимчивости при малых количествах вещества [2, 6]. Это позволяет сравнительно быстро достичь температурного равновесия по всему объему образца. Очевидно, что

отсутствие градиента температур на образце в момент измерения удельной намагниченности или восприимчивости обеспечивает наиболее точное определение их величин.

Как известно [6, 8], пондеромоторная сила определяется выражением:

$$F = m\sigma_x \frac{\partial B}{\partial x} = \frac{m\chi_g}{\mu_0} B \frac{\partial B}{\partial x}$$

где m – масса образца, σ_x , χ_g – намагниченность и магнитная восприимчивость единицы массы образца, соответственно, μ_0 – магнитная постоянная, B – магнитная индукция, $\partial B/\partial x$ – градиент магнитной индукции B вдоль оси x .

Измерения величин магнитных характеристик, осуществляемые таким методом, можно проводить с точностью до 1%, если имеется в наличии калибровочный образец такой же формы и размеров (например, из никеля) [5, 9].

Выбор параметров электромагнита определяется максимальными значениями размеров образца. Электромагнит должен создавать магнитное поле, обладающее неизменной величиной произведения напряженности H на его градиент $\square H/\square x$ в пространстве таких размеров между полюсными наконечниками, чтобы оно с запасом перекрывало размеры ампулы, в которой находится образец. Конструкция электромагнита позволяет регулировать величину $2z$ зазора между ними. Диаметр полюсных наконечников $d = 145$ мм. Катушки электромагнита намотаны медной шиной 2 мм×5 мм с числом витков, увеличивающихся к внешним концам сердечника. Аналогичный способ переменной намотки, как правило, используется в соленоидах для увеличения однородности поля и устранения краевого рассеивающего эффекта. Кольцевой магнитопровод электромагнита, с одной стороны, обеспечивает минимальное рассеяние магнитного поля в пространстве. С другой, при вертикальном расположении, такая конструкция удобна для поворота электромагнита на любой угол относительно неподвижного образца [7, 8]. Для того, чтобы образец не прилипал к полюсным наконечникам и в то же время обеспечивалась достаточная точность измерений, масса образца, например, ферромагнитного вещества не должна превышать нескольких миллиграммов, а антиферромагнитного – порядка одного грамма. Для проведения исследований основных магнитных характеристик композиционных магнитных материалов с использованием порошков железа ASC100.29 изготовлены сердечники 24×13×10 мм из материалов плотностью $\rho = 7,6$ г/см³ [9, 12].

3. Результаты

Образцы из композиционного магнитного материала были подвергнуты отжигу в вакууме при температуре 350 °C в течение 3 часов. Электромагнитные характеристики исследовались с использованием микровеберметра Ф5050. Измерение частотных характеристик композиционных материалов в широком диапазоне изменения магнитных полей, частот



перемагничивания и температур производились на экспресс-магнитометре в частотном диапазоне до 10 кГц и магнитных полях до 30 кА/м [6, 7].

Предварительно для нормировки магнетометра производится измерение магнитных свойств на флаксометре. В данном случае для нормировки магнитометра использовался микроверметр Ф5050. На рисунке 1 приведен внешний вид магнитометра, а на рисунке 2 – результаты обработки данных экспресс-магнитометра и основные характеристики его работы.

Магнитометры предназначены экспресс-контроля магнитных свойств материалов – измерение в широком частотном диапазоне кривых перемагничивания образцов, магнитной проницаемости и суммарных потерь, как при перемагничивании, так и при одностороннем намагничивании. В комплект экспресс-флаксометра-магнитометра входит также программное обеспечение для обработки результатов измерений [7, 9, 12].

