

УДК 531.781.2.087.92

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ И МЕТОДИКИ ИХ ПОДБОРА ДЛЯ КОМПЛЕКТАЦИИ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА ПРОТОТИПА ЛИНЕЙНОГО СЕНСОРА

Тимофеев Р.А., магистрант гр. КТМ-191, II курс
Научный руководитель: Дубов Г.М., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

В настоящее время для определения деформаций, механических напряжений и запаса прочности материала или конструктивного элемента существует несколько способов механического и электрического измерения. Однако, чаще всего используют чувствительные элементы – тензорезисторы.

Тензорезистор (от лат. *tensus* – напряжённый и лат. *resisto* – сопротивляюсь) – резистор, сопротивление которого изменяется в зависимости от его деформации [1].

Тензорезистор состоит из решетки, выполненной из тонкой проволоки или металлической фольги, уложенной на изоляционную подложку, и подсоединенных выводов тензорезистора (рис. 1).

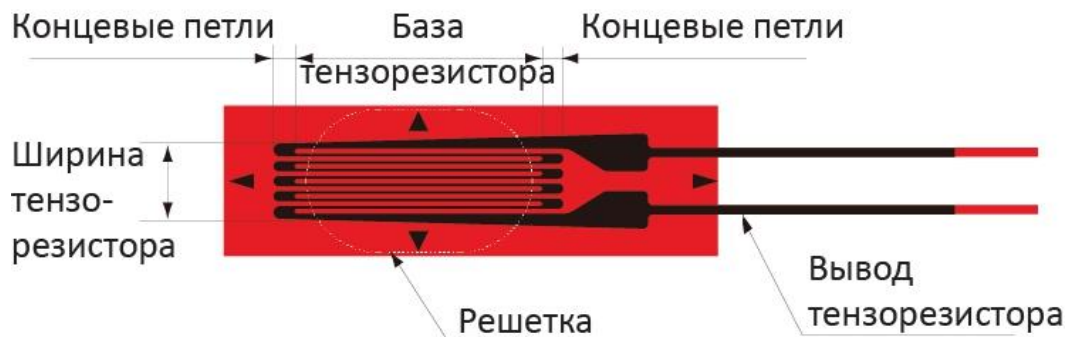


Рисунок 1 – Конструкция тензорезистора

При измерении деформации с помощью тензорезистора, он подключается к измерительному прибору - тензомеру. Тензомер, содержащий мост Уитстона, подает напряжение возбуждения. Измеренное значение деформации отображается на цифровом дисплее и/или выводится в виде аналоговых сигналов.

Первым шагом подготовки любой тензометрической системы является выбор тензорезисторов, которые лучше всего подходят для поставленной задачи. Данная операция достаточно важна для дальнейшего получения точных и надежных результатов измерений, а также для снижения трудоёмкости

монтажа и минимизации общей стоимости системы. На эксплуатационные характеристики тензорезисторов оказывают влияние такие факторы, как [2]:

- чувствительный к напряжениям сплав;
- материал подложки;
- сопротивление решётки;
- конфигурация решетки тензорезистора;
- длина тензорезистора.

Процесс выбора тензорезистора заключается в определении конкретной комбинации параметров, которая в наибольшей степени будет соответствовать условиям его эксплуатации. Однако, нужна такая комбинация, которая также наилучшим образом будет удовлетворять предъявляемым ограничениям [2]:

- точность;
- стабильность;
- диапазон температур;
- относительное удлинение;
- длительность испытаний;
- стойкость к циклическим нагрузкам
- лёгкость монтажа.

Важно учитывать, что процесс выбора тензорезистора – это нахождение некоего компромисса. Это связано с тем, что, выбрав параметры, которые обеспечивают выполнение одних ограничений или требований, можно ухудшить выполнение других. В целом это необходимо, чтобы при заданном наборе условий найти наилучшее решение, а также правильно оценить влияние этого решения на точность и достоверность получаемых экспериментальных данных.

