

**Исследование применимости
детонационного напыления для электроизоляции
пьезоэлектрических преобразователей в составе
камертонных сигнализаторов уровня**

© А.М. Бражников, С.Ю. Ганигин

Самарский государственный технический университет,
Самара, 443100, Российская Федерация

Рассмотрена возможность использования детонационного напыления для обеспечения электроизоляции пьезоэлектрических преобразователей от металлических элементов конструкции приборов. Приведены результаты лабораторных экспериментов по нанесению детонационного покрытия на основе оксида алюминия (Al_2O_3) на поверхность заготовок из нержавеющей стали. Представлены результаты измерения сопротивления изоляции покрытия, а также экспериментов по повышению изоляционных свойств покрытия детонационного напыления с помощью молекулярного армирования синтетическими маслами, в ходе которых была выработана последовательность технологических операций, позволяющих повысить сопротивление изоляции детонационного напыления на 3-4 порядка. Проведенное сравнение амплитудно-частотных характеристик сборок пьезоэлемент — резонатор с покрытием из оксида алюминия и без него показало незначительное ослабление амплитуды резонанса при работе в типовых жидких средах плотностью от 700 до 1300 кг/м³.

Ключевые слова: детонационное напыление, сигнализатор уровня, пьезоэлектрический преобразователь, электроизоляция, молекулярное армирование

Введение. При автоматизации производственных процессов зачастую требуется проконтролировать наличие рабочих веществ (жидкостей, газов и сыпучих сред) в емкостях или трубопроводах, используя для этого сигнализаторы уровня. В настоящее время существует много разновидностей таких приборов [1]. Среди них одним из перспективных является вибрационный сигнализатор уровня камертонного типа [2], получивший широкое распространение.

Эти приборы, имеющие чувствительные элементы очень небольших размеров, можно устанавливать в трубопроводах малого диаметра. Такие стабилизаторы, у которых нет подвижных механических частей, работают с жидкими и сыпучими средами, а также с легко воспламеняемыми веществами. Они индифферентны к наличию в жидкости загрязнений и твердых взвесей и, кроме того, у них экономичное энергопотребление, поэтому эти приборы могут получать питание от маломощных промышленных интерфейсов (NAMUR, токовой петли и т. д.).

В процессе работы эти вибрационные сигнализаторы регистрируют изменения частоты резонансных колебаний механических резонаторов (камертонов) при их погружении в среды с различной плотностью. Электронный блок управления прибора возбуждает колебания резонатора на собственной частоте, зависящей от плотности среды, в которой он находится, так как эта среда создает присоединенную массу, вовлекаемую в процесс колебаний. Аналитическую зависимость частоты собственных колебаний резонатора от плотности среды можно выразить так:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m + \frac{\rho}{V}}}, \quad (1)$$

где f — частота собственных колебаний; k — жесткость резонатора; m — масса резонатора; ρ — плотность среды; V — объем жидкости, вовлеченный в процесс колебаний.

Электронный блок управления прибора, отслеживающий изменение резонансной частоты, сигнализирует о том, что резонатор находится в среде. Сигнал может передаваться стандартными интерфейсами в систему управления производственным процессом.

Для того чтобы возбудить колебания резонатора, в сигнализатор уровня обычно устанавливают либо магнитострикционные, либо пьезоэлектрические актюаторы [3], которые могут быть выполнены в виде монолитного пьезоэлемента или в виде пакета пьезоактюаторов, применяемого при сравнительно больших размерах лепестков камертона в составе сигнализаторов уровня, предназначенных для работы, как правило, с сыпучими веществами.

Резонаторы камертонного типа чаще всего изготавливают из нержавеющей стали или титана, что обеспечивает долговечность чувствительного элемента и стабильность его характеристик в широком диапазоне рабочих температур. Пьезоэлектрический актюатор должен иметь электрическую изоляцию от корпуса прибора, которая повышает помехозащищенность прибора и предохраняет от попадания высокого напряжения на его корпус в случае выхода электроники из строя или при неправильном подключении питания. Электрическая изоляция создается путем размещения между пьезоэлектрическим преобразователем и корпусом прибора различных прокладок из керамических материалов [4–6], обеспечивающих минимальное затухание механических колебаний, чтобы чувствительность прибора сохранялась на необходимом уровне.

