

ской фаз. В этом случае проявление термоЭДС связывается с существованием областей с различными химическими потенциалами и подобно термоЭДС, возникающей в термопаре. Наблюдение явления возникновения термоЭДС несомненно позволяет более полно понять процессы, происходящие при тепловом воздействии на сплавы с памятью формы при переходе из аморфного в кристаллическое состояние, а так же может найти практическое применение в качестве источников электроэнергии.

#### Список литературы

1. Фурмаков, Е.Ф. Датчик термокинетической ЭДС / Е.Ф. Фурмаков // Сборник тезисов одинадцатой Международной конференции «Крым 2004». – Судак, 2004. – С. 11-12.
2. Рубаник, В.В. Электросопротивление никелида титана при нестационарном нагреве / В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл., О.А. Петрова-Буркина // Письма о материалах. – Уфа, 2012.- Т. 2, №2. - С. 71-73.
3. Перспективные технологии и методы контроля / авт.-сост.: С.П. Беляев [и др.]. – Витебск: изд-во УО «ВГТУ», 2009. – 521с.

### МЕХАНОАКТИВАЦИЯ ПОРОШКА $Zn_2Al-V_2O_7$ С ПОМОЩЬЮ МОЩНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Рубаник В.В.<sup>1,2</sup>, Шилин А.Д.<sup>1,2</sup>, Салак А.Н.<sup>3</sup>, Рубаник В.В. мл.<sup>1,2</sup>, Шилин М.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси», г. Витебск, Беларусь,  
[ita@vitebsk.by](mailto:ita@vitebsk.by)

<sup>2</sup>УО «Витебский государственный технологический университет»,  
г. Витебск, Беларусь,

<sup>3</sup>Университет Авейро, Португалия,

<sup>4</sup>УО «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова»,  
г. Витебск, Беларусь

Мощные ультразвуковые колебания позволяют эффективно влиять на структуру материалов, а значит и их физико-механические свойства. Ультразвуковые колебания также используют при измельчении порошковых структур, при этом удается избежать загрязнений исходного состава и уменьшить агломерацию образующихся мелкоразмерной фракции [1].

В последнее время структуры слоистых двойных гидроксидов (LDH) стали объектом интенсивных исследований благодаря многочисленным приложениям, в основном обусловленных их каталитической активностью, уникальным анионным обменом [2–4] и возможности создания на их основе экономически эффективных и нетоксичных композиций. Применение LDH только в качестве абсорбентов и анионитов является весьма широким. Эти материалы находят применение в биологии и медицине для контролируемого доставки лекарств [5] в строительстве, в качестве примеси для улучшения свойства бетона [6].

Объектами исследования в данной работе являлись LDH-соединения, структуру которых можно представить в виде совокупности параллельных положительно заряженных гидроксидных слоев  $[Zn_2Al(OH)_6]^+$ , между которыми (для компенсации заряда) расположены анионы например  $V_2O_7^{4-}$ ,  $NO_3^-$  и др., и отдельные молекулы воды. LDH также рассматриваются как потенциальные наноконтейнеры ингибиторов коррозии в самовосстановлении антикоррозионных покрытий [7,8]. Порошки LDH, в частности, исследуемый цинк-алюминисвый пированадат –  $Zn(2)Al-V_2O_7$ , планируется добавлять в защитное по-

крытие для алюминиевых сплавов. Защитное покрытие представляет собой полимерный слой толщиной в несколько мкм, который наносится в жидком виде.

При приготовлении  $Zn(2)Al$ -пированадата ( $Zn_2Al(OH)_6[V_2O_7] \cdot nH_2O$ ) было обнаружено, что структура полученных соединений сильно зависит от условий приготовления [9,10] т.к. ионы ванадия в водном растворе могут образовывать множество поли типов. Наиболее хорошо кристаллизованные и однофазные образцы цинк-алюминиевого пированадата получают путем анионного обмена из предварительно синтезированного (соосаждением из раствора) цинк-алюминиевого нитрата,  $Zn(2)Al-NO_3$ . В работах [11-13] было показано, что в условиях используемых при получении данного соединения LDH, образуется именно пированадат. Частицы порошка LDH представляют собой хлопья, которые весьма склонны к образованию агломератов нерегулярной формы с размерами, превосходящими 1 мкм. Предполагается, что ультразвуковая механоактивация исходных порошков обеспечит дробление агломератов, а значит, облегчит равномерное распределение частиц LDH в полимерном слое. Полученные порошки цинк-алюминиевого пированадата подвергали ультразвуковому воздействию в течение времени 5, 15, 30 мин в спирте, а затем после высушивания исследовались. Частота ультразвуковых колебаний составляла 22 кГц. Источником колебаний служил ультразвуковой генератор УЗГ – 1 – 1 мощностью 1 кВт с магнитострикционным преобразователем.

Характерными для LDH являются два низкоугловых пика (003) и (006) ( $2\theta \sim 12^\circ$  и  $\sim 23^\circ$  для данного соединения в  $Cu$ -излучении); по их положению можно определить расстояние между гидроксидными слоями и другие важные параметры. На рисунке 1 представлены результаты рентгенодифракционных исследований образцов цинк-алюминиевого пированадата.

