

# ИЗУЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БОРИРОВАННЫХ ПОРОШКОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОРОШКОВЫХ МУФТАХ

**В. О. Щи́ров, Г. А. Сиз**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель В. М. Быстренков

Одним из важных и перспективных направлений в современной технике является исследование электромагнитных порошковых муфт (ЭПМ). Электромагнитные муфты являются исполнительными элементами современных быстродействующих электроприводов. Муфты обеспечивают передачу вращения от ведущего вала (двигателя) к ведомому валу приводимого механизма. Находят применение в основном три вида электромагнитных муфт: гистерезисные, порошковые и фрикционные. Электромагнитные муфты обеспечивают плавное регулирование передаваемого момента и частоты вращения, ограничение передаваемого момента, плавность процесса пуска, изменение направления вращения, торможение. Наиболее важные выполняемые функции – передача и регулирование вращающего момента, при этом в следящих системах электромагнитные муфты выполняют функции усилителя мощности. Кроме этого эти муфты имеют ряд достоинств перед своими аналогами, так как характеристики порошковых электромагнитных муфт позволяют использовать их все-сторонне. Они могут быть использованы в качестве сцепных, тормозных, динамометрических муфт и в усилителях мощности для сервоприводов.

### Принцип действия и устройство электромагнитных порошковых муфт

При появлении тока в обмотке управления в зазоре между ведущим и ведомым ротора появляется магнитный поток  $\Phi_y$  (рис. 1), который намагничивает частицы ферромагнитного порошка. Последние, слипаясь между собой, образуют ориентированные по направлению магнитных силовых линий перемычки, связывающие ведущий и ведомый роторы. Прочность этих перемычек не линейно зависит от величины магнитного потока через зазор. Сопротивление связок деформации сдвига, вызываемой относительным движением роторов, создает момент, пропорциональный силе сцепления частиц в связках и углу наклона связок.

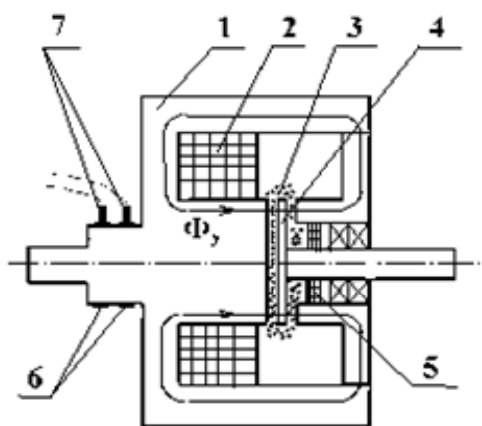


Рис. 1. Конструктивная электромагнитная порошковая муфта:

1 – ведущий ротор; 2 – обмотка управления; 3 – ферромагнитный накопительный порошок; 4 – ведомый ротор; 5 – уплотнение; 6 – контактные кольца; 7 – щетки

При скольжении ведомого ротора относительно ведущего происходит процесс непрерывного разрушения и образования связок, причем передаваемый момент практически не зависит от скорости скольжения. При нормальной работе ЭПМ ведущий и ведомый роторы все время проскальзывают один относительно другого, поэтому можно было бы ожидать некоторого их износа. Однако этот износ практически не заметен, так как скольжение происходит в основном внутри порошковой массы, а слои, прилегающие к поверхностям роторов, остаются неподвижными.

Основные проблемы муфт связаны с используемым в них порошком. Именно использование порошка при передаче крутящего момента обеспечивает быстрое действие муфты. Так как через порошок передается крутящий момент, он и подвергается наибольшему износу. Порошок должен обладать хорошими электромагнитными свойствами, а также быть достаточно прочным, чтобы сопротивляться износу и обеспечить надежную работу муфты. Используемые на данный момент порошки обладают достаточной прочностью для использования, но они являются очень дорогостоящими, это и является тормозящим фактором для широкого внедрения ЭПМ, они недостаточно экономически выгодны. Исследования этих муфт на данном этапе должно быть направлено в большей степени на разработку порошка, удовлетворяющего требуемым параметрам и имеющего умеренную цену.

Наиболее распространенным ферромагнитным наполнителем служит порошок из карбонильного железа. Магнитные свойства порошков карбонильного железа зависят от размеров частиц, химического состава и структуры. Форма частиц порошка близка к сферической. Для повышения коррозионной стойкости и предотвращения слипания

частиц порошка при работе в ЭПМ на его поверхность тонким слоем 0,2–0,5 мкм наносят изоляционную пленку  $\text{SiO}_2$  или  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . При работе в режиме скольжения карбонильное железо склонно собираться в комки, и поэтому к нему добавляют 2–4 % разделителя. В качестве разделителя используют графит, окись цинка, тальк и тонкоизмельченную слюду. Недостатком данного материала является сложность технологии его получения и связанная с ней высокая стоимость.

