

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПЬЕЗОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДАТЧИКА ТОНОВ КОРОТКОВА

М.А.КУРБАНОВ^а, М.Г.ШАХТАХТИНСКИЙ^а, Г.М.ГЕЙДАРОВ^а
Т.А.АЛИЕВ^б, И.Ф.ГАСАНОВ^б

*Институт Физики НАН Азербайджана^а
AZ 1143, Баку, пр. Г.Джавида, 33
Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия^б
AZ 1007, Баку, пр. Азадлыг, 20*

Рассматриваются возможности создания более эффективного датчика тонов Короткова на основе трехкомпонентного композита ПВДФ+ЭД20+ПКРЗМ. Введение в качестве третьего компонента смолы усиливает межфазное взаимодействие, и следовательно, модуль Юнга композита. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению чувствительности ДТК, созданного на основе трехфазного композита ПВДФ+ЭД-20 пьезокерамика.

Ранее нами было показано, что в числе современных активных материалов, используемых в медицине, входят и пьезокомпозиты [1,2]. Они успешно работают в широких частотных интервалах [3,4] и имеют высокие физико-механические свойства [5]. Необходимо отметить, что по мере расширения области применения пьезокомпозитов в медицине, ужесточаются требования к их физико-механическим и пьезоэлектрическим свойствам, в частности, к пьезочувствительности и упругости. А физические основы разработки более эффективных пьезоэлектрических композитов медицинского назначения, в частности, для датчиков тонов Короткова, непосредственно связаны с возможностями достижения высокого значения пьезоэлектрического коэффициента d_{ij} , модуля упругости E , коэффициента электромеханической связи K_p , пьезочувствительности g_{ij} и низкого значения остаточной деформации Δl , инерционности и диэлектрической проницаемости ϵ .

Пьезокомпозитные материалы для датчиков регистрации артериального давления [7,8], шумов дыхания [10], диагностики легочных патологий [9], эндоскопов [7] до определенного уровня изучены, однако разработка новых композитных элементов для аппарата медицинских назначений с учетом вышеназванных характеристик пока требует своего решения.

В данной работе излагаются особенности создания более эффективных пьезокомпозитных материалов для датчиков тонов Короткова. Как уже было показано, применение пьезокомпозитов основано на пьезоэлектрическом эффекте в кристаллитах пьезоэлектрической фазы композита. Известно так же, что пьезодатчики обычно крепятся к объекту, колебания которого исследуются, например, при измерении артериального давления или регистрации сфигмограммы лучевой артерии. Однако, если объект в области расположения датчика меняет свою форму, то результаты эксперимента искажаются [6]. Естественно полагать, что в этом случае датчик должен обладать гибкостью в широком диапазоне частот и не иметь остаточной деформации (гистерезиса). Обычно используемые пьезокерамические материалы не обладают гибкостью. А полимерные и некоторые композитные пьезоэлектрические материалы хоть и обладают гибкостью, но имеют гистерезис, причем этот эффект растет с увеличением температуры. Отметим также, что эффект гистерезиса в композитах можно уменьшить вариацией объемного содержания (Φ) пьезофазы. При малых объемных содержаниях (Φ) композит состоит: из полимерной фазы, надмолекулярная структура, которой не

