ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **BY** (11) **14144**

(13) **C1**

(46) **2011.04.30**

(51) МПК (2009)
G 01N 19/02

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ

(21) Номер заявки: a 20081459
(22) 2008.11.18
(43) 2010.06.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (BY)
(72) Авторы: Джилавдари Игорь Захарович; Ризноокая Наталия Николаевна; Чижик Сергей Антонович (BY)
(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (BY)

(56) Материалы конструкционные и смазочные. Методы экспериментальной оценки коэффициента трения. ГОСТ 27640-88. - Москва: Издательство стандартов, 1988. - С. 2, 9.
BY 6790 C1, 2005.
RU 54433 U1, 2006.
SU 1434334 A2, 1988.
JP 1284736 A, 1989.

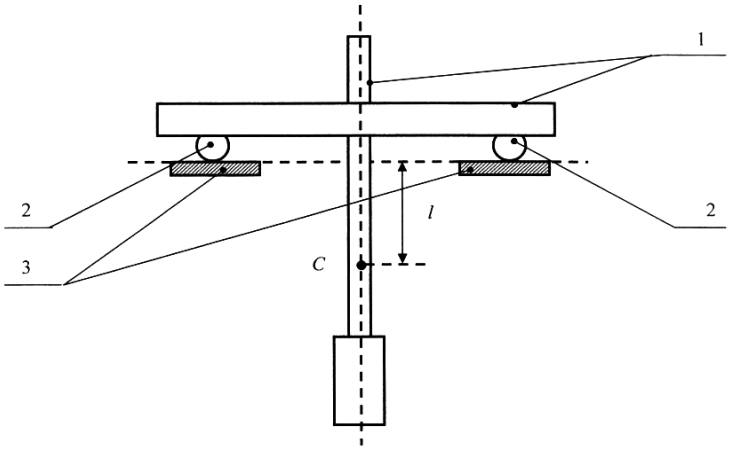
(57)

Способ определения коэффициента трения качения, в котором возбуждают с заданной начальной амплитудой α_0 свободные колебания физического маятника, опирающегося двумя шариками радиуса R на поверхность исследуемого образца, измеряют конечную амплитуду α_n после n полных периодов колебаний, также измеряют все промежуточные амплитуды α_i колебаний за указанные n периодов и определяют коэффициент трения качения f в соответствии с выражением

$$f = \frac{l}{R} \cdot \frac{\cos\alpha_n - \cos\alpha_0}{\alpha_0 + \alpha_n + 2\sum_{i=1}^{n-1}\alpha_i},$$

где l - расстояние от центра тяжести маятника до мгновенной оси его вращения;

i - номер измеренной амплитуды колебаний,



Фиг. 3

BY 14144 C1 2011.04.30

либо измеряют амплитуды колебаний α_j, отвечающие полным периодам колебаний, и коэффициент трения определяют в соответствии с выражением

$$f = \frac{l}{R} \cdot \frac{\cos\alpha_n - \cos\alpha_0}{2(\alpha_0 + \alpha_n) + 4\sum_{j=1}^{n-1}\alpha_j},$$

где j - номер периода.

Изобретение относится к области измерительной техники и может быть использовано при исследовании физико-механических параметров поверхности материалов.

Известен способ определения коэффициента трения при качении шарика по плоской поверхности [1], в котором шарик помещают между двумя плоскими параллельными образцами исследуемого материала, подвергают верхний образец заданной нагрузке и измеряют силу, необходимую для того, чтобы привести этот образец в движение вдоль нижнего образца. Коэффициент трения здесь получают, разделив силу перемещения на нагрузку.

Наиболее близким к предлагаемому является способ [2], в котором для определения коэффициента трения качения используют физический маятник, опирающийся двумя шариками на поверхность испытываемого образца (фиг. 1). В этом способе приводят маятник в состояние свободных колебаний так, чтобы его амплитуда приняла заданное значение α_0. Далее измеряют конечную α_n амплитуду колебаний после n полных циклов колебаний и определяют коэффициент трения качения f по формуле

$$f = \frac{l}{R}\frac{\cos\alpha_n - \cos\alpha_0}{2n(\alpha_0 + \alpha_n)}, \qquad (1)$$

где l - расстояние от центра тяжести маятника до точки контакта шарика и поверхности образца,

R - радиус шарика.

Основным недостатком данного способа является большая погрешность. Этот недостаток обусловлен следующей причиной:

Формула (1), строго говоря, справедлива лишь при условии независимости силы трения от величины скорости качения. На опыте признаком такого трения является линейный закон убывания амплитуды колебаний маятника, который, строго говоря, не выполняется. В качестве примера на фиг. 1 представлен результат измерения зависимости амплитуды от времени при качаниях маятника на поверхности стали ШХ-15. Видно, что реальная зависимость амплитуды от времени (непрерывная линия) существенно отличается от линейной (пунктирная линия).

