

Обмен опытом

Exchange of Experience

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-12-65-68>**МОДЕРНИЗАЦИЯ УЗЛА ТРЕНИЯ МАШИНЫ КТ-2 ДЛЯ ОЦЕНКИ АНТИФРИКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ТРЕНИИ В РЕЖИМЕ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ****© Илья Александрович Буяновский, Владимир Дмитриевич Самусенко, Юрий Иванович Щербаков**Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Россия, 101990, Москва, Малый Харитоньевский пер., 4;
*e-mail: buyan37@mail.ru*Статья поступила 31 июля 2019 г. Поступила после доработки 28 августа 2019 г.
Принята к публикации 4 сентября 2019 г.*

Приведены результаты исследований трибологических характеристик тонких покрытий стальных деталей на модернизированном узле трения машины КТ-2 в режиме граничной смазки. Для обеспечения высокой точности и воспроизводимости результатов в качестве образцов использовали стандартные элементы подшипников качения — шарики и ролики, которые отличаются однородностью структуры и состава, а также высоким качеством обработки поверхностей. Разработана конструкция оправки, позволяющая реализовать фрикционный контакт установленного в шпинделе машины шарика с торцами трех роликов, размещенных с высокой точностью под углом $35^{\circ}30'$ к оси шпинделя установки, чтобы обеспечить такое же распределение осевой нагрузки по трем роликам, как и при четырехшариковом контакте — по трем нижним шарикам. Исследуемые покрытия наносили на торцы роликов, что намного проще, чем его нанесение на цилиндрические или сферические поверхности. Контртелом являлся стандартный шарик из стали ШХ-15 или износостойкой керамики. Модернизированный узел рекомендуется использовать на традиционных четырехшариковых машинах для лабораторной оценки влияния тонких износостойких покрытий на антифрикционные свойства смазочных материалов.

Ключевые слова: тонкое износостойкое покрытие; шар-три торца роликов; граничная смазка; коэффициент трения.

MODERNIZATION OF FRICTION UNIT OF A KT-2 TRIBOMETER FOR EVALUATION OF THE FRICTION PROPERTIES OF THIN COATINGS UPON FRICTION IN BOUNDARY LUBRICATION CONDITIONS**© Ilya A. Buyanovskii, Vladimir D. Samusenko, Yuriy I. Shcherbakov**Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of Russian Academy of Sciences, Maly Kharitonievskiy per., 4, Moscow, 101990, Russia; e-mail: buyan37@mail.ru*Received July 31, 2019. Revised August 28, 2019. Accepted September 4, 2019.*

The results of studying the tribological characteristics of thin coatings of steel parts on a modernized friction unit of a KT-2 machine in the boundary lubrication mode are presented. To provide high accuracy and reproducibility of the results standard elements of rolling bearings — balls and rollers, which are characterized by the uniformity of the structure and composition, as well as high quality of the surface treatment are used as samples. The developed design of the mandrel ensured friction contact of the ball mounted on the machine spindle with the ends of three rollers mounted with high accuracy at an angle of $35^{\circ}30'$ to spindle axis of the installation to ensure the same distribution of the axial load between three rollers like in the case of the four-ball contact between three lower balls. The coatings under study were applied to the flat ends of the rollers, which is much easier than their application to cylindrical or spherical surfaces. A standard ball made of steel ShKh-15 or wear-resistant ceramics served as a counterbody. The modernized unit is recommended to be used on traditional four-ball machines for laboratory assessment of the effect of thin wear-resistant coatings on the antifriction properties of lubricants.

Keywords: thin wear-resistant coating; ball-three roller ends; boundary lubrication; friction coefficient.

Введение

Одним из наиболее эффективных методов повышения надежности и энергосбережения смазываемых узлов трения и увеличения срока службы составляющих их деталей является нанесение на поверхности трущихся поверхностей покрытий трибологического назначения [1]. Поэтому корректной оценке функциональных характеристик таких покрытий, в том числе на стадии лабораторных испытаний, придается большое значение. Для обеспечения высокой точности и хорошей воспроизводимости результатов трибологического исследования необходимо строго выдерживать рецептуру и технологию нанесения исследуемых покрытий, а также использовать в качестве образцов, на которые наносят эти покрытия, детали, отличающиеся однородностью структуры и состава, а также высоким качеством обработки поверхностей. Такими характеристиками обладают детали подшипников качения — шарики и ролики. К сожалению, нанесение покрытий высокого качества на цилиндрическую и сферическую поверхности во многих случаях является достаточно сложной технологической задачей.

В Лаборатории методов смазки машин нашего института проведена модернизация узла трения машины КТ-2, при которой стандартный шарик, установленный в шпинделе машины, прижимается к торцам трех стандартных роликов, на которые предварительно нанесено исследуемое покрытие. При вращении шпинделя шар вытирает на торцах роликов пятна износа. В течение этого процесса оценивают коэффициент трения. Реализуемый при этом начальный точечный контакт образцов широко применяют в мировой практике для лабораторных исследований трибологических характеристик тонких углеродных покрытий [2]. Данная схема фрикционного контакта предусмотрена ГОСТ 23.221–84, но конструкция узла трения для ее реализации в этом стандарте не приведена. Известные на сегодняшний день варианты решения данной задачи (см., например, [3]) включают требования специального изготовления образцов и не предназначены для трибологического исследования покрытий.

