

Применение эпоксидных прессовочных материалов и композитов на их основе в изделиях радиоэлектронного назначения

К.Г. Кукушина^{1,2}, М.А. Федорова², Е.Н. Еремин¹

¹Омский государственный технический университет

²АО «Центральное конструкторское бюро автоматики»

Аннотация: рассмотрена возможность применения немодифицированных и модифицированных оксидом титана эпоксидных прессовочных материалов в изделиях СВЧ-техники. Описана технология приготовления композиционного диэлектрического материала, исследованы его физико-механические и диэлектрические свойства. Установлено, что введение диоксида титана приводит к увеличению значения диэлектрической проницаемости материалов на 60 %. Показана возможность применения данных композитов для изготовления корпусов спиральных антенн.

Ключевые слова: эпоксидный пресс-материал, диоксид титана, диэлектрическая проницаемость

1. Введение

Полимерные материалы получили широкое распространение в различных областях машиностроения, СВЧ-техники и радиоэлектроники. Основным достоинством этих материалов является сочетание требуемого уровня физико-механических свойств с высокой технологичностью при изготовлении деталей различного назначения [1]. Использование полимерных материалов с заданными радиотехническими характеристиками, обусловленными их природой и составом, дает возможность совершенствовать сложнейшую радиотехническую аппаратуру.

Актуальным направлением развития СВЧ-техники является разработка либо модернизация существующих антенных систем, в частности, увеличение их широкополосности. Одним из конструктивных элементов таких систем являются спиральные антенны, поэтому изменение широкополосности возможно как за счет совершенствования конструкции самой антенны, так и за счет варьирования свойств материалов её отдельных элементов. Данные материалы должны обладать стабильными заданными значениями диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь. Кроме того, это должны быть материалы с низкими водопоглощением и усадкой, высокой механической прочностью, работающие в широком интервале рабочих температур. Данным требованиям удовлетворяет ряд полимерных прессовочных материалов на основе эпоксидно-диановой смолы.

Для расширения радиотехнических возможностей изделий, не ведущих к их конструктивным изменениям, были сопоставлены прессовочные композиции на основе эпоксидно-диановой смолы различных производителей, модифицированные наполнителями и без них; сопоставлены их физико-механические и радиотехнические характеристики. Рассмотрена возможность применения данных материалов для изготовления корпусов спиральных антенн и конструктивных элементов.

2. Подготовка образцов и результаты эксперимента

Объектами исследования были эпоксидные прессовочные материалы двух производителей (пресс-материал № 1 и пресс-материал № 2), различающиеся природой добавок, а также полимерные композиции на их основе, модифицированные

наполнителем – диоксидом титана. Прессовочные материалы представляют собой термореактивные композиции на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-8, отвердителя 4,4-диаминодифенилметана и красителя и предназначены для изготовления литьевым прессованием изделий электротехнического и конструкционного назначения, работающих в диапазоне температур от минус 60 °С до + 150 °С [2, 3]. Наполнитель – диоксид титана марки РК с размером частиц 0,1 мкм [4].

Смешение компонентов производилось в лабораторной мельнице с шарами из нержавеющей стали диаметром 15 мм, время смешения – 5 мин.

Были изготовлены образцы композиционного материала (КМ) с различным содержанием диоксида титана – 7, 15, 30 % масс. Введение большего количества диоксида титана нетехнологично из-за неравномерной пропитки композита.

Для определения физико-механических показателей материалов методом литьевого прессования были изготовлены плоские образцы размером 165x44x6 мм по режимам, приведенным в таблице 1.

Таблица 1. Режимы изготовления образцов

Параметры	Пресс-материал №1	Пресс-материал №2	КМ с диоксидом титана
Температура прессования, °С	135 ± 10	140 ± 5	155 ± 5
Удельное давление, кгс/см ²	130	130	140
Выдержка под давлением, мин	20	15	13
Масса загрузки, г	95	90	95

Все образцы изготовили на одной и той же пресс-форме в соответствии с требованиями ГОСТ 12015-66 [5] для реактопластов, термостабилизировали при температуре 150 °С в течение 4-8 часов для снятия внутренних напряжений. Параметры измерили через 24 часа после их изготовления и термообработки по ГОСТ 34206-2017 [6]. За результат испытания принимали среднее арифметическое трех параллельных измерений.

