

**Висновки**

В результаті проведеної роботи отримана залежність працездатності вибухових речовин від теплоти їх вибухового перетворення.

Отримана залежність дозволяє аналітично розрахувати працездатність нових вибухових речовин без їх виготовлення і проведення випробувань. Це дуже важливо при створенні нових вибухових речовин, тому, що не завжди економічно виробляти дослідний зразок, якщо невідомі хоча б приблизно його вибухові властивості.

**Література**

1. **Светлов Б. Я., Яременко Н. Е.** Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ. — М.: Недра, 1973. — 208 с.
2. **Дубнов Л. В., Бахаревич Н. С., Романов А. И.** Промышленные взрывчатые вещества. — М.: Наука, 1988. — 158 с.

*О Тарасова К. С., Манжос Ю. В., 2008*

УДК 666.656:541.12

**Прилипко Ю. С.** (ДонНТУ, НТЦ «Реактивэлектрон»)

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

*Приведены результаты исследований по влиянию различных методов прессования полуфабриката и условий спекания на свойства пьезокерамики ЦТСС-3. Предложен наиболее оптимальный вариант производства пьезокерамики.*

Высокое качество пьезокерамического материала ещё не гарантирует такое же качество пьезокерамических изделий из-за специфического передела, задачей которого является обеспечение структурно-чувствительных свойств готовых изделий.

Сложные вопросы получения пьезокерамических изделий обусловлены большим числом факторов, познание и оценка роли которых требуют разностороннего экспериментального и теоретического изучения. Процессы формирования свойств пьезокерамических элементов, удовлетворяющих техническим требованиям, управляются теми внутренними и внешними факторами, которые являются ведущими на каждой стадии. Сравнительный анализ методов формования, условий спекания пьезокерамики позволяют оптимизировать режимы её технологического изготовления, повысить процент выхода качественной продукции и обеспечить высокую стабильность рабочих характеристик элементов в сочетании с их высокой чувствительностью.

Первостепенное значение в формировании структуры и свойств пьезокерамических элементов имеет метод оформления полуфабриката.

Существенное преимущество холодного полусухого прессования в пресс-формах по простоте технологического процесса, высокой производительности и возможности механизации ослабляется неоднородностью прессовок по плотности, невозможностью изготовления деталей сложной формы [1, 2].

Изостатическое (гидростатическое) прессование позволяет преодолеть недостатки одноосного прессования [3, 4], однако, в свою очередь, неточность

размеров получаемых изделий, шероховатость поверхностей требует дополнительно трудоёмкой механической обработки.

Достоинства горячего прессования — совмещение процессов прессования и спекания, получение плотности образцов, близкой к теоретической, обеспечивающей повышение уровня свойств на 10–20% по данным [5, 6]. Однако в ряде работ [7, 8] не выявлено существенного преимущества горячего прессования по электрофизическим параметрам в сравнении с керамикой, полученной обычным способом. Ряд недостатков горячего прессования, заложенных в самой технологии, отмечается в [1], при этом подчёркивается низкая производительность как данного метода, так и метода изостатического прессования.

Важным этапом получения сегнетоэлектрической пьезокерамики является процесс спекания [9], который определяется: гранулометрическим составом исходного порошка и его активностью, плотностью и однородностью заготовок, температурой, временем, атмосферой спекания, скоростью изменения температуры при нагревании и охлаждении, мерами по сохранению заданного состава.

Цель работы — экспериментальное изучение влияния предыстории получения порошка, метода формования полуфабриката и условий спекания на свойства пьезокерамических изделий из материала ЦТСС<sub>T</sub>-3.

Пьезокерамический материал получали по керамической технологии [10]. Для повышения активности шихты её обрабатывали ультразвуком в воде, как описано в [11]. Материал смешивали с пластификатором (5%-ный водный раствор ПВС) и прессовали диски Ø13×1 мм при давлении ~100 МПа. Часть образцов обжимали всесторонним гидростатическим давлением (ВГД) в интервале (3–18)·10<sup>2</sup> МПа.

Керамику получали спеканием на воздухе под слоем засыпки на основе PbO в камерных печах КО-14 при различных температурах и времени выдержки 2 часа. Скорость подъёма температуры составляла 200°С/ч.