Цель работы — модификация узла трения машины КТ-2 для оценки антифрикционных характеристик тонких покрытий по схеме трения вращающийся шар — торцы трех роликов, симметрично равнорасположенных относительно оси шпинделя.

Актуальность задачи объясняется тем, что четырехшариковая схема испытаний — одна из наиболее распространенных. Расширение функций машин, которые обычно используют только

для испытаний смазочных материалов по ГОСТ 9490–75, позволит учесть влияние конкретных покрытий на смазочную способность масел и расширит возможности исследователей.

Методика трибологических испытаний тонких покрытий

Антифрикционные и противоизносные характеристики тонких покрытий трибологического назначения исследуют на машине КТ-2 с модернизированным узлом трения (рис. 1). Испытываемые образцы 7, представляющие собой ролики диаметром 5 мм и длиной 6 мм, установлены в оправке 3, состоящей из корпуса 4, конического сепаратора 8, в котором под углом $35^{\circ}20' \pm 5'$ к вертикальной оси проделаны три равномерно расположенных по окружности паза, в каждом из которых установлен кулачок 6. Между кулачком и плоской поверхностью паза сепаратора помещают исследуемые образцы 7, которые через кольцо 5 накидной гайкой 3 прижимают к внутренней плоской поверхности паза и фиксируют в этом положении. Оправку в сборе помещают в масляную чашу 1, после чего в нее заливают масло. Затем образцы приводят в соприкосновение с шаром 9, зажатый в шпинделе машины 2.

Затем узел трения нагружают и приводят во вращение шпиндель 2 с заданной частотой. В процессе исследования фиксируют значения коэффициента трения, а по окончании эксперимента замеряют диаметры пятен износа и/или профилографируют профиль дна пятна износа. Как правило, шар 9 представляет собой стандартный шарик из стали ШХ-15 диаметром 12,7 мм или шарик из нитрида кремния — в зависимости от поставленной задачи. Образцы — ролики — стандартные детали подшипников качения. Обычно используют ролики диаметром 5 мм, рабочие торцы которых полируют до достижения шероховатости поверхности $Ra0,05 - 0,07$ мкм. Затем на эти торцы наносят исследуемое покрытие.

Если модернизированную оправку установить на машине КТ-2 (как это показано на рис. 1, а), то реализация граничного режима смазки не вызывает сомнений [4, 5]. При данной геометрии контакта и относительно невысоких скоростях вращения будет соблюдаться либо граничный, либо смешанный режим смазки. Такие испытания могут проходить по одному из следующих сценариев:

1) повышение температуры узла трения от внешнего источника тепла до наступления заедания;

2) повышение нагрузки на узел трения до разрушения покрытия;



Рис. 1. Модернизированный узел трения машины КТ-2: *а* — общий вид; *б* — оправка (накидная гайка снята); 1 — масляная чаша; 2 — шпиндель машины; 3 — оправка в сборе; 4 — корпус оправки; 5 — прижимное кольцо; 6 — кулачок; 7 — исследуемый образец; 8 — сепаратор; 9 — шарик

Fig. 1. Modernized friction unit of a KT-2 machine: *a* — general view; *b* — mandrel (removed swivel nut); 1 — oil bowl; 2 — machine spindle; 3 — mandrel assembly; 4 — mandrel body; 5 — clamping ring; 6 — tappet; 7 — test sample; 8 — separator; 9 — ball

3) проведение длительных испытаний при постоянной нагрузке и начальной температуре до разрушения покрытия или потери маслом смазочной способности вследствие трибохимических превращений (либо ограничение заданной заранее продолжительности испытаний).

Результаты экспериментов

Приведем пример оценки антифрикционных свойств двух пар трения: сталь – сталь (1) и сталь – металлокерамическое покрытие, нанесенное на стальной образец (2). Эксперимент проводили на модернизированной установке КТ-2 (см. рис. 1) по методике, приведенной выше. Торцы роликов полировали на установке Multipol. На торцы роликов, предназначенных для испытания образцов 2, методом газодинамического напыления (установка ДИМЕТ-404 [6], технология нанесения [7]) наносили металлокерамическое покрытие толщиной 2,5 мкм на основе мелкодисперсного алюминия. В качестве смазочной среды использовали полиальфаолефиновое масло ПАО-4. Осевая нагрузка на узел трения составляла 104 Н, продолжительность испытания — 60 мин.

Результаты сравнительных испытаний указанных сочетаний материалов представлены на рис. 2 в виде зависимостей коэффициента трения от продолжительности испытаний.

Как видно из рис. 2, покрытие практически вдвое снижает коэффициент трения. Это свидетельствует о значительном влиянии покрытий на антифрикционные свойства смазанных узлов трения. Предложенная методика дает возможность оценить эффективность смазочных сред при трении деталей с покрытиями различного назначения.

