

УДК 53.083

Э.Б. Цхай

Измерение перемещений при исследовании жесткости и демпфирующих свойств резьбовых соединений

Приводится описание измерения микроперемещений дифференциальным емкостным преобразователем при исследовании деформаций резьбового соединения. Это позволяет определить распределение нагрузки по виткам экспериментальным способом.

Ключевые слова: измерение микроперемещений, контактные деформации, дифференциальный емкостной преобразователь, относительные перемещения витков резьбы.

Точность, долговечность машин и механизмов зависят от суммарной жесткости и демпфирующей способности резьбовых соединений. Расчет жесткости и демпфирующих свойств резьбы связан с необходимостью измерения относительных перемещений контактирующих витков болта и гайки. Измерения относительных перемещений витков резьбы до настоящего времени не проводились, что объясняется сложностью доступа к виткам.

Ранее относительные перемещения витков определялись косвенными методами измерения, например тензорезисторами по деформациям болта или тела гайки [1–3], либо аналитически.

В результате действия осевой нагрузки тело болта на участке длины свинчивания удлиняется на величину $\Delta 1$, а тело гайки укорачивается на величину $\Delta 2$. Согласно условию совместности деформаций разность осевых деформаций тела болта и гайки переходит в разность относительных перемещений витков, что и является причиной неравномерности распределения нагрузки по виткам резьбы [2].

Предлагается способ измерения относительных перемещений витков резьбы одновременно тремя датчиками перемещений, закрепленных на гайке у опорного торца, в середине и у свободного торца. Кроме того, конструкция датчика позволяет измерить осевые деформации болта и гайки. Поэтому если измерить одновременно все эти деформации, то полученные результаты позволят решить задачу о распределении нагрузки по виткам экспериментальным способом.

Методика измерений

В качестве датчиков перемещений был выбран дифференциальный емкостной преобразователь [4] (рис. 1), где показана возможность измерения относительных перемещений витков болта и гайки.

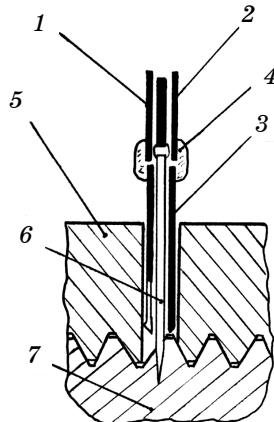


Рис. 1. Дифференциальный емкостной преобразователь:
1, 2 – охранные электроды; 3 – разжимной трубчатый кронштейн;
4 – изолятатор; 5 – гайка; 6 – средний электрод с иглой; 7 – болт

Предпочтение этому преобразователю было отдано в связи с тем, что он компактен, может быть рассчитан, располагается непосредственно у витков, не подвержен влиянию температуры, влажности, давления, электромагнитных полей и обладает высокой чувствительностью. В отличие от резисторных и индуктивных датчиков, где изменение структуры материалов при старении изменяют метрологические характеристики датчиков, старение материалов электродов емкостных преобразователей не приводит к возникновению каких-либо существенных погрешностей.

Усиление сигналов от дифференциального емкостного преобразователя производилось трехканальным измерителем малых перемещений. Электроды преобразователя (1, 2 и 6) были выполнены из нержавеющей стали в виде дисков диаметром 10 и 12 мм. Средний электрод диаметром 10 мм закреплялся в теле болта при помощи иглы с коническим хвостовиком. Крайние электроды диаметром 12 мм припаивались стеклом к разжимному трубчатому кронштейну и вставлялись в отверстие тела гайки (5) вблизи от витка

резьбы. Конструкция кронштейна позволяла производить измерения вдоль и поперек оси резьбы.

Схема измерения деформации тела гайки и тела болта в осевом направлении показаны на рис. 2, а измерение перемещений витков резьбы – на рис. 3.