Спекание в кислороде проводили в специально оборудованной печи [12].

Спечённые образцы шлифовали на доводочном станке со шлиф-порошком М-40, остатки которого из керамики удаляли промывкой в ультразвуковой ванне. Для снятия механических напряжений образцы отжигали при температуре 1000°С в течение 2 ч, затем металлизировали путём вжигания серебряносодержащей пасты при температуре 800±20°С. Перед металлизацией определяли плотность и пористость керамики методом гидростатического взвешивания. Металлизированные образцы поляризовали в среде полиэтилсилоксановой жидкости ПЭС-5 при 130–150°С электрическим полем напряжённостью 2,75–3 кВ/мм и измеряли их пьезоэлектрические свойства методом резонанса-антирезонанса [13].

Влияние величины ВГД на свойства пьезокерамики спечённой на воздухе при 1260°С, 2 ч, приведены в табл.1.

Средние результаты по 8–10 измерениям показывают, что использование ВГД оказывает существенное влияние на электрофизические параметры пьезокерамики. Наблюдается повышение гидростатической плотности, механической добротности и радиального коэффициента электромеханической связи при некотором снижении диэлектрической проницаемости. Из таб. 1 также видно, что существует оптимальное значение величины ВГД (5·10<sup>2</sup> МПа), при котором сочетание свойств пьезокерамики является наиболее благоприятным.

Таблица 1. Влияние величины ВГД на электрофизические параметры пьезокерамики ЦТСС<sub>T-3</sub>

Давление, МПа	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	tg $\delta$ , %	$K_p$	$d_{31}$ , 10 <sup>-12</sup> Кл/Н	$Q_M$
10 <sup>2</sup> (одноосн.)	7,60	1300	0,56	0,565	124	750
3·10 <sup>2</sup>	7,69	1230	0,52	0,577	121	790
5·10 <sup>2</sup>	7,65	1230	0,52	0,582	122	885
10 <sup>3</sup>	7,57	1220	0,53	0,579	122	817
1,5·10 <sup>3</sup>	7,54	1270	0,54	0,586	125	850
1,8·10 <sup>3</sup>	7,54	1260	0,54	0,575	123	840

Наилучшее сочетание электрофизических свойств получаемых образцов является определяющим фактором при выборе условий спекания. Нахождение оптимальной температуры спекания производилось спеканием контрольных образцов в диапазоне 1200–1260°C с шагом 20°C. При этом изучали влияние предыстории получения порошка, температуры спекания на формирование микроструктуры керамики и её свойств при обжати оптимальным ВГД (5·10<sup>2</sup> МПа) в сравнении с одноосносспрессованными образцами (табл. 2).

Таблица 2. Сравнительные результаты средних значений электрофизических свойств в зависимости от способа прессования и температуры спекания керамики ЦТСС<sub>T-3</sub>

$t_{сп}$ , °C	Давление	Шифр партии	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	tg $\delta$ , %	$K_p$	$d_{31}$ , 10 <sup>-12</sup> Кл/Н	$Q_M$
1260	Одноосное	П-2	7,62	1330	0,56	0,595	131	700
		П-2У	7,63	1260	0,59	0,603	132	690
	5·10 <sup>2</sup> МПа	П-2/5	7,68	1120	0,54	0,599	122	780
		П-2У/5	7,71	1280	0,53	0,569	123	870
1240	Одноосное	П-2	7,66	1320	0,57	0,578	125	970
		П-2У	7,74	1250	0,58	0,596	128	1020
	5·10 <sup>2</sup> МПа	П-2/5	7,7	1190	0,48	0,592	125	1110
		П-2У/5	7,76	1330	0,45	0,576	128	1070
1220	Одноосное	П-2	7,90	1230	0,49	0,599	124	720
		П-2У	7,88	1260	0,49	0,595	124	750
	5·10 <sup>2</sup> МПа	П-2/5	7,68	1110	0,50	0,589	118	840
		П-2У/5	7,64	1200	0,48	0,575	118	610
1200	Одноосное	П-2	7,91	1260	0,51	0,593	126	790
		П-2У	7,80	1200	0,52	0,600	123	830
	5·10 <sup>2</sup> МПа	П-2/5	7,75	1030	0,51	0,578	109	910
		П-2У/5	7,90	1140	0,49	0,558	111	770

