

научно-популярных текстах по архитектуре стиля модерн встречаются намного реже (25 %).

Таким образом, в результате анализа текстов по архитектуре модерн кампусов Оксфордского университета было установлено:

1. На основании полученных данных, были установлены основные характеристики терминологических единиц, используемых для описания кампусов Оксфордского университета, выполненных в стиле модерн.

2. Большинство терминов имеют французское происхождение (50 %). Например, *Façade* – ‘front part or exterior of a building’ – фасад;

3. Все термины однословные или двухсловные (50 %). Например, *Lancet window* – ‘is a tall, narrow window with a pointed arch at its top’ – ланцетовидное окно;

4. Для большей части терминов (75 %) характерно наличие 1–2 значений и только для 25 % – три или четыре значения. Например, *shuttering* – ‘is temporary support as a mould for fresh concrete, in which concrete is poured and cast in the desired shape and gain initial strength, hardened and matured’ – опалубка.

### Литература

1. Костин, М. Стиль модерн в архитектуре [Электронный ресурс] / М. Костин // Фасад Эксперт. – Режим доступа: [http://www.facade-project.ru/spravochniki/razdel\\_statej/fasadnyj\\_dekor\\_v\\_stilyah\\_arhitektury/arhitekturnyjstil\\_modern/](http://www.facade-project.ru/spravochniki/razdel_statej/fasadnyj_dekor_v_stilyah_arhitektury/arhitekturnyjstil_modern/) – Дата доступа: 03.03.2023.

УДК 629.424.16

### **Изучение технология получения порошковых композиционных материалов и исследование их характеристики**

Бердиев У. Т., Хасанов Ф. Ф., Сулаймонов У. Б., Бердиев У. Н.  
Ташкентский государственный транспортный университет  
Ташкент, Республика Узбекистан

*В данной статье рассмотрен вопрос одним из приоритетных направлений научных исследований и технических разработок и проведение технических и организационных мероприятий, связанных с энергосбережением и рациональным потреблением энергии, а также широкое внедрение с высоким удельным расходом магнитных материалов при производстве весьма перспективным направлением является разработка безотходной технологии изготовления элементов электродвигателя методами порошковой металлургии. Использование композиционных материалов, полученных методами порошковой металлургии, позволяет снизить потери электротехни-*

*ческой стали и исключить многие трудоемкие операции. Изучен технология получения композиционных материалов и сравнен характеристик. Максимальная индукция композиционного материала на основе порошков Micrometals с диэлектрической изоляцией в полях до 50 кА/м на 60 % меньше, чем у композитов на основе ASC100.29. Что касается порошков LiaoNing, он также проигрывает порошкам ASC100.29 по всем характеристикам.*

Порошковая металлургия – область науки и техники, охватывающая производство металлических порошков, а также изделий из них или их смесей с неметаллическими порошками. Металлический порошок представляет собой совокупность частиц металла, сплава или металлоподобного соединения, находящихся во взаимном контакте и не связанных между собой.

Порошковая металлургия всегда играла значительную роль в техническом прогрессе, поскольку позволяла получать новые материалы и изделия, которые невозможно изготовить с помощью других традиционных технологий. В последние десятилетия значимость порошковой металлургии существенно возрастает, поскольку на ее основе создаются принципиально новые материалы с микрокристаллической, наноразмерной и аморфной структурой. Уникальная структура позволяет значительно повысить физико-механические и функциональные свойства изделий.

Основными элементами технологии порошковой металлургии являются:

- получение и подготовка порошков исходных материалов, которые могут представлять собой чистые металлы или сплавы, соединения металлов с неметаллами и различные другие химические соединения;
- прессование из подготовленной шихты изделий необходимой формы в специальных пресс-формах, т. е. формование будущего изделия;
- термическая обработка или спекание спрессованных изделий, придающее им окончательные физико-механические и другие специальные свойства.

