
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 681.1
DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-8-636-640

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ

С. Ю. ПЕРЕПЕЛКИНА, П. П. КОВАЛЕНКО, Р. В. ПЕЧЕНКО, К. А. НУЖДИН

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: sker@mail.ifmo.ru*

Представлена методика определения на машине трения таких трибологических характеристик, как момент трения, сила нагрузки и коэффициент трения. Методика предусматривает использование тарировочных графиков для адаптации измерений к текущим параметрам контактной пары и окружающей среды.

Ключевые слова: *трибологические характеристики, коэффициент трения, универсальная машина трения, тарировочные кривые, методика измерения*

К задачам испытаний на трение и износ относятся оценка триботехнических характеристик поверхностей деталей и узлов и подбор оптимальных сочетаний материалов. При проведении экспериментов по исследованию трибологических характеристик необходимо учитывать геометрию контактной пары, кинематику движения трибопары, наличие и тип смазочного материала и др. Методология проведения трибоиспытаний обобщена в работе [1].

Для измерения силы или момента трения чаще всего используются различного вида динамометры; также определяются количество, размер и форма частиц, изменение химического состава поверхностных слоев материалов и смазок, структурные изменения в материалах, морфология поверхности трения (наличие поверхностных дефектов, пор, адсорбированных слоев на поверхности материала и т.д.).

Машины для испытаний на трение и износ с учетом исходной геометрии контактной пары делятся на три основные группы: обеспечивающие точечный контакт, линейный контакт и конформный контакт (по плоскости или криволинейной поверхности) [2, 3]. Принцип работы машин основан на воспроизведении нормированных воздействий на образцы материала, помещенные в смазочный материал, с последующим определением величины износа образцов. Широко распространены так называемые четырехшаровые машины трения [4].

Для исследования трибологических характеристик различных материалов целесообразно использовать универсальную машину трения с возможностью модификации ее конструкции под конкретные задачи. В процессе испытаний измеряются момент трения, сила прижима, частота вращения, температура в зоне контакта и другие характеристики. [5—7]. Таким требованиям отвечает универсальная машина трения МТУ-1 (рис. 1).

Метод испытаний на МТУ-1 основывается на вращательном перемещении верхнего образца относительно нижнего неподвижного образца, помещенного/не помещенного в среду

смазочных материалов, при различных схемах испытаний: диск по диску, шар по кольцу. Скорость вращения верхнего образца без нагрузки регулируется от 0 до 2500 об/мин, прижимная сила образцов составляет 50—1000 Н [8].

Момент трения и осевая нагрузка регистрируются тензодатчиками, температура — капельной термопарой. Программное обеспечение при испытании позволяет фиксировать момент трения, осевую нагрузку и температуру в реальном времени с графическим отображением их изменений, а также проводить длительные испытания (продолжительностью несколько часов).

К достоинствам данной системы измерения момента можно отнести устойчивость к вибрации, электромагнитным помехам, наличию пыли, повышенной влажности и изменениям температуры.

