



4. Kolosov A.D. Analiz primeneniya amorfnoho nanokremnezema [Analysis of the use of amorphous nanosilicon]. *Baikal 2018. Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Baikal 2018. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference], 2018, pp. 85-91.
5. Kondrat'ev V.V., Kolosov A.D., Gorovoi V.O., Nebogin S.A., Elkin K.S., Nemarov A.A., Ivanov A.A. Resursoberegayushchaya tekhnologiya polucheniya nanokremnezema [Resource-saving technology of nanosilica production]. *METALLURGIYA: TEKHNOLOGII, INNOVATSII, KACHESTVO. Trudy XX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 2 chastyakh* [METALLURGY: TECHNOLOGIES, INNOVATIONS, QUALITY. Works of the XX International Scientific and Practical Conference: in 2 parts], 2017, pp. 401-406.
6. Gorovoi V.O., Kolosov A.D., Baleeva A.I. Izvlecheniya fluoristykh soley iz otrabotannoi futerovki elektrolizera po proizvodstvu aluminia [Extraction of fluoride salts from the spent lining of an aluminum production cell]. *Perspektivy razvitiya tekhnologii pererabotki uglevodorodnykh i mineral'nykh resursov Materialy VII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoi 55-letiyu kafedry avtomatizatsii proizvodstvennykh protsessov* [Prospects for the development of technology for the processing of hydro-carbon and mineral resources Materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation dedicated to the 55th anniversary of the Department of Automation of Production Processes]. Irkutsk National Research Technical University. Editorial board: Antsiferov E.A., Bel'skii S.S., Nemchinova N.V., Elshin V.V., et al., 2017, pp. 175-178.
7. Kolosov A.D., Ershov V.A., Sysoev I.A. Tekhnologicheskie resheniya pererabotki ftorsoderzhashchikh otkhodov aluminievogo proizvodstva [Technological solutions for the processing of fluorine-containing aluminum production wastes]. *Ekologicheskie problemy regionov Sbornik statei Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Environmental problems of the regions. Collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference], 2017, pp. 145-149.
8. Kolosov A.D., Nemarov A.A., Nebogin S.A. Tekhnologiya polucheniya i primeneniya nanokremnezema pri proizvodstve novykh materialov dlya mashinostroeniya [Technology of production and use of nanosilica in the production of new materials for mechanical engineering]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2017, No. 3 (55), pp. 59-66.
9. Ivanchik N.N., Kondrat'ev V.V., Ivanov N.A., Karlina A.I. Izuchenie svoystv tonkodispersnykh otkhodov kremnievogo proizvodstva metodami elektronnoi mikroskopii [Study of the properties of fine silicon waste produced by electron microscopy methods]. *Sbornik dokladov VII mezhdunarodnogo Kongressa «Tsvetnye metally i mineraly»* [Collection of reports of the VII International Congress "Non-Ferrous Metals and Minerals"], 2015, pp. 234-235.
10. Kondrat'ev V.V., Ivanchik N.N., Petrovskaya V.N., Nemarov A.A., Karlina A.I. Pererabotka i primeneniye melkodispersnykh otkhodov kremnievogo proizvodstva v stroitel'stve [Processing and application of fine silicon waste in construction]. *V sbornike: Olon Ulsyn Betony XIV BAGA KhURAL Materialy mezhdunarodnogo stroitel'nogo simpoziuma* [In the collection: Olon Ulsyn Concretes XIV BAGA KHURAL. Materials of the international construction symposium], 2015, pp. 105-114.
11. Karlina A.I. Analiz sovremennykh i perspektivnykh sposobov vozdeistviya na prirodnye i stochnye vody [Analysis of modern and promising ways of influencing natural and waste waters]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2015, No. 5 (100), pp. 146-150.
12. Yastrebov K.L., Druzhinina T.Ya., Nadrshin V.V., Karlina A.I. Podgotovka i ochestka prirodnnykh i stochnykh vod. Monografiya [Preparation and purification of natural and waste waters: a monograph]. Irkutsk State Technical University, Irkutsk, 2014.
13. Karlina A.I. Razrabotka tekhnologii podgotovki otkhodov kremnievogo proizvodstva dlya ispol'zovaniya v chernoii metallurgii [Development of technology for the preparation of waste silicon production for use in ferrous metallurgy]. *Zhiznennyi tsikl konstruktivnykh materialov (ot polucheniya do utilizatsii)* [Life cycle of structural materials (from receipt to disposal)], 2018, pp. 148-156.
14. Ivanchik N.N., Balanovskii A.E., Kondrat'ev V.V., Sysoev I.A., Karlina A.I. Rasshirenie vozmozhnostei proizvodstva aktiviruyushchikh flyusov dlya dugovoi svarki za schet ispol'zovaniya ul'tradispersnykh produktov pererabotki otkhodov kremniya [Expanding the production of activating fluxes for arc welding through the use of ultrafine silicon waste processing products]. *Metallurgiya: tekhnologii, innovatsii, kachestvo* [Metallurgy: technology, innovation, quality], 2017, pp. 300-305.
15. Elkin K.S., Elkin D.K., Karlina A.I. O tekhnologiyakh snizheniya vliyaniya proizvodstv metallicheskogo kremniya na okruzhayushchuyu sredyu [On technologies to reduce the impact of the production of metallic silicon on the environment]. *Metallurgiya: tekhnologii, innovatsii, kachestvo* [Metallurgy: technology, innovation, quality], 2017, pp. 427-432.
16. Nemarov A.A., Lebedev N.V., Ivanov N.A., Karlina A.I., Ivanov N.N., Gorovoi V.O. Primeneniye aeratsii pri flotatsii nanorazmernykh chastits pyli gazoochistki proizvodstva kremniya [The use of aeration in the flotation of nanosized dust particles from gas purification of silicon production]. *Tsvetnye metally i mineraly* [Non-ferrous metals and minerals], 2016, pp. 168-169.
17. Kondrat'ev V.V., Nemarov A.A., Ivanov N.A., Karlina A.I., Ivanchik N.N. Teoriya i praktika protsessov flotatsionnogo obogashcheniya nanorazmernykh sred [Theory and practice of flotation enrichment processes of nanoscale media]. Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, 2015.
18. Kondrat'ev V.V., Ivanov N.A., Balanovskii A.E., Ivanchik N.N., Karlina A.I. Uluchsheniye svoystv serogo chuguna kremniidioksid i uglerodnymi nanostrukturami [Improving the properties of gray iron, silica and carbon nanostructures]. *Tekhnika i tekhnologii* [Engineering and Technologies], 2016, Vol. 9, No. 5, pp. 671-685.
19. Karlina A.I., Balanovskii A.E., Kolosov A.D., Elkin K.S., Levina S.V. Modifikatory na osnove kremniidioksida i uglerodnykh nanostruktur dlya uluchsheniya svoystv serogo chuguna [Modifiers based on silicon dioxide and carbon nanostructures to improve the properties of gray iron]. *Baikal 2018*, 2018, pp. 104-108.
20. Elkin K.S., Ivanov N.A., Karlina A.I., Ivanov N.N. Uglerodnye nanotrubki v proizvodstve metallicheskogo kremniya [Carbon nanotubes in the production of metallic silicon]. *Tsvetnye metally i mineraly* [Non-ferrous metals and minerals], 2015, pp. 224-225.
21. Kondrat'ev V.V., Karlina A.I., Nemarov A.A., Ivanov N.N. Rezul'taty teoreticheskikh i prakticheskikh issledovaniy flotatsii nanorazmernykh kremniisoderzhashchikh struktur [The results of theoretical and practical studies of flotation of nanoscale silicon-containing structures]. *Tekhnika i tekhnologii* [Engineering and Technologies], 2016, 9(5), pp. 657-670.
22. Karlina A.I. Izuchenie gidrodinamiki gravitatsionnogo obogashcheniya poleznykh iskopaemykh [Study of the hydrodynamics of gravitational enrichment of minerals]. *Vestnik IrGTU* [Proceedings of Irkutsk State Technical University]. Irkutsk: IrGTU Publ., 2015, No. 3, pp. 194-199.



