



ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДВУХСТАТОРНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

¹Бердиев У.Т.

к.т.н., профессор, Ташкентский государственный транспортный университет

²Нажмиддинов Х.

ассистент, Ташкентский государственный транспортный университет

³Жураев Ф.Б.

инженер, Ташкентский государственный транспортный университет

⁴Собиров Ж.С.

ассистент, Ташкентский государственный транспортный университет

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.7990242>

ARTICLE INFO

Received: 24th May 2023

Accepted: 30th May 2023

Online: 31th May 2023

KEY WORDS

Магнитных полях, композиционных материалов, двухстаторного электродвигателя, порошковой металлургии. элементы двигателя, запасы мощности, надежность, основе железа, сердечники, индукция, гистерезисные потери.

ABSTRACT

В данной статье рассмотрен вопрос о технических разработках и проведение технических и организационных мероприятий, связанных с энергосбережением и рациональным потреблением энергии, а также широкое внедрение с высокой удельным расходом магнитных материалов при производстве двух статорного электродвигателя, весьма перспективным направлением является разработка безотходной технологии изготовления элементов электродвигателя методами порошковой металлургии. Использование композиционных материалов, полученных методами порошковой металлургии позволяет снизить потери электротехнической стали и исключить многие трудоемкие операции. Используя композиционных магнитных материалов для конструкции двухстаторного электродвигателя можно получить достаточно высокие значения коэффициента полезного действия и уменьшает потери на гистерезисе.

Введение. В последнее время в различных устройствах, работающих в переменных магнитных полях, широко используются сердечники из композиционных порошковых материалов, обладающих необходимыми магнитными характеристиками. При этом они имеют сравнительно небольшие потери на вихревые токи и высокое удельное электрическое сопротивление. Требуемые характеристики достигаются за счет легирования магнитомягких материалов на основе железа фосфором или кремнием с введением специальных диэлектрических прослоек из органических и неорганических добавок. Это делает их конкурентоспособными с традиционно



применяемыми шихтованными сердечниками из электротехнической стали. Использование методов порошковой металлургии при формовании изделий сложной формы, кроме этого, позволяет получать изотропные материалы, изменяющих характер намагниченности, а также направление и распределение магнитного потока. Анализ литературных данных показывает, что разрабатываемые материалы подвергаются термообработке при температурах ниже 800 °С. Это, видимо, связано с деструкцией материала прослоек из термореактивных неорганических материалов. Для повышения магнитной проницаемости металлического матрицы рекристаллизационный отжиг лучше проводить при более высоких температурах с использованием диэлектриков, устойчивых к высокой температуре. Большинство авторов используют в качестве таких материалов стекло содержащие составы, эмали и т.д. Такие материалы при высоких температурах находятся в жидком состоянии, что способствует появлению характерных для данных фаз свойств. Возникающие капиллярные силы могут обеспечивать перемещение микрообъемов жидкости, подобно процессам пропитки, в межчастичные пустоты.

Развитие высокоэффективных технологий производства электродвигателей, трансформаторов и других изделий электротехнической промышленности базируется на использовании новых магнитно-мягких материалов, в частности материалов со структурой металл-диэлектрик-металл (МДМ-структурой).

Результаты, указывают на возможность разработки новых магнитных композиционных материалов и перспективность их практического применения для создания различных электротехнических устройств нового типа [1, 4]. Предварительные расчеты показали, что на основе таких материалов можно создавать высокочастотные преобразователи, высокоэффективные осевые электродвигатели и генераторы, магнитные компоненты широкого применения.

Как показано в литературном обзоре [1-9], в настоящее время при производстве электрических машин в основном используют известные магнитомягкие сплавы. 90% из них составляют электротехнические стали различных типов. Такие материалы практически достигли предела своих физико-механических и эксплуатационных свойств, и для создания нового поколения изделий необходимо использовать совершенно новый класс магнитомягких материалов с улучшенными характеристиками, в качестве которых можно использовать полученные композиты в производстве [2, 3, 6]. Известны двухстаторные асинхронные электродвигатели, управляемые поворотом одного статора относительно другого. Недостатком известных электродвигателей, является их невысокая надежность в режиме регулирования скорости, так как при этом возможен обрыв выводов обмоток. Повысить надежность электродвигателя достигается тем, что один статор выполнен с числом полюсов вдвое больше, чем другой, и сердечник, расположенный под статором с большим числом пар полюсов выполнен поворотным, явнополюсным с числом полюсов, равным числу полюсов другого статора [5, 6]. На рисунках 1. изображена предлагаемой двухстаторной асинхронный электродвигатель, которой на рисунок -1, а изображена предлагаемый электродвигатель в продольном разрезе; на рисунок -1, б - разрез по А-А; рисунок -1, с - разрез по Б-Б. Электродвигатель содержит двухполюсный

