

Термопары изготавливались методом сварки из хромелевых и алюмелевых проводов диаметром 0,5 мм и применялись с открытым спаем в керамической соломке. Фиксация температур проводилась на приборе с графической и цифровой индикацией 8 раз в секунду. Расчеты показывали отсутствие сплошной корки на зеркале расплава вплоть до выдержки 20 с [1], однако условия ковшевой разливки не позволяют и такую выдержку между заливками слоев. Температура расплава износостойкого хромистого чугуна (ИЧХ) (3,52 % С; 17,7 % Cr; 0,3 % Ni; 0,57 % Mn; 0,48 % Si; 0,35 % W; 0,18 % V; 0,31 % Mo) в ковше после слива из печи обычно около 1400 °С. Допустимое снижение температуры заливки расплава ИЧХ в промежуточном ковше ограничило время выдержки 10-ю секундами, и время заливки каждого слоя ориентировочно предполагалось 4–5 с. Время выдержки после прерываний заливок задавалось секундомером.

В результате эксперимента (рис. 3, а, б) были получены отбойные вкладыши (рис. 3, в, дальний – залитый целиком, ближний – 5-слойный) и кривые с термопар (рис. 2), установленных на межслойных границах, как на рис. 1. Названия кривых – пары номеров соседних слоев. Резкие подъемы кривых около 9, 23, 38, 52 с свидетельствуют о том, что между заливками проходило 14–15 с, включая заливку слоя и последующую выдержку, что подтвердило данные хронометража секундомером. У кривых 2–3, 3–4, 4–5 резкому подъему предшествует слабый подъем, что говорит о прогреве термопар через слой воздуха от зеркала расплава в процессе послойной заливки и инерционности процесса измерения температуры. Максимумы кривых снижаются для каждой последующей термопары, что связано с некоторым снижением температуры в ковше при последовательной заливке слоев, однако у кривой 3–4 он ниже всех.

#### Литература

1. Дувалов, П. Ю. Теплофизические особенности литья вкладыша отбойного в 5 слоев из износостойкого хромистого чугуна / П. Ю. Дувалов, В. А. Дементьев, Ю. А. Лебединский // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. / Физико-техн. ин-т Нац. акад. наук Беларуси ; редкол.: В. Г. Залесский [и др.]. – Минск, 2023. – Кн. 1. Материаловедение. – 324 с.
2. Структура и твердость литых деталей из износостойких чугунов / Е. И. Марукович [и др.] // Литье и металлургия. – 2017. – № 3. – С. 39–44.

УДК 621.791.927.55

### **СБОР ОТРАБОТАННОЙ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОПОРИСТЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

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

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Одной из основных проблем, связанных с производством и использованием смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), является необходимость утилизации отработанных жидкостей после использования. Традиционные методы утилизации, такие как сжигание или слив в канализацию, могут приводить к негативным последствиям для окружающей среды и здоровья людей. В связи с этим использование высокопористых керамических материалов становится привлекательным решением.

Высокопористые керамические материалы обладают специальной структурой, которая позволяет эффективно поглощать и удерживать СОЖ. Эти материалы обладают большой поверхностью и сильной адсорбционной способностью, что позволяет им эффективно улавливать различные компоненты СОЖ, такие как металлические частицы, эмульсии, масла и другие загрязнители. Преимущества данного метода включают эффективные сбор и утилизацию СОЖ, минимизацию воздействия на окружающую среду и снижение затрат на утилизацию. Высокопористые керамические материалы обладают длительным сроком службы и могут быть использованы в различных отраслях, включая металлообработку, автомобильную промышленность, машиностроение и другие области, где применяются СОЖ. Кроме того, данный метод способствует экономической выгоде за счет возможности извлечения ценных компонентов СОЖ и повторного использования материалов. Это также способствует сокращению экологической нагрузки и снижению выбросов загрязняющих веществ. Целью работы является использование высокопористых керамических материалов на основе оксида магния, полученных золь-гель методом, для сбора и утилизации отработанной СОЖ.

Получение пористых композиционных материалов золь-гель методом включало несколько этапов. На первом этапе получали золь оксида магния, затем гель с использованием аммония фтористого кислого ( $\text{NH}_4\text{F} \cdot \text{HF}$ ), после сушки полученный ксерогель термообработывали [1]. Этапы формирования композиционного материала на основе матрицы MgO приведены на рис. 1.