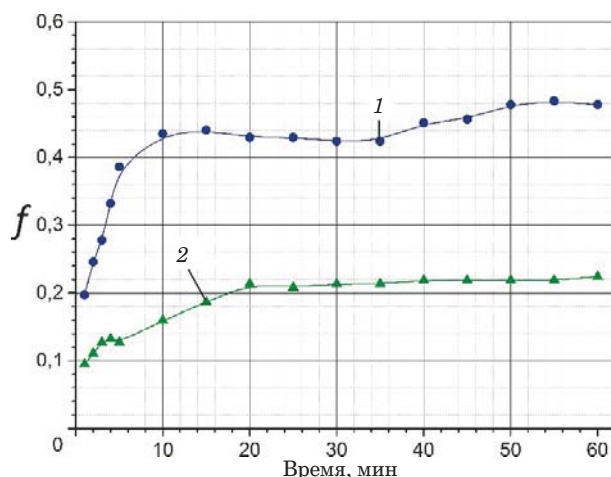


Рис. 2. Зависимости коэффициента трения от продолжительности испытаний шара из стали ШХ-15 при трении его по роликам без покрытия (1) и с металлокерамическим покрытием (2): смазочный материал — масло ПАО-4; нагрузка на узел трения — 104 Н; продолжительность испытания — 60 мин

Fig. 2. The dependence of the friction coefficient on the duration of testing a ball made of ShKh15 steel upon friction: 1 — uncoated rollers; 2 — rollers with metal-ceramic coating. Lubricant — oil PAO-4, load on friction unit — 104 N, test duration — 60 min

Заключение

Модернизация узла трения машины трения КТ-2 позволяет выявить влияние покрытий на антифрикционные характеристики трибосопрежений, работающих в режиме граничной смазки, путем простого лабораторного эксперимента, при малой затрате времени и средств вследствие использования в качестве образцов деталей массового производства — элементов опор качения — шариков и роликов. Для уточненной оценки трибологических характеристик тонких покрытий применительно к конкретным условиям эксплуа-

тации необходимо проводить более длительные и затратные испытания покрытий на имитирующих машинах и стендах, которые, однако, можно сократить, используя методы физического моделирования [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Албагачиев А. Ю.** Трибологические свойства эффективных покрытий деталей машин и режущего инструмента. — В кн.: Перспективные методы поверхностной обработки деталей машин. — М.: ЛЕНАНД, 2019. С. 55 – 72.
2. **Donet C., Erdemir A.** (Eds.). Tribology of Diamond-Like Carbon Films. Fundamental and Applications. — NY: Springer+Business Media, 2008 — 662 p.
3. **Комбалов В. С.** Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: справочник. — М.: Машиностроение, 2008. — 384 с.
4. **Carrol J. G.** Contact stresses in lubricant testers / Lubrication Engineering. 1968. Vol. 24. N 8. P 359 – 365.
5. **Матвеевский Р. М.** Температурная стойкость граничных смазочных слоев и твердых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов. — М.: Наука, 1971. — 227 с.
6. Димет оборудование. <https://dimet.info/catalog/oborudovanie>. Дата обращения 25.07.2019.
7. **Куксенова Л. И., Архипов В. Е., Лондарский А. Ф. и др.** Триботехнические свойства металлических покрытий, нанесенных газодинамическим напылением. — В кн.: Перспективные методы поверхностной обработки деталей машин. — М.: ЛЕНАНД, 2019. С. 288 – 301.
8. **Браун Э. Д., Буяновский И. А.** Тенденции развития методов трибологических испытаний / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 1997. Т. 63. № 1. С. 31 – 39.

REFERENCES

1. **Albagachiev A. Yu.** Tribological properties of effective coatings of machine parts and cutting tools. — In the book: Promising methods of surface treatment of machine parts. — Moscow: LENAND, 2019. P. 55 – 72. [in Russian].
2. **Donet C., Erdemir A.** (Eds.). Tribology of Diamond-Like Carbon Films. Fundamental and Applications. — NY: Springer+Business Media, 2008 — 662 p.
3. **Kombalov V. S.** Methods and means of testing for friction and wear of structural and lubricating materials: Handbook. — Moscow: Mashinostroenie, 2008. — 384 p. [in Russian].
4. **Carrol J. G.** Contact stresses in lubricant testers / Lubrication Engineering. 1968. Vol. 24. N 8. P 359 – 365.
5. **Matveevsky R. M.** The temperature stability of boundary lubricated layers and dry lubricated coatings under friction of metals and alloys. — Moscow: Nauka, 1971. — 227 p. [in Russian].
6. DIMET: equipment and technology. <https://dimet.info/catalog/oborudovanie>. Accessed 25.07.2019 [in Russian].
7. **Kuksenova L. I., Arkhipov V. E., Landarski A. F., et al.** Tribological properties of metal coatings applied by gas-dynamic metallization. In the book: Promising methods of surface treatment of machine parts. — Moscow: LENAND, 2019. P. 288 – 301 [in Russian].
8. **Braun E. D., Buyanovskii I. A.** Tendencies of development of tribological tests methods / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 1997. Vol. 63. N 1. P. 31 – 39 [in Russian].