В производственной или исследовательской практике иногда встречаются отклонения от этих типичных элементов технологии, например, совмещение операций прессования и спекания, пропитка пористого брикета расплавленными металлами, дополнительная механическая и другая обработка спеченных изделий и пр. Однако основной принцип технологии – применение исходной порошковой шихты и спекание ниже температуры плавления основного элемента, образующего спрессованное тело – остается неизменным [1–3].

Наряду с преимуществами порошковой металлургии следует отметить и недостатки, затрудняющие и ограничивающие широкое ее распространение. К основным недостаткам следует отнести высокую стоимость порошков металлов и отсутствие освоенных методов получения порошков сплавов – сталей, бронз, латуней и пр. Изделия, получаемые из металлических порошков, вследствие пористости обладают повышенной склонностью к окислению, причем окисление может происходить не только с поверхности, но и по всей толщине изделия. Металлокерамические изделия обладают также сравнительно низкими пластическими свойствами (ударная вязкость, удлинение) [3; 4].

Тенденция изготовления статоров и роторов электрических машин методом ламинирования на частоты 50–100 Гц, где низкая магнитная индукция ферритов не позволяет использовать их в области повышенных частот, пока сохраняется.

Дальнейший прогресс метода ламинирования для уменьшения вихревых потерь состоит в снижении толщины составляющих листов

$$P_c = \frac{(\pi B_m f h)^2}{6\rho}, \quad (1)$$

где  $B_m$  – магнитная индукция насыщения;  $f$  – частота;  $h$  – толщина листа;  $\rho$  – удельное электросопротивление.

Изготовление листов аморфных магнитных материалов толщиной в несколько микрон позволяет создать электрические машины с рекордно низкими потерями. Однако стоимость таких изделий существенно возрастает, что делает их неконкурентоспособными на электротехническом рынке. Основные магнитомягкие материалы, производимые в настоящее время, ориентированы на 50 Гц частотный диапазон [5; 6].

Как следует из приведенного выше рассмотрения, 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.

В связи с этим был предложен комбинированный способ получения оксидных покрытий на поверхности частиц железа [4; 7; 8]. Предложенный новый метод основан на комбинированном использовании вышеперечисленных способов.

Методика нанесения изолирующих покрытий на основе оксида фосфора разработана применительно к задачам настоящей работы на основе способа

изготовления композиционного материала [5; 9], в котором собственно предложена методика добавления в исходный металлический порошок во вращающемся вакуумируемом барабане при давлении 0,15–1,5 Па, нагреваемом до температуры расплавления смазки 150–200 °С и обработку проводят до получения равномерного распределения смазки в материале в течение 15–30 минут, при этом содержание смазки в композиционном материале составляет от 0,01 до 0,1 %.

Из расчетов согласно формуле (1) и экспериментальных данных установлено, что в зависимости от толщины изоляционного покрытия и размера частиц исходного порошка металлического железа получаемые композиционные материалы можно разделить на два класса: низкочастотные ( $f < 1$  кГц) и высокочастотные ( $f > 1$  кГц). Для последующих высокочастотных применений с помощью сепаратора S49-1000-1 (рис. 1) отсеяны порошки с размером меньше 100 мкм, для низкочастотных – с размером больше 100 мкм. После сепарации на поверхность частиц железа наносился изоляционный слой.



Рис. 1. Сепаратор S49-1000-1 по разделению фракций порошка на фракции меньше 100 мкм и больше 100 мкм

Сущность методики поясняется рис. 2, на котором приведена установка по приготовлению магнитно-композиционного материала, включающая электропривод вакуумного насоса (1), соединительную муфту (2), вакуумный насос (3), подвижный вакуумный разъем (4), барабан с размещенным в нем композиционным магнитомягким материалом (5), датчик температуры (6), нагреватель (7), электропривод реактора (8) и приводной двигатель барабана (9).

На первом этапе смазка вводится путем смешения ее с изолированным металлическим порошком в шаровых мельницах или других смесителях. Приготовленный со смазкой композиционный материал помещается внутрь барабана. После этого включается вакуумный насос, понижающий давление

воздуха внутри барабана с материалом до 0,15–1,5 Па. При достижении требуемого вакуума включается нагрев барабана, который происходит до температуры 150–200 °С. Процесс обработки порошка продолжается в течение 15–30 мин. Охлаждение магнитомягкого материала происходит после выключения нагрева при сохранении вакуума.