23. Karlina A.I. Izuchenie struktury vnutrennikh techenii i volnovogo dvizheniya vodnogo i vzvesenesushchego potoka [Study of the structure of internal currents and wave motion of a water and a suspended flow]. *Vestnik IrGTU [Proceedings of Irkutsk State Technical University]*. Irkutsk: IrGTU Publ., 2015, No. 4, pp. 137-145.

24. Nemarov A., Lebedev N., Kondrat'ev V., Korniyakov M., Karlina A.I. Theoretical and experimental research of parameters of pneumatic aerators and elementary cycle flotation [Theoretical and experimental cycle flotation]. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2016, Vol. 11, No. 20, pp. 10222-10226.

25. Ershov V.A., Gorovoi V.O., Karlina A.I. Upravlenie tekhnologicheskimi protsessami pererabotki otkhodov kremnievogo proizvodstva [Management of the technological process of recycling silicon production]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2016, No. 4 (52), pp. 114-121.

26. Kondrat'ev V.V., Ivanov N.A., Karlina A.I., Kargapol'tsev S.K. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya parametrami sistem gazoochistki tekhnologicheskikh protsessov [Automated system for controlling the parameters of gas purification systems of technological processes]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2017, No. 2 (54), pp. 90-94.

27. Kondrat'ev V.V., Govorkov A.S., Kolosov A.D., Gorovoy V.O., Karlina A.I. The development of a test stand for developing technological operation flotation and separation of md2. The deposition of nanostructures md1 produce nanostructures with desired properties. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2017, Vol. 12, No. 22, pp. 12373-12377.

28. Kondrat'ev V.V., Nebogin S.A., Sysoev I.A., Gorovoy V.O., Karlina A.I. Description of the test stand for developing of technological operation of nano-dispersed dust preliminary coagulation. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2017, Vol. 12, No. 22, pp. 12809-12813.

29. Kondrat'ev V.V., Nebogin S.A., Kolosov A.D., Gorovoi V.O., Nemarov A.A., Ivanov A.A., Zapol'skikh A.S. Vozmozhnosti ispol'zovaniya sukhoi separatsii mikrokremnezema dlya polucheniya tselevykh produktov [Possibilities of using dry separation of microsilica for obtaining target products]. *METALLURGIYA: TEKHNologii, INNOVATSII, KACHESTVO. Trudy XX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 2 chastyakh [METALLURGY: TECHNOLOGIES, INNOVATIONS, QUALITY. Works of the XX International Scientific and Practical Conference: in 2 parts]*, 2017, pp. 432-436.