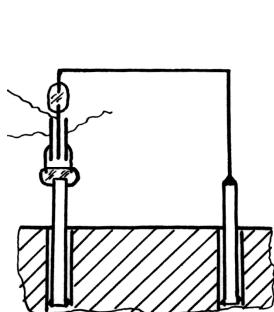


Рис. 2. Схема измерения деформации гайки Δ_2 (слева) и тела болта Δ_1

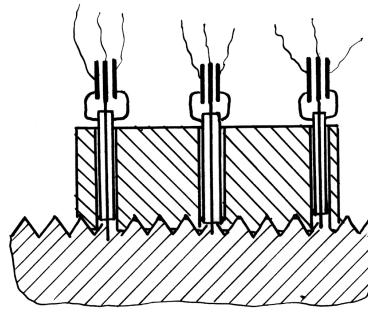
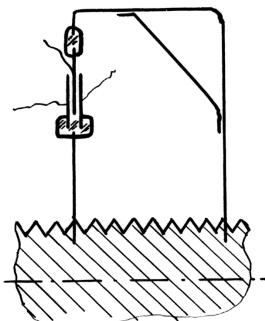


Рис. 3. Схема измерения относительных перемещений витков резьбы

Для расширения пределов измерения в приборе было предусмотрено четыре диапазона: 20, 10, 5 и 2 мкм. Сигнал от каждого преобразователя поступал на свой канал измерителя малых перемещений.

Тарировка и оценка погрешностей

Каждый преобразователь был тарирован с соответствующим каналом измерителя малых перемещений при помощи редуктора перемещений. Его суть заключается в формуле прогиба консоли от силы P :

$$F = P l^3 / E b h^3,$$

где F – величина прогиба; l – вылет от заделки консоли; P – прилагаемая сила; b – ширина консоли; h – высота консоли; E – модуль упругости.

Учитывая, что все члены формулы для консоли остаются постоянными, а величина прогиба зависит только от вылета l , то этот прогиб у заделки многократно меньше, чем в точке приложения силы.

Схема редуктора перемещений показана на рис. 4. При повороте винта редуктора 3 происходит изгиб консоли 2. Величина прогиба консоли фиксировалась измерительным прибором. При этом перемещения вылета консоли у штока измерительного прибора 4 воспроизводились кронштейнами 5 с тарируемыми преобразователями в масштабе от 50 до

200 ед. измерения в зависимости от расположения преобразователей от вылета и составляли до 0,01 мкм.

Чтобы избежать краевого эффекта от электрического поля диаметр охранных (краиних) электродов выполнен больше среднего. Длина экранированного кабеля от емкостного преобразователя до измерителя перемещений не превышала метра и расположение кабеля сохранялось. Экран был заземлен. Таким образом, при проведении экспериментальных исследований устранялось влияние всех паразитных токов на результат измерений.

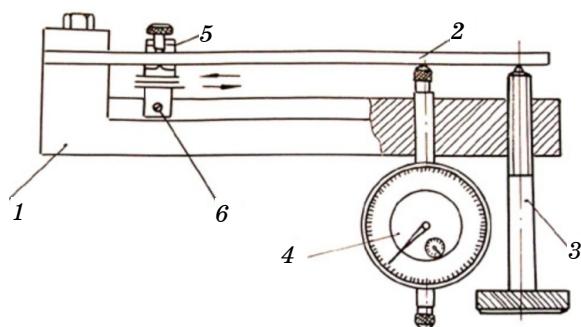


Рис. 4. Схема редуктора перемещений

Кроме того, тарировка используемых дифференциальных емкостных преобразователей осуществлялась при помощи профилографа-профилометра. Схема тарировки показана на рис. 5, где 1 – консоль; 2 – стержень среднего электрода; 3 – основание профилографа-профилометра; 4 – алмазная игла профилографа-профилометра; 5 – грузик. Касание иглы профилографа-профилометра крайнего электрода преобразователя, когда грузик перемещался по стрелкам, позволял произвести предварительную настройку прибора. Линейность дифференциального емкостного преобразователя проверялась с помощью интерферометра ФОУ-1.

