Мокров Е.А., Тихонов А.И., Рогонов А.А.

КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ ДАТЧИКА НА ОСНОВЕ ПОПЕРЕЧНОГО ТЕНЗОЭФФЕКТА

TRANVERSE TENSORESISTIVE EFFECT-BASED SENSOR STRUCTURAL LAYOUTS

НИИ физических измерений, г.Пенза

Рассмотрены теоретические предпосылки создания силоизмерительного датчика-шайбы на основе поперечного тензоэффекта, приведены его конструктивные схемы. Представлены возможности данного датчика в повышении быстродействия, надежности, жесткости и снижении габаритных размеров, массы и стоимости.

Theoretical background of force-measuring sensor-washer based on transverse tensoresistive effect is considered, its structural layouts are given. The sensor performance capabilities to increase operating speed, reliability as to reduce size, mass and cost are presented.

Рыночная экономика формирует специфичные требования к разработке и производству датчиковой аппаратуры. Среди этих требований следует выделить такие, как минимальная стоимость разработки и изготовления датчиков, сроки выполнения заказа.

Датчики, построенные на традиционных методах преобразования, часто не удовлетворяют этим требованиям. Это можно отнести и к тензорезисторным датчикам, в которых используется продольный тензоэффект. Удовлетворение сформулированных выше требований может быть достигнуто использованием в датчиках поперечного тензоэффекта (патент России №2010192, авторы Тихонов А.И, Мокров Е.А., Тихонов А.М., Карасев В.А.), когда тензоэлемент подвергается не деформациям сжатия-растяжения (продольные деформации), а деформациям сплющивания (поперечные деформации).

Такое нетрадиционное применение тензопроволоки дает совершенно новый аспект развития тензорезисторного метода преобразования. В этом случае тензорезисторная проволока не является просто тензорезистором с присущими ему недостатками, а также выполняет роль упругого элемента, совмещая [1] функции двух измерительных преобразователей. Это позволяет выполнить массу датчика минимальной и сделать ее практически независимой от предела преобразования, значительно увеличить частотный диапазон преобразования и снизить статическую осадку упругого элемента практически до нуля. Очень важным является то, что использование такого технического предложения дает возможность существенно снизить размер оси чувствительности датчика – его высоту.

Применение поперечного тензоэффекта, в конечном счете, приводит к удешевлению и сокращению сроков разработки датчика. Этому способствует и то обстоятельство, что из техпроцесса изготовления датчика исключается такой дорогостоящий, требующий специального оборудования и оснастки процесс, как наклейка тензорезисторов.

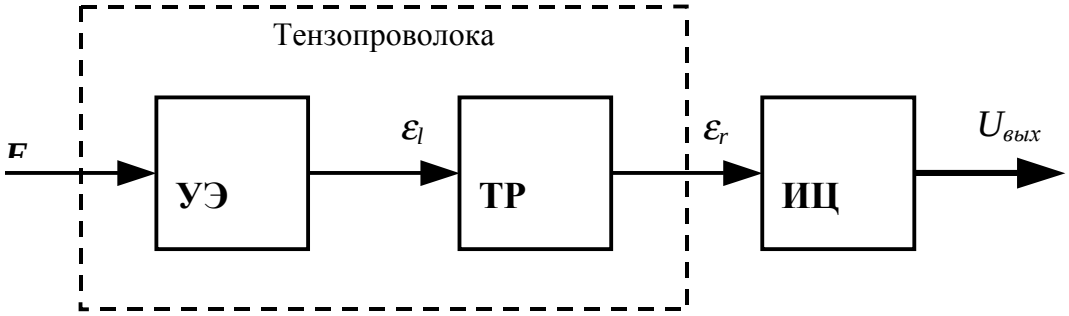

Рисунок 1

@2002, электронная версия подготовлена ЗАО АВТЭКС Санкт-Петербург, http://www.autex.spb.ru

Структурная схема тракта преобразования датчика на основе поперечного тензоэффекта (рисунок 1), оставаясь в привычном начертании, отражает важное конструктивное изменение. Здесь преобразование силы *F* в относительную деформацию ε_l и преобразование относительной деформации в относительное изменение сопротивления ε_r осуществляется не в отдельных измерительных преобразователях, а в одном конструктивном элементе — тензопроволоке. Как уже упоминалось выше, тензопроволока совмещает функции двух измерительных преобразователей: упругого элемента (УЭ) и тензорезистора (ТР).