Согласно [3], данный способ измерения может использоваться лишь в интервале значений коэффициента трения от 10^{-5} до 10^{-2}. В то же время из опыта следует, что при малых амплитудах колебаний данный коэффициент может принимать значение порядка 10^{-7} и меньше. В частности, для процесса, показанного на фиг. 1, вычисление коэффициента трения качения по данному способу дает значение $3{,}3 \cdot 10^{-7}$. Точное вычисление по предлагаемому ниже способу дает значение $5{,}4 \cdot 10^{-7}$. Следовательно, погрешность данного способа в этом конкретном случае составляет 39 %.

Задачей изобретения является повышение точности измерений.

Решение этой задачи обеспечивается тем, что в известном способе определения коэффициента трения качения, в котором возбуждают с заданной начальной амплитудой α_0 свободные колебания физического маятника, опирающегося двумя шариками радиуса R на поверхность исследуемого образца, измеряют конечную амплитуду α_n после n полных периодов колебаний, также измеряют все промежуточные амплитуды α_i колебаний за указанные n периодов и определяют коэффициент трения качения f в соответствии с выражением

$$f = \frac{l}{R} \cdot \frac{\cos\alpha_n - \cos\alpha_0}{\alpha_0 + \alpha_n + 2\sum_{i=1}^{n-1}\alpha_i}, \quad (2)$$

где l - расстояние от центра тяжести маятника до точки контакта шарика и поверхности образца;

i - номер амплитуды колебаний,

либо измеряют амплитуды колебаний α_j, отвечающие полным периодам колебаний, и коэффициент трения определяют в соответствии с выражением

$$f = \frac{l}{R} \cdot \frac{\cos\alpha_n - \cos\alpha_0}{2(\alpha_0 + \alpha_n) + 4\sum_{j=1}^{n-1}\alpha_j}, \quad (3)$$

где j - номер периода.

Измерение всех промежуточных амплитуд колебаний позволяет вычислить коэффициент трения качения при любом законе затухания амплитуд с максимально возможной точностью. При этом методическая погрешность измерения коэффициента трения качения сводится к нулю, поскольку в формуле (2) не используются какие-либо предположения о законе затухания амплитуды.

Как будет показано ниже, формула (3) является частным случаем формулы (2). Вычисление коэффициента трения качения по формуле (3) позволяет вдвое снизить число измеряемых амплитуд.

Получим формулу (2), исходя из самых общих предположений. По определению, коэффициент трения качения дается формулой [4]

$$f = \frac{M}{PR} = \frac{M\Phi}{PR\Phi} = \frac{A}{PR\Phi}, \quad (4)$$

где M - момент сопротивления качению,

Ф - полный угол поворота (угловой путь) шарика при качении по поверхности образца, который равен угловому пути, проходимому маятником при своих колебаниях,

A - работа силы трения,

P - вес катящегося тела.

При свободных колебаниях маятника работа A равна изменению потенциальной энергии маятника при уменьшении амплитуды колебаний от α_0 до α_n:

$$A = \Delta W = Pl(\cos\alpha_n - \cos\alpha_0). \quad (5)$$

Можно показать, что

$$\Phi = \alpha_0 + \alpha_n + 2\sum_{i=1}^{n-1}\alpha_i . \quad (6)$$

Из формул (4)-(6) следует формула (2).

Справедливость формулы (6) покажем на примере. Рассмотрим зависимость угла отклонения маятника от времени, представленную на фиг. 2. Пусть маятник совершил полных n = 5 циклов колебаний. Полный угловой путь маятника

$$\Phi = \alpha_0 + 2\alpha_1 + 2\alpha_2 + 2\alpha_3 + 2\alpha_4 + \alpha_5 + 2\alpha_{01} + 2\alpha_{02} + 2\alpha_{03} + 2\alpha_{04} + 2\alpha_{05} = \alpha_0 + \alpha_5 + 2\sum_{i=1}^{4}\alpha_i, \quad (7)$$

что и требовалось доказать.

Докажем, что формула (3) является частным случаем формулы (2), и ею можно пользоваться при слабом трении, когда соседние амплитуды отличаются мало между собой. Ниже будем различать четные амплитуды, которые отвечают амплитудам после каждого полного цикла колебаний, и нечетные амплитуды, которые отвечают остальным амплитудам, т.е. остальным максимальным отклонениям маятника от положения равновесия. На фиг. 2 четные амплитуды - это все положительные амплитуды, нечетные - все отрица-

тельные. При слабом затухании колебаний маятника можно принять, что каждая нечетная амплитуда равна полусумме двух соседних четных амплитуд, т.е. (см. фиг. 2)

$$\alpha_{01} = \frac{\alpha_0 + \alpha_1}{2}, \qquad \alpha_{02} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}, \text{ и т.д.} \tag{8}$$

Подставляя эти соотношения в формулу (6), найдем, что

$$\Phi = 2(\alpha_0 + \alpha_5) + 4\sum_{j=1}^{4}\alpha_j = 2(\alpha_0 + \alpha_n) + 4\sum_{j=1}^{n-1}\alpha_j, \tag{9}$$

где индекс j означает номер четной амплитуды или номер полного цикла колебаний, что и доказывает справедливость формулы (3).