Компонент, определяющий рабочие характеристики тензорезистора, является чувствительный к деформациям сплав, из которого изготовлена фольга тензометрической решетки. Однако чаще всего, данная характеристика включается в комбинацию-серию фольги и основания, учитывая дополнительные характеристики конструкции (герметизация, точки под пайку, проводочные выводы и т.д. (рис.2)). Самые распространенные типы сплавов – константан, сплав карма и изоэластичные сплавы (изоэластики).

Материалами подложки тензорезистора обычно выступают полиимид или фенол-эпоксидное покрытие со стекловолокном [2, 3].

Длина измерительного элемента тензорезистора – это активная или тензочувствительная длина решётки. Принято считать, что выводы и площадки под пайку нечувствительны к деформациям из-за большой площади поперечного сечения и низкого электрического сопротивления.

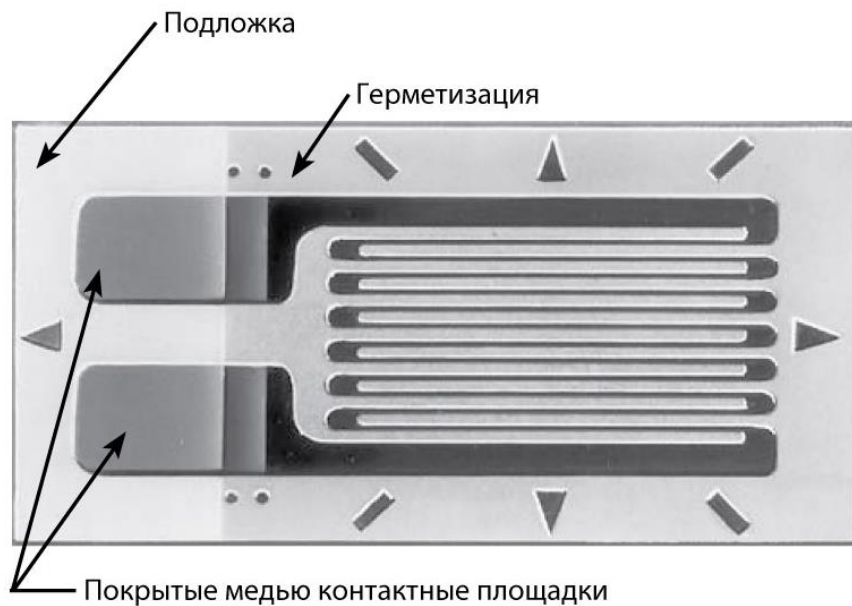


Рисунок 2 – Конструктивные особенности тензорезисторов

Длина измерительной решетки зачастую является очень важным фактором, определяющим характеристики тензорезистора в заданных условиях. Например, напряжение обычно в наиболее нагруженных точках, и очень часто сильно нагруженные точки тесно связаны с концентрациями напряжений с большим градиентом и достаточно малой зоной максимальных деформаций. Тензорезистор же усредняет напряжение в области тензометрической решетки. Учитывая, что средняя величина любого неоднородного распределения напряжений всегда меньше максимальной величины, то тензорезистор, размеры которого заметно больше области максимальных напряжений, будет показывать сильно заниженное значение.