Информация об авторах

Authors

Небогин Сергей Андреевич - аспирант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: s.a.nebo@yandex.ru

Горовой Валерий Олегович - инженер НИЧ, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: 123valera321@gmail.com

Ершов Владимир Александрович - доцент кафедры автоматизации производственных процессов, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: ershov@istu.edu

Nebogin Sergei Andreevich – Ph.D. student, Irkutsk National Research Technical University, e-mail: s.a.nebo@yandex.ru

Gorovoi Valerii Olegovich – RD engineer, Irkutsk National Research Technical University, e-mail: 123valera321@gmail.com

Ershov Vladimir Aleksandrovich – Assoc. Prof. at the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk National Research Technical University, e-mail: ershov@istu.edu

Для цитирования

Небогин С. А. Теория и методы создания машин для синтеза машиностроительных материалов / С. А. Небогин, В. О. Горовой, В. А. Ершов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - Т. 60, № 4. - С. 23–31. - DOI: 10.26731/1813-9108.2018.4(60).23-31

For citation

Nebogin S. A., Gorovoi V. O., Ershov V. A. Teoriya i metody sozdaniya mashin dlya sinteza mashinostroitel'nykh materialov [Theory and methods of creating machines for the synthesis of engineering materials]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2018, Vol. 60, No. 4, pp. 23–31. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.4(60).23-31

УДК 621.373

DOI: 10.26731/1813-9108.2018.4(60).31-38

В. И. Шастин¹, С. К. Каргапольцев¹, А. Г. Пермяков²

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

²Иркутский релейный завод, г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 18 сентября 2018 г.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ: ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация. Статья посвящена актуальным вопросам исследования трибологических показателей модифицированного поверхностного слоя деталей машин по большинству видов контактирования фрикционных элементов, применяемых в машиностроении. Представлены варианты лабораторного триботехнического оборудования для оценки влияния различных видов поверхностного модифицирования на механизм изнашивания. Приводятся конструктивные особенности, основные технические характеристики оборудования и методические рекомендации исследовательского характера для разнообразных видов изнашивания, таких как контактное трение скольжения, пара трения «кольцо – гильза цилиндра» и сопряжение «вал – подшипник скольжения». Конструкция оборудования предусматривает возможность проведения испытаний при различных уровнях



ных нагрузки в зоне контакта и условиях смазки. Рассматриваются также варианты и возможность проведения ускоренных испытаний, в том числе при использовании фрагментов деталей реальных изделий машиностроения. Для расширения функциональных возможностей оборудования и методик исследования, а также получения достоверных данных при их обработке принят сравнительный метод анализа с учетом привнесенных отличий в результате модифицирования. Предложены и апробированы наиболее приемлемые методы и средства контроля основных трибологических показателей. На основе системного анализа полученных экспериментальных данных становится возможным наглядно и объективно интерпретировать взаимовлияние исследуемых технологических параметров модифицирования и основных характеристик изнашивания. Исследования влияния лазерных методов модифицирования на основные показатели износостойкости позволили получить широкий спектр объективных экспериментальных данных, подтвержденных впоследствии при эксплуатации реальных изделий. Благодаря принятой методологии исследования и использованию предлагаемого оборудования наряду с полученными практически значимыми результатами исследования установлено, что наибольшая износостойчивость наблюдается в узлах трения при взаимном лазерном модифицировании сопрягаемых поверхностей.

Ключевые слова: объекты машиностроения, трибологические свойства, экспериментальная установка, поверхностный слой, износостойкость, лазерное излучение, сопрягаемая поверхность, лазерное модифицирование, упрочнение, механизм изнашивания, конструкционные материалы.

V. I. Shastin¹, S. K. Kargapol'tsev¹, A. G. Permyakov²

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

² Irkutsk relay factory AO, Irkutsk, the Russian Federation

Received: September 18, 2018

MODIFICATION OF THE SURFACES OF CONSTRUCTIONAL MATERIALS: EQUIPMENT AND RESEARCH TECHNIQUE OF TRIBOLOGICAL PARAMETERS

Abstract. The article focuses upon the topical issues of the study of tribological indicators of a modified surface layer of machine parts for most types of contacting friction elements used in mechanical engineering. It presents options for laboratory tribotechnical equipment for assessing the impact of various types of surface modification on the mechanism of wear. The design features, the main technical characteristics of the equipment and research guidelines for various types of wear, such as contact friction–slip, a ring–cylinder liner friction pair and a pair of shaft–plain friction bearing, are provided. The equipment design allows for the possibility of testing at different levels of load in the contact zone and lubrication conditions. The options and possibility of conducting accelerated tests, among other things, when using fragments of parts of real engineering products, are also considered. To expand the functionality of the equipment and research methods, as well as to obtain reliable data during their processing, a comparative analysis method has been adopted, taking into account the introduced differences as a result of the modification. The most acceptable methods and means of control of the main tribological indicators have been proposed and tested. On the basis of the system analysis of the obtained experimental data, it becomes possible to visually and objectively interpret the interaction of the technological modification parameters under study on the main characteristics of wear. Using the example of studying the effect of laser modifying methods on the main indicators of wear resistance, we obtained a wide range of objective experimental data, confirmed, subsequently, in the operation of real products. Due to the accepted research methodology and the use of the proposed equipment, along with the obtained research results, significant for practical purposes, it has been established that the greatest wear resistance is observed in the friction units with mutual laser modification and mating surfaces.

Keywords: engineering objects, tribological properties, experimental facility, surface layer, wear resistance, laser radiation, interfacial surface, laser modification, hardening, wear mechanism, structural materials.