формировалась под влиянием пьезочастицы (диспергатор); полимерной фазы, надмолекулярная структура, которой формировалась под влиянием поверхности пьезочастиц (приповерхностный слой); пьезоэлектрической фазы. При наличии первой фазы композит может иметь гистерезис, а по мере увеличения объемного содержания пьезофазы полимерная фаза целиком переходит на приповерхностный или межфазный слой и эффект гистерезиса уменьшается и он, в основном, определяется межфазными взаимодействиями. С увеличением межфазного взаимодействия уменьшается подвижность макромолекул в зоне межфазного слоя, что отчетливо видно из температурной зависимости диэлектрической проницаемости (ϵ) композита полимер-пьезокерамика ПКР-3М (Рис.1). С увеличением объемного содержания (Φ) ПКР-3М в пьезокомпозите растут величины ϵ и температуры максимума зависимости $\epsilon=f(T)$. По мере роста Φ температура максимума зависимости $\epsilon=f(T)$ сначала растет, а затем стабилизируется, что свидетельствует о полном переходе полимерной фазы на приповерхностный слой. Эти экспериментальные результаты позволяют предположить, что в пьезокомпозитах в результате связывания макромолекул с поверхностью пьезочастицы может происходить некоторая плоскостная ориентация макромолекул, определяемая соотношением Ван-дер-ваальсовых сил между макромолекулами полимерной фазы и сил полимерных цепей с поверхностью пьезочастицы. Из Рис.1 также видно, что с увеличением Φ сдвиг максимума зависимости $\epsilon=f(T)$ в сторону высоких температур начинает стабилизироваться приблизительно при $\Phi > 30\%$ об.

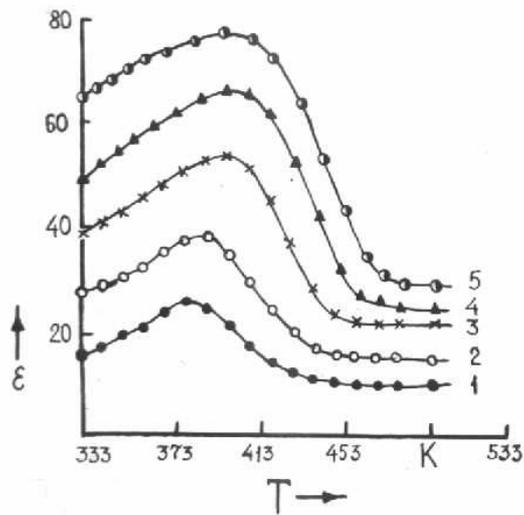


Рис. 1.

Зависимость диэлектрической проницаемости композита ПВДФ+ПКР-3М до поляризации. 1-20% об.ПКР-3М, 2-30% об.ПКР-3М, 3- 40% об.ПКР-3М, 4-50% об.ПКР-3М, 5-60% об.ПКР-3М.

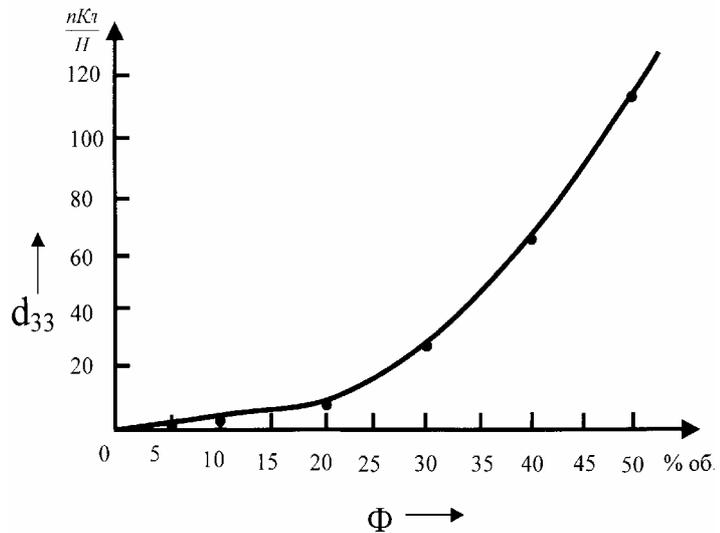


Рис.2.

Зависимость пьезомодуля d_{33} композита ПВДФ+ПКР3М от объемного содержания пьезофазы-ПКР3М.

$T_{п}=393$ К, $E_{п}=3$ МВ/М, $t_{п}=1$ час.