статор 1, четырёхполюсный статор 2, полый ферромагнитный ротор 3, явнополюсный магнитопровод 4, неявнополюсный магнитопровод 5; ось 6, на которую насажены магнитопроводы, короткозамкнутые витки 7, корпус 8, выходной вал 9. Электродвигатель работает следующим образом. При положении магнитопроводов 4 и 5 показанном на чертеже, максимум пространственного распределения потока статора 2 расположен на оси X-X1, а максимум пространственного распределения потока статора 1 расположен на оси Y-Y1 смещенной относительно оси X-X1 на 90 эл. град. [7, 8] При наличии временного сдвига напряжении, подводимых к полюсным обмоткам, на выходном валу 9 возникает вращающий момент, определяемый выражением:

$$M = K\Phi_{1m} - \Phi_{2m},$$

где K - коэффициент, учитывающий параметры электродвигателя;

Φ_{1m} , Φ_{2m} - амплитуда потоков статоров электродвигателя.

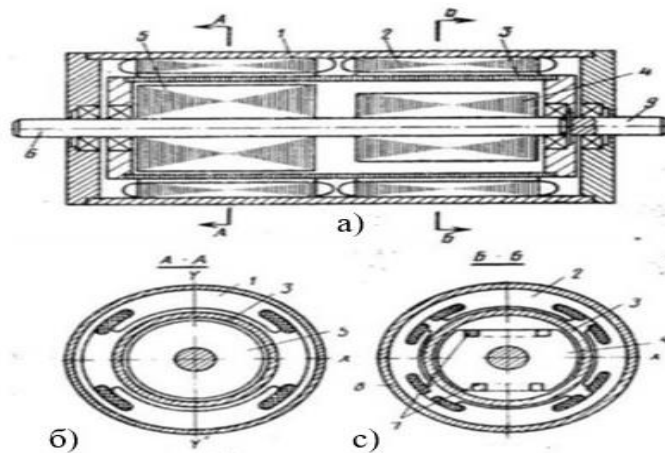


Рисунок 1: Модель двухстаторной асинхронный электродвигатель

При повороте оси 6 и закреплённых на ней магнитопроводов 4 и 5 максимум пространственного распределения потока статора 2 смещается в пространстве, а максимум пространственного распределения потока статора 1 остается неизменным в пространстве [6, 8]. Таким образом, угол пространственного сдвига потоков статоров 1 и 2 становится меньше 90 эл. град, и на выходном валу 9 возникает вращающий момент, определяемый выражением:

$$M = K\Phi_{1m} \Phi_{2m} \cos\varphi,$$

где угол φ , определяющий положение магниеопровода 4 относительно статора 2.

Для демпфирования потока по поперечной оси магнитопровода 4 на ней могут быть установлены короткозамкнутые витки 7.

Двухфазный двухстаторный асинхронный электродвигатель с общим полым ротором, внутри которого под каждым из статоров установлены магнитомягкие сердечники, отличающийся тем, что, с целью повышения надежности, один статор выполнен с числом пар полюсов вдвое больше чем другой и сердечник, расположенный под статором с большим числом пар полюсов выполнен поворотным, явнополюсным с числом полюсов, равным числу полюсов другого статора [7, 9]. Электродвигатель отличающийся тем, что явнополюсным сердечник снабжен коротко замкнутой демпферной обмоткой, установленной по поперечной оси. Одним из таких решений предполагается разработка синхронного электродвигателя - генератора

осевого потока с магнитокомпозитными сердечниками на основе нового композиционного материала. Благодаря конструктивным особенностям и высоким электромагнитным характеристикам материала по расчетам возможно создать электродвигатель с более высокой плотностью мощности, меньшими массогабаритными параметрами и низкими производственными затратами на изготовление по сравнению с другими типами электродвигателей [6, 7, 8]. Показатели удельной плотности мощности составляют от 11 кВт/кг, в зависимости от задач и дизайна.

