

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА ТРЕНИЕ И ИЗНАШИВАНИЕ

© 2016 Д.Р. Загидуллина, И.Д. Ибатуллин, С.Г. Емельянов

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 20.09.2016

Приводится классификация существующих машин трения. Дается описание и область применения демонстрационных трибометров и универсальной машины трения «Универсал-1А», разработанных в лаборатории наноструктурированных покрытий СамГТУ. Показаны широкие возможности использования трибометра как для оценки фрикционной совместимости трибоматериалов, так и для исследования технологических режимов обработки материалов.

Ключевые слова: машина трения «Универсал-1А», демонстрационный трибометр, испытания на трение и изнашивание.

Испытания на трение играют важную роль при создании высокоресурсных узлов трения, долговечность которых лимитирует срок службы механических систем, имеющих подвижные сопряжения. Поэтому создание высококачественных машин для проведения испытаний конструкционных и смазочных материалов на трение и изнашивание имеет ключевое значение при контроле качества и оптимизации технологии изготовления деталей пар трения, выборе износостойких покрытий. Для проведения испытаний на трение и изнашивание используются специальные машины трения – трибометры, с помощью которых в лабораторных условиях моделируются условия работы реальных пар трения и регистрируются данные об антифрикционных, противоизносных и антизадириных свойствах испытываемых материалов. Патентные исследования показали, что интенсивность разработок в области создания трибометров в последние десятилетия сохраняется высокой во всем мире. Это связано с непрерывным расширением номенклатуры высококачественных конструкционных и смазочных материалов, благодаря которым можно ужесточать условия работы узлов трения (форсировать удельные нагрузки и температуры, обеспечивать работу в неблагоприятных средах). Так, например, для новых сверхпрочных материалов – РСД (поликристаллических алмазов), – используемых при создании алмазных зубков для алмазных и матричных буровых долот пока не разработано ни промышленно выпускаемых трибометров, ни стандартных методов испытаний на абразивное изнашивание. Еще одним объективным стимулом для развития трибоме-

тров является непрерывное совершенствование электронной базы: датчики становятся все более миниатюрными и точными, снижается энергопотребление, упрощаются методы сбора данных и визуализации триботехнических процессов на экране компьютеров.

В России рынок трибометров можно охарактеризовать как практически «умерший» во времена перестройки и начинающий рождаться вновь, главным образом, за счет поставок машин трения из-за рубежа. Однако имеющиеся на отечественном рынке трибометры зарубежных фирм, имея современный дизайн и технический уровень, в основном приспособлены только под стандартные методы испытаний, которые часто не охватывают все потребности науки и производства, в частности не всегда позволяют оценить техническую совместимость материалов в узле трения. Дополнительным неудобством зарубежных трибометров является англоязычный интерфейс программного обеспечения и технической документации, а также возникновение больших (иногда непреодолимых) сложностей при необходимости обслуживания и ремонта, а также при выборе неудачной комплектации. Со стороны отечественных трибологов также можно слышать доводы о несовершенстве математического обеспечения зарубежных машин трения [http://www.74rif.ru/tribo-konf_2009.html].

Наиболее значительным общим недостатком существующих машин трения, который является наибольший «барьер», разделяющий продукцию и потребителя – это их высокая стоимость (для некоторых моделей превышающая 10 млн. руб.). Этот «барьер» сдерживает экспансию зарубежной продукции на отечественном рынке, поскольку главная целевая аудитория – учебные и научные учреждения, малые и крупные производственные предприятия – большими финансовыми средствами, как правило, не обладают. Покупку импортного трибометра могут позволить себе только крупные научные центры или националь-

Загидуллина Динара Радиевна, аспирант кафедры «Технология машиностроения».

Ибатуллин Ильдар Дугласович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения». E-mail: id_ildar@mail.ru

Емельянов Сергей Геннадьевич, аспирант кафедры «Технология машиностроения».