Поскольку прокладка должна быть прикреплена и к корпусу прибора, и к пьезоэлектрическому преобразователю, полученное соединение должно обеспечивать передачу деформации пьезоэлемента на

резонатор. Для этого оно должно сохранять устойчивость в широком диапазоне рабочих температур, а также компенсировать неоднородность температурных деформаций материалов, входящих в состав преобразователя.

В случае, если требуется соединить металлические и неметаллические поверхности, сложно найти типовые решения, особенно когда необходимо передавать звуковые колебания. Поэтому была проанализирована конструкция чувствительного элемента вибрационного сигнализатора уровня камертонного типа Rosemount 2133 [7]. Для изоляции пьезоэлемента от корпуса прибора из нержавеющей стали AISI316L была выбрана керамическая прокладка толщиной 0,5 мм (рис. 1), толщина монолитного пьезоэлектрического преобразователя составила 1,0 мм. Для соединения пьезоэлемента с керамической прокладкой был использован припой на основе серебра, а для ее соединения с корпусом — эпоксидный клей с включениями порошка из оксидов алюминия.

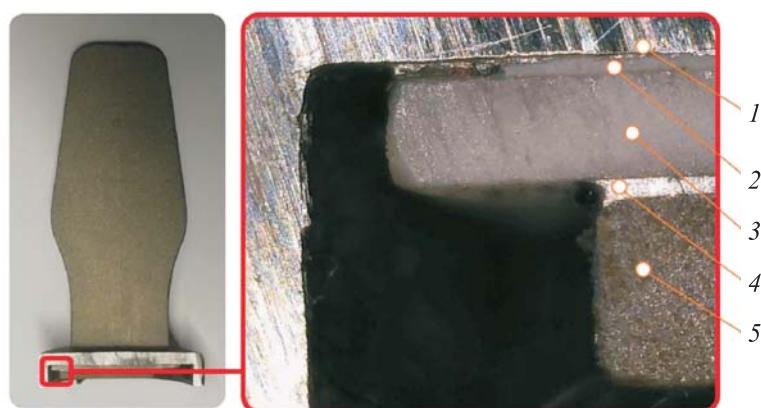


Рис. 1. Конструкция чувствительного элемента сигнализатора уровня камертонного типа Rosemount 2133:

1 — мембрана камертона; 2 — клеевой слой; 3 — керамическая прокладка; 4 — слой припоя; 5 — пьезоэлектрический преобразователь

Кроме того, была исследована возможность использования покрытия, наносимого методом детонационного напыления, в качестве прокладки для изоляции пьезоэлектрического преобразователя от корпуса устройства в составе вибрационного сигнализатора уровня камертонного типа. Для получения электроизоляционных покрытий из оксидной керамики широко используют различные методы газотермического напыления, такие как газопламенное, плазменное, HVOF, детонационное и др. [8]. Детонационное напыление обеспечивает высокие диэлектрические показатели, а благодаря импульсному процессу покрытия можно точно контролировать его толщину [8].

Приведенное в работе [9] обобщение данных из литературных источников и экспериментов показывает, что электрический пробой покрытия оксида алюминия (Al_2O_3) толщиной 240...300 мкм наступает при напряжении 5...6 кВ, что соответствует удельной электрической прочности 20 кВ/мм.

Проводимость покрытий, созданных методом детонационного напыления, отличается от создаваемой классическими диэлектриками, так как напыление имеет пористую структуру. Результаты множества исследований показывают, что напряжение пробоя такого покрытия зависит от температуры и влажности той среды, где оно находится. Существует теория, согласно которой проводимость детонационного напыления обуславливается капиллярными эффектами и абсорбцией воды из атмосферного воздуха [10]. Это хорошо согласуется с результатами экспериментов, в том числе приведенными в [9], когда сопротивление изоляции Al_2O_3 возрастало после просушки образцов покрытий в печи, и она возвращалась в исходное состояние после выдерживания во влажной атмосфере (30 %).

Известны способы повышения электроизоляционных свойств покрытий, полученных методом детонационного напыления путем молекулярного армирования. Сущность этого метода заключается в заполнении пористой структуры покрытия жидкими диэлектриками (маслами) с последующим прокаливанием для удаления жидкой фазы. Такой метод позволяет исключить повторное проникновение влаги из атмосферы в покрытие и сохранить его электроизоляционные свойства.

