

органического макроциклического кавитанда кукурбит[*n*]урила (СВ[*n*]). Строение полученных комплексов установлено методом рентгеноструктурного анализа (РСА) на монокристаллах.

Проведены физико-химические исследования полученных комплексов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 17-73-10213.

## РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ

Т.М. Карнаухов

Научный руководитель – к.х.н., доцент А.А. Ведягин

*Новосибирский государственный университет  
630090 Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова 2*

*Институт катализа СО РАН  
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева 5, timofey941@yandex.ru*

Большинство современных процессов многотоннажной химии, включая процессы окисления, нуждается в подаче чистого кислорода в реакционный объём. Это обусловлено, прежде всего, тем, что использование в качестве окислителя воздуха или кислородсодержащих смесей (синтетического воздуха), приводит к разбавлению продуктов окисления балластными газами – азотом, аргоном, что исключает возможность прямого рецикла отходящих газов и, в свою очередь, приводит к увеличению габаритов и стоимости аппаратного оформления.

С другой стороны, использование в качестве окислителя чистого кислорода подразумевает включение в технологическую схему узла криогенного разделения воздуха, что приводит к значительному удорожанию процесса в целом. Данная проблема побуждает исследователей и технологов искать новые способы подвода кислорода в реакционный объём.

Одним из наиболее перспективных вариантов решения обозначенных проблем представляется внедрение технологии химических циклов. Её суть заключается в том, что в качестве источника кислорода используются переносчики кислорода – прежде всего, оксиды переходных металлов, способные отдавать кислород в условиях реакции с сырьём, переходя в восстановленную форму – фазу металла или оксида с более низкой степенью окисления металла. В данном случае реализуется анаэробное окисление сырья, т.е. без подачи газообразного кислорода или воздуха в реакционный объём. Для дальнейшего использования материалы должны пройти стадию регенерации, включающую в себя реокисление восстановленных форм переносчика кислорода и отжиг углеродистых отложений. Существует

два основных способа реализации данной схемы:

1) использование двух параллельно работающих реакторов с неподвижным слоем катализатора. В то время как в одном из них протекает целевая реакция окисления, в другом производится отжиг кокса и реокисление переносчика кислорода;

2) использование взаимосвязанных реакторов с псевдооживленным слоем катализатора, что позволяет обеспечить циркуляцию переносчика кислорода вместе с катализатором.

Основными требованиями к оксиду переходного металла для его эффективного использования в качестве переносчика кислорода являются достаточно высокая реакционная способность в циклах восстановления-окисления, а также их устойчивость к спеканию и истиранию в условиях процесса. Эти факторы обуславливаются химическим составом и текстурой используемых образцов, что, в свою очередь, определяется методом их приготовления. Известно, что наибольшая эффективность процесса достигается в случае равномерного распределения оксида переходного металла в матрице носителя. Это позволяет избежать локальных перегревов активного компонента в ходе экзотермических стадий, что препятствует его спеканию, способствует сохранению частиц оксида в дисперсном состоянии и даёт возможность использовать полученный материал многократно в циклах восстановления-окисления.

В рамках данной работы был использован золь-гель метод приготовления наноструктурированных двухкомпонентных оксидных систем, содержащих оксид переходного металла ( $M_xO_y$ ) и оксид магния (MgO). Использованный метод

позволил получить равномерное распределение оксида переходного металла в матрице оксида магния [1]. Приготовленные образцы были охарактеризованы комплексом физико-химических методов (БЭТ, РФА, РЭМ, ПЭМ, ЭСДО). Была показана возможность использования синте-

зированных образцов в качестве переносчика кислорода. Начиная со второго (в случае  $\text{Co}_3\text{O}_4$ – $\text{MgO}$  системы – с первого) цикла восстановления-окисления реакция восстановления протекает в одной и той же температурной области [2].

