

УДК 531.781

ИЗМЕРЕНИЕ СИЛОМОМЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ВРАЩАЮЩИХСЯ ВАЛАХ

В. П. СТАВРОВ¹, В. М. ТКАЧЕВ²⁺, А. И. СТОЛЯРОВ²¹ Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова 13а, 220630 г. Минск² Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, пр. Октября 48, 246746 г. Гомель, Беларусь.

Приводится конструкция упругого элемента датчика крутящего момента, для градуировки которого не требуется специальных градуировочных устройств. Градуировка проводится путем приложения осевой силы. Изложен способ определения осевых и радиальных составляющих усилий. Описана оптимизация геометрических размеров с целью получения максимальной чувствительности.

Введение. Использование традиционных средств для измерения крутящих моментов на валах (например, тензорезисторов) вызывает определенные затруднения [1]. Повышенные вибрации и запыленность, требования к жесткости упругого элемента измерителя в связи со значительным превышением пускового момента над измеряемым и недостаточная чувствительность для обеспечения требуемой точности измерения – основные проблемы при измерении крутящих моментов.

Постановка задачи. Разработка устройств для измерения больших значений крутящего момента усугубляется проблемой их градуировки. В общепринятой практике тарировка ротационных динамометров проводится путем создания фиксированных значений крутящего момента с помощью рычажных нагружающих устройств. В настоящее время класс точности образцовых датчиков крутящего момента не выше 0,5 при номинальном значении крутящего момента не более 0,5 кН·м. Создание же поверочного стенда для датчиков крутящего момента с номинальными значениями момента в пределах 550 кН·м с классом точности 0,5, какие требуются, например, для насосных агрегатов нефтеперекачивающих станций, представляет собой чрезвычайно трудную техническую задачу. В классическом рычажном варианте это громоздкое металлоемкое технически сложное изделие с устройствами для компенсации сил трения, упругой деформации рычагов, их поворота и веса.

Результаты и их обсуждение. Ввиду изложенных особенностей предложена конструкция упругого элемента (рис. 1), выполненного в виде полого цилиндра с двумя рядами отфрезерованных пазов,

повернутых под углом 45° к образующей цилиндра и расположенных шевронно. Под действием крутящего момента на упругий элемент среднее сечение получает осевое смещение, а торцевые сечения при этом остаются неподвижными. Деформированное состояние фрагмента упругого элемента показано на рис. 2. Датчик перемещений фиксирует осевое смещение среднего сечения.

Использование описанного датчика моментов позволяет значительно упростить процесс градуировки упругого элемента [2]. Поскольку пазы на упругом элементе выполнены под углом 45° к образующей цилиндра, то осевое смещение среднего сечения, достигаемое при приложении крутящего момента, может

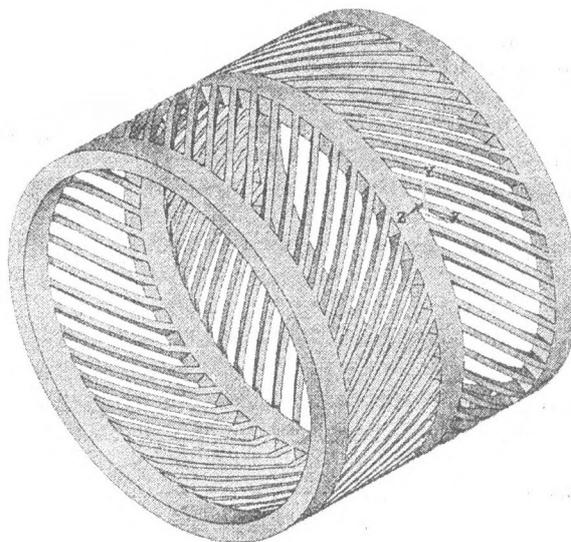


Рис. 1. Общий вид упругого элемента

+ Автор, с которым следует вести переписку.

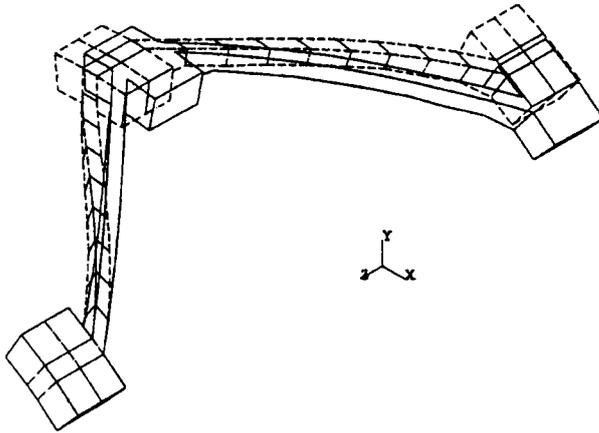


Рис. 2. Исходное и деформированное состояния фрагмента упругого элемента

быть достигнуто и при осевом сжатии путем приложения эквивалентного сжимающего усилия.

Крутящий момент $M_{кр}$, приложенный к торцевому сечению упругого элемента, равен сумме моментов сил F_i , приложенных к каждой пластине

$$M_{кр} = n \cdot F_i \cdot R_n. \quad (1)$$

Окружная сила F_i связана с осевой силой F_a соотношением

$$F_i = \frac{F_a \operatorname{tg} \alpha}{n}. \quad (2)$$

Соотношение (1) с учетом выражения (2) примет вид:

$$M_{кр} = F_a R_n \operatorname{tg} \alpha.$$

При малых значениях прогибов пластин, типичных для диапазона измерений датчика, деформациями пластин под действием продольной силы можно пренебречь по сравнению с деформациями изгиба под действием моментов сил F_i , поэтому обеспечивается возможность построения градуировочной характеристики упругого элемента датчика в виде зависимости «крутящий момент – взаимное угловое перемещение торцов» или «крутящий момент – осевое перемещение торцов».

