

## СИНТЕЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ТИПОМ СВЯЗНОСТИ 0–3 НА ОСНОВЕ ОРТОФЕРРИТА ВИСМУТА И ПОЛИМЕРОВ

Бука А. В., Мариненко А. Н., Дятлова Е. М., Попов Р. Ю.  
Белорусский государственный технологический университет  
e-mail: lesha\_buka@hotmail.com

**Summary.** *The influence of the ratio of the initial components (bismuth orthoferrite, synthesized by various methods and number of polymers) and their type on the indicators of the electrophysical properties of the material has been investigated. The regularities of changes in properties from the composition have been established.*

Целью исследования является синтез композиционных материалов на основе керамического мультиферроика – ортоферрита висмута, синтезированного различными методами, и полимеров, установление зависимости свойств от состава композита. Композиционные материалы стали чаще применяться для производства компонентов и устройств электронной техники, так как композиты сочетают в себе положительные качества его составляющих, нивелируя отрицательные.

Мультиферроики – это кристаллы, которые одновременно сочетают в себе свойства ферромагнетиков и антиферромагнетиков, сегнетоэлектриков и антисегнетоэлектриков, а также проявляют свойства сегнетоэластичности, которое определяется деформацией кристаллической решетки при фазовом переходе, в результате данного процесса возникают сегнетоэластичные домены.

Сегнетоэлектричество определяется наличием спонтанной поляризации в кристалле в определенном интервале температур без приложения электрического поля. Сегнетоэлектрические домены могут быть переориентированы в присутствии напряженности электрического поля и общая поляризация кристалла возрастет. Ферромагнетизм материала – обладание намагниченностью в отсутствии внешнего магнитного поля.

Полимеры представляют собой макромолекулы, состоящие из отдельных звеньев, соединенных между собой посредством химической или координационной связи.

Для получения композиционных материалов синтезирован сегнетоэлектрик – феррит висмута двумя методами: энергоэффективным нитрат-цитратным (НЦМ) и высокотемпературным спеканием (ВС), подобран ряд полимерных материалов (полиамид-6, термоэластопласт Б2-ИБ, полиэфирэфиркетон), отвечающих заданным требованиям электрофизических, физико-химических и эксплуатационных свойств. Для получения композиции приготовлены смеси порошков материалов, в соотношении от 25:75 до 75:25 с шагом 25 мас. %. В таблице 1 приведены составы сырьевых композиций. Образцы получены в виде дисков с радиусом 12 мм, толщиной 3 мм на гидравлическом прессе, методом полусухого прессования, в качестве связки применялся ПВС. Прессование образцов осуществлялось двухступенчатым способом, чтобы не допустить «запрессовку» воздуха внутрь материала, максимальное усилие прессования составляло 12 кН. Температура термообработки составляло от 220 до 400 °С, что обусловлено температурой плавления и деструкции полимеров.

Таблица 1 – Исходные составы опытных образцов

Наименование компонента	Номер состава и содержание компонента, мас. %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ортоферрит висмута (ВС)	25	50	75	50	50	–	–	–
Ортоферрит висмута (НЦМ)	–	–	–	–	–	25	50	75
Полиамид-6	75	50	25	–	–	–	–	–

## Продолжение Таблицы 1

Наименование компонента	Номер состава и содержание компонента, мас. %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Термоэластопласт Б2-ИБ	–	–	–	50	–	–	–	–
Полиэфирэфиркетон	–	–	–	–	50	75	50	25

В таблице 2 отображены электрофизические свойства опытных образцов.

Таблица 2 – Электрофизические свойства опытных образцов композиционных материалов

Измеряемое свойство	Номера составов и показатели свойств							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Диэлектрическая проницаемость	16 500	5000	9000	7000	19 500	9000	11 000	81 000
Тангенс угла диэлектрических потерь	0,09	0,076	0,009	0,089	0,065	0,084	0,076	0,073
$R_{из}, Ом$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^4$
$\rho_{у.из.}, КОМ \cdot м$	45,2	38,0	15,0	0,015	83,0	26,0	15,0	2,6
$ТКЕ \cdot 10^6, K^{-1}$	–137	–140	–110	–134	–130	–160	–155	–124
$E_{проб}, МВ/м$	44	53	45	41	50	60	60	37

Из таблицы видно, что опытные образцы композитов, содержащие в качестве керамической матрицы ортоферрит висмута, синтезированный нитрат-цитратным методом, обладают большим значением диэлектрической проницаемости, чем образцы, которые содержат мультиферроик, синтезированный методом высокотемпературного спекания. Данное различие обусловлено тем, что ортоферрит висмута (НЦМ) при химическом синтезе является нанодисперсным, обладает большей степенью тетрагональности перовскитовой структуры, содержит наименьшее количество примесных фаз ( $Bi_{25}FeO_{39}$ ,  $Bi_2Fe_4O_9$ ) и больше стехиометричной фазы ( $BiFeO_3$ ). Из полимеров, входящих в составы композиций, полиэфирэфиркетон оказал наименьшее влияние на показатели свойств композитов. Как правило, полимеры обладают высокими значениями сопротивления изоляции, так как данные материалы имеют низкую поверхностную плотность зарядов и поэтому не могут беспрепятственно переносить электрический заряд.

