

**Таблица 1.** Составы исследуемых смесей на основе оксидов системы  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 

№	Количество $\text{Al}_2\text{O}_3$ , мас. %	Количество $\text{ZrO}_2$ , мас. %	
		Нанопорошок	Микронный порошок
1	70	30	0
2	70	0	30
3	70	15	15
4	70	21	9

в лед таким образом, чтобы охлаждалось только металлическое дно. За счет различия в теплопроводности дна и стенок формы, а также за счет охлаждения только дна формы, в шликере достигался градиент температуры. В результате, кристаллы карбамида росли в заданном направлении. Полученные образцы высушивались и обжигались при температуре  $1580^\circ\text{C}$  со скоростью нагрева  $\sim 2^\circ\text{C}/\text{мин}$ . После обжига определялись пористость, плотность и водопоглощение образцов. Также была определена механическая прочность на сжатие спеченных образцов.

Открытая пористость для образцов, полученных предварительным вакуумированием горячей суспензии больше пористости образцов, которые не подвергались процессу вакуумиро-

вания (от 2 до 10%). Полученные данные свидетельствуют о том, что в процессе вакуумирования из суспензии удаляются пузыри воздуха, которые образуются в процессе приготовления суспензии и одновременно формируются однонаправленные кристаллы карбамида. Также было выявлено, что механическая прочность образцов зависит не только от состава смеси и пористости образцов, но и от направления приложения нагрузки относительно пор. Наилучший образец, полученный в ходе эксперимента, состоял из 70 мас. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 30 мас. %  $\text{ZrO}_2$  (70 мас. % микронный порошок – 30 мас. % нанопорошок), получен предварительным вакуумированием горячей суспензии. Общая пористость образца 50,77%, прочность на сжатие 148 МПа.

### Список литературы

1. Liu P.S. *Porous materials: processing and application* / P.S. Liu, G.F. Chen. – USA: Elsevier, 2014. – 560p.
2. Гузман И.Я. // *Стекло и керамика*, 2003. – №9. – С.28–31.

## КОМПЛЕКСЫ МЕТАЛЛОВ И ОРГАНИЧЕСКИЕ МАКРОЦИКЛИЧЕСКИЕ КАВИТАНДЫ КУКУРБИТУРИЛЫ

И.Е. Кармадонова<sup>1</sup>, И.В. Андриенко<sup>2</sup>, Е.А. Коваленко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет  
630090 Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова 2

<sup>2</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН  
630090 Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева 3, e.a.kovalenko@niic.nsc.ru

Интерес к комплексам металлов с органическими макроциклами: циклодекстринами, каликсаренами, кукурбит[n]урилами, обусловлен возможностью создания на их основе высокоорганизованных супрамолекулярных архитектур, сочетающих как органические, так и неорганические строительные части.

Несмотря на многочисленные исследования в области взаимодействия СВ[6] с комплексами переходных металлов в этой химии остаётся много «белых пятен», в частности, это относится к соединениям СВ[6] с различными

соединениями Zn(II), Mn(II), Co(II). Например, известен ряд супрамолекулярных соединений, в которых тетраэдры  $\text{ZnCl}_4^{2-}$  образуют «сотую структуру». В этих комплексах отсутствует прямое взаимодействие атомов цинка с кислородом порталов кукурбитурилов. Есть несколько примеров прямой координации атомов цинка к СВ[5] и замещённым СВ[6]. Для незамещённых СВ[6] таких примеров нет.

В данной работе мы сообщаем о супрамолекулярном подходе к выделению солей комплексов Zn(II), Mn(II), Co(II) с использованием

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

Проведены физико-химические исследования полученных комплексов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 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