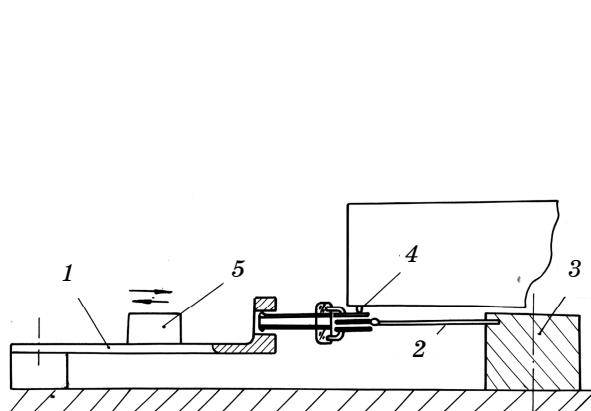


Рис. 5. Схема тарировки дифференциального емкостного преобразователя на профилографе-профилометре мод. 253

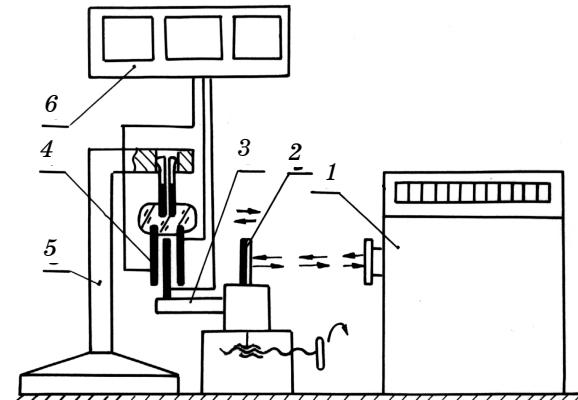


Рис. 6. Проверка линейности емкостного преобразователя: 1 – гелий-неоновый лазерный интерферометр ФОУ-1; 2 – зеркало; 3 – кронштейн среднего электрода; 4 – охранные электроды; 5 – кронштейн охранных электролов; 6 – трехканальный измеритель малых перемещений

Измерительный луч (рис. 6), испускаемый интерферометром (1), отражался от перемещаемого микровинтом зеркала (2) и попадал в фотоприемник,читывающим число полуволн на которое перемещалось зеркало со средним электродом (3) емкостного преобразователя относительно охранных электролов (4), закрепленных на неподвижном кронштейне (5). Изменение расстояния между электролами одновременно регистрировались трехканальным измерителем малых перемещений (6). Показания лазерного интерферометра ФОУ-1 сравнивались с показаниями тарируемого устройства последовательно на каждом канале. Чувствительность лазерного интерферометра – 0,1 мкм.

График тарировки одного из дифференциальных емкостных преобразователей в диапазоне до 1 мкм с участком нелинейности представлен на рис. 7. Анализ графика позволил сделать вывод о необходимости работы с дифференциальными емкостными преобразователями только тогда, когда средний электрод смещен от нулевого положения на 10 ед. шкалы измерительного прибора.