ные исследовательские университеты, финансируемые из бюджета страны. Большинство других учебных и научных организаций, как правило, довольствуются «рудиментами» советской эпохи – громоздкими устаревшими моделями машин трения, часто уже неисправными. В результате, в нашей стране всегда имеется неудовлетворенный спрос на современные компьютеризированные трибометры, имеющие низкую стоимость.

Лабораторные трибометры по роду выполняемых задач можно разделить на четыре группы: демонстрационные, стандартные, универсальные и специализированные.

Демонстрационные трибометры – наиболее простые устройства, служащие для демонстрации каких-либо аспектов процесса трения или иллюстрации принципов определения отдельных трибологических характеристик без претензий к достаточно узкому диапазону исследовательских возможностей. Они используются в учебных заведениях для проведения лабораторных работ, а также могут использоваться на различных презентациях и выставках. Одна из простейших моделей демонстрационного трибометра типа «наклонная доска», разработанная в лаборатории наноструктурированных покрытий СамГТУ, представлена на рис. 1. Трибометр позволяет оценивать коэффициенты трения скольжения и качения при движении одного тела по поверхности другого, а также изучать влияние вибрации на процесс трения с возможностью моделирования контактного резонанса, когда коэффициент трения становится близким к нулю.

Демонстрационный трибометр (рис. 1) включает основание 1, с одной стороны которого установлен шарнир 2 и ферромагнитный сектор 3, а в центральной части – вертикальная линейка со шкалой 4. Разметка на шкале соответствует разметке линии тангенсов для единичной окружности с радиусом, равным длине основания от оси вращения шарнира до левого края линейки. К шарниру 2 прикреплена поворотная планка 5, имеющая за счет шарнира возможность изменять

угловое положение относительно основания 1. На планке возле шарнира закреплен магнитный фиксатор 6, а в центральной части – вибратор (миниатюрный двигатель с эксцентриком). Вибратор приводится в движение от регулируемого (в диапазоне 0,5...3 вольт) источника напряжения 7, предварительно составив градуировочную функцию для перевода величины напряжений в частоту вибрации. На поверхность планки можно размещать накладки из различных материалов (резина, дерево, металл, пластик). В качестве контртела 8 используются плоские или цилиндрические образцы испытуемых материалов.

Для оценки коэффициента трения для пары трения из исследуемых материалов планку с установленной на нее накладкой придают горизонтальное положение и вблизи свободного конца планки помещают на накладку контртело. Далее за счет подъема свободного конца оси начинают наклонять планку относительно основания и в момент начала скольжения контробразца по верхней грани платформы определяют по шкале линейки (в месте пересечения с верхней частью планки) величину коэффициента трения покоя. При этом за счет сил трения между магнитным фиксатором и стальным сектором положение планки фиксируется на месте. Это создает удобство при оценке коэффициента трения по делениям на линейке.

Для оценки частоты контактного резонанса планку, после установки на ней контртела, сохраняют в горизонтальном положении. После чего за счет плавного увеличения напряжения, подаваемого на вибратор, вызывают вибрацию планки с плавно увеличивающейся частотой. В момент достижения резонансной частоты фрикционного стыка (или ее гармоники) неподвижное положение контртела потеряет устойчивость (возможны произвольные перемещения образца по поверхности планки).

Одной из наиболее совершенных моделей демонстрационного трибометра является миниатюрная машина трения (см. рис. 2), разра-

