

## **ДВУХСТАТОРНЫЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ КАПСУЛИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ ЖЕЛЕЗА**

Желудкевич А.Л., Говор Г.А., Ларин А.О., Демиденко О.Ф.

ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Беларусь, г. Минск, orion\_minsk@tut.by

*Ключевые слова: магнитомягкие композиты, изолирующие покрытия, электромагнитные потери, магнитная проницаемость, электродвигатель.*

В современных условиях электродвигатели играют очень важную роль как для промышленности, так и для бытовых применений [1]. Композиты на основе капсулированных металлических порошков имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными многослойными сердечниками на основе электротехнической стали. При использовании таких композитов возможно уменьшение веса и размера компонентов электрических машин [2]. Магнитная изотропия и незначительные потери на вихревые токи открывают большие преимущества при проектировании, поскольку ограничения, предъявляемые электротехнической стали снимаются [3, 4].

Наиболее распространенным подходом к увеличению крутящего момента силовых установок является использование электродвигателей с внешним ротором и механическими передачами. Однако использование механического редуктора приводит к снижению мощности привода и создает дополнительные проблемы со смазкой, охлаждением и обслуживанием механического редуктора [5]. Удобнее использовать комбинацию двух статоров и одного ротора в одном электродвигателе с двойным воздушным зазором [6]. Применение двух статоров повышает надежность, кроме того, два статора потенциально позволяют уменьшить пульсацию крутящего момента. Разработан электродвигатель на постоянных (FeNdB) магнитах с переключаемым магнитным потоком с двумя секционированными статорами и ротором на основе капсулированных металлических порошков.

В качестве основы для капсулирования выбран особо чистый порошок железа АВС100.30. На поверхность частиц порошка с помощью комбинированной методики [7] наносился изоляционный слой. Толщина покрытий зависит от времени обработки порошка и концентрации спиртового раствора кислоты. Достоинством вышеназванного процесса получения оксидных покрытий является его относительная простота и низкая стоимость.

Методика изготовления компонентов статора и ротора из капсулированного порошка включает в себя их компьютерное моделирование, создание оснастки для их изготовления методом прессования и выбор технологических режимов прессования. Изготовление компонентов включает в себя прессование капсулированного порошка железа под давлением 8-10 т/см<sup>2</sup> и термообработку при температуре 400 °С в течение 1 ч с целью нормализации их физических параметров. При таких технологических режимах плотность прессованного композита составляет порядка 7,5 – 7,8 г/см<sup>3</sup>.

Экспериментальный образец двухстаторного электродвигателя изготовлен с применением подготовленных двух статоров (рис. 1) с намотанными катушками и ротором. Расчет обмоточных данных статора и основных параметров блока питания выполнен для работы с индукцией в максимуме порядка 1,5 Тл и непосредственно источника питания двигателя. Для достижения величины магнитной индукции в импульсе равной 1,5 Тл величина напряженности магнитного поля имеет значение порядка 7-8 кА/м. Максимальная расчетная мощность двигателя составляет 15 кВт.



*Рисунок 1 – Статор электродвигателя*

Разработанная методика, позволяет методом прессования магнитомягких композиционных материалов создавать магнитопроводы для электрических двигателей. Преимущества композиционного магнитного материала перед электротехнической сталью позволяют обеспечить более широкое его применение в электрических машинах с целью повышения удельной мощности при высокой скорости вращения с меньшими потерями.

### **Список литературы**

1. Fernandes J.F.P., Bhagubai P.P.C., Branco P.J.C. Recent Developments in Electrical Machine Design for the Electrification of Industrial and Transportation Systems // *Energies*. – 2022. – Vol. 15. – art. 6390.
2. Sun X., Shi Z., Cai Y., Lei G., Guo Y., Zhu J. Driving-Cycle-Oriented Design Optimization of a Permanent Magnet Hub Motor Drive System for a Four-Wheel-Drive Electric Vehicle // *IEEE Transaction on Transportation Electrification*. – 2020. – Vol. 6. – P. 1115–1125.
3. Hamler A., Goričan V., Šuštaršič B., Sirc A. The use of soft magnetic composite materials in synchronous electric motor // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2006. – Vol. 304, no. 2. – P. 816–819.
4. Vijayakumar K., Thiagarajan Y., Rajendirakumar R., Joseph Basanth A., Karthikeyan R., Kannan S. Development of an iron powder metallurgy soft magnetic composite core switched reluctance motor // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. – Vol. 41, no. 5. – P. 1195–1201.
5. Hassan A., Erwan S., Roziah A., Mahyuzie J., Mohd Zarafi A., Faisal K. Review of Double Stator Flux switching machines with various arrangements of excitation sources // *Alexandria Engineering Journal*. – 2021. – Vol. 60. – P. 4393–4410.
6. Wang Y., Cheng M., Chen M., Du Y., Chau K.T. Design of high-torque-density double-stator permanent magnet brushless motors // *IET Electric Power Applications*. – 2011. – Vol. 5, no. 3. – P. 317–323.
7. Vetcher A., Govor G., Demidenko O., Constantin V., Popescu A.-M. Electromagnetic characteristics and corrosion resistance of new magnetosoft materials based on capsulated iron powders // *Chemical Research in Chinese Universities*. – 2020. – Vol. 36. – P. 1326–1331.

### **Сведения об авторах**

Желудкевич А.Л., кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией физики магнитных материалов. Область научных интересов: физика высоких давлений, материаловедение, мультиферроики.

Говор Г.А., доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник. Область научных интересов: материаловедение, кристаллография.

Ларин А.О., научный сотрудник. Область научных интересов: материаловедение, кристаллография.

Демиденко О.Ф., кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник. Область научных интересов: материаловедение, физика высоких давлений.

## **TWO-STATOR COMBINATION ELECTRIC MOTOR BASED ON ENCAPSULATED IRON POWDERS**

Zheludkevich A.L., Govor G.A., Larin A.O., Demidenko O.F.  
SPRMC of the NASB, Belarus, Minsk, orion\_minsk@tut.by

*Keywords: magnetically soft composites, insulating coatings, electromagnetic losses, magnetic permeability, electric motor.*

The method of manufacturing of magnetic cores on the encapsulated powders basis has been developed. Magnetic components for two-stator combined electric motor are manufactured and an experimental sample of electric motor with maximum rated power of 15 kW was created.