Введение

Исследования трибологических свойств с использованием современных физико-механических методов – важная научно-практическая задача, имеющая большое значение для разработки новых перспективных материалов, покрытий и методов поверхностного модифицирования. Одним из наиболее часто оцениваемых трибологических свойств является износостойкость – способность оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения как в квазистационарных (близких к стационарным), так и в нестационарных режимах трения. При выполнении трибологических исследований широко используются специализированные стенды, а также универсальные машины трения для испытания материалов и узлов трения, позволяющих выпол-

нять испытания по большинству видов контактирования фрикционных элементов, применяемых в машиностроении [1–4]. Большое значение при оценке качества материалов имеет достоверное измерение износостойкости в различных условиях изнашивания поверхностных слоев с использованием прогрессивных методов модифицирования, таких как лазерное, плазменное, электронно-лучевое и др., в таких процессах, как упрочнение, легирование и наплавка. Для расширения функциональных возможностей методик исследования и получения достоверных данных наиболее целесообразно использование сравнительного метода анализа с учетом привнесенных отличий [5–7]. При этом даже в мало оснащенных лабораторных условиях можно получить важные, практически значимые результаты. Такой подход при разработ-



ке триботехнического оборудования был принят как основополагающий при изучении и анализе основных параметров износа. С этой целью были разработаны несколько лабораторных испытательных установок для различных видов сопряжений, использование которых позволило установить целый ряд важных трибологических показателей в процессах лазерного модифицирования поверхностей различных конструкционных материалов.

Лабораторная установка для испытания сопряжения «контактное трение скольжения»

Имитаторами контактирующих поверхностей данной установки (рис. 1) являются два цилиндрических кольцевой формы образца, оси которых расположены перпендикулярно друг другу. Один из образцов закреплён неподвижно и может дискретно переустанавливаться относительно его оси путем смещения и последующего крепления к платформе (основные технические характеристики приведены в табл. 1). Это позволяет многократно использовать его без замены, для получения достаточно большого количества (более 20) статистических данных, с сохранением условий трения и смазки в контактной зоне. При осевом смещении вращающегося образца относительно неподвижного, с помощью комплекта съёмных шайб, количество исследуемых контактных зон может быть увеличено. При этом могут быть исследованы зоны, подвергнутые различным режимам и видам модифицирования. Такая схема установки и предложенная методика проведения эксперимента позволяет получить большой объём статистических данных износостойкости для широкого диапазона режимов и видов воздействия. Практически, для этого можно ограничиться одним неподвижным образцом, без существенной перенастройки оборудования, сохраняя при этом стабильность режимов изнашивания, а следовательно, получить высокую степень воспроизводимости экспериментальных данных, исключив при этом возможные погрешности.

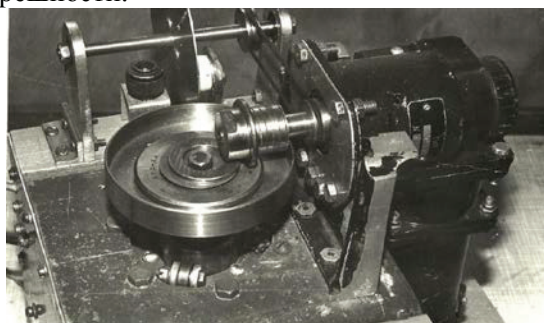


Рис. 1. Лабораторная установка контактного трения скольжения

Кинематическая цепь привода установки представляет собой замкнутый силовой контур, состоящий из 2 ветвей. Ветви контура соединены в месте контакта исследуемых пар трения. Платформа, где крепится неподвижный объект исследования, имеет осевые направляющие в виде роликов. Давление в зоне контакта регулируется посредством рычажного механизма, путем установки грузов различной массы. Устройство позволяет проводить испытания как при сухом трении, так и при различных условиях смазки. При добавлении в масляную емкость абразивного порошка можно имитировать абразивный вид износа либо реализовать ускоренный процесс испытания. Привод установки осуществляется от электродвигателя постоянного тока 24 В через угловой редуктор. Число оборотов регулируется изменением напряжения источника питания. Продолжительность испытаний, кроме временного параметра, контролируется фотоэлектронным счетчиком циклов в течение всего периода испытания.

Таблица 1

Основные технические характеристики установок

Номинальная мощность привода, Вт	600
Напряжение питания, В	24
Число оборотов (регулируемое), об/мин.	20...100
Нагрузка в сопрягаемых парах трения, кг	5...50
Смазывающая среда	Масло МК-8

При замене исследуемых образцов необходимо соблюдать полную идентичность качества их поверхности, условия монтажа и контактирования в сопряжении. Испытания проводятся при одинаковых условиях внешней среды. Контроль параметров износа осуществляется путем замера глубины износа, формы контактного пятна и его площади, а также рельефа поверхности для подвижного образца. Для подвижного основными показателями износа являются весовые, объёмные и рельефно-поверхностные параметры.

В качестве инструментария для оценки этих параметров используются инструментальные и оптические измерительные приборы, аналитические весы, а также анализаторы шероховатости поверхности, например профилограф-профилометр.