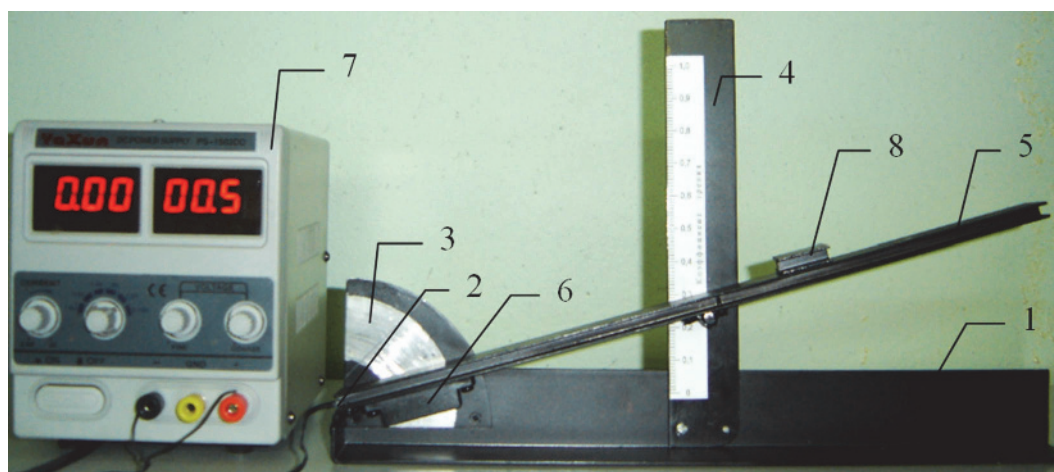


Рис. 1. Демонстрационный трибометр типа «наклонная доска»

ботанная в СамГТУ. Данное устройство входит в линейку трибометров серии «Универсал» и является полнофункциональной машиной трения, позволяющей проводить триботехнические испытания по схемам «кольцо-кольцо», «кольцо-плоскость» для исследования триботехнических материалов на трение и изнашивание. В трибометре реализован компьютерный сбор данных и мониторинг режимов испытаний включая: оценку величины нормальной нагрузки, момента трения и температуры саморазогрева пары трения. Однако имеются ограничения по силовым и скоростным условиям нагружения материалов.



Рис. 2. Малогабаритный демонстрационный трибометр «Универсал-Д»

Трибометр включает: электропривод (мотор с редуктором), закрытые кожухом и соединенные с кареткой, нагружающего устройства, связанного со стойкой. В основание стойки вмонтированы автономный источник питания (два элемента типа АА) и измерительный моноблок с датчиками и усилителем, сигналы от которого через систему сбора данных поступают в компьютер. Трибометр может успешно использоваться в презентационных целях (при демонстрациях на выставках триботехнической продукции, включая смазочные материалы, покрытия, упрочняющие технологии и т.п.), учебных занятиях (при проведении лабораторных и практических работ), оперативном тестировании качества трибоматериалов.

Особенности демонстрационного трибометра:

В настоящее время демонстрационный трибометр представляет собой самую миниатюрную и легкую машину трения в мире. Габариты прибора не превышают 80×120×180 мм. Устройство транспортируется в небольшом контейнере, т.е. является мобильным. Масса трибометра – не более 2-х кг.

Питание измерительной системы трибометра осуществляется от компьютера (посредством USB порта). Привод может питаться от автономного источника (аккумуляторов) или от сети переменного тока через адаптер. Таким образом, впервые трибометр может работать в качестве автономной приставки к ноутбуку. Частота вращения шпинделя регулируется в диапазоне 60...180 мин⁻¹.

Система сбора данных собрана на базе сертифицированного устройства E-154, производимого фирмой L-Card и лицензионной программы PowerGraph. Сбор данных с датчиков нормальной и касательной нагрузки, и температуры осуществляется с частотой до 10 кГц, что позволяет исследовать быстропротекающие процессы при трении. Возможность нагружения пары трения до 10 МПа и выше позволяет исследовать различные режимы трения (сухое, граничное, смешанное, жидкостное) и виды изнашивания, вплоть до схватывания поверхностей. Диапазон измеряемых температур – до 300°C, нормальных нагрузок – до 200 Н.