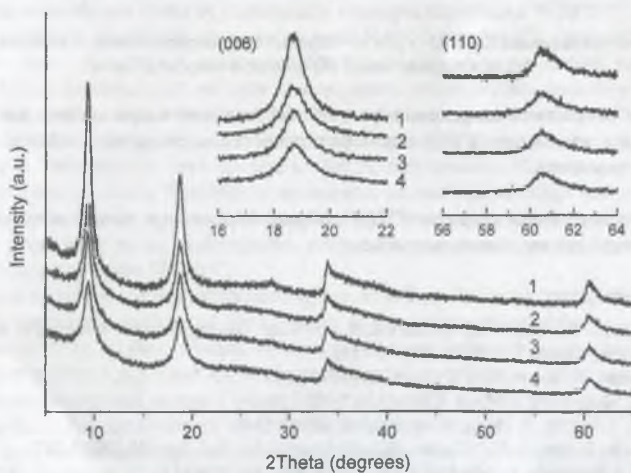


Рис. 1. Дифрактограммы образцов  $Zn(2)Al-V_2O_7$  при комнатной температуре ( $Cu$   $K\alpha$ -излучение): 1 – образец, не обработанный ультразвуком; 2, 3 и 4 – образцы, обработанные в течение 5, 15 и 30 мин в спирте. На вставках показаны области дифракционных рефлексов (006) и (110).

Как видно, обработка ультразвуком не привела к разрушению кристаллической структуры LDH и/или появлению новых фаз. Вместе с тем, наблюдаемое уширение дифракционных линий семейства (00 $l$ ) свидетельствует об уменьшении среднего размера кристаллитов в направлении кристаллографической оси  $z$  (перпендикулярной гидроксидным слоям). Измеренное значение параметра FWHM (full width at half maximum – ширина

линии на полувысоте) составило 0.85, 1.00, 0.98 и  $1.10^0$  для образцов 1, 2, 3 и 4. Значения среднего размера кристаллитов, рассчитанные с использованием формулы Шеррера, соответственно 10.7, 8.9, 9.1 и 8.1 нм. При этом, форма и ширина дифракционных линий ( $hk0$ ) не претерпела заметных изменений, позволяя предположить, что средний размер кристаллитов в плоскости  $x-y$  (параллельной гидроксидным слоям) остался неизменным.

Морфология частиц порошков  $Zn(2)Al-V_2O_7$  до и после ультразвуковой обработки была исследована с помощью сканирующего электронного микроскопа. Обнаружено, что обработка ультразвуком ведет к деагломерированию частиц (рис. 2).

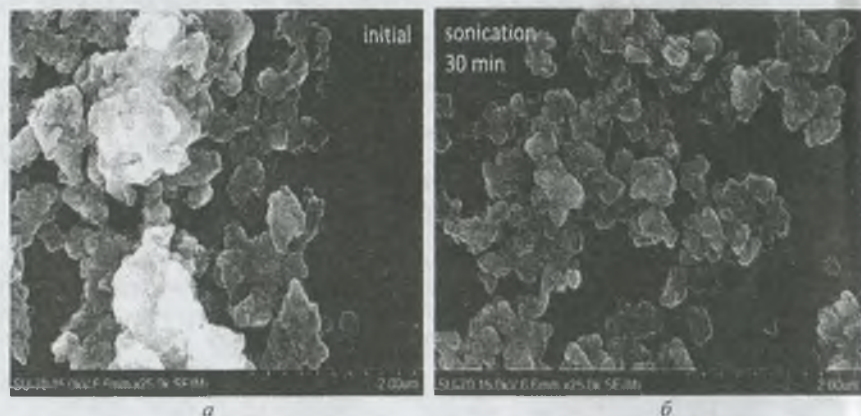


Рис. 2. Структура порошков  $Zn(2)Al-V_2O_7$ : а – образец без ультразвуковой обработки; б – порошок после ультразвуковой обработки в течение 30 мин.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности применения ультразвуковых колебаний для измельчения и деагломерации частиц в слоистых двойных гидроксидах  $Zn(2)Al$ -пированадата.

*Работа выполнена в рамках ГПНИ «Функциональные и машиностроительные материалы и технологии. наноматериалы».*

#### Список литературы

1. Рубаник В.В., Шилин А.Д., Рубаник В.В. мл. и др. Перспективные материалы и технологии / Витебск: Изд. Центр УО ВГТУ 2009. – 542 С.
2. S.P. Newman, W Jones, New J. Chem. 22 (1998) 105.
3. A.I. Khan, D. O'Hare, J. Mater. Chem. 12 (2002) 3191.
4. K.H. Goh, T T Lim, Z. Dong, Water Res. 42 (2008) 1343.
5. P. Nalawade, B. Aware, V.J. Kadam, R.S. Hirlekar, J. Sci. Ind. Res. 68 (2009) 267.
6. L. Raki, J.J. Beaudoin, L. Mitchell, Cem. Concr. Res. 34 (2004) 1717.
7. R.G. Buchheit, H. Guan, S. Mahajanam, F. Wong, Prog. Organic Coatings 47 (2003) 174.
8. G. Williams, H.N. McMurray, Electrochem. Solid-State Lett. 6 (2003) B9.
9. F. Kooli, W Jones, Inorg. Chem. 34 (1995) 6237–6238.
10. A. Bhattacharyya, D.B. Hall, T.J. Barnes, Appl. Clay Sci. 10 (1995) 57–67.
11. A.N. Salak, J. Tedim, A.I. Kuznetsova, J.L. Ribeiro, L.G. Vieira, M.L. Zheludkevich, M.G.S. Ferreira, Chem. Phys. (2012) DOI: 10.1016/j.chemphys.2012.01.026.
12. M.L. Zheludkevich, S.K. Poznyak, L.M. Rodrigues, D. Raps, T Hack, L.F. Dick, T Nunes, M.G.S. Ferreira, Corrosion Science 52 (2010) 602–611
13. A.N. Salak, J. Tedim, A.I. Kuznetsova, M.L. Zheludkevich, M.G.S. Ferreira, Chem. Phys. Lett. 495 (2010) 73–76.