Испытательное устройство сопряжения «вал – подшипник скольжения»

В узлах и агрегатах изделий широко используются сопряжения типа «вал – подшипник скольжения», которые, исходя из анализа и опыта эксплуатации, наиболее часто изнашиваются и



отбраковываются либо подлежат восстановлению. В этой связи изучение данного вида износа и оценка возможности использования лазерных и иных методов модифицирования контактирующих поверхностей является актуальной задачей исследования [6, 7]. Важность проведения этих исследований дополнительно обуславливается необходимостью установления взаимовлияния, при условии обоюдного модифицирования сопрягаемых поверхностей, для различных видов обработки.

Номенклатура исследуемых материалов подбиралась, исходя из реально применяемых пар трения в узлах авиационной и техники общего машиностроения. Установка была разработана на базе усталостной машины МУИ-6000. Принципиальная схема машины показана на рис. 2.

Модернизация состояла в разработке и добавлении в кинематическую схему машины узла

крепления образцов, имитирующих подшипник скольжения. Данный узел крепился к станине установки и был выполнен по аналогии с конструкцией люнета, используемого для токарной обработки длинномерных цилиндрических деталей.

Устройство позволяет проводить испытание одновременно трех образцов подшипника. С помощью микрометрических винтов с достаточно высокой точностью обеспечивалась возможность регулировки контактного усилия образцов к поверхности вала. Самоориентация контактной поверхности износа образца «подшипника скольжения» к валу осуществлялась за счет направляющего стержня образца, выполненного по посадке.

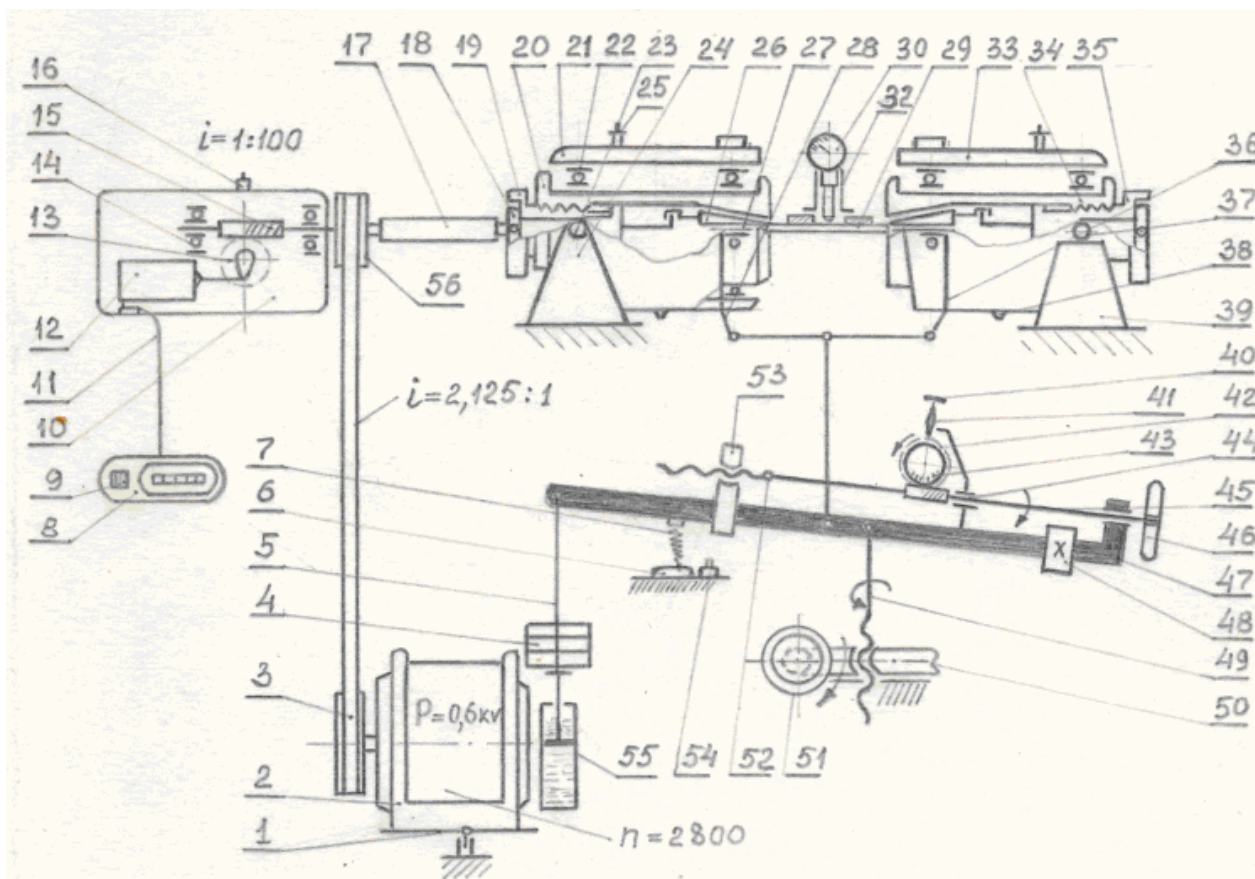


Рис. 2. Принципиальная схема машины МУИ-6000:

