

учреждение" Российская академия наук", 2011. – Т. 440. – №. 4. – С. 500-502.

2. Занчин Г., Леоне Г. Полиолефиновые термопластичные эластомеры, получаемые каталитической полимеризацией: преимущества, недостатки и будущие задачи // Прогресс в области науки о полимерах. – 2021. – Т. 113. – С. 101342.
3. Sun M. et al. Synthesis and characterization of polyolefin thermoplastic elastomers: A review // The Canadian Journal of Chemical Engineering. – 2023. – Т. 101. – №. 9. – С. 4886-4906.

УДК 546+544+537.312: 538.245

**О.Ю. Светлаков, А.А. Берестовая,  
Е.Ю. Капитанчук, В.В. Моряков**

Научно-исследовательский институт «Реактивэлектрон»  
г. Донецк, Россия

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАЙМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ $Zn(SO_4)$ - $Al_2(SO_4)_3$ - $Na_2O_2$ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРЕВА**

*Аннотация.* В работе рассмотрено получение алюмината цинка методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Изучено влияние доли сульфата цинка и сульфата алюминия на скорость распространения фронта горения в системе  $ZnSO_4$ - $Al_2(SO_4)_3$ - $Na_2O_2$ .

**O. Svetlakov, A. Berestovaya, E. Kapitanchuk, V. Moryakov**  
Research Institute «Reaktivlectron»  
Donetsk, Russian Federation

## **INVESTIGATION OF THE INTERACTION IN THE $Zn(SO_4)$ - $Al_2(SO_4)_3$ - $Na_2O_2$ SYSTEM UNDER DYNAMIC HEATING CONDITIONS**

*Abstract.* The paper discusses the production of zinc aluminate using self-propagating high-temperature synthesis. The influence of the proportion of zinc sulfate and aluminum sulfate on the propagation rate of the combustion front in the  $ZnSO_4$ - $Al_2(SO_4)_3$ - $Na_2O_2$  system has been studied.

Одним из основных направлений химического синтеза неорганических соединений является получение материалов со

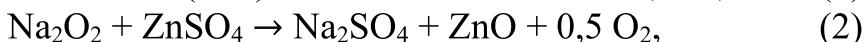
структурой шпинелей. Эти соединения используются в качестве составляющих для новых функциональных материалов.

Алюминат цинка ( $ZnAl_2O_4$ ) является востребованным полупроводником с шириной запрещенной зоны 3.8 эВ. Этот материал примечателен своей химической инертностью, термической стабильностью и высокой механической стойкостью, что делает его пригодным для применения в роли оптического покрытия, а также для различных матричных и фотоэлектронных устройств. Кроме того, алюминат цинка используется во многих каталитических реакциях, таких как крекинг, дегидратация, гидрирование и дегидрирование, а также имеет катодолюминесцентные свойства. Зачастую алюминат цинка применяется в виде тонкоплёночных структур, функциональные свойства которых в значительной степени зависят от метода синтеза и условий формирования покрытия [1].

Известны два основных метода получения алюмината цинка. Первый метод основан на термической обработке стехиометрических смесей оксидов цинка и алюминия при температуре 1400 °C в течении 12 часов. Второй метод основан на осаждении раствором аммиака растворов сульфата алюминия и цинка с образованием геля. Полученный гель прокаливают при 800 °C в течении 16 – 20 ч. С целью удаления сульфата аммония, затем прокаливают вторично при температуре 1220 °C в течении 6 – 8 ч до образования алюмината цинка.

В настоящем исследовании шпинель  $ZnAl_2O_4$  была получена методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Данный метод является весьма перспективным методом для получения шпинелей, благодаря использованию теплоты экзотермических реакций и высокой скорости протекания процесса.

Образование шпинели алюмината цинка в системе  $ZnSO_4-Al_2(SO_4)_3-Na_2O_2$  можно представить следующими основными уравнениями:



На первых стадиях идет взаимодействие сульфатов алюминия и сульфата цинка с пероксидом натрия (реак. 1, 2) соответственно. Процесс взаимодействия протекает с выделением большого количества тепла, которое разогревает систему до температуры начала взаимодействия оксида цинка и алюминия с образованием шпинели (реак. 3).