Цель данной работы — исследование возможности использовать детонационное напыление порошка оксида алюминия (Al_2O_3) для создания электроизоляции пьезоэлектрического преобразователя от металлических деталей изделия. При этом особое внимание следует уделять обеспечению передачи колебаний от пьезоэлемента к корпусу прибора. Объектом исследования служили чувствительные элементы вибрационных сигнализаторов уровня, состоящие из резонатора (камертона) и пьезоэлектрического осциллятора. Детонационное напыление наносилось на внутреннюю поверхность мембраны резонатора, пьезоэлемент фиксировался клеевым соединением.

На нескольких образцах детонационного напыления отрабатывалась технология повышения электроизоляционных свойств путем молекулярного армирования. Для различных жидких сред проводился анализ амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) полученных чувствительных элементов.

Постановка задачи эксперимента. Для проведения экспериментов были подготовлены несколько образцов покрытия Al_2O_3 , нанесенного на подложку из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Поверхность

заготовки размерами 50×50 мм была подвергнута пескоструйной обработке для развития на ней шероховатости. Покрытие толщиной 1 мм наносилось в ее центре для создания градиентного перехода толщин. Было произведено 200 выстрелов. Фотографии микроструктуры порошка оксида алюминия, полученные с помощью растрового электронного микроскопа JEOL-6390A, приведены на рис. 2.

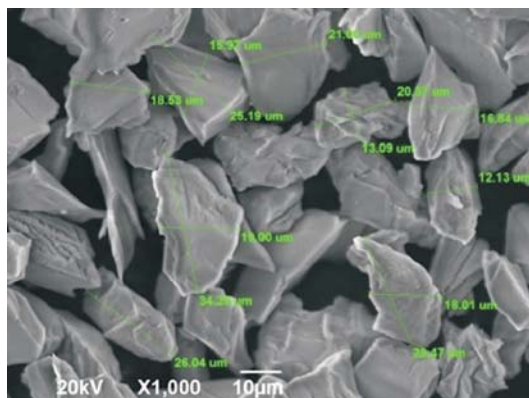


Рис. 2. Зерна Al_2O_3 , используемые при детонационном напылении покрытия

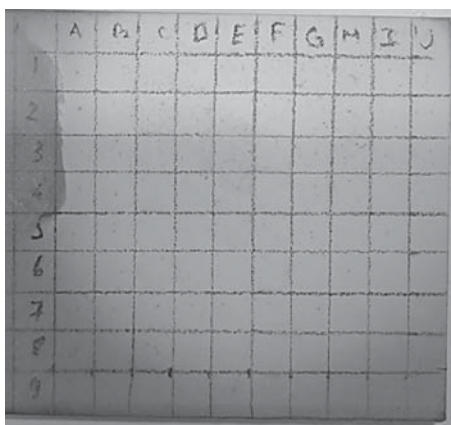


Рис. 3. Внешний вид заготовки с детонационным напылением

Для того чтобы было удобнее проводить дальнейший анализ, на поверхность заготовки была нанесена координатная сетка (рис. 3).

Сопротивление изоляции покрытия измерялось в середине каждого квадрата разметки с помощью прибора МЕГЕОН 13250, способного выдавать напряжение до 5 кВ. Зонд измерителя сопротивления со сферическим наконечником радиусом 1 мм прижимался к образцу

с постоянным усилием (500 ± 50) г, контролировавшимся с помощью весов. Лабораторный стенд для измерения изоляции покрытия представлен на рис. 4.

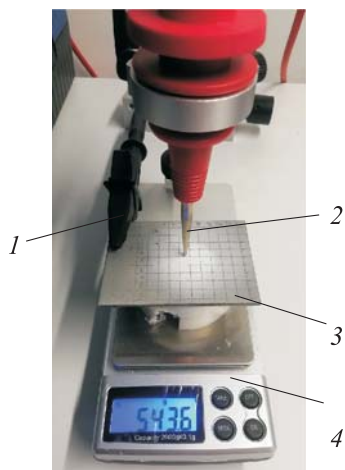


Рис. 4. Лабораторный стенд для измерения изоляции покрытия:

1 — отрицательный электрод; 2 — положительный электрод (зонд); 3 — заготовка с исследуемым покрытием; 4 — измеритель усилия прижатия

Получена контрольная карта сопротивлений образца (рис. 5), длительное время находившегося в нормальных условиях: при температуре $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 30%-ной влажности. Измерения проводились при напряжении 2500 В. Из анализа данных, приведенных на рис. 5, следует, что участок с наибольшей толщиной покрытия имеет наибольшее сопротивление. На участках, отмеченных «0», наблюдается электрический пробой изоляции.