### Список литературы

1. Vedyagin A.A., Mishakov I.V., Karnaukhov T.M., Krivoschapkina E.F., Ilyina E.V., Maksimova T.A., Cherepanova S.V., Krivoschapkin P.V. Sol-gel synthesis and characterization of two-component systems based on MgO // *J Sol-Gel Sci Technol.*, 2017.– V.82.– P.611–619.
2. Karnaukhov T.M., Vedyagin A.A., Cherepanova S.V., Rogov V.A., Stoyanovskii V.O., Mishakov I.V. Study on reduction behavior of two-component Fe–Mg–O oxide system prepared via a sol-gel technique // *Int. J. Hydrogen Energy*, 2017.– V.42.– P.30543–30549.

## СИНТЕЗ АЛЮМИНАТА Ва–Са МЕТОДОМ НЕПРЕРЫВНОГО ОСАЖДЕНИЯ

А.В. Килин, А.О. Безматерных, Ю.Б. Швалев  
Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.Б. Швалев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, alexawowa@mail.ru

Важнейшей частью металлопористых термоэлектронных катодов является активное вещество, которое представляет собой алюминат или вольфрамат бария-кальция, в основном изготавливаемые путем твердофазного синтеза [1].

Активное вещество синтезировали на экспериментальной установке [2] в непрерывном режиме. Для получения алюмината бария-кальция использовали раствор азотнокислых солей бария, кальция, алюминия и раствор карбоната натрия в качестве осадителя. Осаждение проводили при 30 °С и 50 °С при постоянном значении  $\text{pH}=7,5$ . Полученный осадок подвергали старе-

нию в маточном растворе в течение 1 суток и 5 суток, после чего фильтровали, сушили, прокаливали и исследовали методом рентгенофазового анализа. Результаты представлены на рисунке 1.

В образцах, осажденных при 30 °С, установлено содержание следующих фаз:  $\text{Ba}_2\text{CaAl}_2\text{O}_6$ ,  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CaO}$ . Содержание  $\text{Ba}_2\text{CaAl}_2\text{O}_6$  в образце, не подвергавшемся старению, составило 8,6%, но с увеличением продолжительности старения наблюдается возрастание содержания данной фазы. Так, содержание  $\text{Ba}_2\text{CaAl}_2\text{O}_6$  значительно увеличивается уже после первых суток

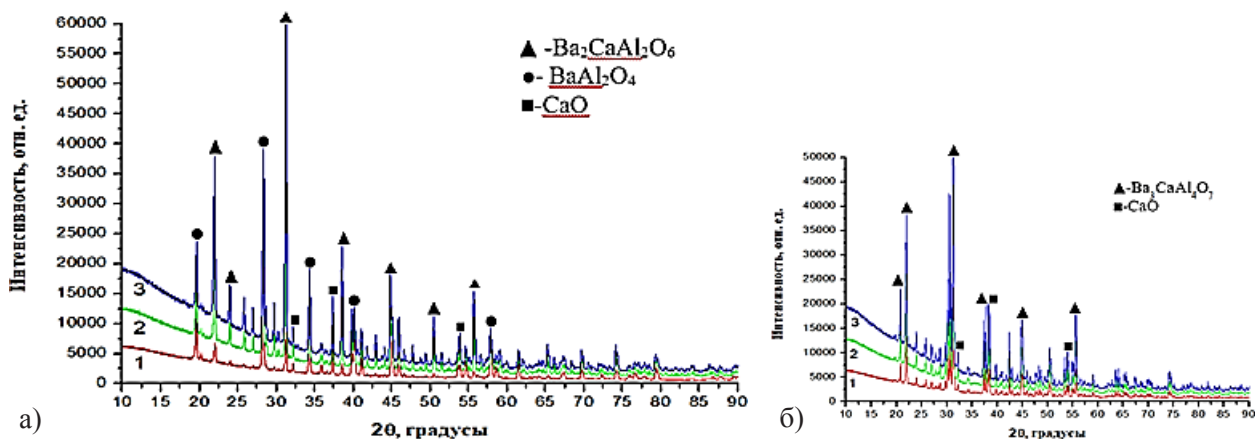


Рис. 1. Рентгенограмма образцов, осажденных при: а – 30 °С; б – 50 °С; 1 – свежееосажденный, 2 – время старения 1 суток, 3 – время старения 5 суток