Плотность вычисляли по отношению массы образца к его объему в соответствии с ГОСТ 15139-69 [7]. Усадку определяли по разности размеров холодной пресс-формы и отформованных в ней образцов, выраженной в процентах от размеров пресс-формы в соответствии с ГОСТ 34206-2017. Твердость образцов по Шору определяли по измерению глубины вдавливания специального индентора в испытуемый материал под заданной нагрузкой. Измерения твердости проводили твердомером ТН 210 на испытательном стенде «ТІМЕ High Technology Ltd.» в соответствии с требованиями ГОСТ 24621-2015 [8]. Водопоглощение определяли по ГОСТ 4650-2014 [9], рассчитывая массу воды, поглощенной образцом заданного размера при погружении его в воду. Образцы сушили в лабораторной печи, охлаждали до температуры окружающей среды в эксикаторе под силикагелем, после взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,0001. Затем испытуемые образцы помещали в емкость с дистиллированной водой на 24 часа и снова взвешивали.

Полученные значения физико-механических показателей представлены в таблице 2.

Таблица 2. Физико-механические свойства образцов эпоксидных пресс-материалов и композиционных материалов на их основе

Параметры	Пресс-материал №1	Пресс-материал №2	КМ с различным содержанием диоксида титана, % масс.		
			7	15	30
Внешний вид и цвет	Крупнодисперсный порошок зеленого цвета	Крупнодисперсный порошок синего цвета	Среднедисперсный порошок светло-зеленого цвета	Мелкодисперсный порошок белого цвета со светло-зеленым оттенком	
Плотность, г/см ³	1,8	1,7	1,8	1,85	1,95
Усадка, %	0,11	0,090	0,04	0,03	0,03

Терморезистивные композиции № 1 и № 2 представляют собой крупнодисперсные порошки с близкими значениями плотности и усадки. Установлено, что при модификации пресс-материала диоксидом титана повышается твердость композита до 85 НД, увеличение содержания наполнителя ведет к уменьшению значений водопоглощения и усадки до 0,08 % и 0,03 % соответственно, из чего следует, что данные композиты можно использовать при более жестких условиях эксплуатации.

Измерения диэлектрических свойств образцов проводились в X-диапазоне СВЧ. Для этого использовался измеритель модуля коэффициента передачи и отражения Р2М-18 в режиме измерения КСВН, нагрузка согласованная, волновод 10×23 мм. Определялась частота, которая соответствует минимальному значению КСВН.

Полученные значения приведены в таблице 3.

Таблица 3. Диэлектрические характеристики эпоксидных пресс-материалов и композиционных материалов на их основе

Параметры	Пресс-материал №1	Пресс-материал №2	КМ с различным содержанием диоксида титана, % масс.		
			7	15	30
Диэлектрическая проницаемость (ε)	4,46	4,32	4,9	5,4	6,4
Тангенс угла диэлектрических потерь	0,011	0,013	0,011	0,009	0,009

Из данных таблицы 3 следует, что при введении диоксида титана значение ε КМ увеличивается до 6,4 при максимальном наполнении.

Полученные значения физико-механических и радиотехнических характеристик немодифицированных эпоксидных материалов сопоставлены с нормативными показателями. Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4. Сопоставление экспериментальных значений с нормативными показателями эпоксидных пресс-материалов

Параметры	Пресс-материал №1		Пресс-материал №2	
	Нормативные значения [10]	Экспериментальные значения	Нормативные значения [12]	Экспериментальные значения
Плотность, г/см ³	1,7	1,8	1,7	1,7
Усадка, %	0,05 - 0,4 [10, 11]	0,11	0,02-0,06	0,090
Диэлектрическая проницаемость (ε)	4,5 - 5	4,46	4 - 15 [13]	4,32

Экспериментальные значения физико-механических параметров соответствуют нормативным, незначительные различия связаны со случайной погрешностью при измерении. Диэлектрические свойства материалов также близки: диэлектрическая проницаемость немодифицированных пресс-материалов отличается не более чем на 6 %, по значению тангенса угла диэлектрических потерь различие составляет 0,001 — 0,003.

Далее из данных материалов методом литьевого прессования были изготовлены антенные элементы по режимам, представленным в таблице 1. Образцы композиционных материалов представляли собой гомогенные массы, связующее обеспечивало равномерную пропитку наполнителя. Детали из исследуемых материалов не имели недопрессовок, трещин, расслоений, посторонних включений (рисунок 1). Изделия, в состав которых входили корпуса антенн, при проведении типовых испытаний показали удовлетворительные результаты и соответствовали требованиям технических условий и установленной программы.



