

УДК 621.315.611

Влияние титаната бария на электрофизические характеристики терморезистивного материала

^{1,2} Кукушина К. Г., ² Еремин Е. Н., ¹ Тищенко Н. М., ¹ Кохнюк Д. Д.

¹ Центральное конструкторское бюро автоматики
г. Омск, 644027, Космический пр., 24а, Российская Федерация
KukushinaKG@ckba.net

² Омский государственный технический университет
г. Омск, 644050, пр. Мира, 11, Российская Федерация

Получено: 28 декабря 2021 г.

Отрецензировано: 12 января 2022 г.

Принято к публикации: 14 января 2022 г.

Аннотация: *Исследовано влияние введения титаната бария на электрофизические характеристики композиционного материала. Приведена технология получения композиционного материала. Представлены физико-механические и диэлектрические свойства наполненного материала. Установлено, что наполнение 30 % масс. титаната бария повышает диэлектрическую проницаемость в 1,5 раза.*

Ключевые слова: *титанат бария, эпоксидные реактопласты, диэлектрическая проницаемость, наполнители.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Влияние титаната бария на электрофизические характеристики терморезистивного материала / К. Г. Кукушина [и др.] // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2021. Т. 4, № 4. С. 301—307.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.100—2018): Влияние титаната бария на электрофизические характеристики терморезистивного материала / К. Г. Кукушина, Е. Н. Еремин, Н. М. Тищенко, Д. Д. Кохнюк // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2021. — Т. 4, № 4. — С. 301—307.

The Influence of Barium Titanate on the Electrophysical Characteristics of a Thermosetting Material

K. G. Kukushina^{1,2}, E. N. Eremin², N. M. Tishchenko¹,
and D. D. Kokhniuk¹

¹ Central Design Bureau of Automatics
24a Kosmicheskoy pr., Omsk, 644027, Russian Federation
KukushinaKG@ckba.net

² Omsk State Technical University
11 Mira ave., Omsk, 644050, Russian Federation

Received: December 28, 2021

Peer-reviewed: January 12, 2022

Accepted: January 14, 2022

Abstract: The influence of the barium titanate insertion on the electrophysical characteristics of the composite material is investigated. The technology of obtaining a composite material is presented. The physicomechanical and dielectric properties of the filled material are presented. It was found that the filling is 30 % of the mass. barium titanate increases the dielectric constant by 1.5 times.

Key words: barium titanate, epoxy thermosets, dielectric constant, fillers.

For citation (IEEE): K. G. Kukushina et al. "The influence of barium titanate on the electrophysical characteristics of a thermosetting material," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 4, no. 4, pp. 301–307, 2021. (In Russ.).

1. Введение

Создание новых материалов с заданными функциональными свойствами продолжает оставаться одним из важнейших направлений при разработке современной радиоаппаратуры. Это обусловлено повышением технических требований к СВЧ-устройствам. Так, например, к антеннам предъявляют требования максимальной широкополосности при минимальных габаритах. Одним из вариантов решения данной тактико-технической задачи является применение материалов, обладающих повышенной диэлектрической проницаемостью. Кроме того, данные материалы должны обеспечивать заданный интервал рабочих температур, влагостойкость, обладать достаточной механической прочностью и ударостойкостью, а также иметь значительный ресурс эксплуатации [1, 2].

Традиционно для изготовления корпусов спиральных антенн применяются реактопласты на основе эпоксидной смолы [3]. Благодаря этому антенные эле-

менты обладают хорошими механическими свойствами, низким водопоглощением и усадкой. Однако относительная диэлектрическая проницаемость данного материала равна 4,2—4,4. Для увеличения данной характеристики материала можно использовать различные способы, например, введение наполнителя с более высокой диэлектрической проницаемостью [4, 5]. В качестве такого наполнителя можно использовать титанат бария, так как богатые *Ti* соединения в системе *BaO — TiO₂* показывают высокую относительную диэлектрическую проницаемость и низкие диэлектрические потери. Следовательно, введение титаната бария в материал должно позволить получить композиционные материалы с высокими радиотехническими характеристиками (РТХ). Кроме того, соединения титана повышают прочность, ударостойкость и теплостойкость композита [6].

Для определения диэлектрической проницаемости смеси используют соотношение Лихтенекера [7]. Оно связывает диэлектрическую проницаемость компонентов и их доли в системе и позволяет рассчитать предполагаемую диэлектрическую проницаемость композита.

В работе [8] представлены результаты использования титаната бария в качестве наполнителя для композита на основе полиметилсилоксана. Показано, что максимальное введение *BaTiO₃* в полимерную основу способствовало повышению диэлектрической проницаемости на 20 %. Однако для изготовления корпусных элементов используют более прочные конструкционные материалы, работающие в условиях вибрационных нагрузок.