- 1 – шарнирная плита; 2 – электродвигатель; 3 – клиноременная передача; 4 – сменные грузы; 5 – подвеска; 6 – микровыключатель; 7, 52 – упор; 8 – счетчик циклов; 9 – ручка сброса; 10 – редуктор; 11 – электропривод; 12 – датчик импульсов; 13 – червячное колесо; 14, 22, 23 и 37 – шарикоподшипники; 15 – червяк; 16, 25 – пробка; 17 – гибкий валик; 18 – вал; 19, 35 – зажим; 20, 34 – шпиндель; 21 – шпиндельная левая бабка; 24, 39 – стойка; 26 – цапга; 27 – цапфа; 28, 36 – серьга; 29 – образец; 30 – индикатор; 31 – зажимной винт; 32 – кронштейн индикатора; 33 – шпиндельная правая бабка; 38 – штуцер; 40 – табличка; 41 – указатель; 42 – червячная пара (к шкале нагрузок); 43 – шкала нагрузок; 44 – подшипник скольжения; 45, 49 – винт; 46, 51 – маховик; 47 – рычаг механизма нагружения; 48 – противовес; 50 – червячная пара; 53 – подвижной груз; 54 – амортизатор; 55 – ускоритель; 56 – шкив



Усилие, действующее на образец, передается через пружину, которая одновременно является демпфером для гашения колебаний. Образец «вала» крепился в цанговых зажимах установки. Изгибающая нагрузка на вал, предусмотренная конструкцией установки, в процессе испытания устанавливалась на минимальную величину с помощью механизма нагружения, исключая при этом возможность появления вибраций, за счет успокоителя. Смазка контактной поверхности осуществлялась капельным способом с помощью химической воронки. Для имитации абразивного вида изнашивания и в режиме ускоренных испытаний в масло добавлялся абразив в определенном соотношении. При этом перемешивание и равномерность консистенции подаваемого субстрата в зону контакта при использовании масла МС-20 обеспечивались за счет естественной вибрации усталостной машины при ее работе.

Осевое перемещение узла крепления образцов подшипника осуществлялось по направляющим, относительно станины усталостной машины. Это позволяет проводить испытания в пределах длины образца, без его переустановки и дополнительной настройки. За счет сжатия пружины загрузочного механизма образцы подшипника могут легко подвергаться замене без демонтажа самого узла крепления, что обеспечивает стабильность испытаний, вызванных перенастройкой оборудования. Учитывая высокую скорость вращения машины, зачастую превосходящую режимы работы реальных сопряжений подобного типа, данная методика вполне оправдана с позиции проведения ускоренных испытаний. Если испытания такого типа сопряжений проводить в реальных скоростных режимах, машинное время может составить весьма продолжительный срок. Методика сравнительного анализа экспериментальных данных при обеспечении стабильности режимов износа компенсировала этот недостаток.

Анализ и контроль параметров износа осуществлялся путем замера геометрических характеристик поверхности износа и определением массы образца подшипника до и после испытания. Для анализа износа вала целесообразно использовать анализатор шероховатости поверхности (профилограф-профилометр).

Испытательная установка пары трения «кольцо – гильза цилиндра»

Наиболее ответственными деталями двигателя внутреннего сгорания (ДВС), определяющими работоспособность, надежность и тяговые характеристики агрегата, являются детали цилиндропоршневой группы (ЦПГ). Одновременно с этим они наиболее нагружены и подвержены износу трения в экстремальных условиях. Основными деталями контактирующих поверхностей, соответственно подверженными максимальному износу, являются кольцо и внутренняя поверхность гильзы цилиндра. Несмотря на достаточную изученность этого сопряжения, в том числе по отношению к воздействию различных методов упрочнения, особенно для ДВС автомобильного транспорта, эта проблематика остается актуальной [2, 8]. Детали данного сопряжения ДВС авиационной техники имеют свою специфику. Имеются в виду используемые материалы, их покрытия, различные виды термической и химико-термической обработки, а также специфика технологии их обработки. С точки зрения лазерного упрочнения их изученность ограничена и имеет важное научно-практическое значение [3, 8]. Это вытекает из принципа преобладания и выявления общих закономерностей трибомеханических процессов, происходящих в гетерогенных системах поверхностного слоя. Также имеется в виду кинетика износа, например при лазерной обработке как одной из сопрягаемых поверхностей, так и при взаимном модифицировании поверхностей сопряжения.

При разработке установки принцип максимального приближения к реальным условиям работы сопряжения, по известным соображениям, является технически труднореализуемым. Однако принятая методика сравнительного анализа полученных данных и доступная идентификация механизма износа могут обеспечить получение вполне достоверных и сопоставимых данных эксперимента. Кроме этого, предлагаемая методика испытания и оборудование предусматривают использование в качестве образцов фрагментов реальных деталей ДВС. При разработке испытательной машины учитывался принцип моделирования при обеспечении устойчивых режимов и процессов изнашивания, имеющих место при работе исследуемых деталей ЦПГ.