Рисунок 1. Заготовки для корпусов спиральных антенн из эпоксидных прессовочных материалов производителей АО «НПО «Стеклопластик» (слева) и ПАО «Уралхимпласт» (справа) без наполнителей.

3. Выводы и заключение

Рассмотренные в данной статье прессовочные материалы на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-8 имеют близкие значения водопоглощения, усадки, твердости, диэлектрической проницаемости и могут взаимно заменяться в производстве радиотехнической аппаратуры.

Установлено, что изделия из данных термореактивных композиций обладают высокой прочностью, хорошей водо- и химической стойкостью, стабильными значениями радиотехнических характеристик, эксплуатируются в интервале температур от минус 60 °С до + 150 °С и в условиях тропического климата.

Также в работе показана возможность повышения диэлектрической проницаемости композитов модифицированием их диоксидом титана. Установлено, что введение диоксида титана до 30 % масс, увеличивает диэлектрическую проницаемость в 1,6 раз.

Список литературы

1. Нильсен Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций: Пер. с англ. канд. техн. наук П.Г. Бабаевского. – М. : Химия, 1978.
2. ТУ 6-05751768-53-93. Материал прессовочный эпоксидный марки УП-284С. Технические условия.
3. ТУ 6-48-126-95. Материал прессовочный эпоксидный марки РП-284С. Технические условия.

4. ТУ 301-10-020-90 Двуокись титана марки РК. Технические условия
5. ГОСТ 12015-66. Пластмассы. Изготовление образцов для испытаний из реактопластов. Общие требования = Plastics. Preparation of test specimens from thermosetting plastics. General requirements : государственный стандарт Союза ССР : издание официальное : введен Постановлением Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР от 25 апреля 1966 г. : дата введения 1967-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 1988. – 18 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.
6. ГОСТ 34206-2017. Пластмассы. Метод определения усадки термореактивных материалов = Plastics – Thermosetting moulding materials – Determination of shrinkage : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 сентября 2017 г. № 1042-ст : введен впервые : дата введения 2018-07-01 / подготовлен Автономной некоммерческой организацией «Центр нормирования, стандартизации и классификации композитов, АО «Институт пластмасс» и Объединением юридических лиц «Союз производителей композитов». – Москва : Стандартинформ, 2017. – IV, 7 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.
7. ГОСТ 15139-69. Пластмассы. Методы определения плотности (объемной массы) = Plastics. Methods for the determination of density (mass density) : издание официальное : введен Постановлением Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР от 17 декабря 1969 г. № 1365 : дата введения 1970-07-01. – Москва : Издательство стандартов, 1988. - 18 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.
8. ГОСТ 24621-2015. Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Шору) = Plastics and ebonite. Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness) : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 ноября 2015 г. № 1936-ст : введен взамен ГОСТ 24621-91 : дата введения 2017-01-01 / подготовлен Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации материалов и технологий» совместно с Открытым акционерным обществом «НПО Стеклопластик», Автономной некоммерческой организацией «Центр нормирования, стандартизации и классификации композитов и Открытым акционерным обществом «Институт пластических масс имени Г.С. Петрова» при участии Объединения юридических лиц «Союз производителей композитов». – Москва : Стандартинформ, 2016. – III, 7 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.
9. ГОСТ 4650-2014. Пластмассы. Методы определения водопоглощения = Plastics. Methods for the determination of water absorption : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 мая 2014 г. № 466-ст : введен взамен ГОСТ 4650-80 : дата введения 2015-03-01 / подготовлен Объединением юридических лиц «Союз производителей композитов» и Открытым акционерным обществом «Институт пластических масс имени Г.С. Петрова». – Москва : Стандартинформ, 2014. – IV, 21 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.
10. Кацнельсон М.Ю., Балаев Г.А. Пластические массы: свойства и применение. Справочник. 3-е изд., перераб. – Л. : Химия, 1978.
11. Уралхимпласт : официальный сайт. Нижний Тагил. URL: <http://www.ucp.ru/ru> (дата обращения 21.02.23).
12. НПО Стеклопластик : официальный сайт. Москва. URL: <https://npo-stekloplastic.ru> (дата обращения 21.02.23).
13. Крыжановский В.К., Бурлов В.В., Паниматченко А.Д., Крыжановская Ю.В. Технические свойства полимерных материалов. Справочник. – СПб. : Профессия, 2003.