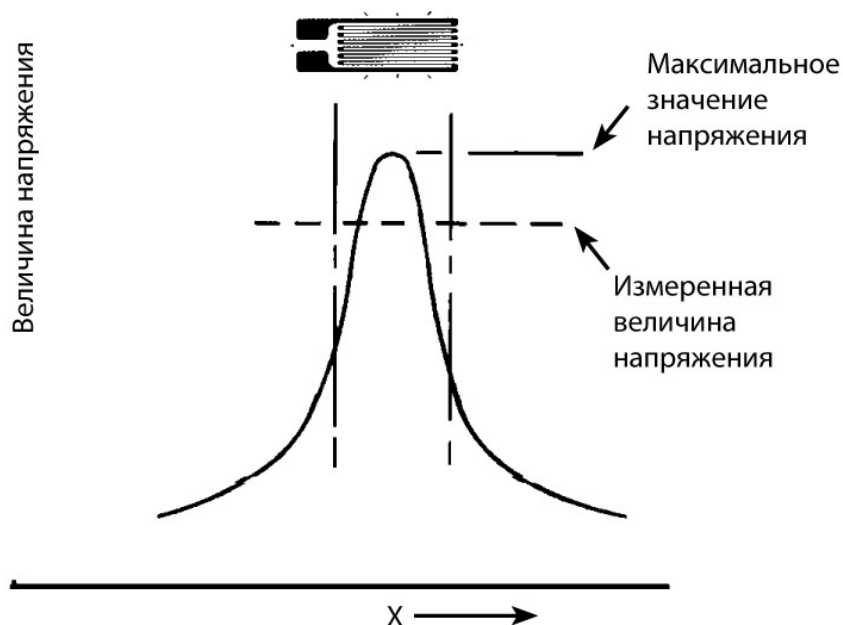


Рисунок 3 – График распределения деформаций на решетке тензорезистора.

Следующим важным пунктом характеристики тензорезистора конфигурация его решетки. Под конфигурацией тензорезистора понимают совокупность параметров, в которую входят: форма тензометрической решётки, число и ориентация решёток в многорешётчатых тензорезисторах, форма и расположение площадок под пайку, а также различные конструктивные особенности, являющиеся стандартными для конкретной конфигурации.

Площадки под пайку, по форме и ориентации должны быть совместимы с областью для установки тензорезистора. Также немаловажно, чтобы конструкция площадок позволяла упростить подключение к ним проволочных выводов.

Ширина тензометрической решётки. Когда на поверхности тестируемого образца имеются большие градиенты напряжений, перпендикулярные оси решётки, узкая решётка минимизирует погрешности, связанные с эффектом усреднения. Более широкие решётки, если таковые имеются в наличии и по своей конфигурации подходят для установки на отведённом для этого месте, улучшают ситуацию с рассеянием тепла и увеличивают устойчивость, особенно в тех случаях, когда тензорезистор должен устанавливаться на материал или образец с низким коэффициентом теплопроводности.

В некоторых случаях два тензорезистора, относящиеся к одной серии, отличаются друг от друга только величиной сопротивления тензометрической решётки – обычно это 120 Ом и 350 Ом. При возможности выбора, использование тензорезистора с более высоким сопротивлением предпочтительнее, так как в нём выделяется почти в три раза меньше тепла. Также к преимуществам тензорезистора с более высоким сопротивлением можно отнести то, что на его характеристики меньше влияют подключённые проволочные выводы.

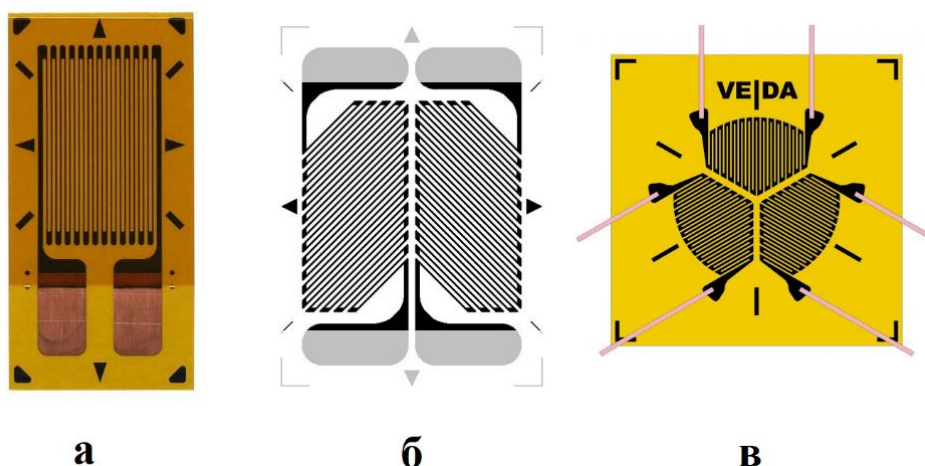


Рисунок 4 – Конфигурация тензорезисторов по количеству решеток:
а – одиночные; б – двойные; в – тройные.