Экспериментально найдено, что заметный рост пьезомодуля этого же композита от объемного содержания (Φ) пьезофазы начинается также при $\Phi > 30\%$ об. (Рис.2). Однако, дальнейшее повышение объемного содержания пьезофазы в композите хоть и сопровождается увеличением d_{33} , но не влияет на релаксационные свойства приповерхностного слоя.

В этой связи нами предложен новый способ повышения межфазных взаимодействий, заключающийся в введении в композит новой фазы, обладающей повышенной адгезией, как с пьезочастицей, так и с полимером. Новая фаза (смола) располагается между пьезочастицей и полимером. Такое расположение фаз осуществляется путем предварительного копсулирования пьезочастицы смолой типа ЭД-20 с последующим введением копсулированных пьезочастиц в полимерную матрицу.

Датчик тонов Короткова (ДТК) на основе композиционных пьезоматериалов схематически представлен на Рис.3. Он состоит из корпусов 1, 2 из дюрала, между которыми помещен чувствительный элемент 4 пьезокомпозиционного материала, заземленного по всему периметру. На обе поверхности пьезоэлемента нанесена алюминиевая фольга методом горячего прессования.

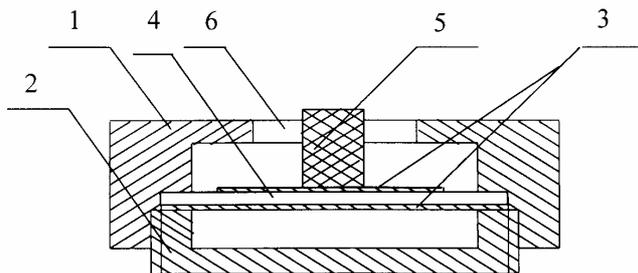


Рис.3.

Конструкция пьезоэлектрического датчика тонов Короткова. 1,2–корпусы, 3–вывод от алюминиевых электродов пьезоэлемента, 4–пьезокомпозиционный элемент, 5–пенопласт для акустического контакта, 6–окно для звукопровода.

Выводы от электродов пьезоэлемента присоединены к входу согласующего устройства. Металлический корпус ДТК выполнен из алюминия или его сплавов, имеет спереди отверстие для звукопровода из пенопласта, закрепленного на поверхности пьезоэлемента. Пенопласт улучшает передачу пульсового колебания артерии к пьезоэлементу.

В Таблице 1 приведены данные по относительной чувствительности ДТК, созданных на основе двух и трехфазных пьезокомпозитивов. Чувствительность ДТК оценивалась методом сопоставления с существующим керамическим датчиком ДТК-1М. В Таблице 1 показано отношение чувствительности (γ_k) композитных датчиков к чувствительности (γ) керамических датчиков. В Таблице 2 и Таблице 3 приведены характеристики композитов различных составов.

Таблица 1.

Частота f , (Гц)	Относительная чувствительность композитов					
	ПВДФ+ ПКР-3М	ПВДФ+ ПКР-7М	ПВДФ+ ЭД-20+ ПКР-3М	ПЭНП+ ПКР-3М	ПП+ ПКР3М	ПВДФ+ ЭД-20+ ПКР-7М
20	0,9	0,7	1,2	0,6	0,8	1,0
30	0,9	0,7	1,2	0,55	0,8	1,05
40	0,9	0,7	1,2	0,55	0,8	1,05
50	0,9	0,7	1,22	0,55	0,78	1,05
60	0,9	0,7	1,22	0,6	0,78	1,0
70	0,9	0,7	1,21	0,6	0,77	1,0
80	0,9	0,7	1,21	0,6	0,77	0,98
100	0,9	0,7	1,2	0,6	0,77	0,98

Таблица 2.

