

Полученные результаты. После обработки экспериментальных данных и с учетом значимости коэффициентов уравнения регрессии, которая проверялась по t -критерию Стьюдента для уровня значимости $\alpha = 0,05$, было получено уравнение регрессии, отражающее влияние факторов на исследуемую функцию:

$$\alpha^0 = -1562,05 + 1526,8X_1 - 1817,2X_2 + 78,7X_3 + 83,3X_1X_2 - 4,8X_1X_3 + \\ + 16,7X_2X_3 - 366,9X_1^2 + 757,3X_2^2 - 1,9X_3^2.$$

На основании анализа уравнения можно сделать следующие выводы: адгезия композиционного слоя с полосой-подложкой зависит от среднего абсолютного обжатия материала при предварительном формовании и спекании X_1 , скорости вращения валков-электродов X_2 и силы тока спекания X_3 по квадратичной зависимости.

Анализ результатов эксперимента позволяет определить режимы процесса, обеспечивающие угол перегиба 180° до проявления трещинообразования в композиционном слое, который на основании экспериментальных данных является достаточным условием отсутствия разрушения после последующей штамповки подшипников скольжения из получаемого полосового материала.

После анализа результатов математического планирования эксперимента и на основании проведенных экспериментов можно определить следующие оптимальные режимы процесса, обеспечивающие угол перегиба 180° :

1. Среднее абсолютное обжатие материала при предварительном формовании и спекании: 1,65–1,86 мм.
2. Скорость вращения валков-электродов: 0,8–0,9 м/мин.
3. Сила тока спекания: 19 кА.

Л и т е р а т у р а

1. Ковтун, В. А. Триботехнические покрытия на основе порошковых медно-графитовых систем / В. А. Ковтун, Ю. М. Плескачевский. – Гомель : ИММС НАН Беларуси, 1998 – 148 с.
2. Ярошевич, В. К. Электроконтактное упрочнение / В. К. Ярошевич, Я. С. Генкин, В. А. Верещагин. – Минск : Наука и техника, 1982. – 250 с.
3. Дорожкин, Н. Н. Получение покрытий методом припекания / Н. Н. Дорожкин, Т. М. Абрамович, В. И. Жорник. – Минск : Наука и техника, 1980. – 176 с.
4. Тихомиров, В. Б. Планирование и анализ эксперимента / В. Б. Тихомиров. – Москва : Легкая индустрия, 1974. – 262 с.

УДК 539.213.27+539.25

СОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ MgO, ЛЕГИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

С. М. Э. Эльшербини, М. Ф. С. Х. Аль-Камали, А. А. Бойко

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

Разработана технологическая схема формирования сорбентов для очистки сточных вод от нефтепродуктов на основе оксида магния с добавлением НЧ металлов. Исследовано влияние легирующих элементов – оксидов цинка и железа – на структурные особенности получаемых материалов. Результаты показывают, что каркас ксерогеля формируется из агрегированных первичных частиц, покрытых наночастицами оксидов легирующих элементов,

что способствует увеличению его сорбционных свойств. Представлены результаты сорбционной способности полученных композитов к сырой нефти и минеральному маслу.

Ключевые слова: оксид магния, композиционные материалы, золь-гель, наночастицы металлов.

SORPTION ABILITY OF MgO-BASED MATERIALS DOPED WITH METALS NANOPARTICLES PRODUCED BY THE SOL-GEL METHOD

S. M. E. Elsherbini, M. F. S. H. AL-Kamali, A. A. Boika

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The technological scheme of formation of sorbents for wastewater treatment from oil products on the basis of magnesium oxide with addition of metal particles has been developed. The influence of alloying elements – zinc and iron oxides – on the structural features of the obtained materials has been investigated. The results show that the xerogel framework is formed from aggregated primary particles covered with nanoparticles of oxides of alloying elements, which contributes to the increase of its sorption properties. The results of sorption ability of the obtained composites to crude oil and mineral oil are presented.

Keywords: magnesium oxide, composite materials, sol-gel, metallic nanoparticles.