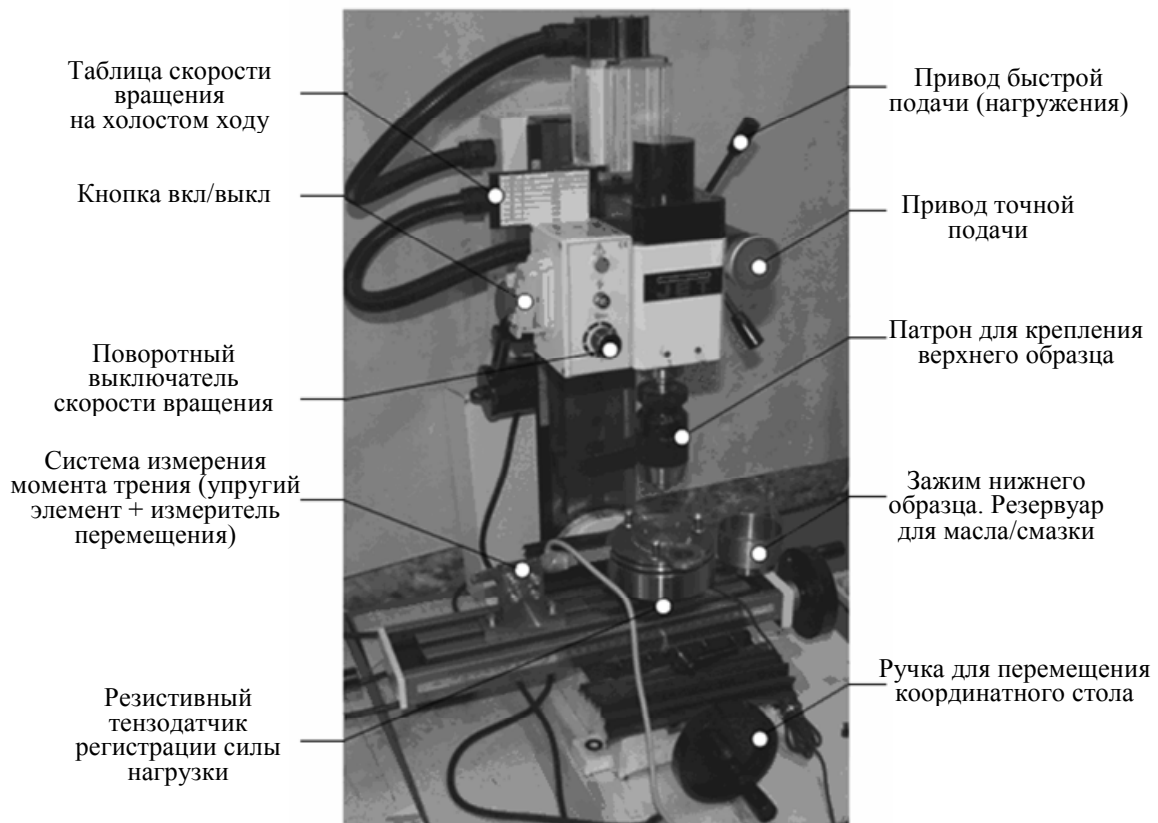


Рис. 1

Перед проведением испытаний необходимо построить тарировочные графики силы нагрузки и момента трения.

Тарировка системы измерения момента трения проводится с использованием комплекта грузов с эталонной массой. После серии проведенных опытов составляется тарировочный график (рис. 2), где по оси ординат отложены значения выходного сигнала датчика перемещения (U_n), а по оси абсцисс — значения силы, действующей на упругий элемент (F_n), кривая 1 соответствует последовательному увеличению нагрузки, кривая 2 — последовательному уменьшению.

Тарировочная характеристика силы нагрузки P получена аналогичным образом, за исключением того, что площадка для нагружения располагалась непосредственно на нижнем шпинделе (рис. 3; по оси ординат — выходной сигнал датчика измерения нагрузки U_n , кривая соответствует последовательному увеличению нагрузки).

Схема распределения сил и нагрузки в контакте представлена на рис. 4, где, кроме уже известных, приняты следующие обозначения: F_d — сила взаимодействия контактирующих

поверхностей пары трения, R_k — среднее значение радиуса пятна контакта, R_0 — расстояние от окружности вращения до упорного штифта.

