

Научная статья
УДК 338.46:631.16

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МАШИННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ АПК

¹Владимир Анатольевич Погоньшев, ¹Татьяна Викторовна Бычкова, ¹Илья Алексеевич Мокшин,
²Дина Алексеевна Погоньшева

¹ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

²ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского», Брянск, Россия

Аннотация. Состояние машинно-тракторного парка (МТП) экономических субъектов АПК оказывает влияние на уровень производительности труда в аграрной сфере, рентабельность производимой продукции, эффективность использования ресурсов, обеспеченность населения страны продуктами питания. В последнее время производство сельхозмашин в РФ сократилось, наблюдается старение МТП. Неполнота данных о процессах в локации трибоконтакта затрудняет создание надежных узлов трения сельхозмашин. Создание новых двигателей, используемых в АПК, актуализирует повышение ресурса тяжело нагруженных узлов трения для уменьшения потерь в трибосопряжениях. Исследование посвящено анализу данных, полученных при испытании различных тонких пленок (состоящих из пластичных металлов), нанесенных на стальную цилиндрическую поверхность (сталь 45 ГОСТ 1050-88) испытуемого образца (в форме диска) методом финишной антифрикционной безабразивной обработки (ФАБО) на машине трения 2070 СМТ-1. Величина коэффициента трения обусловлена радиальными биениями, как результатом отклонения от округлости поверхности вращения и центра поверхности от базовой оси вращения. В начальной стадии приработки трибосопряжения амплитуда радиальных биений высока в связи с наличием неровностей на поверхностях в узле трения. Присутствие этих неровностей приводит к увеличению радиуса образца. В процессе испытаний на токарном станке осуществлялось нанесение покрытий фрикционно-механическим способом посредством прутка. Конструкция машины трения СМТ-1 позволяет плавно регулировать скорость вращения диска. Анализ результатов эксперимента показал, что на медной плёнке значительно лучше удерживается масло, чем на стали и стальных покрытиях. За счёт данного факта повышается износостойкость пары трения, улучшаются её триботехнические свойства. В ходе эксперимента были получены данные о зависимости коэффициента трения от амплитуды радиальных биений.

Ключевые слова: трение, плёнки пластичных металлов, метод ФАБО, машина трения, коэффициент трения, радиальные биения, сельскохозяйственные машины.

Для цитирования: Трибологические аспекты совершенствования машинно-технологической обеспеченности АПК / В.А. Погоньшев, Т.В. Бычкова, И.А. Мокшин, Д.А. Погоньшева // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 3 (103). С. 60-64.

Original article

TRIBOLOGICAL ASPECTS OF IMPROVEMENT MACHINERY AND TECHNOLOGICAL SUPPORT OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

¹Vladimir A. Pogonyshv, ¹Tat'yana V. Bychkova, ¹Il'ya A. Mokshin, ²Dina A. Pogonyshva

¹Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

²Bryansk State University named after acad. I.G. Petrovski, Bryansk, Russia

Abstract. The state of the machine and tractor fleet (MTP) of the economic entities of the agro-industrial complex affects the level of labor productivity in the agricultural sector, the profitability of products, the efficiency of resource use, the provision of food to the population of the country. Recently, the production of agricultural machinery in the Russian Federation has decreased, there is an aging of the MTP. The incompleteness of data on processes in the tribocontact location makes it difficult to create reliable friction units of agricultural machines. The creation of new engines used in the agro-industrial complex actualizes the increase in the resource of heavily loaded friction units to reduce losses in tribo-stresses. The study is devoted to the analysis of data obtained during the testing of various thin films (consisting of plastic metals) deposited on a cylindrical steel surface (steel 45 GOST 1050-88) of the test sample (in the form of a disk) by the method of finishing anti-friction-free abrasive treatment (FABO) on a friction machine 2070 SMT-1. The value of the friction coefficient is due to radial beats, as a result of deviation from the roundness of the surface of rotation and the center of the surface from the base axis of rotation. In the initial stage of tribo-tension run-in, the amplitude of radial beats is high due to the presence of irregularities on the surfaces in the friction node. The presence of these irregularities leads to an increase in the radius of the sample. During the tests on the lathe, coatings were applied

by friction-mechanical means by means of a rod. The design of the SMT-1 friction machine allows you to smoothly adjust the speed of rotation of the disc. Analysis of the experimental results showed that oil is significantly better retained on a copper film than on steel and steel coatings. Due to this fact, the wear resistance of the friction pair increases, and its tribotechnical properties improve. During the experiment, data were obtained on the dependence on the amplitude of radial beats.

