

УДК: 53.082

## ТИПЫ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ, ИХ ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ RESISTANCE STRAIN GAUGES TYPES, THEIR ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Корякин М.

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

jte@tut.by

Karakin M.

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior lecturer  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

**Аннотация:** перечисление типов тензорезисторов, их достоинств и недостатков.

**Abstract:** enumeration of resistance strain gauge type, their advantages and disadvantages.

**Ключевые слова:** тензорезистор, тензорезистивный эффект, тензорезисторная розетка, мембранная тензорезисторная розетка, тензорезисторная цепочка, приклеиваемые тензорезисторы, привариваемые тензорезисторы.

**Keywords:** resistance strain gauge, tensivity resistive effect, strain gauge rosette, membrane strain gauge rosette, resistance strain gauge chain, glued resistance strain gauge, welded resistance strain gauge.

### Введение

Тензорезистор – это измерительный преобразователь линейной деформации в изменение активного сопротивления, принцип действия которого основан на тензорезистивном эффекте.

Тензорезистивный эффект – это свойство проводников и полупроводников изменять электрическое сопротивление при объемном или линейном деформировании.

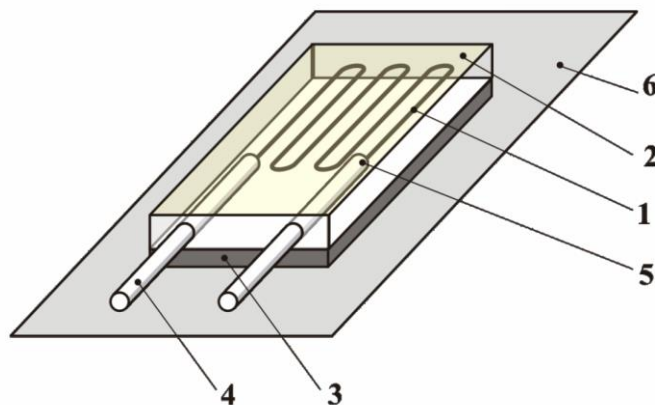


Рисунок 1 - Схематичное изображение тензорезистора  
1 - тензочувствительный элемент; 2 и 3 – подложки  
4 и 5 – соединительные провода  
6 – поверхность исследуемой детали

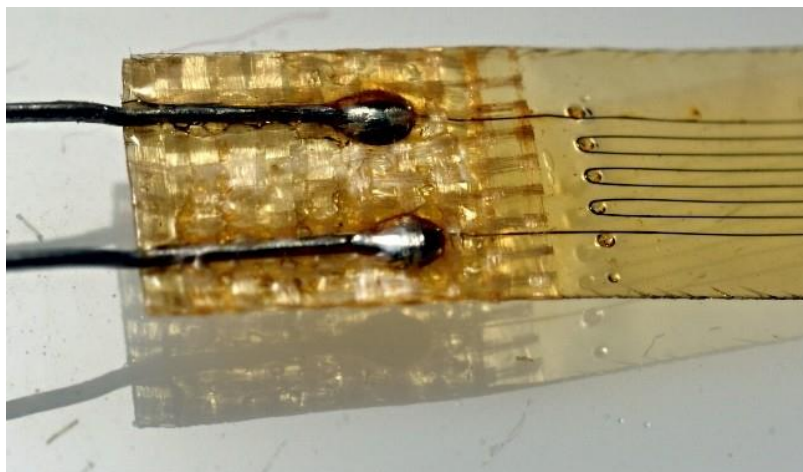


Рисунок 2 - Фотография проволочного тензорезистора

Основной характеристикой тензорезистора является его коэффициент относительной тензочувствительности, определяемый как

$$k = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon}$$

т.е. отношение относительного изменения электросопротивления  $\Delta R/R$  тензорезистора к вызывающей это изменение деформации  $\varepsilon = \Delta l/l$  исследуемого материала, где  $l$  – длина базы тензорезистора (Рисунок 3). Это значит, что зная коэффициент  $k$  и регистрируя изменение сопротивления тензорезистора  $\Delta R$  мы можем определить относительное удлинение тензочувствительного элемента  $\Delta l/l$ , а значит и силу необходимую для такого удлинения.

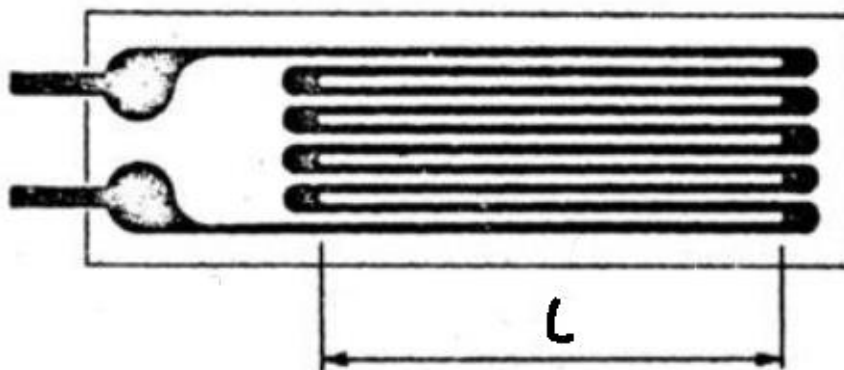


Рисунок 3 - Схематичное изображение тензорезистора

**Основная часть**

Тензорезисторы используются в:

- Датчиках силы и давления (основная сфера использования тензорезисторов);
- Датчиках ускорения;
- Датчиках перемещения;
- Датчиках крутящего момента.