Сушка солей исходных компонентов производилась в муфельной печи, оснащенной микроконтроллерным управлением и выводом информации на компьютер. Степень сушки порошков, а также температуру начала взаимодействия между компонентами системы контролировали на установке для термогравиметрического (ТГ) и дифференциального-термического анализа (ДТА).

Для приготовления таблетки безводные порошки сульфатов металла с пероксидом натрия при различном мольном соотношении подвергали помолу в воздушной среде в мельнице шаровой барабанно-валковой, при скорости вращения барабана 400 об/мин, в течении 10 мин. Из полученной смеси порошков прессовали таблетку диаметром 23 мм и высотой 15 мм на ручном гидравлическом прессе при давлении прессования 0,75 т/см<sup>2</sup>.

Реализацию самораспространяющегося взаимодействия осуществляли на воздухе. Линейную скорость СРВ определяли исходя из длины образца и времени реакции после инициирования процесса СРВ тонкой стальной пластинкой, разогретой до 800 °C, которую прикладывали к торцевой поверхности цилиндрического образца. Секундомер отключается по изменению температуры на термопаре на блоке термопары. По высоте образца и времени горения рассчитывается линейная скорость горения. Для быстрых процессов блок управления работает в режиме запоминающего осциллографа.

Начало взаимодействия в системе ZnSO<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub> фиксируется на кривой ДТА при 260 °C в виде сильного экзотермического эффекта, который сопровождается резкой потерей массы, обусловленной выделением пероксидного кислорода (рис.1).

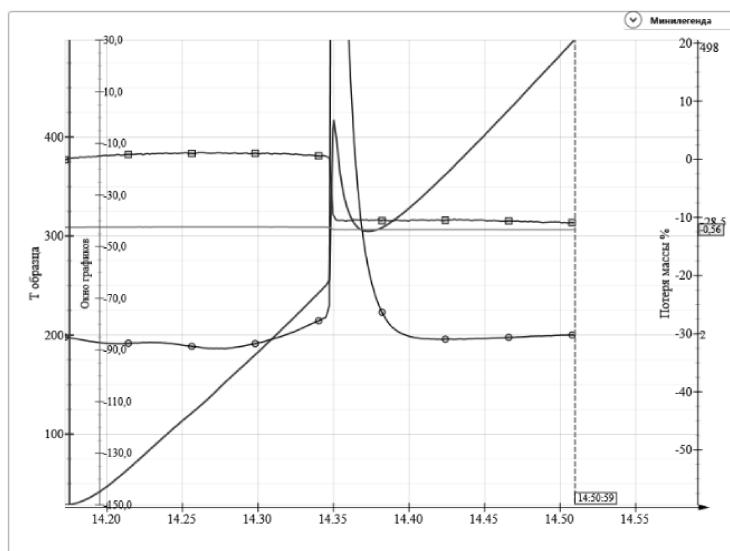


Рисунок 1 – Кривые ДТА и ТГ системы ZnSO<sub>4</sub> – Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> – Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Скорость распространения фронта горения в системе  $\text{ZnSO}_4$ - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ - $\text{Na}_2\text{O}_2$  (рис. 2) в стехиометрическом соотношении по экспериментальным данным составила 75 мм/мин. Зависимость скорости от соотношения солей в этой системе приведена на рисунке 3.



Рисунок 2 - Горение образца системы  $\text{ZnSO}_4$  -  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  -  $\text{Na}_2\text{O}_2$

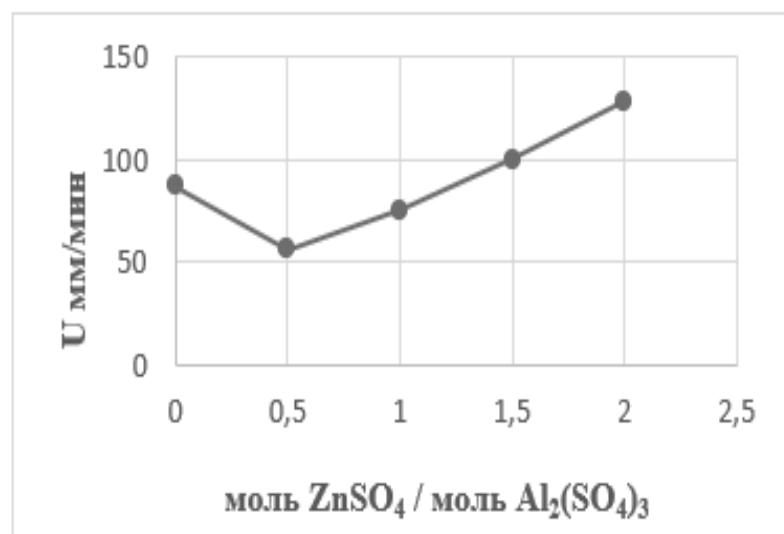


Рисунок 3 - Зависимость скорости горения от количества  $\text{ZnSO}_4$  в системе  $\text{ZnSO}_4$ - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ - $\text{Na}_2\text{O}_2$