№	Параметры	Пьезокомпозит		
		ПВДФ+ПКР3М	ПВДФ+ПКР7М	ПП+ПКР3М
1	Пьезомодуль, d_{33} , пКл/Н	160	90	120
2	Диэлект.прониц, ε	100	110	44
3	Пьезокоэф. g_{33} , Вм/ Н	0,180	0,092	0,308
4	Скорость звука, м /с	1500	1532	1650
5	Тангенс угла.пот, $tg\delta$	0,01	0,015	0,005
6	Модуль Юнга, Е, Н/м ²	$9,10^9$	$8,10^9$	$4,10^9$

Таблица 3.

№	Параметры	Пьезокомпозит		
		ПЭНП+ПКР-3М	ПВДФ+ЭД-20+ПКР-3М	ПВДФ+ЭД-20+ПКР-7М
1	Пьезомодуль, пКл/Н	115	110	89
2	Диэлект.прониц, ε	46	60	75
3	Пьезокоэф., g_{33} , Вм/ Н	0,282	0,207	0,134
4	Скорость звука, м /с	1500	2000	1950
5	Тангенс угла.пот, $tg\delta$	0,005	0,015	0,018
6	Модуль Юнга, Е(Н/м ²)	$4,1 \cdot 10^9$	$6 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{10}$

Из Таблицы 1 видно, что по чувствительности более эффективными являются композиты трехфазных составов ПВДФ+ЭД-20+ПКР3М и ПВДФ+ЭД-20+ПКР7М. Из Таблицы 2 и Таблицы 3 видно, что пьезомодуль композитов на основе ПВДФ+ПКР-3М, ПП+ПКР-3М и ПЭНП+ПКР-3М выше, чем пьезомодуль композитов на основе трехфазных пьезокомпозитов ПВДФ+ЭД-20+ПКР-3М и ПВДФ+ЭД-20+ПКР-7М. Однако из Таблицы 1 видно, что по чувствительности ДТК, созданный на основе трехфазных пьезокомпозитов ПВДФ+ЭД-20+ПКР-3М и ПВДФ+ЭД-20+ПКР-7М, заметно эффективнее двухфазных пьезокомпозитов. Это, по-видимому, связано с тем, что модуль Юнга трехфазных композитов больше, чем двухфазных (Таблицы 2 и 3).

Рассмотрим возможный механизм этого интересного эффекта с точки зрения физики и технологии пьезокомпозитов медицинского назначения, в частности, для создания более эффективного ДТК. Отметим, что смола ЭД-20 из-за высокой полярности может служить хорошим адгезивным материалом между полимером и пьезокерамикой. Согласно молекулярной теории адгезии это обусловлено действием дисперсионных сил, сил взаимодействия между постоянными и наведенными диполями, взаимодействием ион-диполь или образованием водородных связей, причем прочное соединение образуется между адгезивом и субстратом, близкими по полярности. Кроме молекулярной существует и электрическая теория адгезии [11], основанная на явлениях контактной электризации, происходящей при соприкосновении двух диэлектриков. В первом приближении можно полагать, что между ПВДФ и ЭД-20 адгезия осуществляется по молекулярной теории, так как оба полимера полярны и мера их полярности, определяемая как μ^2/ε , практически совпадает (μ - дипольный момент молекулы, ε - диэлектрическая проницаемость). Адгезия между пьезофазой и ЭД-20 может быть инициирована, в основном, по электрической теории, так как двойной электрический слой может возникать более эффективно, если адгезив (ЭД-20) и субстрат (пьезочастица) по своим свойствам заметно отличаются. Учитывая

пористость пьезочастиц и меньшую молекулярную массу ЭД-20 (300-3500) между ними адгезия может быть реализована и за счет механической концепции [12].

Таким образом, как экспериментально (увеличение модуля упругости, Таблица 1), так и теоретически можно считать установленным, что упругие свойства пьезоэлемента из трехфазного композита ПВДФ+ЭД-20+пьезокерамика выше, чем из двухфазного композита ПВДФ+ пьезокерамика. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению потери энергии на границах раздела фаз, что проявляется в увеличении чувствительности ДТК, созданного на основе трехфазного композита ПВДФ+ЭД-20+пьезокерамика (Таблица 1).