Рис. 1. Схема технологических этапов получения ксерогельных наночастиц металлов на основе MgO-матриц [2, 3]

В настоящей работе в качестве образцов для исследований использовались композиционные ксерогели составов MgO, MgO:ZnO, MgO:Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO:Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и MgO:BaO, включающие формирование ксерогеля, получения микропорошка путем размола и формование дисков методом прессования.

Структуру и морфологию поверхности полученных материалов исследовали с помощью оптической и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). На рис. 2 показаны результаты анализов. Наличие пористой структуры поверхности образующихся сорбционных комплексов показано методами оптической микроскопии, а СЭМ позволяет более детально проанализировать наличие сформированного рельефа и макропор в сорбентах.

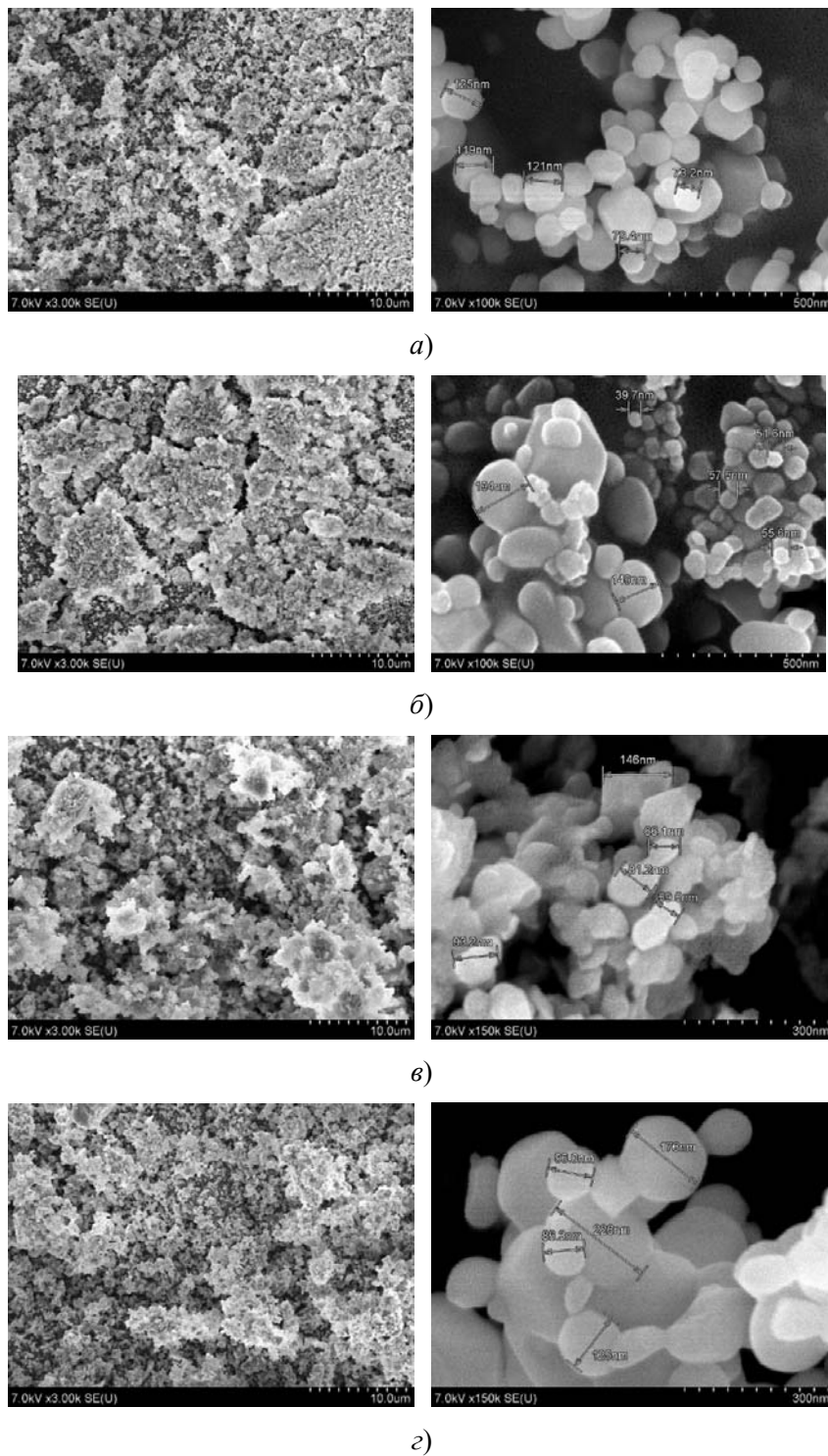


Рис. 2. СЭМ-изображения особенности морфологии сорбционных материалов на основе оксида магния:  
*a* – отжиг на воздухе при  $T = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 1 ч. Фазовый состав ксерогеля –  $\text{MgO}$ ; *б* – отжиг на воздухе при  $T = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 1 ч. Фазовый состав ксерогеля –  $\text{MgO} : \text{ZnO}$ ; *в* – отжиг на воздухе при  $T = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 1 ч. Фазовый состав ксерогеля –  $\text{MgO} : \text{Y}_2\text{O}_3$ ; *г* – отжиг на воздухе при  $T = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 1 ч. Фазовый состав ксерогеля –  $\text{MgO} : \text{Fe}_2\text{O}_3$

Из анализа рис. 2, *a* видна рыхлая структура ксерогеля MgO, при этом наблюдается четко выраженная глобулярная структура ксерогеля, а глобулы сформированы агрегатами, состоящими из частиц, имеющих достаточно узкий интервал распределения по размерам первичных зерен (от 73 до 125 нм). При введении легирующих элементов наблюдается сильное влияние на формирование первичных частиц оксида магния и рост глобулярности структуры. Наблюдается широкий разброс первичных частиц как в сторону уменьшения их размеров, так и роста. При введении ионов цинка наблюдаемый размер первичных частиц лежит в интервале от 39 до 294 нм. Форма частиц близка к чистому MgO (рис. 2, *б*). Введение оксида иттрия влияет как на размер, так и на форму частиц (рис. 2, *в*), формируются агломераты более плотные по сравнению как с чистым MgO, так и с легированным ZnO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Ионы железа приводят к значительному росту первичных частиц (до 230 нм). Таким образом, введение легирующих элементов в матрицу MgO повышает склонность к агрегированию и характеризуется высокой степенью полидисперсности легированных порошков MgO.

