

of determining the physical and mechanical characteristics of bulk products can be recommended for other foods.

In addition to the formation of the ceramic material extrusion process was considered backward extrusion of ceramic materials. For experimental verification of the results of numerical simulations, the setup is mounted on the base of the machine MR-200 was conducted indentation punches with different forms of the ends (conical and cylindrical) in the ceramic mass, which is placed in a special cylindrical container.

Keywords: disperse material, mathematical model, adequacy, experimental design technique, pressing, punch

УДК 666.653

Е.В. ХРИСТИЧ, мл. науч. сотр., НТУ «ХПИ»,

Г.Н. ШАБАНОВА, д-р техн. наук, глав. научн. сотр., НТУ «ХПИ»,

С.М. ЛОГВИНКОВ, д-р техн. наук, проф., ХНЭУ, Харьков,

О.Л. РЕЗИНКИН, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,

В.И. РЕВУЦКИЙ, асп., НТУ «ХПИ»,

Е.Г. ПОНУЖДАЕВА, зав. лаб. НИПКИ «Молния», НТУ «ХПИ»,

Е.В. СОСИНА, асп., НТУ «ХПИ»,

В.В. ЛЕДЕНЕВ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»,

В.Г. КОБЗИН, канд. техн. наук, доц., ХНЭУ, Харьков

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОСНАСТКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЕГНЕТОМАГНИТНЫХ КОМПОЗИТНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ТИТАНАТОВ СТРОНЦИЯ И БАРИЯ

В статье приведены результаты исследования в области создания композиционных сегнетомагнетиков: разработка составов, технологии и оснастки для изготовления деталей, используемых в качестве рабочего тела нелинейных формирующих приборов. Исследование электрофизических характеристик данного композита проводилось методом Сойлера-Тауера при температурах 25 – 70 °С. Разработана пресс-форма для апробирования перспективных вариантов получения слоистого сегнетомагнитного композита из синтезированных сегнетокерамических материалов, в сочетаниях с ферритом и карбонильным железом.

Ключевые слова: сегнетомагнитный композит, барийстронциевые титанаты, пресс-форма, нелинейность, петля гистерезиса, импульсные генераторы.

Введение. Развитие научно-технического прогресса в значительной мере связано с достижениями в области прикладного материаловедения, важнейшей задачей которого является создание высокоэффективных материалов

с заданным комплексом свойств. Достаточно интересны при разработке функциональных материалов нелинейные системы, свойствами которых можно управлять с помощью внешних полей – электрического, магнитного, механического. Такие материалы используются при создании перестраиваемых элементов связи (радиофильтров, твердотельных генераторов и др.) и являются системами, в которых спонтанно возникает поляризация, намагниченность или механические деформации. Особо интересны в этом плане мультиферроики – материалы, одновременно имеющие хотя бы два из трех параметров структурно-фазовой упорядоченности – магнитный, электрический или механический. В настоящее время синтезирован ряд однофазных систем, в которых одновременно проявляется спонтанное магнитное и электрическое упорядочение (сегнетомагнетики), но недостатком однофазных систем является слабое проявление сегнетоэлектрических и магнитных свойств в различных температурных диапазонах, что затрудняет их применение в технике [1 – 3]. В связи с этим достаточно актуально исследование в области создания композиционных сегнетомагнетиков: разработка составов, технологии и оснастки для изготовления деталей, используемых в качестве рабочего тела нелинейных формирующих приборов.

Экспериментальная часть. Прессование является относительно простой в реализации технологией формирования слоистых нелинейных композитных материалов [4, 5]. Данная технология предполагает создание слоев из частиц порошка сегнетокерамики и карбонильного железа или феррита с соответствующим полимерным наполнителем, спрессованных в соответствующей пресс-форме. Для исследования поляризации и намагничивания сегнетомагнитных композитов сформованы образцы, соответственно, в форме плоских цилиндров и колец. Диаметр экспериментальных образцов на порядок превосходит их высоту.

В процессе формирования сегнетоэлектрического композита использовался синтезированный заранее [6, 7] порошок твердого раствора состава $(\text{Ba}_{0.75}\text{Sr}_{0.25})(\text{Ti}_{0.95}\text{Zr}_{0.05})\text{O}_3$ чередуясь слоями с полимерным наполнителем. Давление при формировании композита составляло 4 МПа.