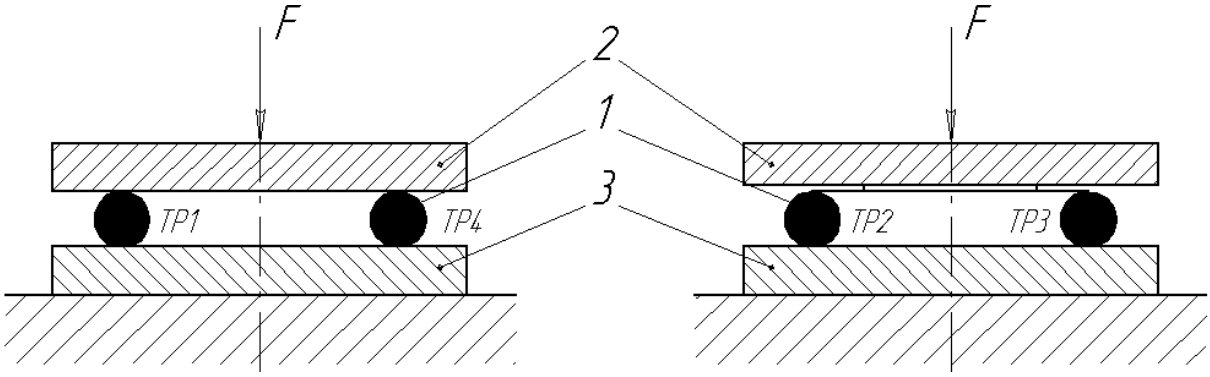

Рисунок 2

Конструктивная схема предложенного решения может быть представлена в следующем виде (рисунок 2). Здесь тензоэлемент 1 выполнен в виде тензочувствительной токоизолированной проволоки зигзагообразного контура (рисунок 3), а сам контур разделен на 4 равных части, из которых сформирована мостовая измерительная цепь, где секции ТР1 и ТР4 образуют одну пару противоположных плеч моста, а секции ТР2 и ТР3 – другую. Тензоэлемент установлен между силовоспринимающей шайбой 2 и основанием 3.

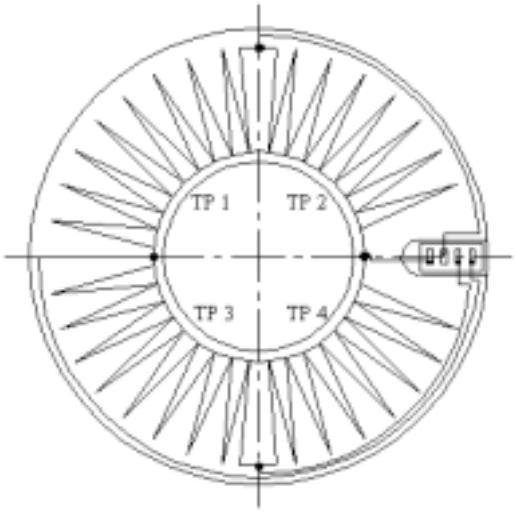

Рисунок 3

В силовоспринимающем элементе (шайбе) пазы выполнены так, чтобы при приложении силы F не осуществлялось деформирование секций ТР2 и ТР3, а нагрузка была приложена только к секциям ТР1 и ТР4. В этом случае кроме увеличения величины выходного сигнала в два раза, существенно сокращается аддитивная погрешность датчика, так как неработающая (недеформируемая) пара тензорезисторов выполняет роль температурокомпенсационных резисторов.