Установлена устойчивая корреляция между температурой спекания и свойствами пьезокерамики ЦТСС<sub>T-3</sub>. Наиболее оптимальное сочетание свойств наблюдается при  $t_{сп} = 1240^\circ\text{C}$ , хотя гидростатическая плотность образцов не является максимальной. При изменении температуры спекания с 1200 до 1260°C незначительно увеличивается размер зерна с 1–2 до 3–5 мкм. Сравнительный анализ свойств образцов показывает, что обжатие оптимальным гидростатическим давлением одноосно спрессованных образцов из обычного материала ЦТСС<sub>T-3</sub> (П-2) и из материала, шихта которого была подвергнута УЗ-обработке (П-2У), приводит к дополнительному (на 50–60 ед.) увеличению механической добротности. Такое повышение данного показателя связано с получением более равноплотных и менее пористых прессовок по сравнению с одноосным прессованием, что приводит к увеличению однородности структуры керамики.

Ранее нами было показано, что обжиг в среде кислорода одноосноспрессованных заготовок приводит к увеличению объёмной плотности (до 99,5–99,9% теоретической), повышению электрофизических свойств на 12–20% [12], улучшению этих параметров при временном старении, повышению выхода годных изделий на каждой последующей технологической операции [14]. Активности летучих компонентов, температура обжига, давление, скорость охлаждения связаны с составом газовой среды и оказывают зачастую определяющее влияние на структурно-чувствительные свойства. Представляло научный интерес применить кислородный обжиг к вышеисследуемым прессовкам. В результате получены результаты, представленные в табл. 3. Спекание осуществлялось при оптимальной, выбранной ранее температуре 1270°C в течение 2 ч. Анализ результатов показывает, что существенно изменились (повысились) только свойства одноосноспрессованных образцов. Уровень свойств образцов П-2/5 и П-2У/5 практически не изменился.

**Таблица 3.** Влияние кислородной атмосферы на свойства пьезокерамики ЦТСС<sub>T</sub>-3 при различных способах приготовления полуфабриката

Давление	Шифр партии	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\varepsilon_{33}^T/\varepsilon_0$	tg $\delta$ , %	$K_F$	$d_{31}$ , 10 <sup>-12</sup> Кл/Н	$Q_M$
Одноосное	П-2	7,69	1360	0,51	0,610	135	990
	П-2У	7,72	1300	0,52	0,618	138	1030
5·10 <sup>2</sup> МПа	П-2/5	7,71	1280	0,51	0,612	130	1060
	П-2У/5	7,72	1370	0,50	0,613	132	1100

Это свидетельствует о том, что кислородный обжиг позволяет нивелировать недостатки одноосного полусухого прессования, но при использовании полуфабрикатов спрессованных гидростатическим прессованием спекание в среде кислорода является малоэффективным, что согласуется с [15].

Таким образом, в результате выполненных исследований показаны пути повышения электрофизических свойств пьезокерамики на основе материала ЦТСС<sub>T</sub>-3. Учитывая, что сочетание одноосного прессования со спеканием в среде кислорода является гораздо более производительным по сравнению с ВГД и горячим прессованием при обеспечении практически одинаковых свойств керамики, а обработка ультразвуком технически не решена, наиболее рациональным методом интенсификации процессов получения пьезокерамических изделий является использование технологии кислородного обжига.

### Литература

1. **Окадзаки К.** Технология керамических диэлектриков. — М.: Энергия, 1976. — 336 с.
2. **Левин Б. Е., Третьяков Ю. Д., Летюк Л. И.** Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов. — М.: Металлургия, 1979. — 472 с.
3. **Абрамов О. В., Гаврилова И. М., Погосов В. Г., Пугачёв С. И.** Свойства пьезокерамики системы ЦТС, полученной с использованием холодного изоматического прессования / Тез. докл. II Всесоюз. конф. по физ.-хим. основам технологии сегнетоэлектр. и родствен. материалов. — М.: Наука, 1983. — С. 125.
4. **Штерн М. Б., Сердюк Г. Г., Максименко Л. А.** Феноменологическая теория прессования порошков. — К.: Наукова думка, 1982. — 240 с.
5. **Фесенко Е. Г., Данцигер А. Я., Разумовская О. Н.** Новые пьезокерамические материалы. — Ростов-на Дону: Изд-во РГУ, 1983. — 160 с.
6. **Клевцов А. Н., Паниз А. Е., Фесенко Е. Г.** Пьезо- и сегнетоматериалы и их применение. — М.: Знание, 1972. — 46 с.