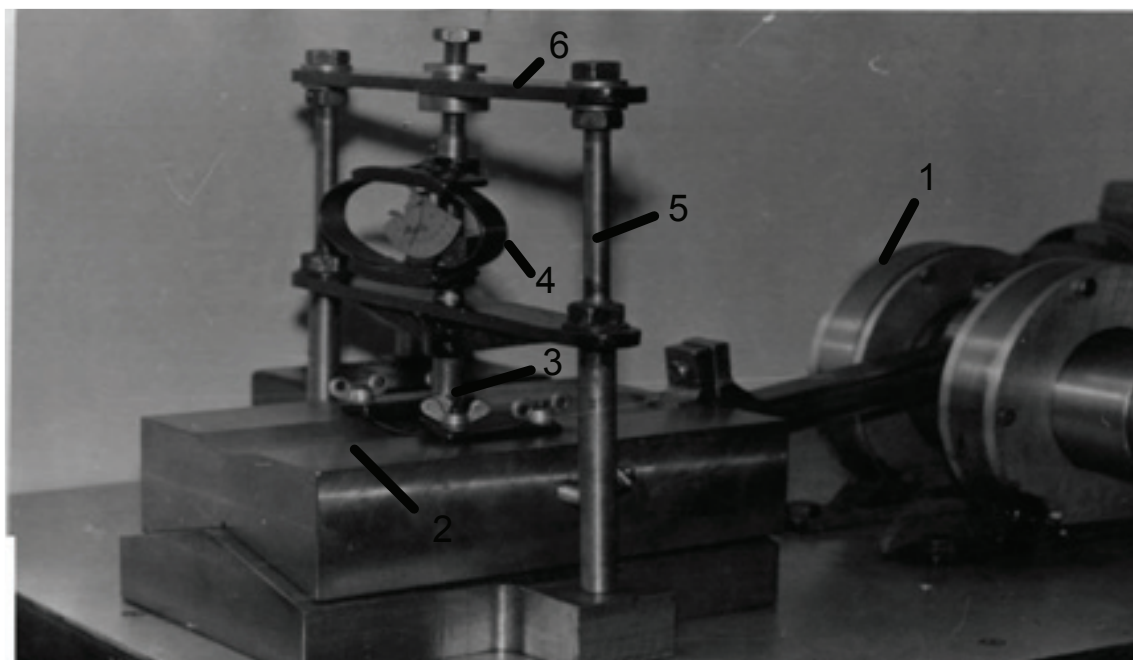


Рис. 3. Лабораторная испытательная установка пары трения «кольцо – гильза цилиндра»

Конструктивно машина (рис. 3) представляет собой кривошипно-шатунный механизм 1, обеспечивающий возвратно-поступательное движение образца «гильзы цилиндра», который крепится на подвижной платформе, перемещаемой по направляющей с помощью электродвигателя. Опорная поверхность платформы 2, куда устанавливается фрагмент гильзы цилиндра, имеет проточку, соответствующую радиусу наружной поверхности образца. Это обеспечивает жесткую ориентацию изнашиваемой поверхности относительно неподвижного образца (фрагмента поршневого кольца). Он устанавливается в проточке штока 3, обеспечивающей его самоориентацию по поверхности сопряжения. Уровень давления на фрагмент кольца регулируется вращением регулировочного болта и контролируется с помощью пружинного динамометра 4, который дополнительно выполняет функцию демпфера вынужденных колебаний. Жесткая кинематическая связь элементов трения обеспечивается двумя шпильками 5 и перемычками 6 между ними. Перемычки одновременно являются направляющими штока нагружения и элементами для регулировки и контроля уровня нагрузки. Основные технические характеристики установки приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Основные технические характеристики установки

Номинальная мощность привода, Вт	500
Напряжение питания, В	220
Число циклов в минуту	100
Нагрузка в сопряжении (регулируемая), кг	5...50

Испытания могут осуществляться как при сухом трении, так и в условиях смазки капельным способом. При подаче масляно-абразивной смеси в зону контакта можно осуществлять ускоренный режим испытания и имитировать абразивный вид изнашивания. Поверхность скольжения платформы и направляющей смазываются консистентной смазкой при каждой замене испытываемых образцов.

Контроль параметров износа осуществлялся весовым методом для фрагмента поршневого кольца, с использованием аналитических весов; для поверхности гильзы цилиндра – путем записи и анализа профилограмм, а также инструментальными замерами контролируемой зоны до и после испытания.

Заключение

Как показал опыт использования лабораторного триботехнического оборудования и принятых методологических положений, на основе сравнительного анализа можно получить объективную оценку износостойкости поверхностного слоя, подвергнутого разнообразным видам модифицирования и упрочнения [9–11]. Сопоставляя полученные при испытании трибологические показатели стойкости, становится возможным наглядно и объективно интерпретировать взаимовлияние исследуемых технологических параметров обработки и основных характеристик изнашивания. Так, полученные экспериментальные данные, на примере исследования лазерных методов модифицирования (упрочнение, легирование и наплавка), позволили во многом объяснить механизм и основные факто-