Анализ физических процессов, происходящих в тензопроволоке при таком деформировании, позволил [2] получить функцию преобразования измеряемой силы в относительное изменение сопротивления тензорезистора в следующем виде:

$$\varepsilon_r = \frac{m \cdot (1-\mu)}{l \cdot d \cdot E} \cdot F ,$$

где μ и E — коэффициент Пуассона и модуль упругости материала тензопроволоки, l и d — длина и диаметр тензопроволоки соответственно, m — коэффициент формы сечения тензопроволоки.

Реализация такой конструктивной схемы позволяет практически исключить значительные расходы, связанные с разработкой и изготовлением УЭ, так как тензопроволока совмещает функции и тензорезистора и УЭ, а также с изготовлением корпусных элементов, так как силовоспринимающая шайба и основание выполняют и защитную роль. Из технологического цикла исключается трудоемкий и дорогостоящий техпроцесс установки на ЧЭ тензорезисторов. Кроме того, значительно снижается материалоемкость такого датчика, так как размер датчика в направлении действия силы минимален, и, как показывают исследования, составляет 10 ÷ 15 мм для номинальных пределов преобразования силы от 10^4 Н до $5 \cdot 10^5$ Н. В отличие от традиционных тензорезисторных датчиков силы, использующих продольный тензоэффект, масса рассматриваемого датчика практически не зависит от пределов измерения и составляет величину, по крайней мере, на порядок ниже.

Другая конструктивная схема датчика [3], использующая поперечный тензоэффект, приведена на рисунке 4. В этой схеме тензоэлемент располагается на тонкой металлической пластине 4 сверху и снизу ее. Причем секции ТР1 и ТР2 расположены сверху ее, а секции ТР3 и ТР4 – снизу, а пазы выполнены на силовоспринимающем элементе и основании так, чтобы секции ТР2 и ТР3 не подвергались деформированию.

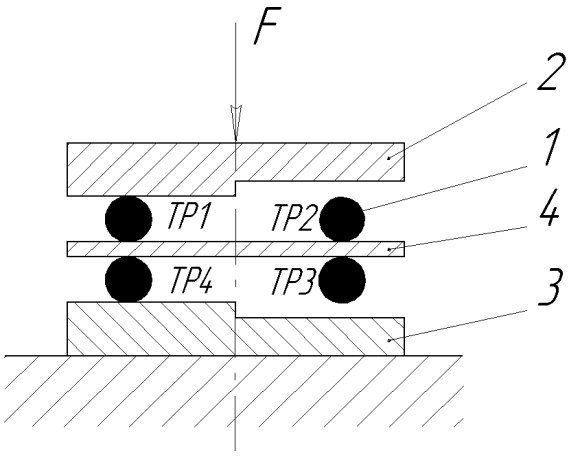

Рисунок 4

В этой конструктивной схеме снижение затрат на производство осуществляется за счет снижения поперечного размера датчика минимум в 2 раза.

Таким образом, использование поперечного тензоэффекта в соответствии с приведенными конструктивными схемами позволяет значительно расширить возможности применения тензорезисторных датчиков. Такие датчики резко снижают требования к специфичности их изготовления и могут быть рекомендованы для применения в следующих областях: короткие кинематические цепи, не допускающие изменения их жесткости; измерение сил в прокатных станах, в винтах вертолетных двигателей; контроль сил, развиваемых реактивным двигателем самолетов, сил взрывного характера (демпфирующие устройства посадки и т.д.).

Литература.

1. Тихонов А.И. Принцип совмещения функций в датчиках механических величин // Приборы и системы управления. - 1996. -№1
2. Тихонов С.А. Физические основы работы силовоспринимающего датчика – шайбы // Датчики систем измерения, контроля и управления: Межвуз. сб. научн. тр. – Пенза: Пенз. гос. университет, 2001 г.
3. Тихонов А.И., Мокров Е.А., Шамраков А.Л., Тихонов С.А., Кузнецова Н.А. Устройство для измерения нагрузок. Заявка на изобретение №2002105298 приоритет 26.02.02