Рассмотрим теперь частный случай затухания колебаний маятника, когда амплитуды уменьшаются по линейному закону, как это предполагается в прототипе. В этом случае формула (8) выполняется точно. Тогда амплитуду α_j можно представить в виде

$$\alpha_j = \alpha_0 - \frac{\alpha_0 - \alpha}{n} j. \tag{10}$$

Подставляя (10) в (9), получим

$$\Phi = 2n(\alpha_0 + \alpha_n). \tag{11}$$

Из формул (3) и (11) следует формула (1), что доказывает, что способ - прототип является частным случаем предлагаемого способа, и он корректен лишь при линейном законе затухания амплитуды.

На фиг. 1 показаны законы изменения амплитуды колебаний от времени.

На фиг. 2 показаны первые пять амплитуд колебаний маятника, совершающие свободные затухающие колебания.

На фиг. 3 приведен фронтальный схематический вид маятника, опирающегося двумя шариками на поверхность испытываемого образца.

На фиг. 3 точка С обозначает положение центра тяжести маятника. l - обозначает расстояние центра от тяжести до мгновенной оси вращения маятника.

Маятник 1 опирается двумя шариками 2 на поверхность испытываемого образца 3, выполненного в виде двух одинаковых пластин. Маятник совершает колебания в плоскости, перпендикулярной плоскости рисунка.

На фиг. 2 кривая линия показывает реальную зависимость амплитуды колебаний от времени, полученную для маятника, совершавшего колебания на поверхности образца, выполненного из стали ШХ-15. Прямая пунктирная линия показывает линейный закон зависимости амплитуды от времени, который допускает возможность применения способа - прототипа для вычисления коэффициента трения качения.

На фиг. 2 четные амплитуды - это положительные амплитуды, нечетные - отрицательные.

Рассмотрим пример выполнения способа.

1. Устанавливают маятник 1 в вертикальном положении так, чтобы он опирался шариками 2 на поверхность испытываемого образца 3.

2. Отклоняют маятник от положения равновесия на задаваемый угол α_0 и освобождают его.

3. Измеряют все четные амплитуды колебаний αj, в том числе и конечную амплитуду α_n.

4. Рассчитывают коэффициент трения качения по формуле (3).

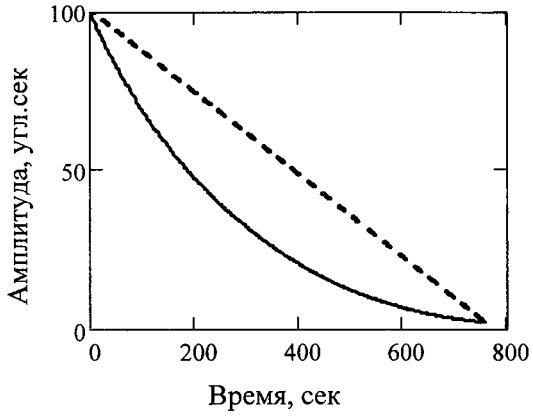
Источники информации:

1. Боуден Ф.П., Тэйбор Д. Трение и смазка твердых тел. - М.: Машиностроение, 1968. - С. 277-278.

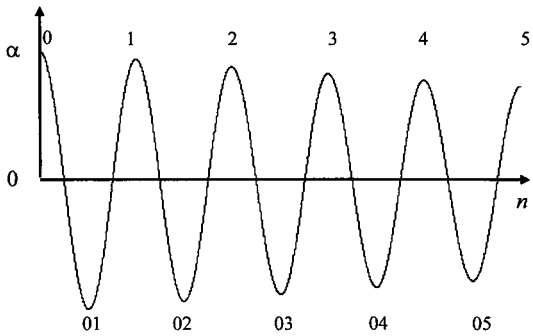
2. Материалы конструкционные и смазочные. Методы экспериментальной оценки коэффициента трения. ГОСТ 27640-88. - М.: Издательство стандартов, 1988. - С. 2, 9.

3. Карасик И.И. Методы трибологических испытаний в национальных стандартах стран мира. - М.: Наука и техника, 1993. - С. 191.

4. Чичинадзе А.В., Берлингер Э.М., Браун Э.Д. и др. Трение, износ, смазка. - М.: Машиностроение, 2008. - С. 127.



Фиг. 1



Фиг. 2

Национальный центр интеллектуальной собственности.
220034, г. Минск, ул. Козлова, 20.