

УДК 621.3035.221.621:547.223.3

Магистрант М. Д. Круз Кари (*Maura Judith Cruz Cari*)

Науч. рук.: доц., канд. хим. наук П.Б. Кубрак (*Pavel Kubrak*)

(кафедра химии, технологии электрохимических производств  
и материалов электронной техники, БГТУ)

PhD, директор С. Н. Ушак (*Dra. Svetlana Ushak*, Head of Department  
of Chemical Engineering and Mineral Processing)

(кафедра химической технологии и переработки минерального сырья,  
университет Антофагасты (Чили))

PhD, директор М.С. Грагеда (*Dr. Mario Grageda*, Head of Center  
for Advanced Research of Lithium and Industrial Minerals (CELiMIN))

(центр перспективных исследований по литиевым и нерудным  
полезным ископаемым, Антофагаста, Чили)

**МАКРОИНКАПСУЛИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛА  
С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ  
В СИСТЕМАХ ТЕРМОАКУМУЛЯЦИИ СОЛНЕЧНЫХ  
КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

**MACROENCAPSULATION OF PHASE CHANGE MATERIAL  
USING ELECTROCHEMICAL METHOD FOR THERMAL  
ENERGY STORAGE IN CSP PLANTS**

Department of Chemical Engineering and Mineral Processing and Center for Advanced  
Research of Lithium and Industrial Minerals (CELiMIN), University of Antofagasta,  
Chile

Быстрое экономическое развитие во всем мире ведет к быстрому увеличению спроса на энергию. Однако традиционные ископаемые источники энергии ограничены, и их использование связано с выбросом вредных газов, которые ответственны за климатические изменения, глобальное потепление и загрязнение окружающей среды. Таким образом, многие исследователи разработали эффективные энергетические системы, используя нетрадиционные возобновляемые источники энергии, включая в том числе солнечную энергию. Главная проблема использования солнечной энергии состоит в том, что ее доступность часто прерывистая, переменная и непредсказуемая. Хранение тепловой энергии (TES) широко изучалось как эффективный метод экономии энергии и повышения эффективности системы отопления.

Системы хранения тепловой энергии с использованием материала фазового перехода (PCM) предлагают различные преимущества, такие как небольшая разница температур между циклами хранения и извлечения, малые размеры блока и малый вес на единицу объема хранения. Однако возникают некоторые проблемы, особенно при изъятии энергии из системы хранения, что приводит к испарению, потере материала и коррозии в среде, в которой он применяется. Было сделано много попыток преодолеть эти трудности.

Макрокапсулирование PCM представляет собой процесс покрытия твердых или жидких частиц твердой стенкой. Преимуществами макрокапсулирования являются: снижение реакционной способности PCM с внешней средой, увеличение площади теплообмена и позволяет PCM, благодаря покрытию, выдерживать частые изменения объема хранилища. Макрокапсулированные PCM используются в системах термоаккумуляции, как материал для теплоизоляции в зданиях, для терморегулирования текстиля, упаковочного материала, используемого в перевозке органов и других чувствительных к температуре продуктов, в охлаждении электронных чипов и теплообменниках.

Были изучены различные методы макрокапсулированных материалов с фазовым изменением, такие как методы физического синтеза, такие как распылительная сушка, методы физического химического синтеза, такие как комплексная коацервация и золь-гель процесс, а также методы химического синтеза, такие как суспензионная полимеризация, эмульсионная полимеризация, межфазная полимеризация, *in situ* полимеризации и конденсационной полимеризации.

В этой работе, в качестве PCM был выбран гранулированный нитрат натрия и был макрокапсулирован двухслойным покрытием графита и меди, используя электрохимический метод.

Методика исследования

Материалы

Нитрат натрия ( $\text{NaNO}_3$ ) был использован в качестве PCM за счет стабильных тепловых характеристик и высокой температуры. Графит, *n*-метил-2-пирролидон (НМП) и винилиденфторид полифторид (ПВДФ) были использованы для электрической проводимости, и смесь этих компонентов служит первым слоем покрытия на поверхности  $\text{NaNO}_3$ . Медь (Cu) была использована в качестве металлического покрытия так как Cu имеет высокую теплопроводность до  $398 \text{ Вт / (м}\cdot\text{К)}$ .

