

## ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗНОСОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ

М. А. МАРКОВ<sup>1</sup>, А. А. КУКИНА<sup>2</sup>, Ю. А. ФАДИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет),  
190013, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем машиноведения РАН, 199178, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: fadinspb@yandex.ru

Представлена методика, разработанная для быстрой оценки трибологических параметров износостойких материалов. Оценка износа основана на сравнении профилей поверхности материала до и после проведения испытаний на трение. Оценка коэффициента трения производится в условиях торможения.

**Ключевые слова:** коэффициент трения, износ, профиль поверхности, монокристалл сапфира, керамика из нитрида кремния

Коэффициент трения и величина износа — важнейшие трибологические параметры, знание которых необходимо при проектировании машин и механизмов, а также при создании новых материалов с заданными свойствами. Современная техника работает при высоких термосиловых нагрузках [1], часто достигающих экстремальных значений [2], что обуславливает потребность в материалах с высокими ресурсными показателями по прочности, усталости, износостойкости и температуре. Получение информации о характеристиках изнашивания таких материалов, как керамики и композиты, в частности об относительной износостойкости, о скорости изнашивания и объеме изношенного материала, представляет особую сложность. Следует подчеркнуть, что числовые значения трибологических параметров определяются только экспериментальным путем.

В повседневной материаловедческой практике создания материалов, работающих в узлах трения, решение задач по быстрой оперативной оценке свойств новых материалов позволяет сделать первичный отбор составов на уровне „лучше-хуже“. Для отработки составов материалов требуется проведение большого числа испытаний с малым количеством вещества в условиях, отвечающих реальным нагрузкам. Стандартные испытательные машины не могут обеспечить износ керамик и композитов, который может быть измерен за приемлемое время (часы, сутки). Для проведения таких испытаний необходимо соответствующее оборудование и методики.

В настоящей статье представлены результаты разработки и создания методики для быстрой оценки трибологических свойств износостойких материалов.

Основой экспериментального подхода к оценке износа материалов с большой твердостью, например керамик и композитов, может служить измерение шероховатости поверхности износостойкого материала до и после проведения трибологических испытаний. Такие испытания, как это не парадоксально, должны проводиться быстро. По профилограмме поверхности, описывающей рельеф, можно определить нижнюю точку поверхности. Если эту точку принять за точку отсчета, то после незначительного износа, в пределах верхнего слоя материала, можно оценить износ наиболее высоких шероховатостей. Естественно, что исследовать точно одно и то же место поверхности материала до и после трения невозможно. Но оценку износа на основе статистики профилограммы в области дорожки трения получить можно. Кроме того, следует отметить, что при трении твердого материала по металлу происходит „наволакивание“ металла на материал. За счет этого износ твердого материала невозможно

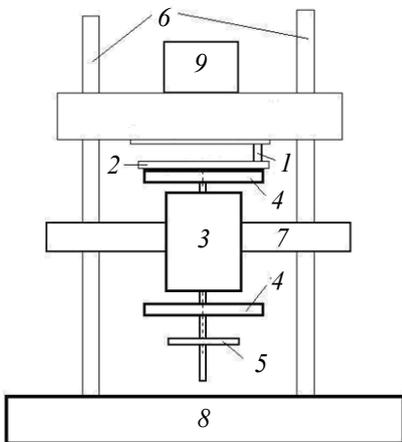
определить взвешиванием. В то же время если испытание происходит достаточно быстро, металл не успевает заполнить до дна самую глубокую впадину. Таким образом, предлагаемый подход к оценке износа заключается в оценке величины изменения параметра  $R_t$ , который представляет собой сумму высоты максимального выступа профиля поверхности и глубины максимальной впадины в пределах длины профиля. В отличие от таких параметров, как  $R_a$ ,  $R_z$ , которые считаются объективными показателями, т.е. подсчитываются на основе определенной статистики, параметр  $R_t$  относится к экстремальным, так как он один на профилеграмме.

Известно, что при контакте шероховатых твердых тел в первую очередь взаимодействуют наиболее высокие шероховатости [3]. Относительную долю этих шероховатостей среди всех учтенных шероховатостей профиля можно определить по диаграмме Аббота. Их относительное количество на профиле описывается начальным участком на диаграмме Аббота и обозначается как  $\alpha$ . Поскольку профиль имеет размерность длины, а область контакта имеет размерность площади (площадь контакта экспериментально определяется по площади металла, перенесенного на керамику во время трения), то площадь фактического контакта будет пропорциональна  $\alpha^2$ . Таким образом, чтобы оценить объем  $V_w$  изношенного материала, необходимо знать величину изменения параметра шероховатости  $\Delta R_t$ , площадь поверхности  $S$ , на которой происходил контакт с металлом, и коэффициент  $\alpha^2$ :

$$V_w = \Delta R_t S \alpha^2.$$

Рассмотрим далее вопрос, каким способом можно обеспечить непродолжительность трения.

Для испытаний на трение целесообразно использовать схему палец-диск в условиях торможения. Общий вид экспериментальной установки, реализующей эту схему, показан на рисунке, где 1 — неподвижный палец исследуемого материала в зажиме, 2 — вращающийся образец из стали 6P5M, 3 — электромотор, 4 — маховики, 5 — фотоэлектронный датчик оборотов, 6 — направляющие, 7 — крепление мотора, 8 — станина, 9 — груз. Установка весьма эффективна для экспресс-анализа трибологических свойств материалов. Особых требований к габаритам и форме образцов нет.