Результаты рентгенофазового анализа продукта взаимодействия системы  $\text{ZnSO}_4$  -  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  -  $\text{Na}_2\text{O}_2$  представлены на рисунке 4. Съемка осуществлялась на рентгеновском дифрактометре HAOYUAN DX-27MINI (Cu-K $\alpha$  излучение 1,54056 Å) с шагом сканирования 0,02°, в интервале значений  $\theta$  от 10° до 60°.

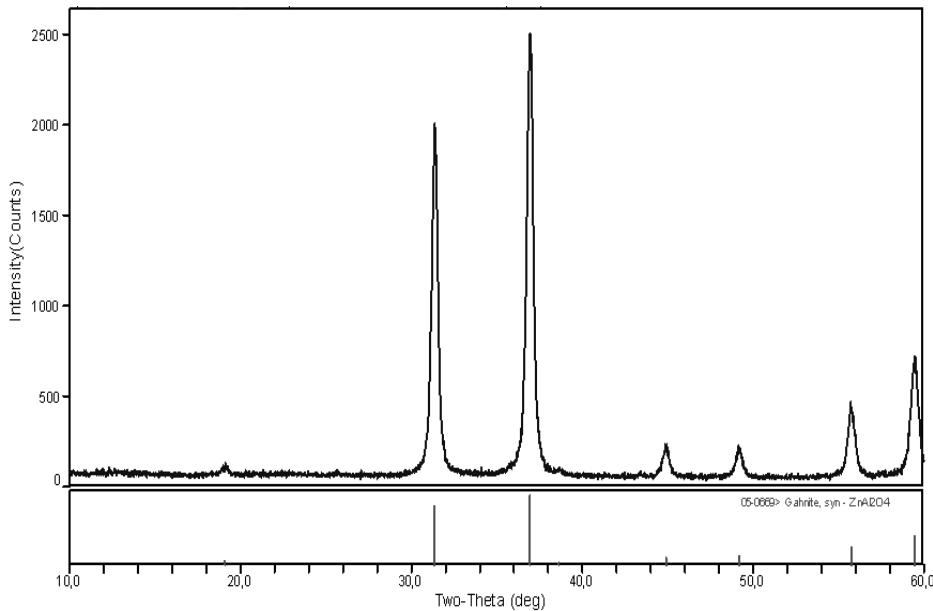


Рисунок 4 – Рентгенограмма продукта взаимодействия в системе  $\text{ZnSO}_4$  -  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  -  $\text{Na}_2\text{O}_2$  после самораспространяющегося высокотемпературного синтеза

Таким образом, по результатам рентгенофазового анализа (рис. 4), можно сделать вывод, что методом СРВ возможно получение алюмо-цинковой шпинели, при этом скорость в тройной системе  $\text{ZnSO}_4$ - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ - $\text{Na}_2\text{O}_2$  линейно увеличивается при увеличении в ней доли сульфата цинка и уменьшается с увеличением доли сульфата алюминия.

### **Список использованных источников**

1. Журавлев В.Д., Ермакова Л.В., Шерстобитова Е.А., Бамбуров В.Г. Новые никель-кобальт-марганцевые шпинели // Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах. 2021, Т. 496. № 1. С. 21-24.
2. Мнускина Ю. В., Шаповалов В. В. Взаимодействие сульфата цинка с супероксидом натрия // Вопросы химии и хим. технол., 2006. - №1. – С.15-19.
3. Берестовая А. А. Термодинамический анализ процесса горения в оксидно- и пероксидно-солевых системах / А. А. Берестовая, В. В. Шаповалов // Научный вестник НИИГД “Респиратор” – 2022. -№ 2(59). – С.26-33.