Наиболее важными задачами при разработке новых сортов порошков являются повышение коррозионной устойчивости при нормальной и высокой температурах (350–380 °С), увеличение однородности порошка по размерам частиц, повышение сыпучести.

Поставленная задача решается тем, что разработан ферромагнитный материал, содержащий ферромагнитную составляющую, которая заключена в боридную оболочку. Ферромагнитная составляющая представляет собой ядра на железной основе из отходов металлообработки с частицами сферической формы размером 0,005–0,640 мм. Сферическая форма стальной дроби не обладает режущей способностью, что увеличивает срок работы роторов механизма. При этом в качестве отходов металлообработки используются отходы стальной дроби соответствующей фракции.

Стальную дробь сферической формы в соотношении 1 : 7 перемешивали с насыщающей средой из карбида бора  $\text{B}_4\text{C}$ . Полученную смесь помещали в контейнер из стали 12Х18Н10Т с плавким герметизирующим затвором. Нагрев осуществляли в лабораторной камерной печи марки СНОЛ-1.62.0.08/9-141 до температуры 900–950 °С. Продолжительность химико-термической обработки составляла 1–5 ч в зависимости от требуемого количества бора в частицах порошка.

Данный ферромагнитный материал (борированный порошок) обладает высокими магнитными свойствами, так как ядро его частиц состоит из стали и содержит большое количество железа. При этом боридная оболочка данных частиц представляет собой бориды железа  $\text{FeB}$  и  $\text{Fe}_2\text{B}$ , обладающих высокой твердостью. Вследствие этого предлагаемый ферромагнитный материал обладает повышенной коррозионной устойчивостью и длительностью работы в электромагнитных порошковых муфтах.

Применение в качестве сырья при изготовлении нового ферромагнитного материала отходов металлообработки позволяет снизить стоимость данного материала.

Очень важным и решающим фактором, определяющим пригодность для ЭПМ того или иного сорта порошка, является его длительная работа в ЭПМ. Такие испытания порошка проводились на специально выполненной для этой цели макетной муфте, которая была смонтирована на испытательном стенде.

Установлено, что сыпучесть порошка снижается на 10–15 % по сравнению с первоначальной за счет появления призматических выступов на поверхности частиц. Изменение насыпной плотности в первую очередь зависит от количества диффундировавшего в частицу бора (поскольку бор является более легким элементом), т. е. от толщины боридного слоя. Зависимость насыпной плотности от толщины боридной оболочки для различных фракций стального порошка приведена на рис. 2.

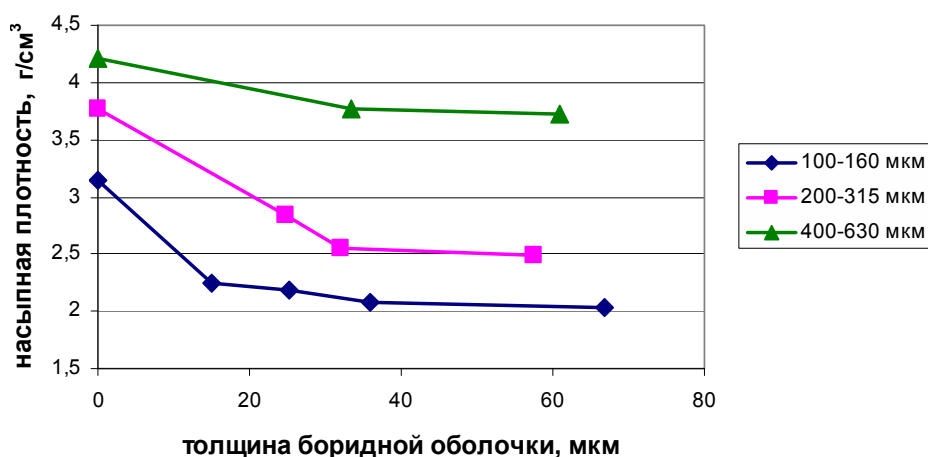


Рис. 2. Изменение насыпной плотности в зависимости от толщины боридного слоя и фракции

Все полученные результаты подвергали обработке с использованием аппарата математической статистики.

Результаты проведенных испытаний борированного порошка и карбанильного железа сведены в таблицу.

#### Данные испытаний

Характеристика ферромагнитного материала			Технологические характеристики порошка, процесса шлифования и обработанной поверхности		
Ферромагнитный материал	Содержание бора в материале, мас. %	Диапазон размеров частиц порошка, мм	Насыпная плотность, г/см³	Длительность работы, ч	Стойкость порошка, циклов
Карбанильное железо	–	0,060–0,080	3,0–3,8	300	82 ± 5
Борированный порошок	4,4 ± 0,2	0,060–0,080	3,5–4,0	350	102 ± 8

Таким образом, предложенный борированный порошок по сравнению с карбанильным железом обладает высокими магнитными свойствами, более высокой коррозионной стойкостью, длительностью работы, а также более технологичен в изготовлении и использовании. При этом заявляемый порошок дешевле порошка из карбанильного железа.