

**ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕНЗОМЕТРИИ В РАМКАХ  
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
"ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН"**

**Родионов Н.А., аспирант; Сотников А.Л., доц., к.т.н.**

*(ГВУЗ "Донецкий национальный технический университет", г. Донецк, Украина)*

Методы тензометрии широко используются при измерениях упругих деформаций (измерения растяжения или сжатия тел), а также их производных, выраженных в виде измерений крутящих и изгибающих моментов, действующих на поверхности различных деталей при их механической нагрузке [1-2]. В основу тензометрии положен тензоэффект, заключающийся в изменении активного сопротивления проводника первичного преобразователя (тензодатчика) под действием механических напряжений и деформаций. Использование тензодатчиков при проведении научно-технических исследований позволяет осуществлять контроль деформаций и напряжений при воздействии статических и динамических нагрузок. Особенно актуально это в случае работы со статически неопределимыми механическими системами, параметры нагружения которых могут быть определены только косвенными эмпирическими методами.

В виду вышеописанного актуальным является практическое изучение студентами инженерных специальностей основ методов тензометрии в рамках проведения соответствующих лабораторных работ, например, по дисциплине "Динамика и прочность металлургических машин". Отдельно можно выделить такую процедуру, как тарировка используемых при измерении деформаций тензорезисторов, на которых строятся тензодатчики.

Тарировка тензодатчика, предназначенного для измерения напряжений в детали, выполняется с целью "привязки" значений, изменяемых пропорционально нагрузке и деформации, токовых характеристик тензодатчиков (выражаемого, как правило, в кодах аналого-цифрового преобразователя (АЦП)).

С этой целью был разработан соответствующий лабораторный стенд в виде "балочки равного сопротивления изгибу" (рис. 1), который позволяет проводить тарировку тензодатчиков, установленных по схеме "мост" или "полумост" [3], косвенными методами.

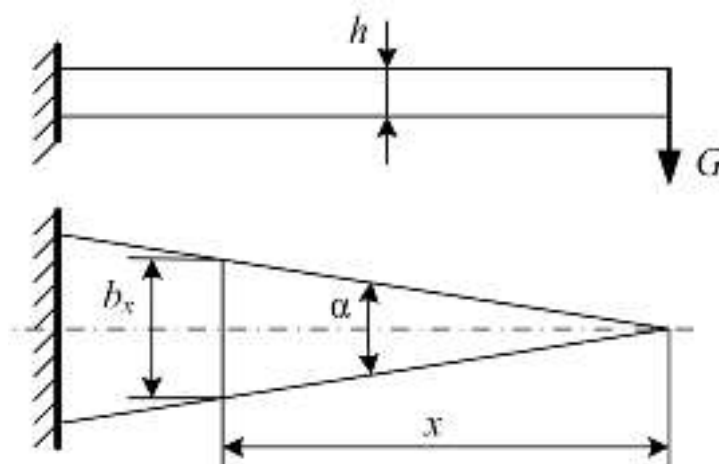


Рисунок 1 – Схема тарировочной балочки:  $h$  – толщина балочки;  $\alpha$  – угол при вершине балочки в плане;  $b_x$  – ширина на расстоянии  $x$  от вершины балочки

Стенд представляет собой консольно жестко закрепленную пластину в форме треугольника в плане, так называемой "балочки", к остроконечному концу которой прикладывается нагрузка  $G$ , в виде статического груза заранее известной массы (рис. 2).

На балочке располагаются тензодатчики: контрольный и подлежащий тарировке (рис. 3). Тарируемый датчик через основание в виде пластины клеится с помощью специального клея на поверхности балочки, что позволяет после тарировки перенести его на исследуемую деталь, без существенного искажения коэффициента тензочувствительности датчиков.