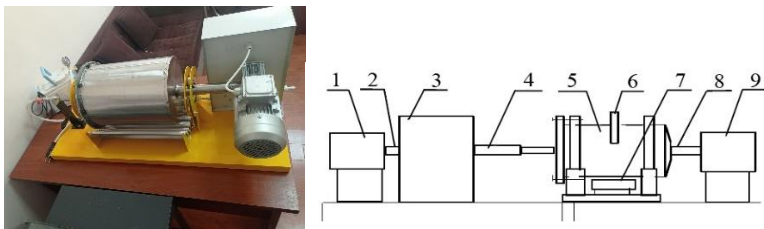


Рис. 2. Реактор для нанесения изоляционных покрытий на поверхность порошков:

- 1 – электропривод вакуумного насоса; 2 – соединительная муфта;
- 3 – вакуумный насос; 4 – подвижный вакуумный разъем; 5 – барабан с размещенным в нем композиционным магнитомягким материалом; 6 – датчик температуры; 7 – нагреватель; 8 – электропривод реактора; 9 – приводной двигатель барабана

Преимуществом данного способа по сравнению с известными является снижение содержания смазки до 0,01–0,1 %, позволяющее получить в дальнейшем качественное прессованное изделие из магнитомягкого композиционного материала с плотностью 7,5–7,65 г/см<sup>3</sup> и, как следствие, обладающее высокими магнитными характеристиками [5; 7].

Для нанесения покрытий оксида фосфора на поверхность частиц металлических порошков предложенная методика была модифицирована.

Методика нанесения включала в себя этап предварительного смешивания исходных металлических порошков с заданным количеством реактива, в состав которого входил спиртовой раствор ортофосфорной кислоты в соотношении 40 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> + 60 % этиловый спирт.

На следующем этапе приготовленный порошок помещали в реактор для нанесения изоляционных покрытий (рис. 2). Обработку порошков с реакционной добавкой проводили в реакционном барабане при давлении от 105 до 106 Па, нагреваемом до температуры 150–200 °С в течение 15–30 мин. В результате на поверхности частиц железа образовалось сложное по составу покрытие из ферритных соединений и фосфатов.

В дальнейшем для получения различных по толщине покрытий на металлических порошках процесс нанесения повторялся 2, 3 и 4 раза. Предложенный метод капсулированные 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 практике для получения МДМ-сплавов с особыми магнитными и электрическими свойствами [3–5].

Исходя из требований к исходным порошкам и с учетом одной ценовой категории, в качестве основных выбраны два вида порошков, на которые по разработанной методике наносились оксидные слои: водно-атомизированный порошок Hoganes ASC100.29 (Швеция) и компании LiaoNing (Китай). Чистота по содержанию примесей порошка ASC100.29 – 99,9 % и LiaoNing – 98,69 %. Химический состав порошков представлен в табл. 1.

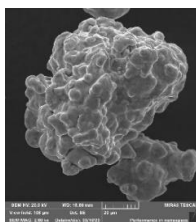
Таблица 1

Состав распыленного воздухом порошка LiaoNing (Китай) и распыленного водой порошка ASC100.29 (Швеция) [7]

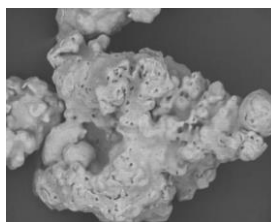
Тип железного порошка	Fe	Mn	Si	C	P
ASC100.29 (Швеция)	99,5	0,08	0,04	0,08	0,01
LiaoNing (Китай)	98,69	0,35	0,1	0,022	0,028

По другим сертификационным параметрам порошки идентичны. В качестве сравнения при выполнении международных договоров проводились исследования электромагнитных характеристик на сердечниках, полученных прессованием из готовых промышленных порошков железа известных фирм Atomet 1001HP (Канада) чистотой 99,4 % и компании Micrometals (США) чистотой 99 %, на частицы которых самим производителем уже нанесены диэлектрические слои [4; 10; 11].