Выявлено, что с увеличением содержания полимера увеличивается значение тангенса угла диэлектрических потерь ( $tg\delta$ ), это связано с тем, что данные полимерные материалы изначально имеют достаточно высокое значение  $tg\delta$ .

Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости имеет отрицательное значение, на данную характеристику также повлиял полимер, у большинства полимеров температурный коэффициент диэлектрической проницаемости  $\sim -200 \cdot 10^6, K^{-1}$ . У материала достаточно большой показатель пробивной напряженности, так как полимерные материалы по своей природе являются диэлектриками.

В результате проведения исследования установлена зависимость свойств материалов от соотношения компонентов, вида полимерного материала, а также способа синтеза феррита висмута. Выявлено, что полиэфирэфиркетон вносит наименьшее негативное влияние на свойства композиции, и даже нивелирует некоторые отрицательные: увеличивая содержание полимера растут значения пробивной напряженности, температурного коэффициента диэлектрической проницаемости, удельное объемное электрическое сопротивление материала. Если увеличивать содержание мультиферроика, то повышаются значения диэлектрической проницаемости, снижается значение электрического сопротивления. На показатели свойств влияет способ синтеза мультиферроика, ортоферрит висмута, синтезированный нитрат-цитратным методом обладает более ярко выраженным электрическим эффектом, чем феррит висмута,

синтезированный методом высокотемпературного спекания, это обусловлено разной дисперсностью материала и их структурой.

УДК 531.781.2

## РЕШЕНИЕ ПЛОСКОЙ ЗАДАЧИ ПРИ ВЫДАВЛИВАНИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДОРОЖНЫХ РЕЗЦОВ

Быков К. Ю., Качанов И. В., Шаталов И. М.

Белорусский национальный технический университет

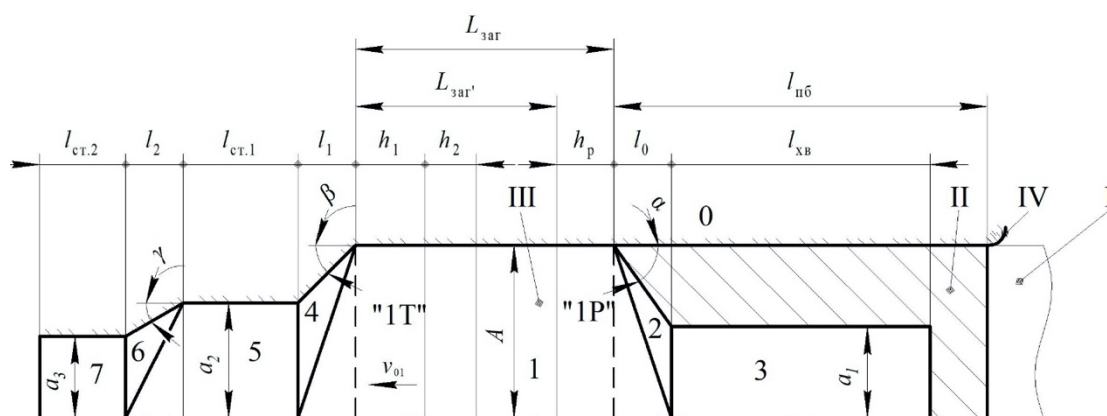
e-mail: k.bykovofficial@gmail.com

**Summary.** Equations for calculating the force acting on the punch during high-speed combined extrusion of bimetallic cutters of road milling picks under conditions of flat deformation and taking into account the stages of the process are obtained. The obtained dependences describe the optimal power mode when extruding bimetallic road milling picks.

Процесс изготовления биметаллических дорожных резцов заключается в скоростном деформировании предварительно нагретых составных заготовок. Для теоретического исследования процесса необходимо иметь представление о том, как взаимодействует система «пуансон – деформируемая заготовка».

Для решения поставленной задачи использовался метод верхней оценки, основанный на использовании кинематически возможного поля скоростей. При этом сам процесс разделяется на две стадии: стадию разгона и стадию торможения, состоящую из двух этапов. Отличительной особенностью стадии разгона является то, что она позволяет провести анализ обратного выдавливания, в процессе которого металл течет в направлении противоположном ходу пуансона.

Для расчета усилия  $P_n$ , воспринимаемого пуансоном на каждой стадии в процессе выдавливания, использовалось уравнение баланса мощностей внутренних и внешних сил и кинематически возможное поле скоростей, преобразованное из действительного непрерывного поля линий скольжения путем линейной аппроксимации. Принятое поле скоростей представлено на рис. 1. Оно состоит из недеформируемых блоков 0–7, в котором пластические области сосредоточены в треугольных зонах 2, 4, 6 и характеризуется постоянными значениями скорости и ускорения для всех точек указанных блоков, относительно неподвижной области [1, 2].



I – пуансон; II – промежуточный боек; III – заготовка; IV – полуматрица

Рисунок 1 – Кинематически возможное поле скоростей при скоростном выдавливании биметаллических дорожных резцов [1]

Используя геометрические размеры пуансона  $2A$ ,  $b$ , коэффициенты вытяжки  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , параметры поля  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  были выражены границы блоков  $l_{рс}$ , определены массы