1. М.Г.Шахтактинский, М.А.Курбанов, С.Н.Мусаева, *Тезисы 3-й Международной конференции «Физика и промышленность-2001», Голицыно, Московская обл., 14-16 май, (2001) 30.*
2. M.G.Shakhtakhtinsky, M.G.Gurbanov, S.N.Musaeva, *New piezoelectric materials for medical diagnostics and therapeutics, TMMOB Elektrik Muhendisleri Odasi, Ankara Subesi, EEBM 7 Ulusal kongresi, Ankara, (1997) 678.*
3. *Фундаментальные проблемы пьезоэлектрического приборостроения. Труды Межд. Научно-Технической Конференции «Пьезотехника-99», Ростов на Дону, Пайк, 1 (1999) 279.*
4. Л.П.Хорошун, Б.П.Маслов, П.В.Лещенко, *Прогнозирование эффективных свойств пьезоактивных композитных материалов. Киев, Наукова Думка, (1989) 208.*
5. F.G.Feuillard, D.Certon, F.Levassort, M.Lethiecq, *Ferroelectrics*, **224** №1-4 (1999) 13.
6. L.C.Celgard, R.A.Jones, I.M.Ward, *Gross. Inking of polymers*. P. № 6020394, USA. 01.02.2000.
7. М.А.Курбанов, Г.М.Геыдаров, Т.А.Алиев, I.F.Насанов, *Fizika*, №4 (2002) 18.
8. М.А.Рамазанов, З.Г.Панахов, *ПТЭ*, № 5 (1997) 132.
9. И.Ю.Гончарова, *Акуст. Вестник*, 3 № 2 (2000) 19.
10. А.Г.Сегалла, Т.Е.Довготелес, А.Е.Билан, *сб. Пьезотехника-99*, Ростов-на-Дону. Пайк,1 (1999) 166.
11. А.С.Фрейдин, Р.А.Турусов, *Химия*, (1990) 255.
12. Энциклопедия полимеров, Москва, 1, 2, 3. (1972).

KOROTKOV-TONLARI ÇEVİRİCİLƏRİ ÜÇÜN EFFEKTİV PYZOKOMPOZİT MATERİALLARIN HAZIRLANMASI XÜSUSİYYƏTLƏRİ

M.A. QURBANOV, T.A. ƏLİEV, M.Q. ŞAHTAHTİNSKİY, Q.M. QEYDAROV, İ.F. QASANOV

Üçkomponentli PVDF+ED-20+PKR-3M kompozit əsasında daha effektiv Korotkov tonları çeviricisinin hazırlanması imkanlarına baxılmışdır. Üçüncü komponent kimi rezin (smola) daxil edilməsi fazlararası qarşılıqlı təsiri və nəticədə kompozitin Yunq modulunu artırır. Bu da öz növbəsində PVDF+ED-20+pyezokeramika üçfazlı kompozit əsasında hazırlanmış Korotkov tonları çeviricisinin həssaslığının artırılmasına səbəb olur.

FEATURES OF CREATION OF EFFECTIVE PIEZOCOMPOSITE MATERIALS FOR THE GAUGE OF TONES OF KOROTKOV

M.A. KURBANOV, T.A. ALIEV, M.G.SHAKHTAKHTINSKY, G.M. GEYDAROV, I.F.GASANOV

Opportunities of creation of more effective gauge of tones of Korotkov on the basis of the three-component composite PVDF+ED-20+PCR-3M were considered. Introduction of epoxy resin as the third component increases the interphase interaction and therefore the Youngs modulus of the composite. It leads to the decrease of the sensitivity of the gauge of tones of Korotkov created on the basis of PVDF+ epoxy resin+piezoceramics three-phase composite.

Редактор: М.Алиев