Метод

Для приготовления первого слоя покрытия, смешали графит, ПВДФ и НМП в вакуумном смесителе в течение приблизительно че-

тырех часов. В последствии, графитную смесь нанесли на  $\text{NaNO}_3$  и поместили в печь при  $80^\circ\text{C}$ . В связи с испарением органических добавок, на  $\text{NaNO}_3$  остается покрытие графита. Вторым шагом было электроосаждение  $\text{Cu}$  с использованием электрохимической ванне. Электроосаждение проводили при  $40^\circ\text{C}$  при плотности тока от 2 до 5 А, время осаждения было рассчитано для получения теоретической толщины 50-100 мкм. В качестве электролита был использован раствор сульфата меди ( $190 \text{ г / л CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $74 \text{ г / л H}_2\text{SO}_4$ ).

Теплоту фазового перехода макрокапсул и электроосажденного покрытия измеряли с помощью ДСК. Образец был смонтирован в закрытом тигле алюминия. в качестве инертной атмосферы газа использовался аргон. Скорость нагрева и охлаждения составляет  $10^\circ\text{C/мин}$  от 50 до  $350^\circ\text{C}$ .

### Результаты и обсуждение

Температура и теплота фазового перехода для гранулированного нитрата натрия, использованного в данной работе, (таблица 1) совпадает с литературными данными.  $\text{NaNO}_3$  высокую общую теплоту фазового перехода;  $143,9 \text{ Дж г}^{-1}$  с максимумом пика при  $306,7^\circ\text{C}$

**Таблица 1 – Термохимические свойства гранулированного нитрата натрия и  $\text{Cu-NaNO}_3$ .**

Теплофизические свойства образца	( $^\circ\text{C}$ )	J/g	( $^\circ\text{C}$ )	J/g
Гранулы $\text{NaNO}_3$	306,7	143,9	293,7	143,0
$\text{Cu-NaNO}_3$ Гранулы	292,9	70,1	-	-

По сравнению с гранулами  $\text{NaNO}_3$ , в полученных макроинкапсулах, энтальпия плавления снижается примерно на 50%, в то время как температура фазового перехода практически не изменилась. Такая значительная потеря теплоты плавления указывает на необходимость проведения дальнейших работ по оптимизации толщины обоих слоев покрытия и улучшения электрохимического метода нанесения меди.

### Выводы

Данное исследование было попыткой получить макроинкапсулированный материал с высокотемпературным фазовым переходом в целях применения в системах аккумуляции солнечной энергии.

В рамках этой работы, использовались гранулы неорганической соли  $\text{NaNO}_3$ , с покрытием графита и меди, используя электролитический метод. Однако, теплота плавления почти на 50% ниже, при этом параметры электроосаждения и толщина графита и меди полученных микрокапсул, будут оптимизированы.

### Благодарность

Авторы хотели бы выразить признательность за финансовую поддержку, предоставленную CONICyT / FONDAP N 15110019, FONDECyT N 1170675. Крус М. АГСИ признать агентство международного сотрудничества.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Хуан, В. Оуян, Д. Зханг, Ж. Зу, Р. Ли, Н. Ю, Углеродные материалы Усиленные алюминиевые композиты: Обзор, Acta Metall. Net. Engl. Lett. 27 75-786 (2014).
2. Ушак С. М. Круз, Ф. Голова Луис, Марио Грейджеда, Получение и определение характеристик неорганического РСМ микрокапсул с помощью метода псевдооживленной кровати. Материалы. 2-11 (2016).
3. М. М. Фарид, М. А. Khudhair, С. А. К. Razack и С. Аль-Халладж, Energy Convers. Управление., 45, 1597 (2004).
4. Ж. П. Ван, Х. В. Чжао, Н. Л. Го, Получение микрокапсул контейнера, содержащего два основных материалов фазы, Ленгмюра 20 10845 -10850. (2004)
5. А. Malfliet, Г. Deforme, Л. Стапперс и Дж. Fransaer, Синтез и характеристика композиционных покрытий для теплового Срабатывания. Журнал электрохимического общества, 154 -1 (D50-D56) 2007.
6. В. Зальба, Дж. М. Марин, Л. Ф. Руководитель, Appl. Therm. Eng., 23, 251 (2003).
7. Л. Стапперс, Ю. Юань, Дж. и Fransaer, J. Electrochem. Soc., 152, C457 (2005).
8. Р. Сарда, в Энциклопедии материаловедения и инженерии, т. 2, М. Б. Bever, Ed., Wiley, Нью-Йорк, 1986.