На рис. 3. приведены полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия) изображения порошков металлического железа фирм Hoganes ASC100.29 и LiaoNing после капсулирования оксидными слоями. Частицы имеют очень сложную морфологию, что позволяет при прессовании изделий на основе таких композиционных порошков достичь достаточно высокой плотности (заполняемость достигает 93–95 %), от которой в свою очередь зависит величина электромагнитных параметров спрессованного композита. Подобную морфологию частиц имеет и порошок Atomet 1001HP [4; 10; 11].



ASC100.29



LiaoNing

Рис. 3. РЭМ изображения порошков, обработанных изолирующими оксидными покрытиями

На рис. 4. представлен гранулометрический состав порошков железа ASC100.29. Как можно видеть из рис. 4, 83 % объема всего порошка составляют частицы с размерами от 20 до 178 мкм.

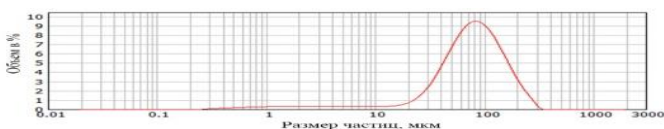
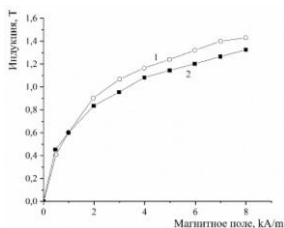
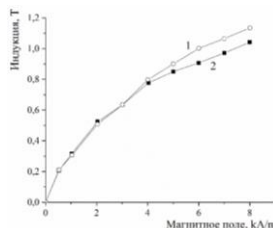


Рис. 4. Гранулометрический состав порошков железа ASC100.29

На рис. 5. представлены зависимости величины индукции от магнитного поля для композитов на основе железных металлических порошков ASC100.29 (1) и LiaoNing (2), на частицы которых нанесены оксидные покрытия, с размером зерна больше 100 мкм и меньше 100 мкм.



*a*



*б*

Рис. 5. Зависимости  $B = f(H)$  магнитомягкого композита на основе: *a* – с зерном больше 100 мкм; *б* – с зерном меньше 100 мкм; 1 – ASC100.29; 2 – LiaoNing (2)

Зависимости  $B = f(H)$  демонстрируют, что магнитная индукция композиционного материала на основе порошка китайской фирмы в диапазоне полей  $H = 1-9$  кА/м для низкочастотного применения и  $H = 4-9$  кА/м для высокочастотного применения уступает по значению индукции композитам, изготовленным на основе порошка ASC100.29 на 8 %. Это вероятно обусловлено тем, что порошок фирмы Liao Ning, кроме чистого железа, содержит больше примесей (1,31 % против 0,5 % у ASC100.29) [5; 8; 9].

В табл. 2 приведены сравнительные данные по характеристикам различных композиционных материалов на основе железных порошков ASC100.29 и LiaoNing.

Таблица 2

Сравнение характеристик композиционных материалов на основе порошков железа ASC100.29 и фирмы LiaoNing

