

УДК 532.135, 537.622, 546.05

ГЕКСАФЕРРИТ БАРИЯ КАК ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Гайдук Ю. С.¹, Коробко Е. В.², Радкевич Л. В.², Котиков Д. А.¹, Усенко А. Е.¹, Паньков В. В.¹

¹Белорусский государственный университет

²Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова Национальной Академии Наук Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Целью работы являлось изучение структуры, морфологии, магнитных свойств гексаферрита бария и оценка его эффективности в магнитном поле (по реологическим свойствам магнитоологической жидкости (МРЖ), изготовленной с его использованием). Цитратным золь-гель методом синтезирован феррит бария $BaFe_{12}O_{19}$ гексагональной структуры. С использованием методов рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии, ИК-спектроскопии, исследованы его структурные и микроструктурные особенности. Высокое значение напряжения сдвига суспензии (3,5 кПа) при сравнительно невысокой индукции магнитного поля (625 мТл) позволяют считать полученный материал перспективным для использования в качестве дополнительного функционального наполнителя МРЖ.

Ключевые слова: феррит бария, магнитоологические жидкости, магнитные жидкости.

BARIUM HEXAFERRITE AS A FUNCTIONAL FILLER OF MAGNETORHEOLOGICAL FLUIDS

Haiduk Yu.¹, Korobko E.², Radkievich L.², Kotikov D.¹, Usenka A.¹, Pankov V.¹

¹Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

²Institute of Heat and Mass Transfer named after A. V. Lykov of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The aim of the work was to study the structure, morphology, magnetic properties of barium hexaferrite and to evaluate its efficiency in a magnetic field (by the rheological properties of magnetorheological fluid (MRF) manufactured using it). Barium ferrite $BaFe_{12}O_{19}$ of hexagonal structure was synthesized by the citrate sol-gel method. Its structural and microstructural features were studied using X-ray phase analysis, scanning electron microscopy, and IR spectroscopy. The high value of the suspension shear stress (3500 Pa) at a relatively low magnetic field induction (625 mT) allow us to consider the obtained material promising for use as an additional functional filler for MRF.

Key words: barium ferrite, magnetorheological fluids, magnetic fluids.

Адрес для переписки: Гайдук Ю. С., ул. Ленинградская, 1-416, г. Минск 220030, Республика Беларусь
e-mail: j_haiduk@list.ru

Магнитоологические жидкости (МРЖ) относятся к числу так называемых «интеллектуальных» материалов, реологические и механические свойства (вязкость, напряжение сдвига, предел текучести и т. д.) которых можно контролируемо изменять во внешнем магнитном поле. Известно, что МРЖ могут использоваться в качестве рабочих тел в магнитоуправляемых механических передаточных устройствах, например, в амортизаторах, регулирующих клапанах, различных устройствах виброзащиты и сейсмической защиты, прецизионной полировке, в космической и военной технике, биомеханике и биомедицине и т. д. [1]. В общем случае МРЖ представляют собой суспензии, состоящие из высокодисперсных и ультрадисперсных сильно намагничивающихся частиц, взвешенных в ненамагничивающейся жидкости и стабилизированных поверхностно-активными веществами.

Методика эксперимента. Порошок гексаферрита бария получен методом соосаждения с последующими обработкой в автоклаве и обжигом на воздухе по методике, основанной на литературных источниках [2]. Гидротермальная обработка производилась в автоклаве объемом 500 мл

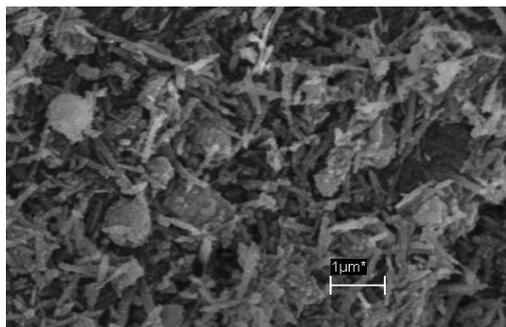
при температуре 220 °С, обжиг при температуре 1020 °С на протяжении 3 ч. На стадии обжига происходил переход в $BaFe_{12}O_{19}$ примесей промежуточных фаз. В качестве исходных реагентов использовали $Ba(NO_3)_2$ («ч»), $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ («ч»), $NaOH$ («чда»). Раствор нитрата железа имел концентрацию 0,384 М, молярные отношения $Ba/Fe=1:8$, $[OH^-]/[NO_3^-]=2$.

Рентгенографические исследования проводили на дифрактометре ДРОН-3 ($CoK\alpha$ -излучение, $\lambda = 0,179026$ нм). ИК-спектр порошка получен на спектрометре AVATAR FTIR-330 (Thermo Nicolet) в области волновых чисел (ν) 400-700 cm^{-1} с разрешением ± 1 cm^{-1} . Микроструктуру образцов изучали при помощи сканирующего электронного микроскопа LEO 1420. Магнитоологическую чувствительность наполнителей определяли на вискозиметре HAAKE RV12, оснащенный индуктором магнитного поля, с измерительной ячейкой типа пластина-пластина. Для приготовления магнитоологической суспензии использовали синтетическое масло Mobil 22 в качестве жидкости-носителя, и моноолеат глицерина в качестве поверхностно-активной добавки.