В качестве полимерного связующего-наполнителя использовался эмульсионный поливинилхлорид. Ферромагнитные слои композита образованы смесями ферритов (никель-цинковый феррит марки 60НН) и карбонильного

железа с эмульсионным поливинилхлоридом (в качестве пластификатора для прессования ферритового порошка был использован стеарат цинка ($C_{36}H_{70}O_4Zn$)). Обжиг проводился в печи муфельного типа при температуре 800 °С (в окислительной среде) с выдержкой при максимальной температуре 1 час.

Для изготовления образцов композита в виде таблеток и колец была разработана и изготовлена специальная технологическая оснастка. Стальная пресс-форма в разобранном и собранном виде представлена на рис. 1 и 2.

Пресс-форма состоит из нижней основы (1), верхней фиксирующей крышки (2), с помощью которой прижимаются шайбы (3). С помощью шайб регулируется толщина каждого следующего слоя образца. Прессование непосредственно обеспечивается верхним (4) и нижним (5) пуансонами. Для создания отверстия в образце используется разборная шпилька (6).

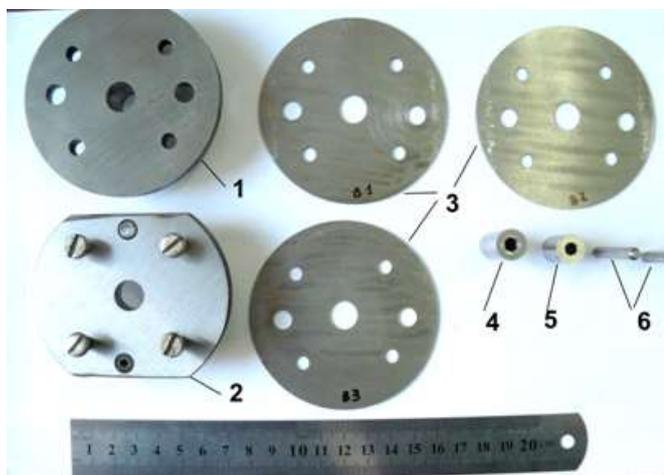


Рис. 1 – Пресс-форма в разобранном виде



Рис. 2 – Пресс-форма в собранном виде

С помощью разработанной формы были получены образцы слоистого сегнетомагнитного композита с чередующимися сегнетоэлектрическими и ферромагнитными слоями в виде таблеток и плоских колец толщиной до 2 мм, диаметром 9,5 мм и площадью, нанесенных на их поверхность серебряных электродов, до 50 мм² (рис. 3). Исследование электрофизических характеристик данного композита проводилось методом Соьера-Тауера при температурах 25 – 70 °С.

Исследования проводились на экспериментальных стендах, и в соответствии с методиками [8], идентичными для образцов сегнетокерамики, синтезированных по технологии высокотемпературного синтеза. Установлено, что изменяя соотношение толщин сегнетоэлектрических и ферромагнитных слоев

композита, можно в широких диапазонах и независимо друг от друга влиять на нелинейность его диэлектрической и магнитной проницаемостей. Формы зарегистрированных зависимостей магнитной индукции (B) от напряженности поля (H) свидетельствуют о возможности практического использования полученных композитов как рабочей среды высоковольтных нелинейных формирующих линий. Регистрация осциллографом сигналов, пропорциональных намагниченности и индукции магнитного поля, позволяет наблюдать на экране петли магнитного гистерезиса, построенные для исследуемого экспериментального образца. Для строительства петель гистерезиса использовалась программа Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Внешний вид полученных образцов слоистого сегнетомагнитного композита с чередующимися сегнетоэлектрическими и ферромагнитными слоями в виде колец представлен на рис. 3.



Рис. 3 – Опытные композитные образцы 2-х и 5-ти слойного сегнетомагнитного композита

На рисунке 4 представлены микрофотографии поверхности излома полученного композитного образца, изготовленного по разработанной технологии.