Рисунок 2 – Статическое нагружение тензометрической балочки

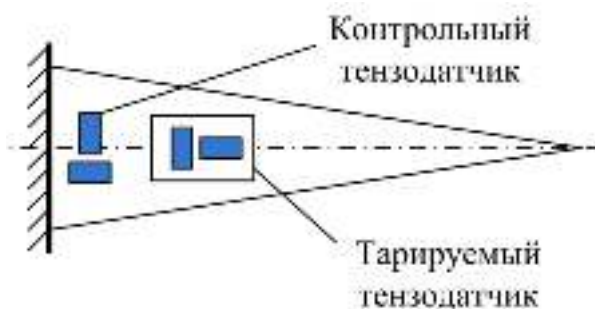


Рисунок 3 – Расположение контрольного и подлежащего тарировке тензодатчиков на тарировочной балочке

Фольговый тензорезистор, на основе которого выполняется тензодатчик, представляет собой плоский элемент (рис. 4), состоящий из тонкой (0,015...0,03 мм) фольги 1, материал которой обладает высоким омическим сопротивлением (как правило, константан), уложенной зигзагообразно между двумя полосками специальной тонкой (0,002...0,005 мм) полимерной пленки 2. К концам фольги пайкой присоединены латунные выводы 3, служащие для соединения тензорезистора с системой тензометрических измерений. Применение константановой фольги обусловлено двумя существенными факторами: а) высоким омическим сопротивлением проводника; б) постоянством удельного сопротивления при повышении температуры до 500 °С. Например, у стали в этом же диапазоне температур удельное сопротивление увеличивается почти в восемь раз. Датчик вследствие зигзагообразной укладки фольги реагирует только в направлении оси  $X$  и не чувствителен в направлении оси  $Y$ .

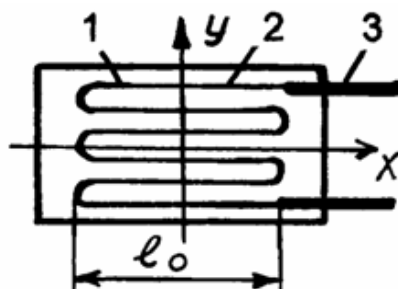


Рисунок 4 – Принципиальная схема устройства тензорезистора

Базой тензодатчика называют длину  $l_0$  прямолинейных участков проводника, из которого он изготовлен (см. рис. 3). Отношение относительного изменения сопротивления  $\varepsilon_R$  к относительной продольной деформации  $\varepsilon_l$  называют коэффициентом тензочувствительности  $K$ . Для большинства применяемых материалов он приблизительно равен:

$$K = \frac{\varepsilon_R}{\varepsilon_l} \cong 2.$$

Для проведения лабораторных работ по тарировке тензометрической системы выбраны фольговые тензорезисторы типа ВЕ120-2АА-А(11)-D с базой  $l_0=2$  мм и сопротивлением  $R=120$  Ом. Следует учитывать, что с уменьшением базы датчика снижается его тензочувствительность из-за увеличения влияния криволинейных участков (петель датчика).

Для измерения одноосных напряжений тензорезисторы наклеиваются на деформируемую балочку или исследуемую деталь и включаются в мостовую схему так, как показано на рис. 5. Один рабочий  $R_1$  и один компенсационный  $R_2$  тензорезисторы наклеиваются на верхнюю поверхность детали, а два других ( $R_3$  и  $R_4$ ) – на нижнюю поверхность. Рабочие тензорезисторы ( $R_1$  и  $R_4$ ) включаются в одни противоположные плечи моста, а компенсационные ( $R_2$  и  $R_3$ ) – в два других противоположных плеча. При такой схеме достигается не только температурная компенсация, но и компенсация изгибных напряжений, а чувствительность возрастает вдвое по сравнению, к примеру, с полумостовой схемой подключения.