Тип железного порошка	Источник питания для измерения потерь	Режим отжига	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$B_{\max}$ , Тл	$H_{\max}$ , А/м	$P$ , Вт/м <sup>3</sup>
Порошок Hogaes ASC100.29 > 100 мкм	DC Power supply PS-305D	Порошок без отжига	7,51	2,12	26600	169
	ИП 01126	Порошок без отжига	7,51	2,09	26200	169
Порошок Hogaes ASC100.29 > 100 мкм	DC Power supply PS-305D	Порошок без отжига, сердечник без отжига	7,62	1,61	13600	141
	ИП 01126	Порошок без отжига, сердечник без отжига	7,62	1,73	26200	150
	DC Power supply PS-305D	Порошок без отжига, сердечник с отжигом в вакууме	7,62	1,8	12000	713
	DC Power supply PS-305D	Порошок с отжигом, сердечник с отжигом в водородной смеси	7,62	1,7	26200	164
Порошок Hogaes ASC100.29 < 100 мкм	ИП 01126	Порошок без отжига, сердечник без отжига	7,58	1,57	14800	145
Порошок LiaoNing > 100 мкм	DC Power supply PS-305D	Порошок без отжига, сердечник с отжигом в вакууме	7,42	1,58	26200	147
	DC Power supply PS-305D	Порошок без отжига, сердечник без отжига	7,59	1,34	26200	128
	DC Power supply PS-305D	Порошок без отжига, сердечник без отжига	7,41	1,47	26200	137



Из данных табл. 2 следует, что индукция и потери в материале зависят от типа исходного порошка, плотности сердечников на основе этих материалов и способов обработки, в частности отжига в различных средах. Кроме того, при прессовании изделий на основе порошка компании Hoganes плотность готовых изделий составляла  $\rho = 7,62 \text{ г/см}^3$ , при прессовании порошка производства фирмы LiaoNing  $\rho = 7,5 \text{ г/см}^3$ . В композитах из порошков ASC100.29 величина индукции достигала 2,12 Тл, в то время как с применением порошков китайской фирмы это значение составляет 1,58 Тл. Таким образом, очевидно преимущество порошка железа шведской фирмы перед китайским порошком [4; 10; 11]. Как указано выше, проведен сравнительный анализ электромагнитных параметров композитов на основе порошка железа ASC100.29, частицы которого покрыты оксидным слоем, и промышленных композитов на основе аналогичных порошков фирм Atomet и Micrometals.

Из зависимостей на рис. 6 видно, что на частоте 50 Гц суммарные потери для материала на основе порошков ASC100.29 несколько превышают потери для материала на основе Atomet 1001HP. Но на частоте 500 Гц такие потери сравниваются, от 2 кГц для композита из шведского порошка они практически не меняются, а для композита из Atomet 1001HP возрастают в 2 раза [4; 10].

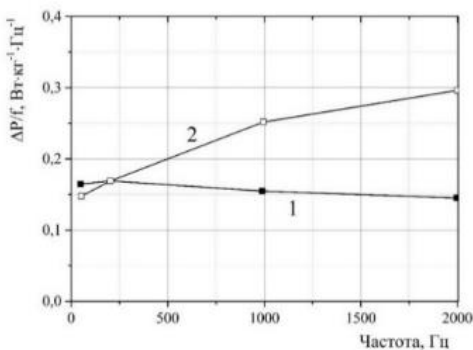


Рис. 6. Суммарные потери на цикл перемагничивания в зависимости от частоты для образцов на основе:

1 – ASC100.29; 2 – Atomet 1001HP при магнитной индукции  $B = 1 \text{ Тл}$

На рис. 7. показаны зависимости магнитной индукции для образцов на основе порошков железа ASC100.29 с нанесенными на частицы оксидными слоями и порошков фирмы Micrometals с диэлектрическим слоем.

Для американских порошков индукция насыщения наступает при величине магнитного поля 20 кА/м и составляет 1,25 Тл, а для образца на основе ASC100.29 уже при такой величине магнитного поля индукция составляет 1,8 Тл, продолжает расти с увеличением поля и достигает максимального значения 2,1 Тл в поле более 40 кА/м [4–6].