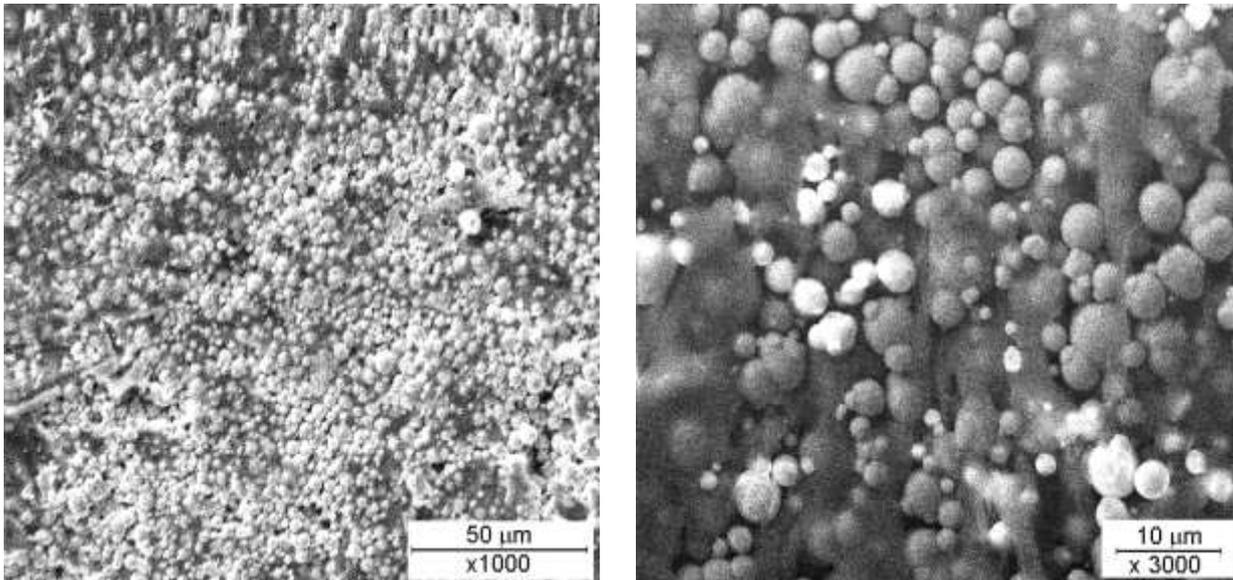
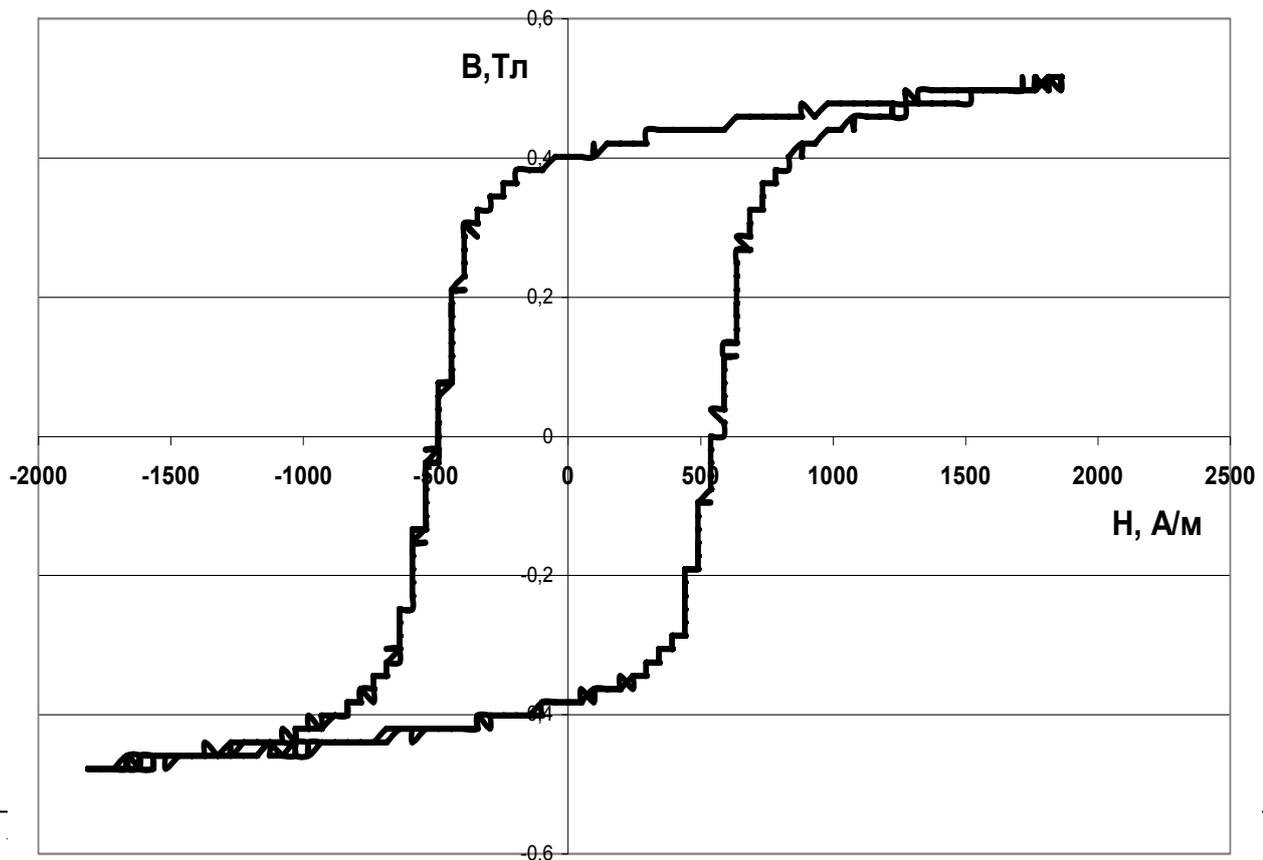