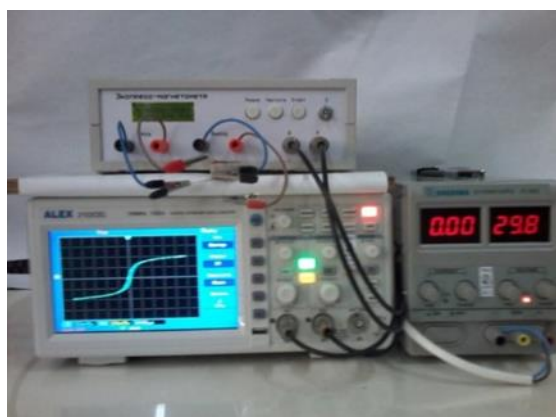
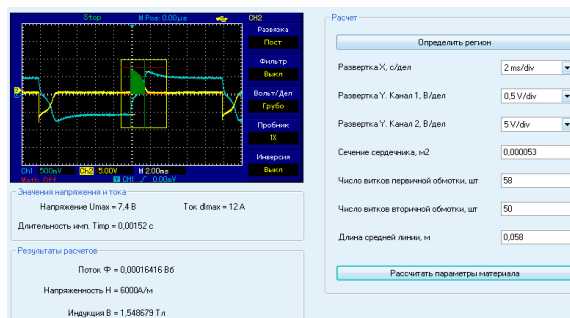
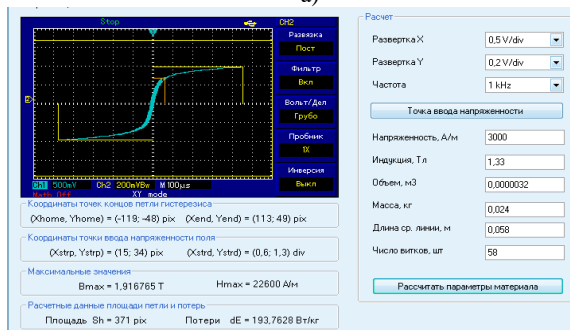


Рис. 1. Внешний вид магнитометра



а)



б)

Рис. 2. Результаты обработки данных в режиме экспресс флаксметра (а) и экспресс-магнитометра (б)

Для того чтобы получить высокоэффективные ММК-частицы, также должно быть возможно подвергать электрически изолированный порошок прессованию в пресс-форме при высоких давлениях, поскольку это очень часто является желательным для получения деталей с высокой плотностью. Высокие плотности обычно улучшают магнитные свойства. В частности, высокие плотности необходимы для поддержания потерь на гистерезис на низком уровне и для получения высокой магнитной индукции насыщения.

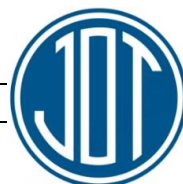
Дополнительно, электрическая изоляция должна выдерживать необходимые высокие давления сжатия без повреждения при выталкивании спрессованной детали из пресс-формы.

4. Заключение

Результаты, полученные при исследовании, указывают на возможность разработки новых магнитомягких композиционных материалов и перспективность их практического применения для создания различных электротехнических устройств, основной для элементов сердечника роторов и статоров электродвигателя.

Использованная литература / References

- [1] A.U. Gapparov, G.A. Govor, U.T. Berdiyev, F.F. Hasanov, and A.M. Kurbanov. Magnetic-soft materials based on iron for electromechanical engineering, Internatsional Scientific Conference ICECAE - 2020, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020)012048
- [2] Говор, Г.А. Композиционные магнитно-мягкие материалы на основе порошков железа и перспективы их применения в технике / Г.А. Говор, В.В. Михневич // Неорганические материалы. – 2007. – Т. 43, №7. – С. 805–807. 7.
- [3] U.T. Berdiyev, A.K. Vecher, F.F. Khasanov, Investigation of the frequency characteristics of composite iron powders with insulating oxide coatings. «Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering» (CONMECHYDRO – 2021), Узбекистан, Ташкент, 1 – 3 апреля.
- [4] Rahman, K.M.; Patel, N.R.; Ward, T.G.; Nagashima, J.M.; Caricchi, F.; Crescimbeni, F. Application of direct-drive wheel motor for fuel cell electric and hybrid electric vehicle propulsion system. IEEE Trans. Ind. Appl. 2006, 42, 1185–1192.
- [5] Berdiyev U.T., Demedenko O.F., Ashurov M.A., Hasanov F.F., Sulaymonov O. B., Optimization of the method of oxide coating of metallic iron powder particles // E3S Web of Conferences 383, 04039 (2023) TT21C-2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338304039> (3, Scopus, IF 1,0)
- [6] A U Gapparov, G A Govor, U T Berdiyev, F F Hasanov, and A M Kurbanov. Magnetic-soft materials based on iron for electromechanical engineering, IOP



- Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 (2020) 012048.
- [7] Skorman B, Zhou E, Jansson P 2010 Pat. 2389099 RF, IPC N0Sh/2 Soft magnetic composites, Bull. Number 13
- [8] Chau, K.T.; Chan, C.C.; Liu, C. Overview of Permanent-Magnet Brushless Drives for Electric and Hybrid Electric Vehicles. IEEE Trans. Ind. Electron. 2008, 55, 2246-2257.
- [9] Говор, Г.А. Особенности магнитных характеристик новых композиционных материалов на основе порошков железа / Г.А. Говор, А.К. Вечер, К.И. Янушкевич // Перспективные материалы и технологии / под ред. В.В. Клубовича. – Витебск: УО «ВГТУ», 2017. – Т. 2. – С. 278–299.
- [10] [Baratov, R.](#), [Pirmatov, N.](#) Low - Speed generator with permanent magnets and additional windings in the rotor for small power wind plants and micro hydro power plants. [IOP Conference Series: Materials Science and Engineering](#)~~this link is disabled~~, 2020, 883(1), 012183
- [11] [Pirmatov, N.](#), [Toshev, S.](#) Overvoltage in the free phase of the stator winding in case of asymmetric short circuit implicit pole synchronous generator biaxial excitation. E3S Web of Conferences, 2019, 139, 01030
- [12] Berdiev U.T., Kolesnikov I.K., Tuychieva M.N., Khasanov F.F., Sulaymonov U.B., Methods of new technological developments of electric motors based on soft magnetic materials // E3S Web of Conferences 401, 03038 (2023) CONMECHYDRO-2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103038> (3, Scopus, IF 1,0)
- [13] Структура и магнитные характеристики композитов основе капсулированных порошков железа ASC100.29 / Г.А. Говор, М. Пшыбыльски, А.К. Вечер, К.И. Янушкевич, Й. Зукровски, Т.М. Ткаченко // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2020. – №1. – С. 105–111.
- [14] Миницкий, А.В. Основные тенденции развития порошковых магнитомягких материалов / А.В. Миницкий, Н.В. Миницкая, О.В. Власова // Процессы механической обработки в машиностроении. - 2010. Вып.9. С.3-16.
- [15] [U. T. Berdiyev](#), [U. N. Berdiyev](#), [U. B. Sulaymonov](#), and [L. U. Khalikova](#), "Ways to improve the energy performance of asynchronous electric motors of rolling stock", AIP Conference Proceedings 2612, 050017 (2023) <https://doi.org/10.1063/5.0117784>
- [16] J.S. Fayzullayev. "Improvement of functional diagnostics of asynchronous motors" in AIP Conference Proceedings, 2612, 050034 (2023).
- [17] Chih-Wen, C. Magnetism and Metallurgy of Soft Magnetic Materials / C. Chih-Wen // Ed. Courier Corporation, 2013. – 592 p.

Информация о авторах/ Information about the authors

Бердиев Турдиевич/ Berdiev Turdiyevich	Усан Usan	Ташкентский государственный транспортный университет, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой Электротехники https://orcid.org/0000-0003-3513-049X
Сулаймонов Уткирбек Баходир угли/ Sulaymonov Utkirbek Bahodir ugli		Ташкентский государственный транспортный университет, ассистент кафедры Электротехники, https://orcid.org/0009-0006-5488-3023
Аманликова Нафиса Рахматуллаевна/ Amanlikova Nafisa Rakhmatullayevna		Ташкентский государственный транспортный университет, доцент кафедры Узбекского (русского) языка, https://orcid.org/0009-0003-9388-6305



<i>F.E. Abdukadirov, T.M. Khasanov</i> <i>Basic requirements for road passengers and function parameters</i>	<i>9</i>
<i>U.T. Berdiyev, U.B. Sulaymonov, N.R. Amanlikova</i> <i>Energy-efficient composite materials for electrical engineering.....</i>	<i>13</i>
<i>A.P. Akhmedov, S.B. Khudoyberganov</i> <i>Reuse of wastewater in urban conditions for technical purposes</i>	<i>17</i>
<i>M.X. Miralimov, Sh.U. Normurodov, B.F. Anvarov</i> <i>Investigation of tunnel seismic resistance according to various loading schemes of the theory of seismic resistance of underground structures</i>	<i>21</i>
<i>D.I. Ilesaliev, F.K. Azimov, J.A. Shihnazarov</i> <i>Technical and economic indicators of grain cargo transportation in wagons and container-platform.....</i>	<i>31</i>
<i>S.A. Uktamov, G.D. Talipova</i> <i>Main approaches to strategic planning of the activities of a higher educational institution</i>	<i>34</i>