В связи с вышеизложенным целью настоящей работы была проверка возможности повышения диэлектрической проницаемости конструкционного эпоксидного реактопласта путем введения титаната бария. Также необходима оценка возможности изготовления антенных элементов из композиционного материала с улучшенными РТХ.

2. Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлся композиционный материал на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-8. В качестве отвердителя — диаминодифенилметан, а также краситель и ускоритель УП-0632. Наполнителем являлся титанат бария марки ТБК-1 с мольным соотношением *BaO/TiO₂*, равным 0,95. Средний размер частиц наполнителя 0,5 мкм.

Композиционный материал изготавливался смешением компонентов в лабораторной мельнице с шарами из нержавеющей стали диаметром 15 мм в течение 5 мин. Таким образом, были изготовлены экспериментальные образцы композиционного материала с содержанием титаната бария 7, 15 и 30 % масс. Дальнейшее введение наполнителя в материал было нетехнологично в связи с неравномерной пропиткой композита.

Далее методом литьевого прессования из полученных образцов композита были изготовлены пластины, а затем и антенные элементы. Режимы изготовления представлены в таблице 1.

Таблица 1. Режимы изготовления образцов.

Table 1. Modes of molding samples

Параметры	Значение
Температура прессования, °C	125—145
Удельное давление, МПа	20—35
Количество подпрессовок, шт	2—3
Выдержка под давлением, мин	
— пластина	14
— антенный элемент	25
Термическая обработка:	
— время, ч	8
— температура, °C	155—165

Измерения диэлектрической проницаемости образцов композиционных материалов проводили в X-диапазоне СВЧ. Для измерения использовался измеритель модуля коэффициента передачи и отражения P2M-18 в режиме измерения КСВН, согласованная нагрузка, волновод 10×23 мм. Были изготовлены плоские образцы размером (5—7)×23×10 мм.

Твердость плоских образцов измеряли твердомером ТН 210 на испытательном стенде *TIME High Technology Ltd*. Измерения проводились в соответствии с ГОСТ 24621-2015 (ISO 868:2003) «Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Шору)», нагрузка — 4,5 кгс.

Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований была проведена с применением программного продукта *STATIC-2* [9].

3. Результаты исследования

Итогами проведенной экспериментальной работы по проверке влияния введения титаната бария в эпоксидный материал явились следующие результаты.

Диэлектрические и физико-механические свойства полученных образцов композиционных материалов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Диэлектрические и физико-механические свойства композиционных материалов.

Table 2. Dielectric and physico-mechanical properties of composite materials

Показатели	Содержание наполнителя BaTiO ₃ , масс. %			
	0	7	15	30
Внешний вид и цвет	Порошок зеленого цвета	Порошок светло-зеленого цвета	Порошок кремowego цвета со светло-зеленым оттенком	
Диэлектрическая проницаемость, частота 10 ¹⁰ Гц	4,4	5,1	6,5	7,6
Твердость по Шору, HD	80	82	84	87
Усадка, %	0,5	0,2	0,1	0,1

Из полученных данных следует, что при введении диэлектрического наполнителя в композиционный материал наблюдается повышение твердости образцов — при содержании 30 % масс $BaTiO_3$ твердость максимальна и равна 87 HD.

Из данных таблицы 2 видно, что при введении титаната бария в композиционный материал диэлектрическая проницаемость существенно возрастает с 4,4 до 7,6 (при максимальном наполнении). Измеренные значения диэлектрической проницаемости образцов соответствуют рассчитанным по формуле Лихтенекера. Соответствие значений диэлектрической проницаемости образцов, рассчитанных и полученных экспериментально, представлено на рис. 1.

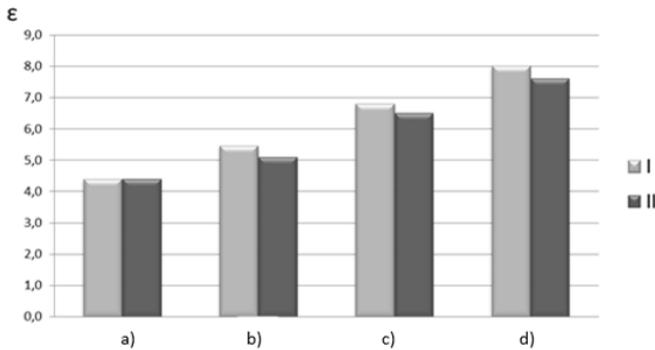


Рис. 1. Диэлектрическая проницаемость образцов:
I — уравнение Лихтенекера; II — экспериментальные данные
а) УП-284С; б) УП-284С + 7 % масс. $BaTiO_3$;
в) УП-284С + 15 % масс. $BaTiO_3$; д) УП-284С + 30 % масс. $BaTiO_3$.