0,29	0,62	1000	2740	4570	2040	5340	359	0	0
0	0	1710	6140	13000	7370	1460	634	645	0
0	0	2220	11000	19000	15700	2600	2590	614	0
0	0	1100	3810	12500	8100	2080	980	761	0
0	0	606	2560	3360	2770	960	750	0	0
0	0	0	722	1270	1090	670	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 5. Контрольная карта сопротивлений (МОм) образца

Прокаливание покрытия. Образец был подвергнут нагреванию паяльной станцией ELEMENT 862D++ до температуры $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдерживался в течение 60 мин. Сразу после нагрева была построена новая карта сопротивлений (рис. 6), измерение проводилось при напряжении 5000 В. Значения «0» соответствуют электрическому

пробую изоляции, участки 10^7 МОм — сопротивлению, которое не способен зарегистрировать прибор. На рисунке видно, что для некоторых участков сопротивление возросло на 3-4 порядка.

0,29	0,62	443000	10000000	10000000	10000000	10000000	506000	0	0
0	0	1000000	10000000	10000000	10000000	10000000	761000	0	0
0	0	10000000	10000000	10000000	10000000	836000	527000	0	0
0	0	610000	10000000	10000000	10000000	653000	0	0	0
0	0	0	289000	651000	549000	276000	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 6. Карта сопротивлений образца после прокаливания (МОм)

После выдержки образца при $+25$ °С и 30%-ной влажности воздуха в течение 24 ч показатели сопротивления отдельных секций вернулись к первоначальному.

Представленные результаты хорошо согласуются с данными экспериментов, которые приведены в литературе.

Молекулярное армирование детонационного напыления.

С целью предотвращения проникновения атмосферной влаги в поры было предложено для пропитки детонационного напыления использовать трансформаторное масло. Образец с детонационным напылением прокаливался на воздухе до $+200$ °С в течение 60 мин, а затем был помещен в ультразвуковую ванну UJC5000 мощностью 50 Вт, заполненную трансформаторным маслом Т-750 (ГОСТ 982–80), где он выдерживался в течение 60 мин при непрерывном ультразвуковом воздействии и нагреве до $+50$ °С. После ультразвуковой обработки поверхность образца очищалась от излишков масла ацетоном (ГОСТ 2768–84) и он подвергался прокаливанию в печи при $+150$ °С в течение 60 мин. Далее образец выдерживался при температуре $+25$ °С и 30%-ной влажности в течение 48 ч, после чего снималась новая карта сопротивлений (рис. 7). Анализ результатов эксперимента, приведенных на рисунке, показал, что изоляционные свойства соответствуют значениям сопротивления, полученным в процессе прокаливания образца детонационного напыления. Повторные измерения сопротивления изоляции, проведенные спустя 168 ч, в течение которых образец выдерживался в условиях нормальной атмосферы, не выявили ухудшения изоляционных свойств.

0	0	10000000	365000	54000	55000	10000000	10000000	0	0
0	0	479000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	0
0	0	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	0
0	0	610000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	0
0	0	0	10000000	10000000	10000000	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 7. Карта сопротивлений (МОм) образца после молекулярного армирования

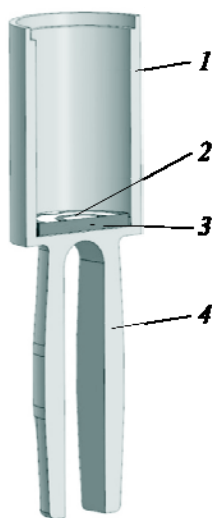


Рис. 8. Резонатор с детонационным напылением и пьезоэлементом:
 1 — корпус резонатора; 2 — пьезоэлектрический преобразователь; 3 — мембрана камертона; 4 — лепестки камертона

Изоляция мембраны камертона. Для экспериментов методом механической обработки заготовок из нержавеющей стали 12Х18Н10Т было изготовлено восемь одинаковых резонаторов камертонного типа (рис. 8). Геометрические параметры камертонов сборки приведены в табл. 1.

На мембрану камертона методом детонационного напыления нанесено покрытие порошка Al_2O_3 толщиной 130 мкм, обработанное по описанной выше технологии. Пьезоэлемент был зафиксирован на мембране эпоксидным клеем СТЭП-Т1. Частота собственных колебаний резонатора равна 1250 Гц.