Рис. 4 – Поверхность излома сегнетомагнитного композитного образца (сегнетокерамический слой и ферромагнитный слой).

В результате анализа структуры композита видно, что смешение сегнеточастиц и частиц феррита имеет случайный характер, что разграничивает их электрофизические возможности, и позволяет использовать композиты в качестве мультиферроика.

На рисунке 5 приведена петля магнитного гистерезиса и основные параметры для частоты 1 кГц.



$$B_m = 0,52 \text{ Тл}, H_m = 1616 \text{ А/м}, H_c = 540 \text{ А/м}, B_s = 0,40 \text{ Тл}.$$

Рис. 5 – Петля гистерезиса композитного материала при частоте 1 кГц

Из рисунка 5 видно, что при высоких значениях напряженности электромагнитных полей обеспечивается высокий уровень нелинейности характеристик, а судя по площади петли гистерезиса – существуют небольшие потери на изменение ориентировки доменов в соответствие с изменением направления векторов электрической и магнитной напряженностей.

Заключение.

Разработана пресс-форма для апробирования перспективных вариантов получения мультиферроика – слоистого сегнетомагнитного композита из синтезированных сегнетокерамических материалов, в сочетаниях с ферритом и карбонильным железом. Полученные композиты были испытаны в формирующих линиях импульсных генераторов, в качестве сегнетомагнитной рабочей среды, позволяющей получать ударные электромагнитные волны при постоянном волновом сопротивлении, индукция насыщения (B_m) которых составила 0,52 Тл, при напряженности магнитного поля (H_m) 1616 А/м, остаточная индукция (B_s) – 0,4 Тл, коэрцитивная сила (H_c) – 540 А/м.

Список литературы: 1. Белоус А.Г. Мультиферроики: синтез, структура и свойства / А.Г. Белоус, О.И. Вьюнов // Укр. хим. Журнал. – 2012. – Т. 78, № 7. – С. 3 – 31. 2. Веневцев Ю.Н. Сегнетомагнетики / Ю.Н. Веневцев, В.В. Гагулин, В.Н. Любимов. – М.: Наука, 1982. – 187 с. 3. Веневцев Ю.Н. Сегнетомагнетики / [Ю.Н. Веневцев, Г.С. Жданов, Ю.Е. Рогатинская и др.]. – Ростов-на-Дону: РГУ, 1968. – 155 с. 4. Tretyakov Yu.D. Cryochemical Technology of advanced materials / Yu.D. Tretyakov, N.N. Oleynikov, O.A. Shlyakhtin. – London: Chapman and Hall, 1997. – 319 p. 5. Левин Б.Е. Физико-химические основы получения, свойств и применения ферритов / Б.Е. Левин, Ю.Д. Третьяков, Л.М. Летюк. – М.: Металлургия, 1979. – 472 с. 6. Шабанова Г.Н. Синтез сегнетокерамических материалов на основе композиций системы SrO – BaO – TiO₂ / [Г.Н. Шабанова, Е.В. Христич, С.М. Логвинков и др.] // Вісник НТУ «ХПІ». – 2008. – № 41. – С. 169 – 174. 7. Христич Е.В. Сегнетокерамические материалы с нелинейными электрофизическими свойствами в системе BaO – SrO – TiO₂ / Е.В. Христич, Г.Н. Шабанова, С.М. Логвинков // Огнеупоры и техническая керамика. 2012. – № 7-8. – С. 35 – 40. 8. Резинкин О.Л. Методика экспериментального исследования свойств сегнетоэлектриков в импульсных электрических полях / О.Л. Резинкин, В.В. Вытришко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2008. – № 13. – С. 37 – 42.