Fig. 1. The dielectric constant of samples:
I – Lichtenecker equation; II – experimental data
a) UP-284 S; b) UP-284 S + 7 % of the $BaTiO_3$ mass;
c) UP-284 S + 15 % of the $BaTiO_3$ mass; d) UP-284 S + 30 % of the $BaTiO_3$ mass

Затем из полученного композиционного материала методом литьевого прессования были изготовлены корпусные элементы антенны. Технологические режимы указаны в таблице 1. Полимерная основа композиционного материала диановая смола ЭД-8 пропитывает наполнитель $BaTiO_3$, тем самым обеспечивает отличную текучесть композита и равномерное заполнение пресс-формы.

Усадка образцов уменьшается при увеличении содержания титаната бария до 0,1 %, что оказывает положительный эффект при изготовлении элементов конструкционного назначения. Были изготовлены корпусные элементы спиральных антенн в количестве 5 образцов. Все детали полностью соответствовали техническим требованиям нормативных документов и не имели дефектов.

Таким образом, результаты данной исследовательской работы показывают, что путем введения титаната бария возможно создание нового технологичного композиционного материала с повышенной диэлектрической проницаемостью. Следует отметить, что данный композит пригоден для изготовления деталей конструкционного назначения методом литьевого прессования.

4. Заключение

В результате проведенной исследовательской работы рассмотрено влияние титаната бария на электрофизические характеристики композита.

Установлено, что введение титаната бария позволило увеличить относительную диэлектрическую проницаемость композиционного материала на 50 % при содержании наполнителя 30 % масс.

Список литературы

1. Корякова З. В. Керамические материалы в СВЧ-технике // Компоненты и технологии. 2011. № 5. С. 184—186.
2. Филатова Т. Н., Гиренко Т. Н. Повышение физико-механических свойств полимерных материалов путем введения нанодисперсных наполнителей // Вопросы радиоэлектроники, серия общетехническая. 2009. № 4. С. 73—79.
3. Патент 2293406 (РФ). МКП H01Q 1/36. Антенный элемент и способ его изготовления / Короткова Л.А., Коробейников Г. В., Зайцева Н. В. Заявитель и патентообладатель АО «ЦКБА». Заявлено 2005111490/09, 18.04.2005, Оpubл. 10.02.2007. Бюл. № 4.
4. Володько К. Л., Ястребов А. С. Расчет диэлектрической проницаемости композиционных материалов на основе статических смесей диэлектриков // Проектирование и технология электронных средств. 2003. № 3. С. 38—39.
5. Nayak S., Chaki T., Khastgir D. Dielectric relaxation and viscoelastic behavior of polyurethane-titania composites : dielectric mixing models to explain experimental results // Polymer Bulletin. 2016. Vol. 74. P. 369—392.
6. Ксантос М. Функциональные наполнители для пластмасс. СПб. : Научные основы и технологии, 2010. 462 с.
7. Гуртовник И. Г., Соколов В. И., Трофимов Н. Н., Шалгунов С. И. Радиопрозрачные изделия из стеклопластиков. М. : Мир, 2002. 368 с.
8. Озвов Д. А., Соловьев Е. В., Строганов К. А., Сучков Е. С. Исследование диэлектрических свойств композиционного материала на основе полиметилсилоксана (ПМС) с добавлением порошка титаната бария BaTiO₃ // Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2016. С. 73—78.
9. Вершинин В. И., Перцев Н. В. Планирование и математическая обработка результатов химического эксперимента. Омск : Изд-во ОмГУ, 2005. 216 с.

Информация об авторах

Кукушина Ксения Геннадьевна, инженер-технолог I кат. сектора новых материалов и технологий Центрального конструкторского бюро автоматики, г. Омск, Российская Федерация; аспирант III курса Омского государственного технического университета, г. Омск, Российская Федерация. ORCID 0000-0001-9959-5670.

Еремин Евгений Николаевич, д. т. н., профессор Омского государственного технического университета, г. Омск, Российская Федерация. ORCID 0000-0001-7357-8194.

Тищенко Наталья Михайловна, ведущий инженер-технолог сектора новых материалов и технологий Центрального конструкторского бюро автоматики, г. Омск, Российская Федерация.

Кохнюк Данил Данилович, ведущий инженер Центрального конструкторского бюро автоматики, г. Омск, Российская Федерация.

Information about the authors

Ksenia G. Kukushina, process engineer I cat. of the sector of new materials and technologies of Central Design Bureau of Automatics, Omsk, Russian Federation; graduate student III courses of Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation. ORCID 0000-0001-9959-5670.

Evgeniy N. Eremin, Dr. Tech. Sc., Professor of Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation. ORCID 0000-0001-7357-8194.

Natalia M. Tishchenko, lead process engineer of the sector of new materials and technologies of Central Design Bureau of Automatics, Omsk, Russian Federation.

Danil D. Kokhniuk, lead engineer of Central Design Bureau of Automatics, Omsk, Russian Federation.