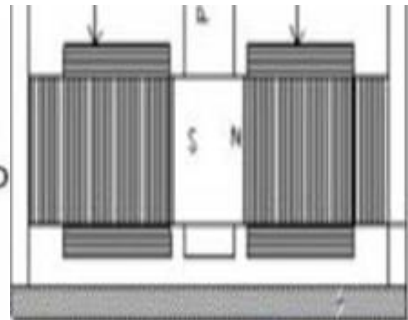
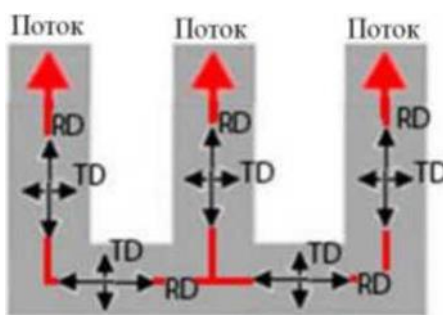


Рисунок 2: Распределение магнитного поля в сердечнике из композиционного материала

Рисунок 3: Схема двухстаторного электродвигателя

Конструкция статора такого двигателя предполагает изменение направления магнитного потока (рисунок 2), что возможно только с стали. Высокая эффективность предлагаемого электродвигателя обусловлена наличием двух статоров или двух роторов. Схема такого двухстаторного электродвигателя представлена на рисунке 3. Статоры или роторы могут изготавливаться из отдельных частей магнитопроводов, как показано на рисунке 4. Такие части изготавливаются методом прессования в специальных пресс-формах под давлением 10 т/см² с последующим отжигом на воздухе при температуре 400°C [5, 8, 9]. Основные преимущества разрабатываемого электродвигателя - это компактный размер и небольшой вес в сочетании с высокой степенью защиты, высокая рабочая температура и длительный срок службы, экономия энергии на 15% по сравнению с существующими, отсутствие «скользящих» токоъемников и элементов, низкие затраты на техническое обслуживание и длительный срок службы. Многополюсная конструкция позволит сделать максимально плавный ход и стабильную работу в широком диапазоне мощностей [6, 8]. Статор из магнитомягких композиционных материалов с высокими электрическими свойствами позволит:

отказаться от использования электротехнической стали, снизить требования к дополнительному охлаждению обмоток катушек из-за невосприимчивости материала к индукционному нагреву, достичь высокой эффективности -98% и удельной мощности 12-18 кВт/кг. На основе композитов разработаны опытные технологии получения композиционных материалов для высокочастотных малогабаритных сердечников для электронных устройств.



Рисунок 4: Статор прототипа двухстаторного электродвигателя с применением композитного магнитомягкого материала на основе ASCI 00.29

Проведенные исследования и анализ результатов эксперимента позволяют создавать на основе композиционного материала, состоящие из микрочастиц железа, разделенных наноразмерными оксидными слоями, которые обладают большим удельным электросопротивлением (103 - 104 Ом см). и низкими электромагнитными потерями (в 1,5 -2 раза меньшими чем для электротехнической стали) и большими значениями магнитной индукции насыщения (до 2,1 Т), что позволяет создать на их основе электротехнические изделия с меньшими значениями (до 5 раз) массогабаритных параметров и расширить рабочий диапазон частот до 105- 106 Гц [6, 7, 9].

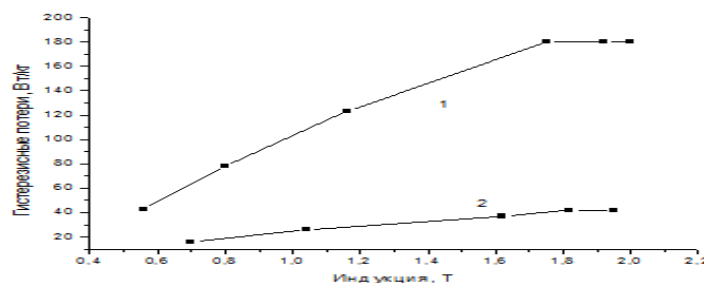


Рисунок 5 – Зависимость потерь от величины индукции для низкочастотного композиционного материала на основе ASC100.29 при перемагничивании по полному циклу – 1 и по частному от нулевой точки – 2 на частоте 1 кГц

Основным параметром, определяющим возможность применения изделий в электротехнических устройствах, является величина электромагнитных потерь на различных частотах. Результаты предварительных исследований потерь от величины индукции показаны на рисунке 5. В целом такие исследования показали преимущество в величине потерь на перемагничивание компонентов, изготовленных на основе композиционных материалов, по сравнению с листовой электротехнической сталью [4-9].