Key words: friction, films of plastic metals, FABO method, friction machine, friction coefficient, radial beats, agricultural machines.

For citation: Tribological aspects of improvement machinery and technological support of the agro-industrial complex/ V.A. Pogonyshv, T.V. Bychkova, I.A. Mokshin, D.A. Pogonyshva // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. 3 (103). 60-64.

Введение. Современная аграрная индустрия, как динамическая вероятностная система, функционирует в условиях глобальных вызовов. С целью решения проблемы продовольственной безопасности страны, достижения высоких конкурентных позиций на мировом продовольственном рынке требуется эффективное использование земельных, финансовых, материальных, энергетических и других ресурсов. Необходимы своевременный ремонт и восстановление узлов в сельхозмашинах, эксплуатируемых хозяйствующими субъектами АПК. Одним из направлений деятельности ремонтных служб выступает использование современных достижений в области трибологии, включая создание «безыносных» узлов трения сельхозмашин, защиту деталей машин от водородного изнашивания, расширение применения ФАБО трущихся деталей и др.

Объектом исследования является изучение и описание результатов испытания стальных образцов, имеющих различное пленочное покрытие, нанесенное методом ФАБО на машине трения 2070 СМТ-1.

ФАБО-это метод снижения трения и износа деталей путем формирования на их поверхности тонкой пленки из мягкого металла, например, латуни, бронзы, медного сплава, алюминия и других материалов. Защитная пленка, которая образуется на поверхности, имеет толщину от 1 до 9 микрометров. Она повышает износостойкость детали, на которую нанесена, снижает коэффициент трения контактирующих элементов. ФАБО называется финишной обработкой в связи с тем, что осуществляется после традиционной механической обработки поверхности (хонингования, шлифования, полирования и т. д.). Сущность технологического процесса ФАБО заключается в «натирании» детали цилиндрической формы прутковым инструментом, изготовленным из мягкого металла. Этот процесс осуществляется на специальном станке, обеспечивающем вращение элемента цилиндрической формы и линейное перемещение металлического прутка.

В процессе исследования авторы выдвигают гипотезу о зависимости коэффициента трения и износа от амплитуды радиальных биений при испытании покрытий, нанесенных методом ФАБО.

Коэффициент трения μ представляет собой величину, равную отношению силы трения между двумя телами и силы, прижимающей их друг к другу, во время или в начале скольжения.

Коэффициент трения рассчитывается по формуле:

$$f_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{тр}}}{R_0 \cdot P}, \quad (1)$$

где $M_{\text{тр}}$ – момент трения, Н·м;

R_0 – радиус образца, м;

P – действующая нагрузка, Н.

Отсюда следует, что радиус поверхности образца с нанесённой металлической пленкой определяется по формуле:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R(2 \cdot v + \chi \cdot \pi h_0)}{2 \cdot v}, \quad (2)$$

где χ – коэффициент, показывающий долю объёма материала прутка, переходящего в покрытие;

R – радиус образца с покрытием, мм;

R_0 – радиус образца, мм;

v – линейная скорость, м/с;

h_0 – высота столбика прутка, истираемого о вал, мм.

В начальный момент эксперимента на образец радиусом R наносится пленка, которая с одной стороны, увеличивает радиус образца, а с другой стороны, позволяет сокращать время приработки (рис. 1).

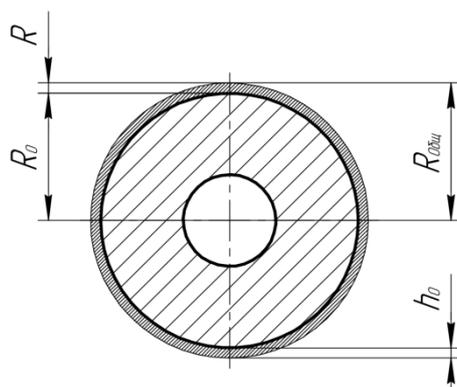


Рисунок 1 – Схема расположения пленочного покрытия

Радиальное биение - это результат отклонения от округлости поверхности вращения и отклонения центра поверхности от реальной базовой оси вращения. Амплитуда радиальных биений в начале процесса приработки гораздо больше из-за неровностей на поверхности материала в паре трения при испытании. Что, в свою очередь, увеличивает радиус образца и уменьшает коэффициент трения.