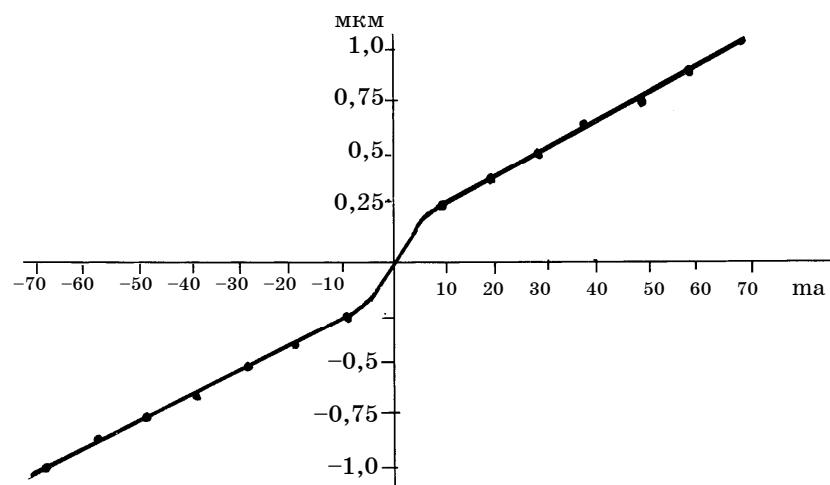


Рис. 7. График тарировки трехканального измерителя малых перемещений в зависимости от расположения среднего электрода

Одной из основных задач экспериментальных исследований являлась оценка погрешностей, которые складывались из погрешностей, возникающих в связи с изменением температуры и влажности, расположения экранированного кабеля от датчика, установки среднего электрода в зазоре с перекосом, способа крепления преобразователей, изменения напряжения питания и погрешностей изготовления образцов. Как и предполагалось, изменение температуры (15:25) °С и относительной влажности (60:80)% практически не влияли на точность результата измерения, а погрешность не превышала 1% от измеряемой величины. Расположение кабеля, соединяющего преобразователь с прибором, вносило погрешность, не превышающую 0,5%.

Напряжение питания контролировалось перед каждым экспериментом с внесением необходимой коррекции. Установленный в образце дифференциальный емкостный преоб-

разователь с разжимным трубчатым кронштейном позволял легко приводить его в нулевое положение. При подключении преобразователя к трехканальному измерителю малых перемещений дрейфа нуля в течение часа не наблюдалось. Те же самые показания можно было снять при включении аппаратуры после 10-часового перерыва. Допуск на диаметр электродов не превышал 0,01 мм, что составляло не более 0,2% от площади электрода.

Выходы

Разработана и апробирована методика измерений осевых деформаций гайки и болта дифференциальным емкостным преобразователем. Измерения позволяют определить относительные перемещения витков резьбы и осевые деформации гайки и винта экспериментальным способом.

Запись замкнутых петель гистерезиса при циклическом нагружении резьбового соединения и многократность воспроизведения результатов эксперимента позволяют утверждать об отсутствии случайных погрешностей.

Изменения рабочей температуры и относительной влажности, расположения кабеля от преобразователя до измерителя и перекос среднего электрода до 10 град практически не влияют на результаты эксперимента.

Предложенный способ измерения дает возможность определить прочность и рассеяние энергии конкретного резьбового соединения, выполненного с отклонениями по шагу, углу профиля, диаметрам резьбы и различной шероховатостью поверхностей витков.

Литература

1. Жуковский Н.Е. Распределение давлений между витками // Полн. собр. соч. – М.: ОНТИ, 1937. – Т. VIII. – – С. 50–53.
2. Биргер И.А. Резьбовые и фланцевые соединения / И.А. Биргер, Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1990. – 386 с.
3. Щай Э.Б. Радиальная деформация гайки // Исследование, конструирование и расчет резьбовых соединений: межвуз. науч. сб. – Саратов, 1983. – С. 3–8.
4. А. с. 720290 СССР. МКИ G01B 7/08. Дифференциальный емкостной преобразователь / Э.Б. Щай, И.Г. Талантов, Б.Ф. Советченко. Заявлено 09.12.1976; опубл. 05.03.1980, Бюл. № 9. – 175 с.

Щай Эдуард Борисович

Соискатель каф. строительной механики
Томского государственного архитектурно-строительного университета
Тел.: (382-2) 44-13-77
Эл. почта: ed_ts@sibmail.com.

E.B. Tskhai

Measuring the Shifts in Investigating the Hardness and Damping Properties of Thread-Like Joints

The article describes the measurement of micro-shifts by a differential capacity transformer in investigating deformations of a thread-like joint. This allows to determine experimentally the load spreading on the threads.

Keywords: micro-shifts measurement, contact deformation, differential capacity transformer, relative movements of thread-like joints.