Принцип работы установки следующий. Подвижный образец в форме диска, стержня, кольца, трубки или бруска вместе с маховиками разгоняется электромотором до максимальной угловой скорости 50 об/с. Неподвижный образец имеет форму пластины, кольца, цилиндра или произвольную форму с плоской площадкой. Грузы (максимальной вес 200 Н), расположенные на подвижной траверсе, обеспечивают контактное давление при трении. Начальная скорость торможения в зависимости от конфигурации образцов пары трения может достигать 25 м/с. При торможении каждый оборот регистрируется фотоэлектронным датчиком. Данные, поступающие от датчиков, а также устанавливаемых по мере необходимости других измерительных устройств (термопар, датчиков колебаний, микрофонов и т.д.), передаются на электронный многоканальный самописец „Актаком 3707“. При обработке данных могут быть определены как общее число оборотов, так и длительность каждого из них. Коэффициент трения рассчитывается по формуле [4]

$$f = \frac{J(\omega_0^2 - \omega^2)}{2LN},$$

где  $J$  — момент инерции вращающихся масс;  $L$  — путь торможения, на котором угловая скорость изменяется от  $\omega_0$  до  $\omega$ ;  $N$  — нагрузка.

Предложенный подход был проверен на ряде керамических и монокристалльных материалов, работающих в паре трения со сталью ХВГ без смазочного материала. База трения для всех материалов была принята одинаковой и составляла 2 мм. Результаты испытаний приведены в таблице.

Материал	Коэффициент трения	$\Delta V_w/L$ , м <sup>3</sup> /м
Монокристалл сапфира (призматическая плоскость)	0,25	$3,1 \cdot 10^{-14}$
Нитрид кремния	0,22	$1,3 \cdot 10^{-16}$

Разработанная экспериментальная методика для быстрой оценки трибологических параметров высокоизносостойких материалов позволяет получить значения коэффициента трения и объема изношенного материала, сопоставимые с литературными данными [5—8].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Михеев С. В., Строганов Г. Б., Ромашин А. Г.* Керамические и композиционные материалы в авиационной технике. М.: Альтекс, 2002. 276 с.
2. *Костиков В. И., Варенков А. Н.* Сверхвысокотемпературные композиционные материалы. М.: Интермет Инжиниринг, 2003. 560 с.
3. *Демкин Н. Б.* Контактное шероховатых поверхностей. М.: Наука, 1970. 227 с.
4. *Крагельский И. В., Виноградова И. Э.* Коэффициенты трения. М.: Машгиз, 1962. 120 с.
5. *Дроздов Ю. Н., Хуришудов А. Г., Панин В. И.* Метод выбора керамических материалов для пары трения кулачок-толкатель // Трение и износ. 1991. Т. 14, № 3. С. 479—486.
6. *Kato K., Adachi K.* Wear of advanced ceramics // Wear. 2002. Vol. 253. P. 1097—1104.
7. *Poser K., Zum Gahr K.-H., Schneider J.* Development of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> based ceramics for dry friction system// Wear. 2005. Vol. 259. P. 529—538.
8. *Medvedovski E.* Wear-resistant engineering ceramics// Wear. 2001. Vol. 249. P. 821—828.

#### Сведения об авторах

- Михаил Александрович Марков** — аспирант; СПбГТИ (ТУ); кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов;  
E-mail: barca0688@mail.ru
- Алина Анатольевна Кукина** — ИПМаш РАН; мл. науч. сотрудник; E-mail: linochka0507@mail.ru
- Юрий Александрович Фадин** — д-р техн. наук; ИПМаш РАН; зав. лабораторией;  
E-mail: fadinspb@yandex.ru

Рекомендована кафедрой  
мехатроники Университета ИТМО

Поступила в редакцию  
05.04.16 г.

**Ссылка для цитирования:** *Марков М. А., Кукина А. А., Фадин Ю. А.* Экспресс-оценка трибологических свойств износостойких материалов // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 8. С. 641—644.

### EXPRESS EVALUATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF WEAR-RESISTANT MATERIALS

**M. A. Markov<sup>1</sup>, A. A. Kukina<sup>2</sup>, Yu. A. Fadin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*St. Petersburg State Technological Institute (Technical University),  
190013, St. Petersburg, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Problems of Mechanical Engineering of RAS,  
199178, St. Petersburg, Russia  
E-mail: fadinspb@yandex.ru*

A method for fast evaluation of tribological parameters of wear-resistant materials is proposed. Estimation of wear is based on comparison of analyzed material surface profiles before and after friction testing. Evaluation of the friction coefficient is performed in normal braking conditions.

**Keywords:** coefficient of friction, wear, surface profile, single crystal sapphire, silicon nitride ceramics

**Data on authors**

- Mikhail A. Markov** — Post-Graduate Student; St. Petersburg State Technological Institute (Technical University), Department of Chemical Technology of Silicate Materials; E-mail: barca0688@mail.ru
- Alina A. Kukina** — Institute of Problems of Mechanical Engineering of RAS; Junior Scientist; E-mail: linochka0507@mail.ru
- Yury A. Fadin** — Dr. Sci.; Institute of Problems of Mechanical Engineering of RAS; Head of Laboratory; E-mail: fadinspb@yandex.ru

**For citation:** Markov M. A., Kukina A. A., Fadin Yu. A. Express evaluation of tribological properties of wear-resistant materials // Izv. vuzov. Priborostroenie. 2016. Vol. 59, N 8. P. 641—644 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-8-641-644