Материалы и методика исследований. Нанесение покрытий производилось на токарном станке фрикционно-механическим способом посредством пруткового инструмента с усилием 100 кгс на вращающуюся цилиндрическую поверхность испытуемых образцов (рис. 2).



Рисунок 2 – Нанесение пленочного покрытия методом ФАБО

Испытания проводились на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «вращающийся диск – неподвижная колодка» в двух постоянных режимах при скорости 20 об/с и нагрузке 5 МПа (рис. 3). Конструкция машины предусматривает плавную регулировку скорости вращения диска (Погоньшев В.А. *Повышение износостойкости восстановленных узлов трения сельскохозяйственных машин фрикционным нанесением пленок пластичных металлов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Калининский ордена трудового красного знамени политехнический институт. Калинин, 1990*).

Выбранные режимы испытаний находились в пределах режимов работы подшипников скольжения в узлах сельскохозяйственных и дорожных машин. В качестве колодки использовали сегмент втулки с внутренним диаметром 50 мм, равным внешнему диаметру наносимого покрытия. Смазка пары трения осуществлялась путем соприкосновения нижней части вращающегося диска с маслом, находящимся в специальном кювете. В качестве смазки использовали масло НПЗ 20W-20 ГОСТ 10541-2020. Время испытаний – 1 час (Способ гашения колебаний: пат. 2126916 Рос. Федерация / Погоньшев В.А. Харченко В.С., Матанцева В.А., Романеев Н.А., Хохлов А.Г. № 96110840; заявл. 31.05.96; опубли. 1999, Бюл. № 6; Подвеска для локальной гальванической обработки стержневых деталей с головкой типа болтов: А.с. №1310457 А1, 15.05. 1987 г. / Нетягов П.Д., Гришин В.А., Погоньшев В.А. Заявка № 3863709 от. 05.03.1985).

По профилограммам была определена высота ступеньки от неизнашиваемого участка к изнашиваемому. Для получения профилограмм использовали профилометр модели 201. В процессе испытания регистрируется момент трения с автоматической записью потенциометром КСП-4 (Погоньшев В.А., Романеев Н.А. *Технологические способы повышения износостойкости поверхностей трения вследствие улучшения их демпфирующих свойств // Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. № 6 (102). С. 47-48*).



Рисунок 3 – Машина трения

Результаты эксперимента и их обсуждение. В ходе обработки результатов эксперимента были построены графики зависимости коэффициента трения от амплитуды радиальных биений (рис. 4-6).

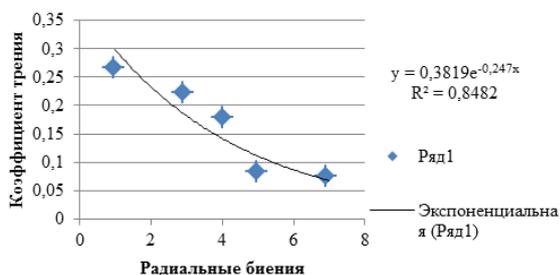


Рисунок 4 – Сталь 45 ГОСТ 1050-88 по Стали 45 ГОСТ 1050-88 без пленочного покрытия

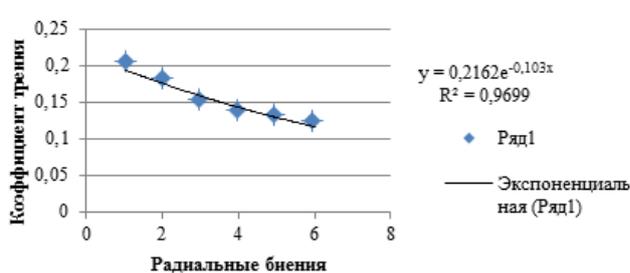


Рисунок 5 – Медное покрытие по Стали 45 ГОСТ 1050-88 без обработки бензолом перед испытанием

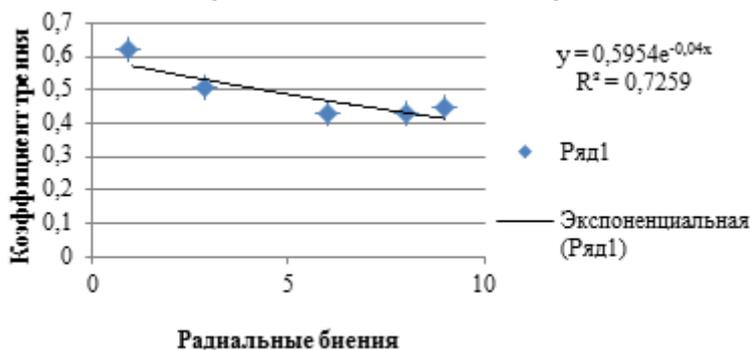


Рисунок 6 – Сталь 40X ГОСТ 1050-2013 по Стали 25 ГОСТ 1050-88

В процессе испытаний было выявлено, что на медной плёнке гораздо лучше удерживается масло, чем на стали и стальных покрытиях, и за счёт этого повышается износостойкость пары трения и улучшаются её триботехнические свойства.