Также, в зависимости от количества решеток, большое разнообразие имеет геометрическая конфигурация решетки (рис. 5).

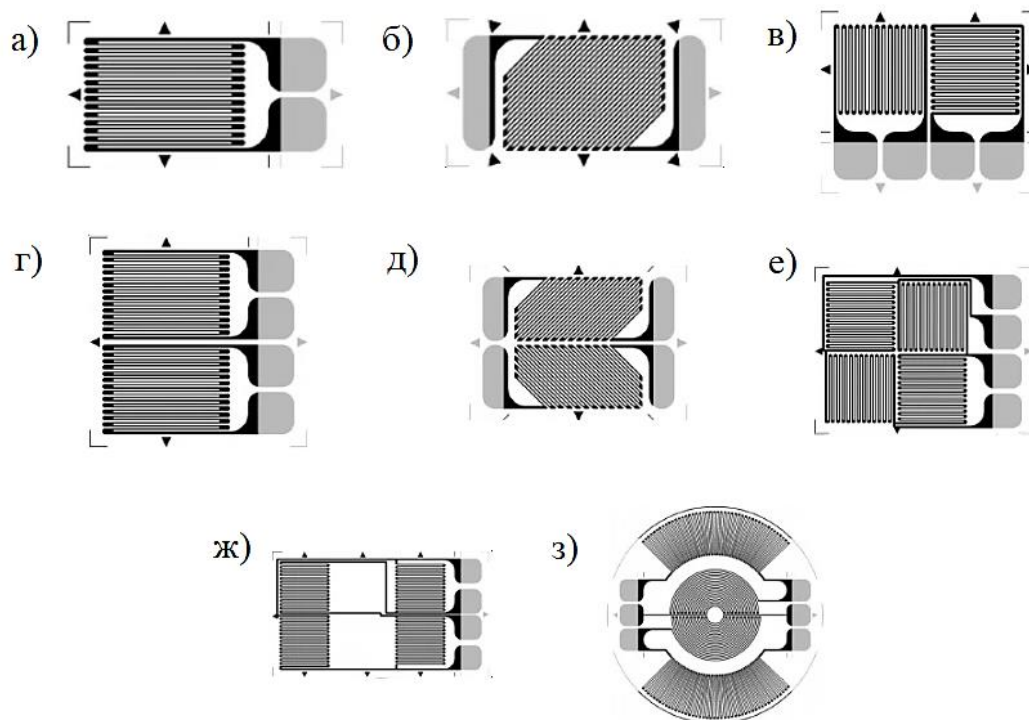


Рисунок 5 – Конструкции тензометрических решеток:
четвертьмостовые: а – линейная; б – наклонная под 45° ; *полумостовые*:
в – перпендикулярная; г – параллельная; д – наклонная под 45° (ёлочки);
полномостовые: е – перпендикулярная; ж – параллельная;
з – радиально-кольцевая.

Используя вышеописанную методику подбора тензорезисторов, для разрабатываемого прототипа линейного сенсора, после первичного анализа деформаций, уточнении характеристик материала и оценки содержимого склада, были подобраны тензорезисторы *1-XY11-3/350_E* производства НВМ [4]. Данные тензорезисторы удовлетворяют необходимым условиям и характеристикам.

Список литературы:

1. Тесленко, В.А. Что следует знать о тензорезисторах [Текст] / В.А. Тесленко // ПИКАД. – 2006. - № 1. – С. 48-52.
2. Выбор тензорезисторов: критерии, процедура, рекомендации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.onlinescales.ru/articles/publikacii-s2/vybor-tenzorezistorov-kriterii-procedura-rekomendacii-a22/>.
3. Тензорезисторы TML [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tmljp.ru/upload/iblock/e1e/Тензорезисторы%20TML.pdf>
4. Каталог тензорезисторов НВМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.hbm.ru/upload/iblock/681/katalog_tenzorezistory-i-aksessuary-nvm.pdf