

УДК 532.135, 537.622, 546.05

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ МАГНЕТИТА И ЗАМЕЩЕННЫХ ФЕРРИТОВГайдук Ю.С.¹, Моховиков М.А.¹, Шевцова К.А.², Коробко Е.В.², Усенко А.Е.¹, Паньков В.В.¹¹Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь²Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Дисперсные ферромагнитные порошки широко применяются для приготовления магнито-реологических жидкостей (МРЖ), которые помимо ферромагнитных частиц карбонильного железа дополнительно содержат наноразмерные частицы. Их наличие позволяет усилить магнито-реологический отклик МРЖ. Магнитные свойства нанопорошков, которые могут быть компонентами этих жидкотекучих композиций, определяются химическим составом, типом кристаллической решетки, степенью ее дефектности, размером и формой частиц, морфологией, степенью взаимодействия частиц между собой и с окружающей их жидкостью [1].

Методика эксперимента. Были синтезированы образцы с фазовым составом $Mn_{0,3}Fe_{2,7}O_4$ (1), $Co_{0,65}Zn_{0,35}Fe_2O_4$ (2), Mn/Fe_3O_4 (3 – магнетит, легированный оксидом марганца). Образец 1 получен соосаждением водных растворов солей марганца и железа, образец 2 – синтезирован методом распылительной сушки (220 °С) в инертной матрице (NaCl) с последующим отжигом при 740 °С (8ч), образец 3 – получен высокоэнергетическим помолотом обогащенного природного магнетита (Mn/Fe_3O_4). Рентгенографические исследования на дифрактометре ДРОН-3 ($Co_{K\alpha 1}$ -излучение, $\lambda = 0,179026$ нм).

ИК-спектры записывали с помощью спектрометра AVATAR 330 (ThermoNicolet) в области волновых чисел (ν) 400–700 cm^{-1} точностью $\pm 1 cm^{-1}$.

Микроструктуру образцов изучали при помощи сканирующего электронного микроскопа LEO 1420 и просвечивающего электронного микроскопа HitachiH-800 с ускоряющим напряжением 200 кэВ.

Петли гистерезиса при температурах 2, 10, 50, 100 и 300 К при индукции магнитного поля $B_{max} = 8$ Тл были получены в результате исследования магнитных характеристик материалов на установке Cryogen Free Measurement System Cryogenic Ltd. Масса образцов составляла 0,09–0,14 г.

Зависимость напряжения сдвига (τ) суспензий (связующее Mobil 22) от величины магнитной индукции приложенного магнитного поля измеряли на ротационном вискозиметре Physica MCR 301 Anton Paar в режиме постоянной скорости сдвига $\dot{\gamma} = 200 s^{-1}$, при температуре $T = 20$ °С.

Обсуждение результатов. В таблице 1 приведены средние размеры частиц, оцененные

по данным электронной микроскопии, и магнитные характеристики однофазных порошков ферромагнитов (1–3). Размер частиц, удельная намагниченность насыщения M_s и коэрцитивная сила H_c порошкообразных магнитных материалов, зависящие от состава, методики и условий синтеза для данных материалов соответствующим образом литературными данным.

Данные РФА-анализа и ИК-спектроскопии для образцов 1–3 подтверждают формирование шпинельной структуры ферритов (пространственная группа $Fd3m$).

Таблица 1 – Размер и магнитные характеристики исследованных образцов

№	Форма частиц	Размер частиц, мкм	M_s , $A \times m^2$, 300 К	H_c , кОе, 300 К
1	смешанная (магнитная, игольчатая, кубическая)	0,1÷50	63	0,18
2	близкая к сферической	~0,05	45	0,4
3	смешанная	0,01÷5	72	0,4

С целью эффективного использования комплекса компонентов в составе МРЖ обычно ставится задача получения частиц наполнителя с наиболее высокой намагниченностью насыщения и небольшим значением коэрцитивной силы. Как правило, такие материалы проявляют наиболее высокие напряжения сдвига в суспензиях при воздействии магнитного поля. Величина же намагниченности насыщения зависит от размера частиц, и для наночастиц имеет меньшие значения, чем для микронных частиц.

Зависимости, представленные на рисунке 1 демонстрируют возрастание напряжения сдвига всех полученных суспензий, содержащих комплексный дисперсный наполнитель, от индукции магнитного поля. В наибольшей степени данный эффект выражен в суспензиях, приготовленных с использованием образцов 2 и 3, поскольку данные материалы обладают одновременно сравнительно большими значениями удельной намагниченности и высокой долей анизотропных по форме частиц в своем составе. Образцы 1 и 2 имеют более однородное распределение частиц по размерам и отличаются несколько меньшими значениями удельной намагниченности.