Для получения АЧХ был использован характеристикограф, рассмотренный в [11]. Он формирует на выходе синусоидальный сигнал амплитудой 10 В в диапазоне частот от 200 до 2000 Гц с шагом в 10 Гц, время экспозиции сигнала — 50 мс. Это напряжение подается на силовую обкладку пьезоэлемента, а затем с его измерительной обкладки пропускается через фильтр, усиливается и записывается прибором, выполняющим три измерения и усредняющим результаты. В табл. 2 представлены результаты измерения резонансных режимов сборки при колебании на воздухе.

Средняя резонансная частота для камертонов, использованных в эксперименте, составляет 1240 Гц, отклонения рассчитаны исходя из этого среднего значения. У исследуемых камертонов отклонение резонансных частот не превышает 4 %. Наблюдается существенный разброс амплитуды пиков на резонансной частоте, достигающий 41 % для

двух камертонов. Отличается также возвышение пика над общим уровнем АЧХ камертона, колеблющееся от 32 % до 55 %. Этот параметр косвенно указывает на добротность колебательной системы. Некоторые кривые АЧХ для исследуемых камертонов показаны на рис. 9. Нелинейность кривой АЧХ обусловлена особенностями пьезоэлемента и емкостной связью между его обкладками.

Таблица 1

Геометрические параметры (мм) камертонов

Камертон	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
1	43,9	8,6	3,2	2,4	13,7
7	44,0	8,1	3,2	2,8	13,7
5	43,8	8,4	3,0	2,6	13,5
3	43,8	8,2	3,0	2,8	13,5
2	43,7	8,5	3,3	2,4	13,5
4	44,0	8,3	3,2	2,5	13,6
8	43,6	8,0	3,0	2,5	13,5
6	43,8	8,0	3,1	2,8	13,5
Среднее значение	43,8	8,3	3,1	2,6	13,6

Обозначения: *L* — расстояние от кончика лепестка до внешней поверхности мембраны; *H* — расстояние между лепестками; *A, B* — толщина лепестков; *C* — ширина лепестков.

Таблица 2

Характеристики резонансных частот сборок

Камертон	Частота, Гц	Амплитуда резонансного пика (отчет АЦП*)	Отклонение частоты, Гц	Отклонение частоты, %	Среднее значение амплитуды для всего диапазона (отчет АЦП*)	Высота пика (отчет АЦП*)	Высота пика над средним уровнем кривой АЧХ, %
3	1250	527	10	0,81	341	185,94	55
5	1210	495	30	2,42	334	161,08	48
2	1280	445	40	3,23	336	108,62	32
4	1230	433	10	0,81	280	152,58	54
7	1240	453	0	0,00	333	119,79	36
6	1240	524	0	0,00	370	153,75	42
8	1230	589	10	0,81	392	197,19	50

*АЦП — аналого-цифровой преобразователь

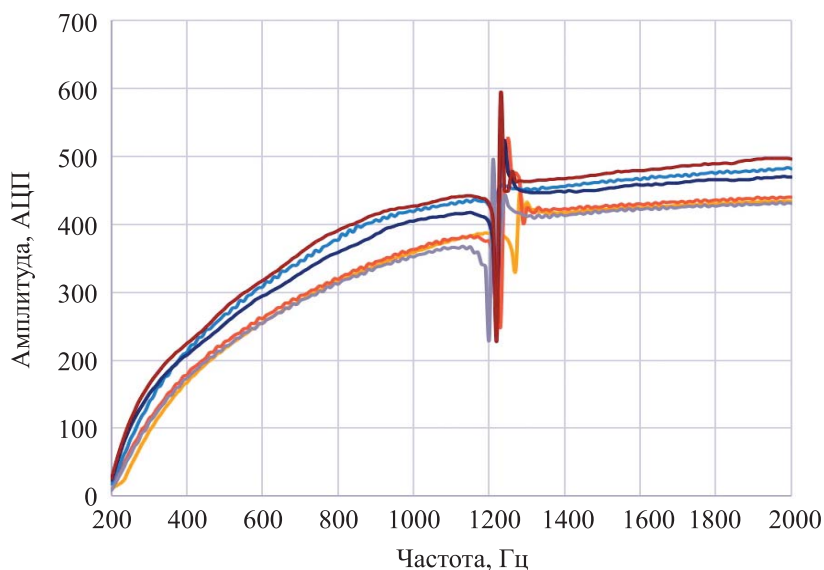


Рис. 9. Формы амплитудно-частотных характеристик для камертонов:
 — 2; — 3; — 4; — 5; — 6; — 8

Значения сопротивления покрытия даны в табл. 3; напряжение прикладывалось к нижней (общей) обкладке пьезоэлектрического преобразователя. Из анализа данных таблицы ясно, что практически во всех случаях удалось добиться повышения изоляционных свойств детонационного напыления.