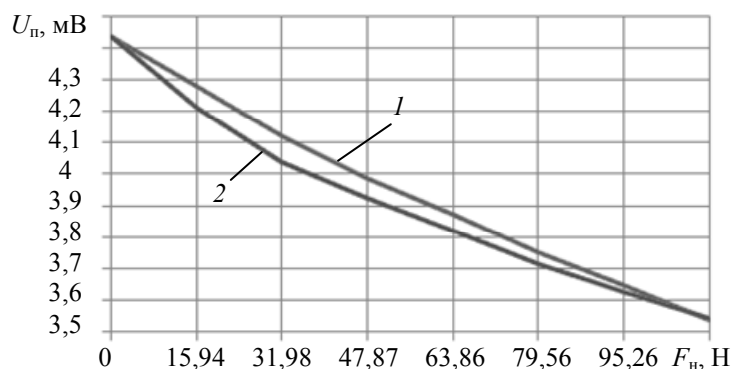


Рис. 2

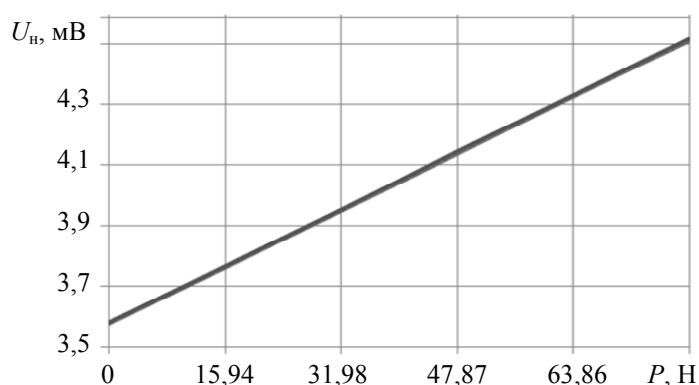


Рис. 3

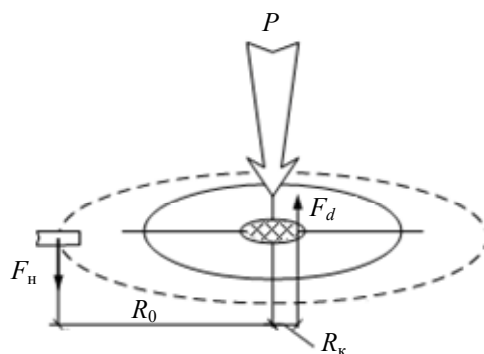


Рис. 4

Приравнивая момент силы в пятне контакта и момент силы упругого элемента, можно рассчитать силу взаимодействия в контакте F_d :

$$M = M_d \text{ или } R_0 F_n = R_k F_d,$$

$$F_d = F_n \frac{R_0}{R_k}.$$

Сила F_n определяется по построенным ранее тарировочным кривым (см. рис. 2).

При исследовании трибологических характеристик материалов необходимо также учитывать влияние температуры в зоне реального контакта на изменение структуры поверхностного слоя трибопары [9—13]. При работе в нормальных условиях измеряемая температура составляет от -50 до 200 °С. В случаях значительного износа и повышенных температур окружающей среды наблюдается повышение температуры поверхностного слоя при трении до 500 °С.