ры, определяющие повышение их трибологически важных конструктивно-технологических параметров. Основываясь на этих положениях, стало возможным сформулировать ряд практических рекомендаций для узлов трения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 30480-97 «Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость. Общие требования».
2. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М. Машиностроение, 2000. 320 с.
3. М.М. Хрущов, М.А. Бабичев Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970. 251 с.
4. Тарасов В.В. Новые способы определения износостойкости покрытий // Трение и износ. 1993. Т. 14, № 6, с. 1087–1091.
5. Шастин В.И., Елисеев С.В. Концепция интегрированного многопрофильного использования лазерных технологий на промышленных предприятиях // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 2 (26). С. 13-17.
6. Шастин В.И., Каргапольцев С.К. Концепция микроуровневого анализа физико-механических свойств модифицированных поверхностей // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 2 (26). С. 13-17.
7. Шастин В.И. Пути повышения эффективности лазерного термоупрочнения железоуглеродистых сплавов // Вестник Алтайского ГАУ. 2015. № 11 (133). С. 117-121.
8. Шастин В.И., Каргапольцев С.К. Лазерное термоупрочнение пары трения ДВС «кольцо-гильза цилиндра» // Известия Транссиба. 2016. № 2 (26). С. 61-70.
9. Шастин В.И., Каргапольцев С.К. Лазерное модифицирование сопрягаемых поверхностей трения // Вестник СамГУПС. 2016. № 3 (33). С. 27-33.
10. Шастин В.И., Каргапольцев С.К. Лазерная модификация поверхностей трибологических сопряжений // Вестник машиностроения. 2017. № 6. С. 50-53.
11. Shastin V.I., Kargapol'tsev S.K., Sitov I.S. Lazer termo-strengthening friction surface // Journal of Advanced Research in Technical Sciences. North Charleston, USA: SRC MS, CreateSpace. 2016. Issue 1. 96 p.
12. Shastin V.I., Kargapol'tsev S.K., Gozbenko V.E., Livshits A.V., Filippenko N.G. Results of the Complex Studies of Microstructural, Physical and Mechanical Properties of Engineering Materials Using Innovative Methods // International Journal of Applied Engineering Research (2017) T. 12. № 24, pp. 15269-15272.
13. Shastin V.I., Kargapol'tsev S.K., Gozbenko V.E., Livshits A.V., and Filippenko N.G. Lazer Alloying of Wear Surfaces with Metal Components // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562. Volume 12, No. 17 (2017). pp. 6499-6503.
14. Шастин В.И., Коновалов Н.П. Технологическое обеспечение процессов лазерного модифицирования поверхностей конструкционных сплавов: монография. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2016. 164 с.
15. Шастин В.И., Каргапольцев С.К. Об интеграции технологий лазерного модифицирования на предприятиях ОАО «РЖД» // Вестник Всероссийского научн. Исслед. и проектно-констр. института электровозостроения. 2016. № 3 (73). С. 53-60.

REFERENCES

1. GOST 30480-97 «Obespechenie iznosostoikosti izdelii. Metody ispytanii na iznosostoikost'. Obshchie trebovaniya» [GOST 30480-97 "Ensuring the durability of products. Test methods for wear resistance. General requirements"].
2. Suslov A.G. Kachestvo poverkhnostnogo sloya detalei mashin [The quality of the surface layer of machine parts]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2000, 320 p.
3. Khrushchov M.M., Babichev M.A. Abrazivnoe iznashivanie [Abrasive wear]. Moscow: Nauka Publ., 1970, 251 p.
4. Tarasov V.V. Novye sposoby opredeleniya iznosostoikosti pokrytii [New methods for determining the wear resistance of coatings]. *Trenie i iznos [Friction and wear]*, 1993, Vol. 14, No. 6, pp. 1087 – 1091.
5. Shastin V.I., Eliseev S.V. Kontseptsiya integrirovannogo mnogoprofil'nogo ispol'zovaniya lazernykh tekhnologii na promyshlennykh predpriyatiyakh [The concept of microlevel analysis of the physicomechanical properties of modified surfaces]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies]*, 2015, No. 2 (26), pp. 13-17.
6. Shastin V.I., Kargapol'tsev S.K. Kontseptsiya mikrourovneвого analiza fiziko-mekhanicheskikh svoistv modifitsirovannykh poverkhnostei [Ways to improve the efficiency of laser thermal strengthening of iron-carbon alloys]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies]*, 2015, No. 2 (26), pp. 13-17.
7. Shastin V.I. Puti povysheniya effektivnosti lazernogo termouprochneniya zhelezouglерodistykh splavov [Ways to improve the efficiency of laser thermal strengthening of iron-carbon alloys]. *Vestnik Altaiskogo GAU [Bulletin of the Altai State Agrarian University]*, 2015, No. 11 (133), pp. 117-121.
8. Shastin V.I., Kargapol'tsev S.K. Lazernoe termouprochnenie pary treniya DVS «kol'tso-gil'za tsilindra» [Laser thermal strengthening of a friction pair of an internal combustion engine “ring-cylinder sleeve”]. *Izvestiya Transsiba [Journal of Transsib Railway Studies]*, 2016, No. 2 (26), pp. 61-70.
9. Shastin V.I., Kargapol'tsev S.K. Lazernoe modifitsirovanie sopryagaemykh poverkhnostei treniya [Laser modification of mating friction surfaces]. *Vestnik SamGUPS*, 2016, No. 3 (33), pp. 27-33.
10. Shastin V.I., Kargapol'tsev S.K. Lazernaya modifikatsiya poverkhnostei tribologicheskikh sopryazhenii [Laser modification of the surfaces of tribological interfaces]. *Vestnik mashinostroeniya [Russian Engineering Research]*. 2017, No. 6, pp. 50-54.
11. Shastin V.I., Kargapol'tsev S.K., Sitov I.S. Lazer termo-strengthening friction surface. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. North Charleston, USA:SRC MS, CreateSpace, 2016, Issue 1, 96 p.
12. Shastin V.I., Kargapol'tsev S.K., Gozbenko V.E., Livshits A.V., Filippenko N.G. Results of the Complex Studies of Microstructural, Physical and Mechanical Properties of Engineering Materials Using Innovative Methods. *International Journal of Applied Engineering Research* (2017), Vol. 12, No. 24, pp. 15269-15272.
13. Shastin V.I., Kargapol'tsev S.K., Gozbenko V.E., Livshits A.V., and Filippenko N.G. Lazer Alloying of Wear Surfaces with Metal Components. *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562, Volume 12, Number 17 (2017), pp. 6499-6503.