Выводы:

Результаты испытаний компонентов статора и ротора электродвигателя из композиционного магнитомягкого материала на основе порошка железа, показали их преимущества по сравнению с листовой электротехнической сталью:



1. Простота изготовления;
2. Возможность изготовления компонентов заданной формы без последующей обработки;
3. Безотходная технология получения;
4. Преимущество в величине потерь на перемагничивание на 20-30% компонентов, изготовленных на основе композиционных материалов, по сравнению с листовой электротехнической сталью;
5. Увеличение плотности образцов изделий до $\rho = 7,5 \text{ г/см}^3$ создаёт условия для увеличения прочностных и магнитных характеристик получаемых компонентов.

Анализ результатов эксперимента позволяют создавать на основе композиционного материала, состоящие из микрочастиц железа, которые обладают большим удельным электросопротивлением ($10^3 - 10^4 \text{ Ом см}$). и низкими электромагнитными потерями (в 1,5 -2 раза меньшими чем для электротехнической стали) и большими значениями магнитной индукции насыщения (до 2,1 Т), что позволяет создать на их основе электротехнические изделия с меньшими значениями (до 5 раз) массогабаритных параметров и расширить рабочий диапазон частот до 105-106 Гц. Использование композиционных материалов, полученных методами порошковой металлургии, позволяет снизить потери электротехнической стали и исключить многие трудоемкие операции. Используя композиционных магнитных материалов для конструкции двухстаторного электродвигателя можно получить достаточно высокие значения коэффициента полезного действия и уменьшает потери на гистерезис.

References:

1. 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: - Витебск, УО «ВГТУ». -Витебск, 2017. -Т. 2, Гл. 15 - С. 278-299.
2. Дьячкова, Л, Н. Порошковые материалы на основе железа / Л.Н. Дьячкова, Л, Ф, Керженцова, Л.В. Маркова. - Минск: Тонпик, 2004 - 228 с.
3. Usan Berdiyev; Ulmasbek Bertliyorov; Mukambar Toshpulatova, Problems and Tasks of Creating- Energy - Saving Electric Machines, AIP Conference proceedings. -5,2022-yil. <https://doi.org/10.1063/5,0089682>,
4. Berdiyev U., Sulaymonov U., Hasanov F, Magnetic properties of soft magnetic composites used in electromechanical engineering, Znanstvena misel journal №66/2022,-2022-yil.
5. 5.U.T. Berdiev, 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.
6. 6.Говор Г.А. Композиционные магнитомягкие материалы на основе порошков железа и перспективы их применения в технике/Г.А. Говор, А.К. Вечер, В. И. Мнтюк//Металлофизика и новейшие технологии. - 2012. -Т.34, № 4. - С. 439-444.
7. Galina Khromova, Malika Makhamadaliyeva, Sergey Khromov; Development of a dynamic model for calculating the strength of a hydraulic oscillation damper for high-speed electric



train Afrosiab. AIP Conference Proceedings 16 May 2023; 2476 (1): 020034.
<https://doi.org/10.1063/5.0104687>.

8. Магнитомягкие материалы на основе железа, используемые в электромашиностроении / А.К. Вечер, ГА. Говор, У.Т. Бердиев, Ф.Ф. Хасанов // Вестник ТашИИТ. -2019. -№ 3.-С. 212-217.

9. Khromova G., Kamalov I., Makhamadaliyeva M. ELEKTROPOEZDLARNING TEBRANISHINI RICHAG-DISKLI ISHQALANUVCHI SO 'NDIRGICHLARI KONSTRUKTSIYASINI HISOB-KITOB MUSTAХKAMLIK USULLARINI YARATISH //Евразийский журнал академических исследований. – 2023. – Т. 3. – №. 5 Part 3. – С. 43-47.