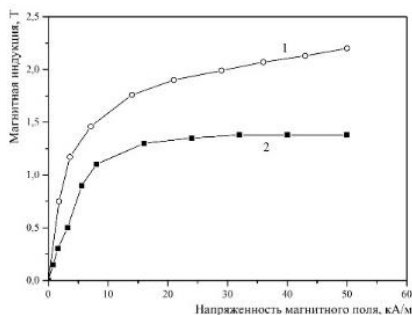


Рис. 7. Зависимости магнитной индукции от напряженности магнитного поля композиционных материалов:

- 1 – композит на основе порошков железа ASC100.29 с оксидной изоляцией;
- 2 – композит на основе порошков Micrometals, США с диэлектрической изоляцией

Из анализа вышеприведенных результатов исследований следует, что порошок ASC100.29, частицы которого покрыты оксидными слоями, и композиты на его основе обладают рядом преимуществ. По сравнению с порошком Atomet 1001HP суммарные электромагнитные потери в интервале частот 250–2000 Гц меньше в 2 раза. Максимальная индукция композиционного магнитомягкого материала на основе порошков Micrometals с диэлектрической изоляцией в полях до 50 кА/м на 60 % меньше, чем у композитов на основе ASC100.29. Что касается порошков LiaoNing, он также проигрывает порошкам ASC100.29 по всем характеристикам. Поэтому для проведения дальнейших исследований в качестве объекта были выбраны микроро порошки железа марки ASC100.29 (Швеция) [4; 10].

### Литература

1. Витязь, П. А. Порошковые материалы на основе железа и меди. Атлас структур / П. А. Витязь [и др.]. – Минск: Белорус. наука, 2008. – 155 с.
2. 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. – Витебск, 2017. – Т. 2. – С. 278–299.

3. Vetcher, A. Magnetic properties of special low-frequency soft magnetic composite material / A. Vetcher, G. Govor, K. Yanushkevich and I. Timoshkov // Trends in MAGnetism: abstracts of VII Euro-Asian Symposium, Ekaterinburg, 08–13 September 2019. – Ekaterinburg, 2019. – Vol. II. – P. 172–173.

4. Магнитомягкие материалы на основе железа, используемые в электромашиностроении / А. К. Вечер, Г. А. Говор, У. Т. Бердиев, Ф. Ф. Хасанов // Вестник ТаШИИТ. – 2019. – № 3. – С. 212–217.

5. Исследование влияния условий синтеза на магнитные характеристики композиционных материалов на основе порошков железа / А. К. Вечер, Г. А. Говор, К. И. Янушкевич, У. Т. Бердиев, Ф. Ф. Хасанов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2020. – Т. 65, № 1. – С. 17–24.

6. Сулаймонов, Ё. Куқунли композицион материал асосидаги энергия самарадор магнит компонентларни олиш технологияси. / Ё. Сулаймонов, Ф. Хасанов, Ё. Бердиев, К. Каршиев // Eurasian Journal of Academic Research. – 2022. – Vol. 2, № 6. – P. 289–292.

7. Vetcher, A. Iron powders with insulating layers: structure and magnetic properties / A. Vetcher, K. Yanushkevich // Nonequilibrium phase transformations: proceedings of V International scientific conference materials science, Varna, 09–12 September 2019. – Varna, Bulgaria. – P. 27–29.

8. Говор, Г. А. Композиционные магнитомягкие материалы на основе порошков железа и перспективы их применения в технике / Г. А. Говор, А. К. Вечер, В. И. Митюк // Металлофизика и новейшие технологии. – 2012. – Т. 34, № 4. – С. 439–444.

9. Сулаймонов, У. (2022). Технология получения энергосберегающих магнитных компонентов на основе порошкового композиционного материала / У. Сулаймонов, Ф. Хасанов, У. Бердиев, К. Каршиев // Yosh Tadqiqotchi Jurnalı. – 2022. – Vol. 1, № 5. – P. 120–127.

10. Говор, Г. А. Композиционные магнитомягкие материалы на основе порошков железа и перспективы их применения в технике / Г. А. Говор, А. К. Вечер // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 20–23 октября 2009 г.: в 3 т. / редкол.: Н. М. Олехнович [и др.] – Минск, 2009. – Т. 1. – С. 137–140.

11. Berdiev, U. T. Magnetic properties of soft magnetic composites used in electromechanical engineering / U. T. Berdiev, F. F. Xasanov, O'. B. Sulaymonov, K. T. Karshiyev // Znanstvena misel journal. – 2022. – № 66. – P. 39–43.