References: 1. Belous A.G. Multiferroiki: sintez, struktura i svoystva / A.G. Belous, O. I. Vyunov // Ukr. Khim. Zhurnal. – 2012. – Vol. 78, № 7. – S. 3-31. 2. Venevtsev Yu.N. Segnetomagnetiki / Yu.N. Venevtsev, V.V. Gagulin, V.N. Lyubimov. – Moscow: Nauka, 1982. – 187 s. 3. Venevtsev Yu.N. Segnetomagnetiki / [Yu.N. Venevtsev, G.S. Zhdanov, Yu.E. Rogatinskaya i dr.] – Rostov-na-Donu: RGU, 1968. – 155 s. 4. Tretyakov Yu.D. Cryochemical Technology of advanced materials / Yu.D. Tretyakov, N.N. Oleynikov, O.A. Shlyakhtin. – London: Chapman and Hall, 1997. – 319 p. 5. Levin B.E. Fiziko-himicheskie osnovyi polucheniya, svoystv i prime-neniya ferritov / B.E. Levin, Yu.D. Tretyakov, L.M. Letyuk. – Moscow:

Metallurgiya, 1979. – 472 s. **6.** *Shabanova G.N.* Sintez segnetokeramicheskikh materialov na osnove kompozitsiy sistemy SrO – BaO – TiO₂ / [*G.N. Shabanova, E.V. Hristich, S.M. Logvinkov i dr.*] // Visnyk NTU «KhPI». – 2008. – № 41. – S. 169 – 174. **7.** *Hristich E.V.* Segnetokeramicheskie materialy s nelineynymi elek-trofizicheskimi svoystvami v sisteme BaO – SrO – TiO₂ / *E.V. Hristich, G.N. Shabanova, S.M. Logvinkov* // Ogneupory i tehnikeskaya keramika. – 2012. – № 7-8. – S. 35 – 40. **8.** *Rezinkin O.L.* Metodika eksperimentalnogo issledovaniya svoystv segnetoelektrikov v impulsnyih elektricheskikh polyah / *O.L. Rezinkin, V.V. Vyitrishko* // Visnyk NTU «KhPI». – 2008. – № 13. – S. 37 – 42. (in Russian)

Поступила в редколлегию (Received by the editorial board) 10.11.14

УДК 666.653

Разработка технології та оснастки для изготовления сегнетомагнитных композитных структур на основе титанатов стронция и бария / Г.М. ШАБАНОВА, О.В. ХРИСТИЧ, О.Л. РЕЗИНКИН, В.І. РЕВУЦЬКИЙ, О.Г. ПОНУЖДАЄВА, О.В. СОСІНА, В.В. ЛЕДЕНЬОВ, С.М. ЛОГВИНКОВ, В.Г. КОБЗИН // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 53 (1095). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 147 – 153. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0821.

У статті наведено результати дослідження в області створення композиційних сегнетомагнетиків: розробка складів, технології та оснащення для виготовлення деталей, що використовуються в якості робочого тіла нелінійних формуючих приладів. Дослідження електрофізичних характеристик композиту проводилося методом Соєра-Тауєра при температурах 25 – 70 °С. Розроблено прес-форма для апробування перспективних варіантів отримання шаруватого сегнетомагнітного композиту з синтезованих сегнетокерамічних матеріалів, в поєднаннях з феритом і карбонільним залізом.

Ключові слова: сегнетомагнітний композит, барійстронцієві титанати, прес-форма, не лінійність, петля гістерезису, імпульсні генератори.

UDC 666.653

Development of technology and tools for making ferromagnetic composite structures based on strontium titanate and barium / G.N. SHABANOVA, E.V. KHRISTICH, O.L. REZYNKIN, V.I. REVUTSKY, H.G. PONUZHDAYEVA, E.V. SOSINA, V.V. LEDENYOV, S.M. LOGVINKOV, V.G. KOBZIN // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 53 (1095). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 147 – 153. – Bibliogr.: 8 names. – ISSN 2079-0821.

In the article the results of research in the field of composite ferromagnetic creation, including compound composition, technology and equipment for products manufacturing being used in the nonlinear forming devices, are presented. Investigation of electrophysical characteristics of given composite was carried out by Sawyer-Tower method at temperatures 25 – 70 °C. Press last for testing prospective variants for obtaining the layered composite from synthesized ferroelectric materials in combination with ferrite and carbonyl iron, was designed.

Key words: ferroelectromagnetic composite, barium – strontium titanates, mold, non-linearity, hysteresis loop, pulse generators.

УДК 666.9.015.66