На сегодняшний день проблема загрязнения водоемов нефтепродуктами является все более актуальной. Эффективная фильтрация и очистка воды от таких загрязнителей требуют разработки новых материалов с высокими сорбционными свойствами. В этом контексте керамические материалы, обладающие хорошей фильтрацией и адсорбцией, становятся многообещающим направлением для исследований. Одним из методов получения таких материалов является золь-гель синтез. Этот подход позволяет создавать композиционные материалы, включая оксид магния (MgO), с заданными физико-химическими свойствами и структурой на нано- и микроуровне. Золь-гель метод характеризуется высокой гибкостью, что позволяет варьировать состав и морфологию получаемых материалов в зависимости от условий синтеза.

Целью данного исследования является разработка керамических материалов на основе оксида магния, полученных с использованием золь-гель метода, для эффективной фильтрации воды, загрязненной нефтепродуктами.

Получение и методы исследования. Для исследования использовали образцы в виде дисков диаметром 12,5 мм, толщиной от 3 до 10 мм [1]. Процесс получения включал формирование золя на основе оксида магния. Для этого в 440 мл дистиллированной воды вводили 1 моль оксида магния, затем в полученный золь оксида магния вводили вещества-допанты в виде водорастворимых солей заданной концентрации (в нашем случае использовался нитрат цинка и хлорид железа). Полученный золь (чистый и содержащий цинк и железо) подвергали гелированию в открытых пластиковых формах на воздухе. Сушка сформировавшихся гелей проводилась в вентилируемом термощкафу при $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Полученные ксерогели подвергали термообработке на воздухе при $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Термообработанные композиционные ксерогели состава $\text{MgO} : \text{ZnO}$ и $\text{MgO} : \text{Fe}_2\text{O}_3$ измельчали путем размолла до состояния высокодисперсных микропорошков. Из полученных порошков методом одноосного прессования формировали диски заданного размера (в качестве временной связки использовали 5%-й водный раствор ПВС) [2]. Финишную термообработку проводили на воздухе при температуре $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Структуру материалов разработанных составов исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Сорбци-

онную способность определяли путем анализа изменения массы образцов после их полного насыщения исследуемой жидкостью.

Результаты. Установлено, что оксид цинка и оксид железа формируют поверхностный слой на глобулах оксида магния, образуя так называемое покрытие по всей поверхности MgO – глобул (рис. 1). Наблюдаемый эффект, вероятно, связан с высокой концентрацией нитрата цинка или хлорида железа, вводимого в исходный MgO-золь (соотношение атомов Mg : Zn/Fe = 1 : 0,05, 1 : 0,10, 1 : 0,15 и т. д.), а также высокой сорбционной способностью самой ксерогельной матрицы [1–4].

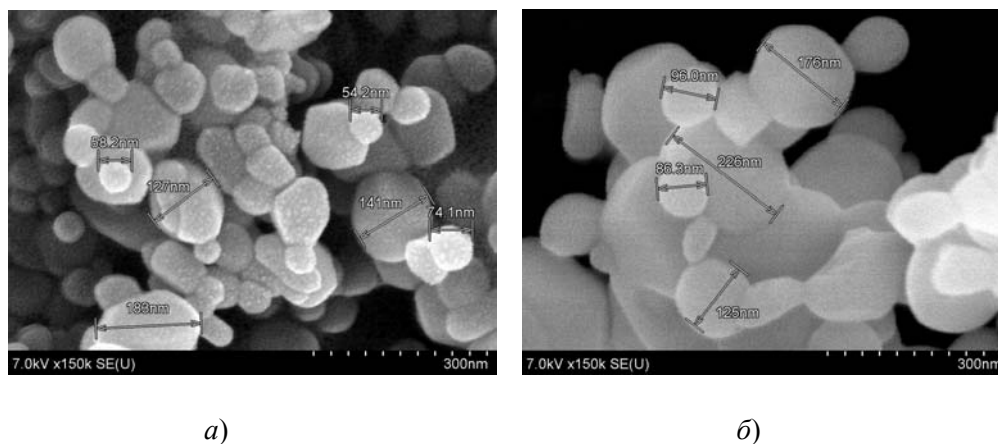


Рис. 1. СЭМ-изображение микропорошка ксерогеля, сформированного на основе золя из водной дисперсии MgO (ксерогель был обработан на воздухе при $t = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 ч):

а – содержащего нитрат цинка концентрацией 0,05 моль на 1 моль золя;
б – содержащего хлорид железа концентрацией 0,05 моль на 1 моль золя

Из рис. 1 видно, что структура MgO-ксерогеля состоит из агломератов с размером до 300 нм.