Стандартные машины трения предназначены для проведения одной или нескольких стандартных методик лабораторных испытаний на трение и изнашивание, при реализации одной схемы трения. Например, машина ЧШМТ реализует только четырехшариковую схему трения, позволяя выполнять методики оценки противоизносных и антизадирных свойств смазочных материалов согласно требованиям ГОСТ 9490, а также требованиям зарубежных стандартов, включая ASTM D2596, D2783, D2266, IP339, DIN51350, и FTM791 6503. Также широко распространены стандартные машины трения для испытаний на абразивное изнашивание, описанные в ГОСТ 23.208-79, а также в аналогичных зарубежных стандартах ASTM G65, ASTM B611, ASTM G105. В частности подобные машины трения производят фирмы МТТ и Falex. Гораздо реже в лабораториях можно встретить машины трения для испытаний: на ударно-абразивное изнашивание о закрепленный (ГОСТ 23.212-82) и незакрепленный (ГОСТ 23.207-79) абразив; на газоабразивное изнашивание (ГОСТ 23.201-78); на изнашивание при фреттинге (ГОСТ 23.211-80) и др. Стандартные машины трения обеспечивают проверенные годами высокие показатели точности, повторяемости и воспроизводимости экспериментальных данных. При этом стандартные трибометры имеют на рынке приемлемую стоимость. Результаты стандартных испытаний многими принимаются в качестве одного из главных критериев качества испытываемых материалов. Однако стандартные испытания в настоящее время уже не могут удовлетворять всем имеющимся на производстве потребностям. И все чаще приходится прибегать к новым техническим решениям при проведении триботехнических испытаний.

Универсальные машины трения обеспечивают при триботехнических испытаниях реализацию двух и более схем трения. Универсальное оборудование позволяет использовать один привод для воссоздания различных схем испытаний. При этом существенно экономится пространство в испытательной лаборатории. Широкие функциональные возможности универсальных машин

трения достигаются ценой их значительного усложнения и удорожания. К таким устройствам можно отнести машину трения Амслера – МИ-1М для испытаний на трение и изнашивание в условиях качения или скольжения. Более современным аналогом установки МИ-1М, заменившим также известные машины 2070 СМТ-1 и СМЦ-2, является машина трения ИИ 5116-01, предназначенная для испытания трение и износ металлов и сплавов, жестких конструкционных пластмасс и композитов. Наиболее широкими исследовательскими возможностями обладает машина для испытания материалов на трение 2168 УМТ, работающая в широком диапазоне нагрузок, скоростей и схем испытаний. Одной из последних выведенных на отечественный рынок разработок в области создания универсальных машин трения является установка МТУ-1 концерна «Наноиндустрия». Среди зарубежных универсальных машин трения можно отметить установку МТ-393, разработанную фирмой Metrotex.

В лаборатории наноструктурированных покрытий СамГТУ разработаны универсальные трибометры, реализуемые в трех комплектациях: «Универсал», «Универсал-1» и «Универсал-1А».



Рис. 3. Измерительная система трибометров серии «Универсал»

Трибометр «Универсал» – базовый комплект (рис. 3), включающий измерительную систему (моноблок) с датчиками осевого усилия, момента трения и температуры, систему сбора данных и программное обеспечение, чашку для размещения испытательных образцов. В нижней части моноблока имеется выступ для его закрепления в резцедержателе токарного станка или в машинных тисках на столе сверлильного станка. Данная комплектация подходит, если в наличии уже есть свободное металлообрабатывающее оборудование (станки токарной и сверлильно-фрезерной группы с мощностью двигателя от 100 Вт), на базе которого можно сделать привод. Возможно даже использование ручной дрели со стойкой (рис. 4). Трибометр имеет компьютеризированную систему сбора данных с каналами измерения осевых и касательных усилий, а также температуры разогрева испытываемой пары трения. Кроме того,

имеются резервные каналы для сбора данных с других датчиков по усмотрению оператора. Например, можно одновременно собирать данные с десяти трибометров, производящих различные испытания. Измерительная система трибометра дифференцируется по предельным осевым нагрузкам: малых (до 30 кгс); средних (300 кгс) и высоких (до 3000 кгс).



Рис. 4. Простой трибометр с приводом от ручной дрели

Измерительную систему трибометра «Универсал» можно использовать не только для проведения трибологических испытаний, но и, например, для исследования технологических режимов сверления, шлифования, точения (рис. 5) и др. операций.