Таким образом, использование градуировочных устройств отпадает. Для этого достаточно использовать обычный гидравлический или винтовой пресс, установив последовательно с градулируемым датчиком через упорный подшипник обычный динамометр сжатия, например, ДОСМ-3, проверка которых не вызывает трудностей.

Рассматриваемая конструкция датчика может быть использована одновременно и для измерения крутящего момента, и для измерения осевого усилия [3]. Такой вид измерений характерен при исследовании процессов сверления, фрезерования и дру-

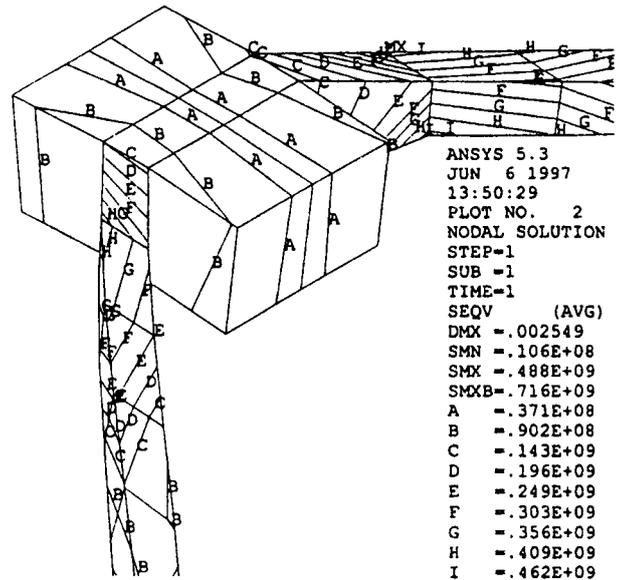


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений в пластине

гих видов механической обработки материалов.

При одновременном приложении к торцам упругого элемента крутящего момента и осевой силы изменение расстояния между одним торцом и средним сечением имеет вид $\Delta h_1 = \Delta h_F - \Delta h_M$, аналогично для второго торца $\Delta h_2 = \Delta h_F + \Delta h_M$. Измерив с помощью датчиков Δh_1 и Δh_2 и найдя их алгебраическую сумму, получим значение, соответствующее осевой силе. Их алгебраическая разность соответствует крутящему моменту. Радиальная составляющая усилия может быть определена по величине биений.

Точный прочностной расчет упругого элемента на требуемое значение крутящего момента представляет собой довольно трудоемкую задачу. Рабочие пластины испытывают одновременно деформации растяжения–сжатия, кручения и изгиба, т. е. находятся в сложном напряженном состоянии. Расчет проводился численно с использованием метода конечных элементов.

Проведено исследование оптимальных геометрических параметров датчика. Упругий элемент рассчитан на номинальный момент 1 кН·м. Расчетные перемещения при номинальном моменте составили 0,658 мм. Оптимизация упругого элемента проводилась с целью получения максимальной чувствительности. Была проведена оптимизация в двух вариантах: по максимуму чувствительности и по минимуму объема. В качестве ограничения было выбрано допускаемое напряжение $[\sigma] = 500$ МПа. Из конструктивных соображений переменным выбран внутренний радиус. Максимальные перемещения при оптимизации по максимуму чувствительности составили 1,09 мм, (увеличение на 65% по сравнению с базовым вариантом), а при расчете по минимуму объема – 1,22 мм (увеличение на 85%). Распределение эквивалентных напряжений в опасной зоне пластин показано на рис. 3.

Выводы. Предложена конструкция упругого элемента датчика крутящего момента, для градуировки которого не требуется специальных градуировочных устройств. Градуировка проводится путем приложения осевой силы. Описанный тип упругого элемента может быть использован для определения других силомоментных характеристик вращающихся валов – осевых и радиальных составляющих усилий. Для описанной конструкции проведена оптимизация геометрических размеров с целью получения максимальной чувствительности.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

$M_{кр}$ – крутящий момент; n – число пластин упругого элемента; F_t – окружная сила, приложенная к элементу; F_a – осевая сила; R_n – радиус цилиндрической поверхности упругого элемента, проходящей через нейтральные линии пластин, изгибаемых под действием крутящего момента; α – угол наклона

пластин по отношению к образующей цилиндрической поверхности упругого элемента; Δh_1 и Δh_2 – изменение расстояния между торцами и средним сечением; Δh_F и Δh_M – изменение расстояния между торцом и средним сечением под действием осевой силы и под действием крутящего момента, соответственно; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Одинец С. С., Топилин Г. Е.** Средства измерения крутящего момента. Москва: Машиностроение (1977)
2. **Способ градуировки датчика крутящего момента:** а. с. 1666928 СССР, МКИ G 01 L 25/00. Бюл. изобр. (1991) № 28
3. **Способ определения крутящего момента:** а. с. 1778561 СССР, МКИ G 01 L 3/10 Бюл. изобр. (1992) № 44

Stavrov V. P., Tkachev V. M., Stolyarov A. I.

Measuring force-torque characteristics on rotating shafts.

Design of the elastic element for torque measuring device is described. Its calibration demands no any special gauges and is fulfilled by exerting axial force on it. A method to determine axial and radial force components is presented. To obtain maximum sensitivity the element geometric sizes were optimized.

Поступила в редакцию 12.01.98.

© В. П. Ставров, В. М. Ткачев, А. И. Столяров, 1998.