Таблица 3

Сопротивление изолирующего покрытия на мембране

Камертон	Сопротивление после нанесения покрытия, МОм		Сопротивление после обработки, МОм	
	$U = 500 \text{ В}$	$U = 1000 \text{ В}$	$U = 500 \text{ В}$	$U = 1000 \text{ В}$
1	65	0	∞	300
2	120	0	∞	300
3	80	0	∞	∞
4	30	0	∞	120
5	120	0	∞	290
6	45	0	∞	∞
7	300	22	∞	∞
8	0	0	120	0

Для сборок также получены АЧХ резонансов для жидких сред с различными плотностью и вязкостью. Типовая АЧХ для сборок из эксперимента представлена на рис. 10.

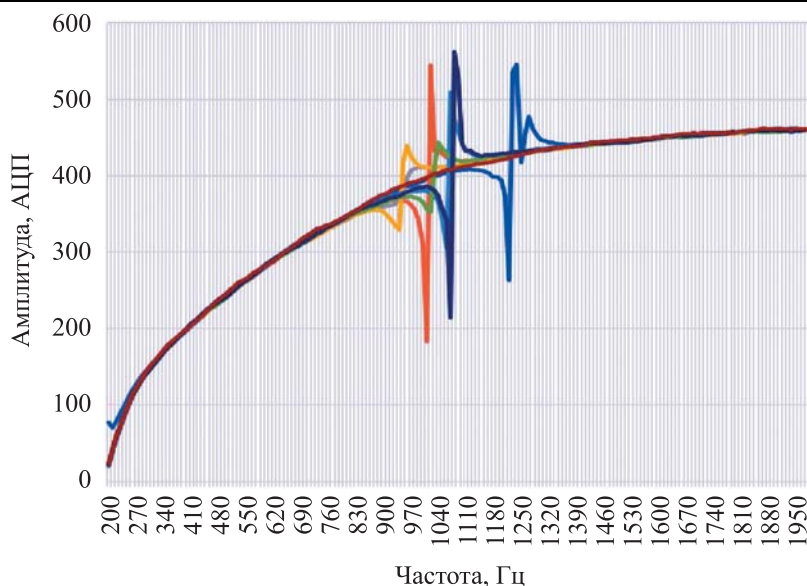


Рис. 10. Типовые амплитудно-частотные характеристики для сборок с детонационным напылением:

— воздух; — вода; — глицерин; — жидкое стекло;
 — изопропанол; — масло; — нефрас; — патока

Обсуждение результатов. Эксперименты с образцом детонационного напыления на пластине из нержавеющей стали показали, что молекулярное армирование маслом позволило повысить сопротивление изоляции на 3-4 порядка. В то же время на участках покрытия, где наблюдался электрический пробой до обработки покрытия, он сохранился и после обработки, что связано с наличием в покрытии темных включений (рис. 11). Именно через эти включения и происходит электрический пробой. Поскольку исходный материал оксида алюминия отличается повышенной чистотой, наличие включений может объясняться выбиванием частичек металла из канала ствола установки, производящей напыление. Данные табл. 3 показывают, что при толщине детонационного напыления 130 мкм удается путем молекулярного армирования повысить сопротивление изоляции до 300 МОм и более



Рис. 11. Проводящие включения в детонационном напылении

при исходных значениях сопротивления 30...120 МОм. Большой разброс таких значений сопротивления можно объяснить наличием металлических включений в детонационном покрытии, а также различиями слоя покрытия на разных образцах.

Несмотря на малый разброс, геометрические параметры резонаторов (см. табл. 1) и значения резонансных пиков на воздухе (см. табл. 2) отличаются от резонансных пиков для сборок, разброс составляет около 40 %.

Взаимодействие эпоксидных составов с детонационным напылением, подвергнутым молекулярному армированию, — тема дополнительных исследований.

Заключение. В ходе экспериментов удалось выработать последовательность технологических операций, позволяющих повысить электроизоляционные свойства детонационного напыления в результате молекулярного армирования покрытия жидкими диэлектриками.