Трибометр «Универсал-1» (рис. 6) – полностью готовая к испытаниям машина трения, изготовленная на базе трибометра «Универсал», оснащенного: модернизированным сверлильным станком, содержащим систему тонкого и грубого нагружения (рычаг с 10 навесками); специализированной металлической тумбой с антискользящим покрытием (выполняющей одновременно роль контейнера для транспортировки трибометра); при этом измерительная система интегрирована в основание станка.

Трибометр «Универсал-1А» – полнофункциональный триботехнический комплекс [1], изготовленный на базе трибометра «Универсал-1», дополнительно оснащенного комплектом оснастки широкого назначения для проведения как стандартных, так и натурных триботехнических испытаний (рис. 7).

Различные методики триботехнических испытаний с использованием трибометров серии «Универсал» приведены в работах [2-4]. Трибометры «Универсал-1А» имеют следующие особенности.

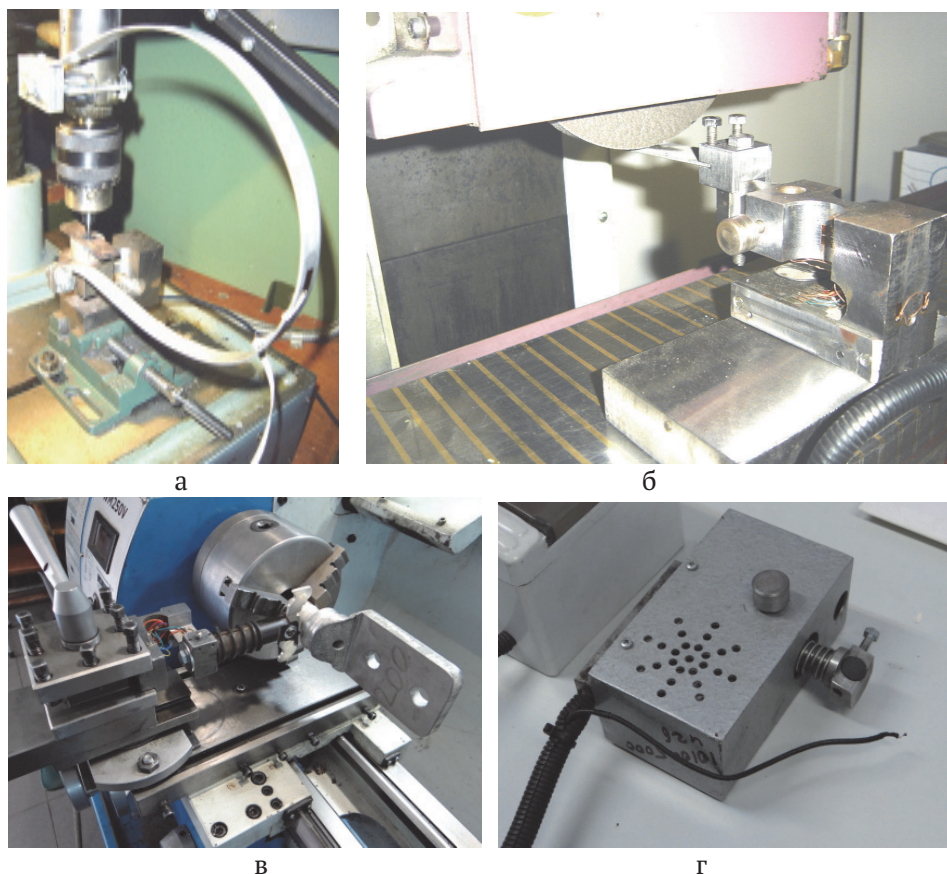


Рис. 5. Примеры использования измерительного моноблока для изучения: технологических режимов пластического сверления (а) и плоского шлифования (б); износостойкости токопроводящих покрытий электрических контактов (в) и абразивной стойкости алмазных породоразрушающих зубцов (г)



Рис. 6. Машина трения «Универсал-1»

1. Трибометр создан по модульному принципу. Разработанный комплект сменных приспособлений позволяет реализовать девятнадцать различных вариантов испытаний на трение и изнашивание, при этом возможны испытания, как на образцах, так и на готовых изделиях.

