ПРЯМОЙ СОВМЕЩЕННЫЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ДО +450°С ДЛЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ

© 2025 г. Вячеслав Игоревич Мальцев*

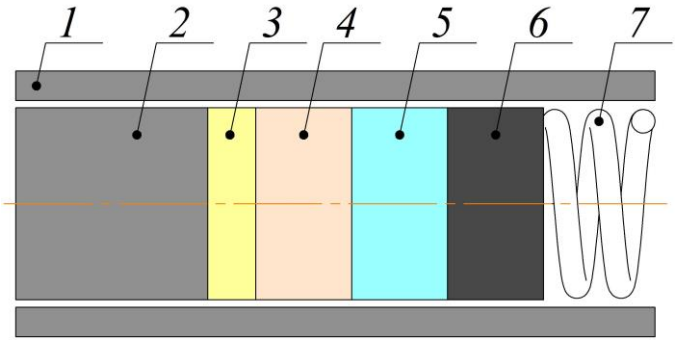
[1] – ООО «Константа УЗК», 198097 Санкт-Петербург, Огородный пер., д. 21, лит. А

** - mvi@constanta-us.com*

В докладе рассмотрены вопросы проектирования прямого совмещенного пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) для систем мониторинга состояния стационарных инфраструктурных объектов и технологического оборудования в диапазоне температур от -70°С до +450°С (измерение остаточной толщины и скорости коррозии/эрозии стенок технологического оборудования).

Для увеличения возможных областей применения рассматриваемого ПЭП (количества объектов и критических точек, пригодных для размещения) конструкция преобразователя не предусматривает вынос пьезоэлемента из зоны термического влияния, что традиционно требует использования специальных материалов и удлинения линии задержки. В качестве материала линии задержки используется нержавеющая сталь, обеспечивающая предпочтительную пару по согласованию акустических импедансов линии задержки и материала объекта контроля (в большинстве случаев технологическое оборудование, работающее при температурах до +450°С, изготавливается из нержавеющих сталей), а также возможность длительной эксплуатации без технического обслуживания.

Для создания надежного долговечного и термостабильного акустического контакта ПЭП с поверхностью объекта контроля (ОК) во всем рассматриваемом диапазоне температур применяется сухой контакт, обеспечиваемый подготовкой поверхности ОК (до необходимой шероховатости) и прижимом с требуемым усилием специальными оснастками (например, силовыми хомутами). Сухой контакт между пьезоэлементом и линией задержки осуществляется через слои металлизации из драгоценных пластических металлов, формируемых на поверхности пьезоэлемента, толщина которых на порядок меньше длины волны, что обеспечивает акустическую прозрачность границы, сравнимую по коэффициенту прозрачности D_{tt} с контактом через специализированные контактные пасты и значительно превышающую их по температурному диапазону применения (рис. 1).



1 – корпус, 2 – линия задержки, 3 – слои металлизации пьезоэлемента, 4 – пьезоэлемент, 5 – демпфер, 6 – изолятор, 7 – пружина

Рис. 1 Структура высокотемпературного ПЭП

Выполненные теоретические и экспериментальные исследования позволили подобрать синтетический монокристалл с температурой Кюри 1145–1210°С [1], способный излучать и принимать сдвиговые волны, обладающий необходимыми термостабильными пьезоэлектрическими и механическими характеристиками для использования в качестве пьезоэлемента ПЭП. Применение сдвиговых волн позволяет увеличить разрешающую способность при измерениях.

Конструкция преобразователя, структура которого представлена на рис. 1, включает демпфирующий блок, в состав которого входит термостабилизированный демпфер из прессованной алюминиевой фольги, позволяющий добиться необходимых значений лучевой разрешающей способности и изолятор из алюминиевого сплава с диэлектрическим покрытием. Пружина обеспечивает необходимое усилие прижима пьезоэлемента к линии задержки и демпферу во всем диапазоне температур от -70°С до +450°С. Встроенная в конструкцию ПЭП термопара позволяет учитывать градиент температур в преобразователе и изменение скорости распространения сдвиговых волн в линии задержки при измерениях, что позволяет обеспечивать требуемые погрешности при расчетах.

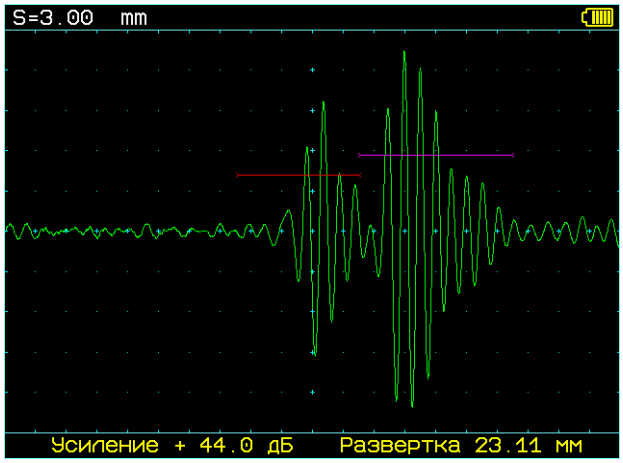


Рис.2 Форма сигналов. Границы раздела сред (красный строб), донный от дальней стенки ОК толщиной 3 мм (фиолетовый строб) при температуре пьезоэлемента +350°С

В докладе подробно изложены принципы конструирования, полученные экспериментальные результаты и вопросы применения высокотемпературного ПЭП в системах мониторинга состояния и технического диагностирования распределенных инфраструктурных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kazys, R.; Vaskeliene, V. High Temperature Ultrasonic Transducers: A Review. Sensors 2021, 21, 3200.