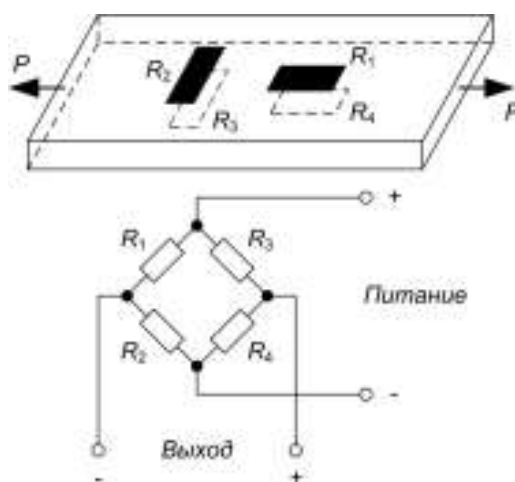


Рисунок 5 – Схема расположения тензорезисторов на детали и порядок их включения в мостовую схему при измерении одноосных напряжений

В виду конической формы, в любом сечении тарировочной балочки напряжения одинаковы и на расстоянии  $x$  от вершины равны:

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x},$$

где  $M_x$  – изгибающий момент в сечении на расстоянии  $x$  от вершины балочки;  $W_x$  – момент сопротивления поперечного сечения.

Подставляя выражение

$$M_x = Gx \text{ и } W_x = \frac{b_x h^2}{6}$$

в первую формулу и приняв

$$b_x = 2xtg\alpha,$$

получим

$$\sigma_x = \frac{3G}{h^2 \operatorname{tg} \alpha},$$

т.е. напряжение не зависит от расстояния до вершины балочки.

Зная параметры балочки  $h$  и  $\alpha$ , и изменяя последовательно значение статического груза  $G$  (таблица 1), определяется ряд значений показаний измерительной тензометрической системы  $I_{np}$  (кодов АЦП) и соответствующих им  $\sigma_x$  (рассчитанных по второй формуле в статье), по которым строится тарифовочный график. В случае принятой для использования при проведении лабораторных работ тензометрической балочки, тарифовочный график зависимости кодов АЦП от изменения статической нагрузки имеет вид, показанный на рис. 6. Дальнейшая аппроксимация которого полиномом 1-й степени позволяет получить соответствующую аналитическую линейную зависимость:

$$\sigma(\text{АЦП}) = 0,0107 + 0,0083 \text{АЦП},$$

где АЦП – соответствующие изменения нагружения в кодах АЦП.

Таблица 1 – Геометрические размеры тензометрической балочки и параметры ее нагружения

Геометрические размеры тензометрической балочки		Массы статического груза $G$ , Н		
$h$ , мм	$\alpha^\circ$	$G_{min}$	$G_{\Delta}$	$G_{max}$
10	25	4,8	4,8	19,2

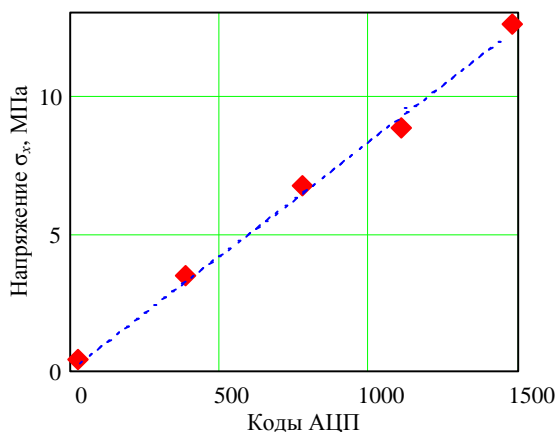


Рисунок 6 – Тарифовочный график

Последняя зависимость позволяет проводить измерения деформации исследуемой механической конструкции (или детали) после установки на нее протарифованных тензодатчиков.

Таким образом, разработана методика проведения лабораторной работы по тарифовке тензометрических датчиков косвенным методом, с использованием тензометрической балочки равного сопротивления изгибу.

#### Перечень ссылок

1. Совершенствование конструкции манипулятора для механизированной замены защитной огнеупорной трубы при непрерывной разливке стали / С.П. Еронько, С.В. Быковских, Н.А. Родионов, Е.В. Банных / *Металлургические процессы и оборудование*. – 2010. – №2. – С. 19-25.
2. Еронько С.П., Быковских С.В. *Физическое моделирование процессов внепечной обработки и разливки стали*. – К.: Техника, 1998 г. – 136 с.
3. Панфилов В.А. *Электрические измерения*. – М.: Академия, 2006. – 288 с.