7. Дудкина С.И., Москалёва Л.П., Цихоцкий Е.С. Влияние технологии изготовления пьезоматериала ПКР-8 на его свойства // тез. докл. I Всесоюз. конф. по физ.-хим. основам технологии сегнетоэлектр. и родствен. материалов. – Звенигород, 1980.- С.47.
8. Морозова Б. М., Савенкова Г. Е., Климов В. В. Электрофизические свойства сегнетовой керамики ПКД / Сб.: Методы получения и анализов материалов для электронной техники. — Харьков: ВНИИмонокристаллов, 1976. — С. 9–12.
9. Прилипко Ю. С. Функциональная керамика. Оптимизация технологии: Монография. — Донецк: Норд-Пресс, 2007. — 492 с.
10. Прилипко Ю. С. Оптимизация технологии получения пьезокерамических материалов ЦТС // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Хімія і хімічна технологія, 2007. — Вип. 119(9). — С. 91–102.
11. Прилипко Ю. С., Салей В. С., Пилипенко Н. П. Изучение влияния некоторых физических воздействий на технологические параметры получения пьезоматериалов и электрофизические свойства пьезокерамики // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Хімія і хімічна технологія, 2002. — Вип. 44. — С. 110–119.
12. Комаров В. П., Приседский В. В., Прилипко Ю. С., Поляков В. А. Обжиг керамики ЦТС в среде кислорода / Сб.: Пьезоэлектрические материалы и преобразователи. — Ростов-на-Дону: РГУ, 1987. — С. 18–21.
13. ОСТ 110444-87. Материалы пьезокерамические. Технические условия. — 140 с.
14. Комаров В. П., Приседский В. В., Горшков С. М., Голубицкий В. М., Прилипко Ю. С., Поляков В. А., Карасёв А. В. Свойства пьезокерамических материалов ЦТС, полученных по технологии кислородного обжига / Сб.: Материалы для новой техники. — М.: НИИТЭХИМ, 1985. — С. 18–27.
15. Дидковская О. С., Морозова Н. С., Лунёв Г. В., Приседский В. В., и др. Получение пьезокерамики для изделий на ПАВ спеканием в кислороде / Тез. докл. VII Всесоюз. конф. «Состояние и перспективы развития методов получения и анализа ферритовых, сегнето-, пьезоэлектрических, конденс. и резист. Материалов и сырья для них ». — Ч.1. — Донецк: ВНИИРеактивэлектрон, 1983. — С. 56.

О Прилипко Ю.С., 2008

УДК 662.741

**Парфенюк А.С. (ДонНТУ)**

### **АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ КОКСОВЫХ БАТАРЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*С целью поиска способов и средств повышения износостойкости, долговечности, ремонтпригодности огнеупорной кладки простенок коксовых батарей выполнен анализ повреждений элементов конструкции в зависимости от технологических условий эксплуатации. Предложен ряд технических усовершенствований и мероприятий по ее обслуживанию и ремонту кладки.*

В Украине в эксплуатации коксохимических производств находится более 60 коксовых батарей, средний срок службы которых достигает 27 лет, с общим количеством коксовых печей более 3000 единиц. Более 40% коксовых батарей превысили нормативный срок службы 25 лет. Основная и наиболее материалоемкая часть конструкции коксовых батарей — огнеупорная кладка. Снижение технического состояния огнеупорной кладки приводит к снижению качества кокса, повышению затрат на ремонты; разгерметизации кладки и выбросу в атмосферу вредных веществ. Удельные выбросы на некоторых коксовых батареях достигают 10 кг/т кокса при мощности коксовых батарей до 1 млн. т. кокса в год. Поэтому поддержание высокого уровня технического