Коэффициент трения в трибопаре рассчитывается по формуле

$$k_{\text{тр}} = \frac{F_d}{P} = \frac{R_0 F_H}{R_k P}.$$

Величина коэффициента трения непостоянная и зависит от множества факторов. Однако методика построения тарировочных графиков перед каждым измерением позволяет минимизировать влияние таких факторов, как температура окружающей среды, давление и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чичинадзе А. В. и др. Основы трибологии (трение, износ, смазка) М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
2. Крагельский И. В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968.
3. Точприбор. Машины трения (машины для испытания на трение и износ) [Электронный ресурс]: <<http://tochpribor-nw.ru/production/friction-testing/>>.
4. ООО „МЕЛИТЭК“. Трибометр, стержень-диск, стойкость покрытия, коэффициент трения, сопротивление износу [Электронный ресурс]: <<http://www.melytec.ru/production/nanotechnology/tribometry/>>.
5. Nanovea. Tribometer Using Superior Controlled Speed Tribology [Электронный ресурс]: <<http://nanovea.com/tribometers>>.
6. Концерн „Наноиндустрия“. Машина трения универсальная. МТУ-1 [Электронный ресурс]: <<http://www.nanotech.ru/pages/about/mtu-1.htm>>.
7. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977.
8. Honeywell. HEL-700 Series Platinum RTD Temperature Sensors [Электронный ресурс]: <<http://lib.chipdip.ru/180/DOC000180009.pdf>>.
9. Santos T., Vilaça P., Dos Santos J., Quintino L. A new NDT system for micro imperfections detection: Application to FSW // Welding in the World. 2009. Is. 53. P. 361—366.
10. Nosko O. Analytical study of sliding instability due to velocity- and temperature-dependent friction // Tribology Lett. 2016. Vol. 61 (2), art. 1.
11. Carlson F. B., Robertsson A., Johansson R. Modeling and identification of position and temperature dependent friction phenomena without temperature sensing // IEEE Intern. Conf. on Intelligent Robots and Systems. 2015. Dec., art. 7353797. P. 3045—3051.
12. Yevtushenko A. A., Adamowicz A., Grzes P. Three-dimensional FE model for the calculation of temperature of a disc brake at temperature-dependent coefficients of friction // Intern. Communications in Heat and Mass Transfer. 2013. Vol. 42. P. 18—24.
13. Santos T. G., Vilaça P., Quintino L., Dos Santos J., Miranda R. M. Application of eddy current techniques to inspect friction spot welds in aluminium alloy AA2024 and a composite material // Welding in the World. 2011. Vol. 55, N 9—10. P. 12—18.

Сведения об авторах

- Светлана Юрьевна Перепелкина** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО; кафедра мехатроники; E-mail: sker@mail.ifmo.ru
- Павел Павлович Коваленко** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО; кафедра мехатроники; E-mail: kovalenko_p.p@mail.ru
- Роман Владимирович Печенко** — студент; Университет ИТМО; кафедра мехатроники; E-mail: romiyuck@list.ru
- Кирилл Андреевич Нурждин** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра мехатроники; E-mail: nkirill74@gmail.com

Рекомендована кафедрой
мехатроники Университета ИТМО

Поступила в редакцию
05.04.16 г.

Ссылка для цитирования: Перепелкина С. Ю., Коваленко П. П., Печенко Р. В., Нуждин К. А. Методика исследования трибологических характеристик материалов на машине трения // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 8. С. 636—640.

METHODOLOGY OF TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MATERIALS STUDY WITH FRICTION MACHINE

S. Yu. Perepelkina, P. P. Kovalenko, R. V. Pechenko, K. A. Nuzhdin

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: sker@mail.ifmo.ru

A method for determination of tribological characteristics of contacting surfaces with the use of the universal friction machine MTU-1 is presented. The characteristics under consideration include the friction torque, the load power, and the friction coefficient. The method is based on application of calibration curves for adjustment of the measurements to current parameters of the contacting surfaces and the environment. Results of the experimental study are compared with the data obtained with the use of known methods.

Keywords: tribological parameters, friction coefficient, universal friction machine, calibration curve

Data on authors

- Svetlana Yu. Perepelkina** — PhD, Associate Professor; ITMO University, Department of Mechatronics; E-mail: sker@mail.ifmo.ru
- Pavel P. Kovalenko** — PhD, Associate Professor; ITMO University, Department of Mechatronics; E-mail: kovalenko_p.p@mail.ru
- Roman V. Pechenko** — Student; ITMO University, Department of Mechatronics; E-mail: romiyck@list.ru
- Kirill A. Nuzhdin** — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Mechatronics; E-mail: nkirill74@gmail.com

For citation: Perepelkina S. Yu., Kovalenko P. P., Pechenko R. V., Nuzhdin K. A. Methodology of tribological characteristics of materials study with friction machine // Izv. vuzov. Priborostroenie. 2016. Vol. 59, N 8. P. 636—640 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-8-636-640