Анализ сорбционной способности полученных материалов проводили по изменению массы образцов, погруженных в сырую нефть и промышленное масло (выдержка составляла 24 ч). Установлено, что сорбционные свойства полученных материалов зависят от вида и концентрации оксидов в матрице MgO-ксерогеля. Экспериментально доказано, что наибольшей сорбционной способностью обладают ксерогели легированные оксидом бария, для которого при концентрации BaO 0,25 моль составляет 98 %.

В результате проведенных исследований разработаны технологические этапы синтеза композиционных ксерогельных заготовок (составов MgO, MgO : ZnO, MgO : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO : Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и MgO : BaO), включающие формирование ксерогеля, получение микропорошка путем размола и формование дисков методом прессования.

Методом СЭМ изучены структурные особенности сформированных материалов. Определено, что каркас ксерогеля сформирован из агрегированных первичных частиц. Размер первичных частиц зависит от вида легирующих элементов и их концентрации в матрице MgO-ксерогеля.

Наилучшими сорбционными свойствами характеризуется материал MgO : BaO, для которого при концентрации BaO 0,25 моль сорбционная способность равна 98 %.

Таким образом, использование высокопористых керамических материалов для сбора и утилизации отработанного СОЖ представляет собой эффективное и экологически устойчивое решение. Этот метод способствует сохранению окружающей среды, снижает затраты на утилизацию и открывает возможности для восстановления ценных компонентов СОЖ. Применение данного метода может быть полезным в различных отраслях, где используются СОЖ, и способствует устойчивому развитию и охране окружающей среды.

#### Литература

1. Подденежный, Е. Н. Золь-гель синтез оптического кварцевого стекла / Е. Н. Подденежный, А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2002. – 374 с.
2. Аль-Камали, М. Ф. С. Х. Структурообразование SiO<sub>2</sub>-ксерогелей, содержащих соединения меди различного фазового состава / М. Ф. С. Х. Аль-Камали, А. А. Алексеенко, О. А. Титенков // Проблемы физики, математики и техники. – 2020. – № 3 (44). – С. 7–12.
3. Аль-Камали, М. Ф. С. Х. Синтез таблетированных мишеней на основе микропорошков пирогенного кремнезема, содержащих соединения меди / М. Ф. С. Х. Аль-Камали, А. А. Алексеенко // Инновационные материалы и технологии – 2020 : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Минск, 9–10 янв. 2020 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2020. – С. 95–97.