Тензорезисторы подразделяют по:

- Материалу чувствительного элемента;
- Количеству чувствительных элементов, их форме и расположению;
- Наличию или отсутствию подложки и материалу подложки;
- Способу установки на поверхность объекта;
- Диапазону измеряемых деформаций;
- Наличию или отсутствию термокомпенсации.

Материал чувствительного элемента может быть:

1. Полупроводниковым;
2. Проводниковым (металлическим).

Последние, в свою очередь, в зависимости от вида материала чувствительного элемента подразделяются на:

- a. Проволочные;
- b. Фольговые.

Тензорезисторы по количеству чувствительных элементов, их форме и расположению на подложке могут быть:

1. Одиночными тензорезисторами;
2. Тензорезисторными розетками;
3. Мембранными тензорезисторными розетками;
4. Тензорезисторными цепочками.

Тензорезисторная розетка – это измерительный преобразователь, содержащий на общей подложке чувствительные элементы тензорезистора, главные оси которых ориентированы под определенными углами друг к другу.

Мембранная тензорезисторная розетка – это вид тензорезисторных розеток предназначенных для измерения радиальных и тангенциальных деформаций.

Тензорезисторная цепочка – это совокупность чувствительных элементов тензорезистора или тензорезисторных розеток, расположенных на общей подложке в определенной последовательности.

Виды тензорезисторов выделяемых при делении по наличию или отсутствию подложки и материалу подложки:

1. На бумажной подложке;
2. На плёночной (клеевой, лаковой) подложке;
3. На стеклотканевой подложке;
4. На металлической подложке;
5. Со сводным чувствительным элементом (без подложки).

Таблица 1 - Достоинства и недостатки различных подложек

Вид подложки	Достоинства	Недостатки
Бумажная	Дешевизна	Не высокая прочность
Плёночная	Хорошая адгезия с многими связующими	Не высокая прочность

Стеклотканевая	Высокая прочность Хорошо выдерживает циклические нагрузки	
Металлическая	Высокая прочность Возможность приваривания к поверхности	Высокая цена
Без подложки	Малые размеры	Высокая хрупкость датчика

По способу установки на поверхность объекта тензорезисторы делят:

1. Приклеиваемые;
2. Привариваемые;

Приклеиваемые тензорезисторы – это тензорезисторы, закрепляемые на поверхности объекта с помощью связующего.

Таблица 2 - Достоинства и недостатки приклеиваемых тензорезисторов

Достоинства	Недостатки
Легко переносить датчик с одного измеряемого объекта на другой	Не высокая прочность соединения

Привариваемые тензорезисторы - тензорезисторы с металлической подложкой, закрепляемые на поверхности объекта помощью точечной или иной сварки.

Таблица 3 - Достоинства и недостатки привариваемых тензорезисторов

Достоинства	Недостатки
Высокая прочность соединения	Большие сложности при переносе датчика с одного измеряемого объекта на другой

По диапазону измеряемых деформаций тензорезисторы делят на:

1. Для измерения упругих деформаций (предельная измеряемая деформация в пределах диапазона  $\pm 3000 \text{ млн}^{-1}$ );
2. Для измерения упругопластических деформаций (предельная измеряемая деформация за пределами диапазона  $\pm 3000 \text{ млн}^{-1}$ ).

$\text{млн}^{-1}$  (миллионная доля) – единица измерения относительного удлинения проводника тензорезистора.

По наличию или отсутствию термокомпенсации тензорезисторы бывают:

1. Термокомпенсированные;
2. Частично термокомпенсированные;
3. Нетермокомпенсированные;

Термокомпенсированный – это тензорезистор включённый в мостовую схему вместе с ещё одним и более подобными тензорезисторами таким обра-

зом, чтобы последние не участвовали в измерении нагрузки, но имели ту же температуру, что и измеряющий нагрузку тензорезистор.

Частично термокомпенсированный – это тензорезистор у которого при снятии показаний предпринимаются меры по уменьшению влияния эффекта изменения сопротивления проводника при изменении температуры.

Нетермокомпенсированный – это тензорезистор с которого снимаются показания непосредственно, без учёта изменения сопротивления проводника при изменении температуры, а также тензорезистор в мостовой схеме, где нет тензорезисторов направленных на компенсацию эффекта изменения сопротивления проводника при изменении температуры.

Таблица 4 - Достоинства и недостатки различной термокомпенсации

По термокомпенсации	Достоинства	Недостатки
Термокомпенсированные	Легко снимать показания с датчика Отсутствует погрешность в связи с нагревом	Сложность строения датчика
Частично термокомпенсированные	Простота строения датчика	Сложности при снятии показаний с датчика в связи с необходимостью выполнения дополнительных действий для уменьшения влияния температуры
Нетермокомпенсированные	Легко снимать показания с датчика Простота строения датчика	Присутствует погрешность в связи с нагревом

### Заключение

Тензорезистор – это очень ценный элемент датчиков, без которого было бы очень сложно давать возможность ЭВМ определять силы, действующие на различные тела. Благодаря разнообразию тензорезисторов, их можно применять в множестве сфер жизнедеятельности человека, упрощая их.

### Литература

1. Тензорезистор // Википедия. [2022]. Дата обновления: 14.08.2022. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=1520384&oldid=124803799> (дата обращения: 14.08.2022).
2. Тензорезисторы. Энциклопедия электроники L7805CV [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://l7805cv.ru/resistor-tenzo.html>. - Дата доступа: 14.08.2022.