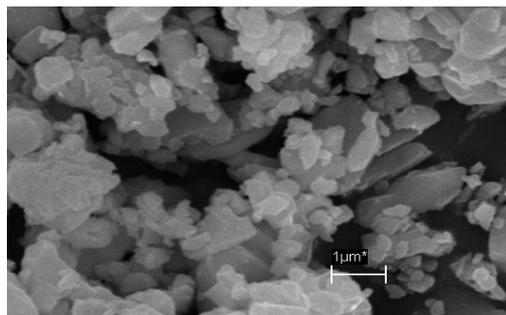
ТГ-ДТА анализ порошка проведен при помощи синхронного термического анализатора Netzsch 400 STA-449с «Jupiter» при скорости нагрева 5°/мин. на воздухе.

Обсуждение результатов. По данным РФА и ИК-спектроскопии конечным продуктом синтеза является порошок с единственной фазой гексаферрита бария, имеющей структуру магнетоплюмбита (карточка PDF-2 [39–1433]).

На рисунке 1 представлены СЭМ-микрофотографии порошка после гидротермальной обработки и после обжига на воздухе. На рисунке 1, а видны в основном пластинчатые частицы, частично агломерированные в округлые структуры диаметром 0,5–1,5 мкм, а также нанопрутки с поперечным диаметром менее 0,1 мкм и длиной 2 мкм и более. Вероятно, эти образования относятся к основной и промежуточной фазе гексаферрита бария. После обжига (рисунок 1, б) видны частицы одного вида, преимущественно пластинчатой формы, диаметр которых составляет 0,2–0,5 мкм. При этом встречаются отдельные агломераты диаметром 1,0–2,0 мкм и более (масштабная шкала 1 мкм).



а



б

а – продукт синтеза в автоклаве; б – порошок после обжига

Рисунок 3 – СЭМ-изображения BaFe₁₂O₁₉

На рисунке 2 представлены зависимости напряжения сдвига МРЖ на основе BaFe₁₂O₁₉ от

скорости сдвига, полученные при различных значениях магнитной индукции.

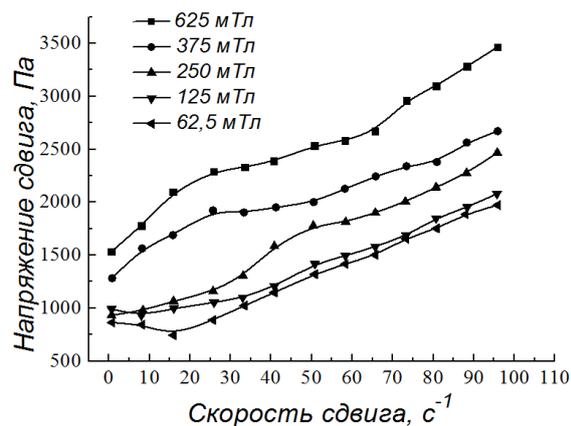


Рисунок 2 – Зависимость напряжения сдвига МРЖ, содержащей 20 мас. % наполнителя на основе BaFe₁₂O₁₉, от индукции магнитного поля

Из рисунка 2 видно, что напряжение сдвига магнитореологической суспензии, изготовленной на основе BaFe₁₂O₁₉ достигает ~ 3500 Па при магнитном поле с индукцией 625 мТл. Пластинчатая форма частиц способствует обеспечению повышенного напряжения сдвига суспензии за счет формирования механически жестко сопряженных структур в магнитном поле.

Из спектров ТГ-ДТА следует, что потеря массы порошка при нагреве в интервале 20–1200 °С составляет не более 1,7 %, при этом порошок не претерпевает ни фазовых переходов, ни других превращений с поглощением или выделением тепла, что призвано обеспечить его стабильную работу при высоких и изменяющихся температурах.

Выводы. Высокое значение напряжения сдвига (~ 3500 Па) при сравнительно невысокой индукции магнитного поля (625 мТл) позволяет считать полученный с применением гидротермального метода гексаферрит бария перспективным материалом для использования в качестве функционального наполнителя МРЖ.

Литература

1. Нанодисперсные наполнители на основе оксида железа для комплексной дисперсной фазы магнитоуправляемых гидравлических жидкостей / Е. В. Коробко [и др.] // Наноструктуры в конденсированных средах: сб. науч. ст. – Минск: Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2018 г. – С. 182–188.

2. Improving the magnetic properties of hydrothermally synthesized barium ferrite / Journal of magnetic properties of hydrothermally synthesized barium ferrite / X. Liu [at al.] // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 1999. – V. 195, iss. 2. – P. 452–459.