Детонационное напыление было использовано для создания электроизолирующей прокладки между пьезоэлектрическим преобразователем и корпусом резонатора в составе чувствительного элемента вибрационного сигнализатора уровня. При толщине детонационного напыления 130 мкм удалось добиться сопротивления изоляции 300 МОм и более.

Образцы сборок резонаторов и пьезоэлементов с электроизоляцией в виде детонационного напыления имеют явные резонансные пики при работе с типовым набором жидкостей, что делает их пригодными для использования в составе сигнализаторов уровня.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жданкин В.К. Сигнализаторы изменения уровня. *Современные технологии автоматизации*, 2002, № 2, с. 6–19.
- [2] Зацерклянный О.В. *Исследование и разработка прецизионного плотностера жидкостей и газов на основе камертонного вибропреобразователя: Дис. ... канд. техн. наук*. Новочеркасск, 2021.
- [3] Богуш М.В., Гарковец А.А., Пикалев Э.М., Панич А.Е. Вибрационные сигнализаторы уровня для магистральных газопроводов. *НКТБ «Пьезоприбор» ЮФУ*. Ростов-на-Дону, ООО «Пьезоэлектрик». URL: https://www.piezoelectric.ru/files/3datchiki_davlenia.pdf
- [4] Gonzalez M., Ham G., Haddad A.A., Bernero G., Deffenbaugh M. Downhole viscosity measurement platform using tuning fork oscillators. In: 2015 *IEEE SENSORS*, IEEE, 2015, pp. 1–4.
- [5] Roshani G.H., Roshani S., Nazemi E., Roshani S. Online measuring density of oil products in annular regime of gas-liquid two-phase flows. *Measurement*, 2018, no. 129, pp. 296–301.
- [6] Fauchais P.L., Heberlein J.V.R., Boulos M.I. *Thermal spray fundamentals: from powder to part*. New York, Springer Science+Business Media, 2014, 1565 p. ISBN 978-0-387-28319-7.
- [7] *Техническая документация на прибор Rosemount 2133* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.instrumart.com/assets/Rosemount-2130-datasheet.pdf> (дата обращения: 25.05.2024).

- [8] Ulianitsky V.Yu., Shtertser A.A., Batraev I.S., Smurov I. Deposition of dense ceramic coatings by detonation spraying. In: *ITSC-2014 Proceedings*. Barcelona, Spain, DVS-Berichte, 2014, vol. 302, pp. 349–352. ISBN 978-3-87155-574-9.
- [9] Ульяницкий В.Ю., Штерцер А.А., Батраев И.С. Электроизоляционные свойства алюмооксидных детонационных покрытий. *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*, 2018, т. 20, № 4, с. 83–95. DOI: 10.17212/1994-6309-2018-20.4-83-95
- [10] Niittymäki M., Lahti K., Suhonen T., Metsäjoki J. Effect of temperature and humidity on dielectric properties of thermally sprayed alumina coatings. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2018, vol. 25, iss. 3, pp. 908–918. DOI: 10.1109/TDEI.2018.006892
- [11] Бражников А.М., Исаенко А.С., Ганигин С.Ю. Investigation of the characteristics of a tuning fork measuring transducer for level detectors of liquids and bulk materials. In: *Interdisciplinary Research: Past Experience, Present Opportunities, Strategies the Future: Collection of articles XXXV International Scientific and Practical Conference*. Melbourne, ICSRD “Scientific View”, 2023, 385 p.

Статья поступила в редакцию 16.07.2024

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Бражников А.М., Ганигин С.Ю. Исследование применимости детонационного напыления для электроизоляции пьезоэлектрических преобразователей в составе камертонных сигнализаторов уровня. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2024, вып. 10. EDN GARQEZ

Бражников Артем Максимович — аспирант кафедры «Радиотехнические устройства» СамГТУ. e-mail: ArtemBragnicov@yandex.ru

Ганигин Сергей Юрьевич — д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Радиотехнические устройства» СамГТУ. e-mail: ganigin.s.yu@yandex.ru

Detonation spraying applicability in electrical insulation of the piezoelectric transducers as part of the tuning-fork level detectors

© A.M. Brazhnikov, S.Yu. Ganigin

Samara State Technical University, Samara, 443100, Russian Federation

The paper considers a possibility to introduce detonation spraying in providing the piezoelectric transducer electrical insulation from metal elements of the device elements. It presents results of laboratory experiments aimed at applying detonation spraying based on the aluminum oxide (Al_2O_3) to the surface of a stainless steel workpiece. Results are demonstrated of measuring the coating insulation resistance, as well as of the experiments aimed at increasing the detonation spray coating insulation properties using molecular reinforcement with the synthetic oils. A sequence of technological operations was developed in the course of those experiments making it possible to raise insulation resistance of the detonation spraying by 3-4 orders of magnitude. Comparison of the amplitude-frequency characteristics of the piezoelectric element - resonator assemblies with and without an aluminum oxide coating showed a slight weakening of the resonance amplitude when operating in the typical liquid media with densities between 700 and 1300 kg/m³.