На рис. 2 представлены результаты сорбционной способности по результатам изменения массы композиционного материала, содержащих различную концентрацию оксида цинка и оксида железа, к сырой нефти и минеральному маслу. Для этого образцы в виде дисков помещали в емкости с сырой нефтью (минеральным маслом) и выдерживали в течение 1 сут. После этого повторно их взвешивали.

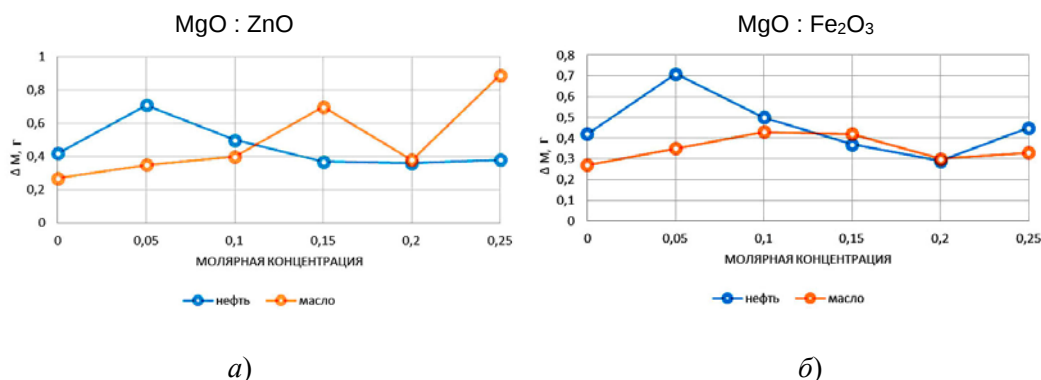


Рис. 2. Изменения массы таблеток в зависимости от впитывающей способности нефтяных материалов (сырая нефть и машинное масло):

а – MgO : ZnO; б – MgO : Fe₂O₃

По результатам измерений видно, что образцы, у которых ниже концентрация легирующих оксидов, имеют более высокую сорбционную способность по сравнению с образцами, имеющими высокие концентрации. При этом оптимальной концентрацией легирующих элементов является концентрация 0,05 мол. %.

Таким образом, установлено, что композиционные материалы на основе MgO, легированные ZnO и Fe₂O₃, обладают высокой сорбционной способностью к нефтепродуктам и могут быть использованы в качестве не только фильтров, но и для сбора разлившихся нефтепродуктов.

Литература

1. Аль-Камали, М. Ф. С. Х. Композиционные материалы на основе оксида магния для сорбции нефтепродуктов, полученные золь-гель методом / М. Ф. С. Х. Аль-Камали, А. А. Бойко, С. М. Э. Эльшербини // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2023. – № 3. – С. 28–35.
2. Аль-Камали, М. Ф. С. Х. Мишени SiO₂ : CuO (Cu⁰) для нанесения тонких пленок ионно-лучевого распыления, полученные золь-гель методом / М. Ф. С. Х. Аль-Камали, А. А. Бойко, Хамдан А. С. Аль-Шаамири // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 3. – С. 348–355.

УДК 620.178

СРАВНЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАУГЛЕРОЖЕННЫХ СЛОЕВ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ 18ХГТ И 16СRMNS5

Е. П. Поздняков, И. Н. Степанкин, А. Д. Левкина

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

Д. В. Куйс

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск

С. Н. Лежнев

Некоммерческое акционерное общество «Рудненский индустриальный институт», Республика Казахстан

Отображены результаты исследований цементованных слоев, сформированных на сталях 18ХГТ и 16CrMnS5 в процессе 8- и 12-часового насыщения с последующей закалкой и отпуском. Испытаниями на контактную усталость установлено, что при напряжениях 1100 МПа износостойкость стали 16CrMnS5 значительно выше, чем у стали 18ХГТ. При снижении напряжений до 950 МПа эта закономерность сохраняется. Установлено, что износостойкость слоев стали 16CrMnS5 увеличивается в 2,3 раза при снижении напряжений с 1100 до 950 МПа.

Ключевые слова: конструкционная сталь, цементация, износостойкость, износ.

COMPARISON OF WEAR RESISTANCE OF CARBONIZED LAYERS OF STRUCTURAL STEELS 18ХГТ AND 16CRMNS5

E. P. Pozdnyakov, I. N. Stepankin, A. D. Levkina

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

D. V. Kuis

Educational Institution “Belarusian State Technological University”, Minsk