Процесс изнашивания поверхности происходит по схеме «упрочнение - разупрочнение - разрушение». С увеличением амплитуды колебаний интенсивность изнашивания возрастает, что согласуется с теорией об ограничении доступа кислорода в зону контакта при фреттинге, однако вследствие приработки поверхностей в дальнейшем коэффициент трения понижается. Было установлено, что исходная шероховатость поверхностей трения, равно как абразивная составляющая изнашивания поверхностей, не оказывает значительного влияния на величину исходного (абразивного и усталостного) износа, так как она достаточно быстро изменяет свою микрогеометрию вследствие приработки и воздействия абразивных частиц. Считаем, что использование технологии искусственного интеллекта является одним из перспективных решений проблемы повышения надёжности сельскохозяйственных машин, повышения уровня машинно-технологической обеспеченности рыночных субъектов, так как инициирует создание композиционных покрытий с требуемой прочностью, низким коэффициентом трения и износа. [1-5]

Выводы. При контактировании Стали 45 по Стали 45 происходит моментальное схватывание поверхностей, а при взаимодействии Стали 45 и пленочного покрытия в начальный момент коэффициент трения механического взаимодействия соприкасающихся тел уменьшается почти на 20%. Применение медных плёнок на стальных поверхностях уменьшает износ стальных покрытий, а коэффи-

циент трения снижается в 1,5-2 раза. Применение антифрикционных материалов, способных изменять механизмы образования трибослоев в зависимости от условий работы, обуславливают увеличение срока службы трибосистем.

Список источников

1. Тихомиров В.П., Шалыгин М.Г., Измеров М.А. Модель контакта и оценка молекулярной составляющей силы трения // Научные технологии в машиностроении. 2023. № 6 (144). С. 20-27.
2. Tribotechnical characteristics of composite coatings deposited by spraying / V.A. Pogonyshev, N.M. Belous, V.E. Torikov, I.A. Mokshin, A.A. Boiko // Materials Today: Proceedings. Ser. "International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment. 2020, ICMTME 2020". 2021. С. 1849-1851.
3. Issues of digital transformation of biological agriculture in the south-west of the central region of Russia / V. Torikov, V. Pogonyshev, D. Pogonysheva, N. Ivanova, T. Bychkova // II International Conference on Current Issues of Breeding, Technology and Processing of Agricultural Crops, and Environment (CIBTA-II-2023). Les Ulis Cedex A, France, 2023. С. 1018.
4. Issues of digital transformation of agriculture aip / V.E. Torikov, V.A. Pogonyshev, D.A. Pogonysheva, N.A. Ivanova, T.V. Bychkova // Innovative technologies in agriculture: conference proceedings International Scientific and Practical Conference. 2023. Volume 2921, Issue 1. AIP Publishing. С. 080001.
5. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90, № 4. С. 331-334.

Информация об авторах:

В.А. Погоньшев – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации, физики и математики, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Т.В. Бычкова – кандидат педагогических наук, доцент кафедры автоматизации, физики и математики, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

И.А. Мокшин – магистрант, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Д.А. Погоньшева – доктор педагогических наук, профессор кафедры информатики и прикладной математики, ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского».

Information about the authors:

V.A. Pogonyshev - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation, Physics and Mathematics, Bryansk State Agrarian University.

T.V. Bychkova - Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation, Physics and Mathematics, Bryansk State Agrarian University.

I.A. Mokshin - undergraduate student, Bryansk State Agrarian University.

D.A. Pogonysheva - Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Computer Science and Applied Mathematics, Bryansk State University named after acad. I.G. Petrovski.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 05.04.2024; одобрена после рецензирования 23.05.2024, принята к публикации 30.05.2024.

The article was submitted 05.04.2024; approved after reviewing 23.05.2024; accepted for publication 30.05.2024.

© Погоньшев В.А., Бычкова Т.В., Мокшин И.А., Погоньшева Д.А.