Keywords: detonation spraying, level detector, piezoelectric transducer, electrical insulation, molecular reinforcement

REFERENCES

- [1] Zhdankin V.K. Signalizatory izmeneniya urovnya [Level change alarms]. *Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii — Modern Automation Technologies*, 2002, no. 2, pp. 6–19.
- [2] Zatserklyanny O.V. *Issledovanie i razrabotka pretsezionnogo plotnomera zhidkostey i gazov na osnove kamertonogo vibropreobrazovatelya* Dis. ... kand. tekhn. nauk [Research and development of a precision densitometer for liquids and gases based on the tuning-fork vibration transducer] Diss. ... Cand. Sc. (Eng.]. Novocherkassk, 2021.
- [3] Bogush M.V., Garkovets A.A., Pikalev E.M., Panich A.E. Vibratsionnye signalizatory urovnya dlya magistralnykh gazoprovodov [Vibration level alarms for main gas pipelines]. *NKTB “Piezopribor” SFU*. Rostov-on-Don, Piezoelektrik JSC. Available at: https://www.piezoelectric.ru/files/3datchiki_davlenia.pdf
- [4] Gonzalez M., Ham G., Haddad A.A., Bernero G., Deffenbaugh M. Downhole viscosity measurement platform using tuning fork oscillators. In: *IEEE SENSORS, IEEE*, 2015, pp. 1–4.
- [5] Roshani G.H., Roshani S., Nazemi E., Roshani S. Online measuring density of oil products in annular regime of gas-liquid two-phase flows. *Measurement*, 2018, no. 129, pp. 296–301.
- [6] Fauchais P.L., Heberlein J.V.R., Boulos M.I. *Thermal spray fundamentals: from powder to part*. New York, Springer Science+Business Media, 2014, 1565 p. ISBN 978-0-387-28319-7
- [7] *Tekhnicheskaya dokumentatsiya na pribor Rosemount 2133* [Technical documentation for the Rosemount 2133 device]. Electronic resource. Available at: <https://www.instrumart.com/assets/Rosemount-2130-datasheet.pdf> (accessed May 25, 2024).

- [8] Ulianitsky V.Yu., Shtertser A.A., Batraev I.S., Smurov I. Deposition of dense ceramic coatings by detonation spraying. In: *ITSC-2014 Proceedings*. Barcelona, Spain, DVS-Berichte, 2014, vol. 302, pp. 349–352. ISBN 978-3-87155-574-9.
- [9] Ulianitsky V.Yu., Shtertser A.A., Batraev I.S. Elektroizolyatsionnye svoystva alyumooksidnykh detonatsionnykh pokrytiy [Electrical insulation properties of aluminum oxide detonation coatings]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) — Obrabotka Metallov / Metal Working and Material Science*, 2018, vol. 20, no. 4, pp. 83–95.
<https://doi.org/10.17212/1994-6309-2018-20.4-83-95>
- [10] Niittymäki M., Lahti K., Suhonen T., Metsäjoki J. Effect of temperature and humidity on dielectric properties of thermally sprayed aluminum coatings. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2018, vol. 25, iss. 3, pp. 908–918. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2018.006892>
- [11] Brazhnikov A.M., Isaenko A.S., Ganigin S.Yu. Investigation of the characteristics of a tuning fork measuring transducer for level detectors of liquids and bulk materials. In: *Interdisciplinary Research: Past Experience, Present Opportunities, Strategies the Future: Collection of articles XXXV International Scientific and Practical Conference*. Melbourne, ICSRD “Scientific View”, 2023, 385 p.

Brazhnikov A.M., Postgraduate, Department of Radio Engineering Devices, Samara State Technical University. e-mail: ArtemBragnicov@yandex.ru

Ganigin S.Yu., Dr. Sc. (Eng.), Head of the Department of Radio Engineering Devices, Samara State Technical University. e-mail: ganigin.s.yu@yandex.ru