

НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ

Студентка гр.113315 М.С. Артамонова, магистрант Н.Н. Ризноокая,
д-р техн. наук, проф. И.З. Джилавдари

Белорусский национальный технический университет

Введение. В последнее время в связи с развитием микромеханики и нанотехнологии большое внимание уделяется проблемам исследования трения на малых участках поверхности. Размеры рабочих элементов таковы, что свойства поверхности играют определяющую роль в работе этих приборов. Измерение коэффициента трения позволяет исследовать физико-механические свойства поверхности материала. Исследования сконцентрированы, в основном, вокруг трения скольжения, и здесь существует проблема разрушения поверхности. Трение качения отличается тем, что при малых нагрузках изнашивание и остаточные деформации поверхности минимальны.

В общем случае коэффициент трения качения k определяется исходя из равенства

$$M = kmgR. \quad (1)$$

В настоящее время его измерения проводят в соответствии с ГОСТ 27640-88. Они основаны на исследовании затухания свободных колебаний физического маятника, который опирается на изучаемую плоскую поверхность двумя шариками. Исходя из этого, рассчитывают так называемый коэффициент трения качения

$$f_k = \frac{\cos \alpha_n - \cos \alpha_0}{2n(\alpha_0 + \alpha_n)}. \quad (2)$$

Эта величина совпадает с k при условии, что закон затухания амплитуды маятника – линейный. Однако, в ходе экспериментальных исследований было установлено, что при малых амплитудах это не так. В данной работе предлагается более точный метод измерения трения качения.

Экспериментальные исследования и их анализ.

Исследования микрокачаний маятника проводились на поверхности <111> полированных пластин из монокристалла кремния. Маятник массой $m = 1,256$ кг опирался на две одинаковые пластины двумя шариками с радиусом $R = 5$ мм. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона шариков $E_{ш} = 3,1 \cdot 10^{11}$ Н/м², $\nu_{ш} \approx 0,27$ и пластин $E_{пл} = 1,3 \cdot 10^{11}$ Н/м², $\nu_{пл} \approx 0,27$. Использовались два вида кремниевых пластин, которые отличались качеством полировки.

На опыте измерялись амплитуды и соответствующие им моменты времени. Начальная амплитуда колебаний $\alpha_0 \approx 152$ угл. с. Конечные амплитуды равны 2,7 угл. с.

На рисунке представлены результаты измерений амплитуд. Эти амплитуды измерялись при отклонении маятника в одну сторону. Поскольку затухание колебаний было невелико, отрицательные амплитуды можно считать как среднее арифметическое двух соседних положительных амплитуд. Это позволяет вычислить с высокой точностью среднее значение f коэффициента трения качения. Учитывая, что полная потеря энергии маятника равна изменению его потенциальной энергии $W_{\text{пот}}$ в гравитационном поле и полагая, что работа момента силы трения $A = f mgR\Phi$, где Φ – полный угол, заматаемый маятником за время колебаний, найдем, что

$$f = \frac{\Delta W_{\text{пот}}}{mgR\Phi} = \frac{\cos \alpha_n - \cos \alpha_0}{\Phi}, \quad \Phi = 2(\alpha_0 + \alpha_n) + 4 \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i. \quad (3)$$

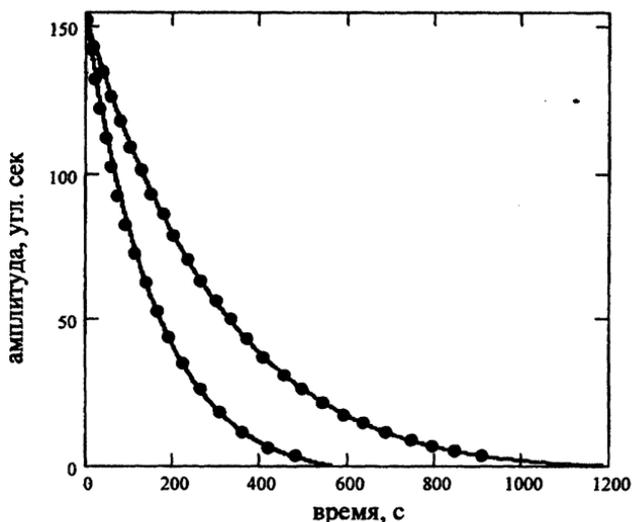


Рис. Затухание колебаний маятника на кремниевых пластинах

В результате расчета по формуле (3) значение коэффициента трения качения равно для пластины 1 $f = 6,7 \cdot 10^{-7}$; для пластины 2 — $f = 1,2 \cdot 10^{-6}$. Расчет по формуле (2) для пластины 1 дает $f_k = 3,9 \cdot 10^{-7}$ и для пластины 2 — $f_k = 7,0 \cdot 10^{-7}$.

Вывод. Формулу (3) можно применять практически для любых законов затухания. Формула (2) является ее частным случаем, и она справедлива, когда амплитуда колебаний затухает по линейному закону.