2. Простота конструкции позволяеткратно снизить стоимость трибометров (особенно в базовой комплектации) по сравнению с аналогичными образцами.

3. Используются малогабаритные образцы



Рис. 7. Оснастка для трибометра «Универсал-1А»

и контрообразцы, позволяющиекратно снизить затраты материалов на испытания.

4. Имеется режим автоматического отключения стенда по достижении длительности испытаний или момента трения заданной величины.

5. Обеспечивается высокая воспроизводимость получаемых результатов триботехнических испытаний, а также их адекватность результатам опытно-промышленных испытаний.

6. Имеется возможность триботехнических испытаний конструкционных материалов, смазочных материалов и покрытий в различных

режимах трения и изнашивания (вплоть до схватывания поверхностей).

Специализированные машины трения служат для проведения испытаний «специфичных» пар трения или при воспроизведении «необычных» условий: высоких (низких) температур, высокого уровня динамичности нагружения (удары, вибрации), агрессивных сред и т.п., которые невозможно обеспечить стандартными методами. Так, например, для испытаний материалов на трение с наложенной вибрацией предназначен стенд ВИ-1, разработанный в СамГТУ.

Среди высокотемпературных трибометров можно отметить установку фирмы CSM-Instruments марки ТНТ-S-AX0000, предназначенную для измерения коэффициента трения и интенсивности изнашивания в различных температурных условиях и средах (газовых и смазочных). Аналогичные испытания при максимальной температуре 900°C позволяет проводить высокотемпературный трибометр фирмы Nanovea. В арсенале испытательных средств триболога имеются также вакуумные трибометры (ТВ-10, VTR и др.), нанотрибометры (NTR2) и высокоскоростные машины трения, производимые фирмой Nanovea.

Заключение. В бурном развитии современных технологий и материалов все стандартные решения быстро устаревают. Крупные и энерго-

емкие напольные машины трения постепенно вытесняются более миниатюрными настольными и уже появляются переносные трибометры, помещающиеся в силиконовую трубку диаметром в несколько миллиметров и служащие для работы внутри двигателей внутреннего сгорания. Развитие био- и нанотрибологии также потребуют развития методов трибодиагностики и трибомониторинга и, возможно, изменят известный нам облик машин трения, но понятно одно, что трибометры всегда будут востребованы и всегда будут продуктами своего времени, синтезирующими в себе все достижения науки и техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ № 2482464 МПК G01N 3/56. Устройство для триботехнических испытаний материалов. Бюл. № 14 от 20.05.2013.
2. Ибатуллин И.Д. Триботехнические испытания на фрикционную совместимость: Монография. Самара: СНЦ РАН, 2014. 217 с.
3. Патент РФ № 2495400 МПК G01N 3/56. Способ оценки фрикционной совместимости пар трения. Бюл. № 28 от 10.10.2013.
4. Стенд и методики триботехнических испытаний материалов / И.Д. Ибатуллин А.Н. Журавлев, А.В. Утянкин, А.Р. Галлямов, Р.Р. Неяглова //Вестник СГАУ. 2011. №3(27). С. 218-223.

DEVICES FOR TESTS FOR FRICTION AND WEAR

© 2016 D.R. Zagidullina, I.D. Ibatullin, S.G. Yemelyanov

Samara State Technical University

Classification of existing machines of friction is given. The description and area of application of demonstration tribometers and the universal machine of friction the "Universal-1A", developed in laboratory the nanostructured coverings of SamSTU is provided. Ample opportunities of using the tribometer both for an assessment of frictional compatibility of tribomaterials, and for researching the technological modes of processing of materials are shown.

Keywords: machine of friction "Universal-1A", demonstration tribometer, tests for friction and wear.

Dinara Zagidullina, Graduate Student at the Mechanical Engineering Technology Department.

Ildar Ibatullin, Doctor of Technics, Professor at the Mechanical Engineering Technology Department.

E-mail: id_ildar@mail.ru

Sergey Yemelyanov, Graduate Student at the Mechanical Engineering Technology Department.