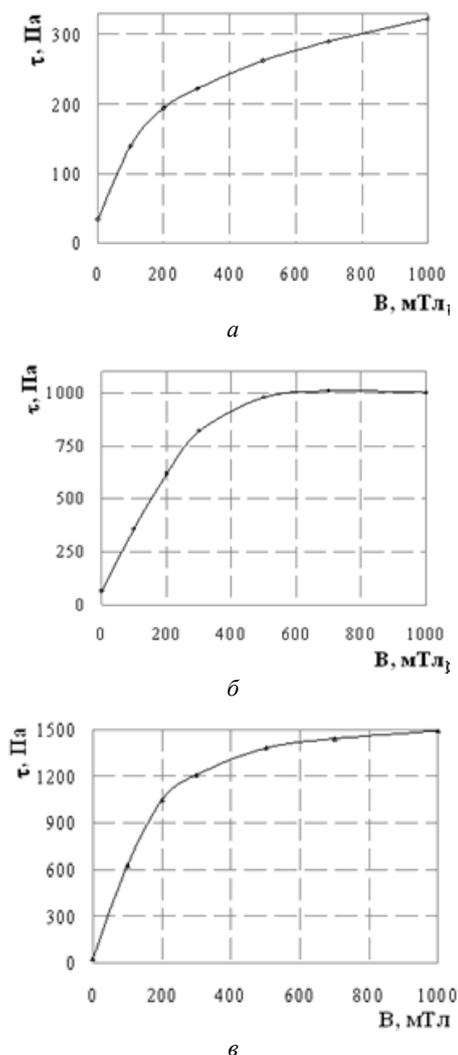


Рисунок 1 – Зависимость напряжения сдвига МРЖ, содержащих 20 мас. % магнитных наночастиц: а – $Mn_{0,3}Fe_{2,7}O_4$ (1); б – $Co_{0,65}Zn_{0,35}Fe_2O_4$ (2); в – Mn/Fe_3O_4 (3) в магнитном поле при скорости сдвига $\gamma = 200 \text{ с}^{-1}$, $T = 20^\circ\text{C}$.

Следует отметить, что образец МРЖ (2), с частицами $Co_{0,65}Zn_{0,35}Fe_2O_4$, при испытаниях в МРЖ обладал заметными остаточными явлениями, который видны на его гистерезисных кривых намагниченности в отличии от частиц легированного магнетита, что уменьшает возможность его применения в динамических системах.

Интересно отметить также, что τ/τ_0 для образца 3 близко к соответствующему значению для суспензии, приготовленной на основе игольчатого магнетита, обладающего наиболее высоким значением намагниченности среди всех исследованных ранее образцов [2]. При этом значение намагниченности образца 3 составляет $M = 80 \text{ А}\cdot\text{м}^2$ (для игольчатого магнетита составляет $M = 112 \text{ А}\cdot\text{м}^2$ [2]). Образец 3 характеризуется незначительной коэрцитивной силой ($\sim 0,4 \text{ кОе}$), которая выражается в наличии остаточной намагниченности после выключения магнитного поля.

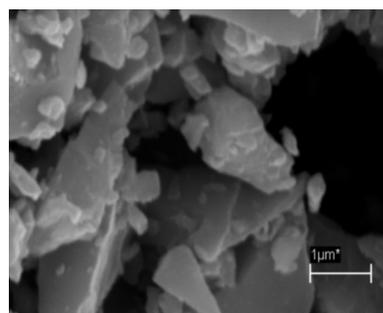


Рисунок 2 – СЭМ-изображение образцов порошка Mn/Fe_3O_4 (образец 3)

Выводы. Высокое значение напряжения сдвига (1кПа и выше) при сравнительно невысокой индукции магнитного поля (от 600 мТл) позволяет считать магнетит, легированный ионами марганца (образец 3) наиболее перспективным материалом для использования в качестве дополнительного функционального наполнителя магнитореологических суспензий, в частности, для создания эффективных демпфирующих жидкостей.

Литература

1. Коробко Е.В., Паньков В.В., Котиков Д.А., Новикова З.А., Новик Е.С. Наноструктуры в конденсированных средах: сборник научных статей. – Минск: Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 20 – 23 августа 2018 г.
2. D. Kotsikau, A. Eroma, E. Korobko, Z. Novikova, V. Natarov, V. Pankov. Magnetite rod-like particles doped with Zn as an additive for magnetorheological fluids based on carbonyl iron // Proc. EMRS 2017 Fall Meet., Warsaw, Poland, Sept 18–21, 2017, Z20WB.