

Научная статья
УДК 621.822.6:631.3

УСЛОВИЯ РАБОТЫ, НАГРУЖЕННОСТЬ И ДЕФЕКТЫ ПОДШИПНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Игорь Владимирович Кузьменко, Павел Игоревич Кузьменко
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. В материалах статьи представлен анализ условий работы, нагруженности и возникающих дефектов подшипниковых сопряжений для дальнейшего проведения исследований по разработке направлений совершенствования технологий изготовления новых деталей и технологий восстановления изношенных деталей. Технические средства аграрного производства эксплуатируются в очень жестких условиях: повышенной влажности, в контакте с абразивными веществами, при воздействии солей, кислот и т.д. Одними из самых уязвимых мест техники являются подшипниковые сопряжения, обеспечивающие движение деталей вращения, которые порой определяют возможность выполнения конкретной технологической операции. Зачастую частицы субстанций агрессивных сред, преодолевая защитные уплотнительные детали, проникают непосредственно к деталям подшипникового соединения и во внутреннюю часть самого подшипника качения. При этом смазочный материал теряет свои свойства и превращается в эмульсию или, смешиваясь с абразивом превращается в пластическую пасту. Инородные частицы попадают в зону взаимодействия подшипника и его опорной поверхности. Это приводит к значительным износам посадочных поверхностей корпусных деталей, нарушая установленные конструкторами допуски посадки подшипника. При этом оси валов, опирающиеся на подшипники, смещаются, а детали, которые на них размещены (шкивы, зубчатые шестерни, муфты и т.д.) либо начинают работать некорректно, либо из-за перекоса, разрушаются частично или полностью. Второй вид критического изнашивания посадочных поверхностей - фреттинг-коррозия. Этот вид износа проявляется из-за динамического нагружения подшипниковых узлов. Начальный этап – срезание при сборке сопряжения микровыступов шероховатости поверхности. Эти частицы под действием вибраций из-за невозможности покинуть зону контакта создают значительное локальное давление, создавая зоны усталостных выкрашиваний участков поверхности. Кроме того, частицы образуют оксиды, которые ещё более плотно запирают в сопряжении фреттинг-частицы.

Ключевые слова: дефекты подшипниковых сопряжений, износы посадочных поверхностей подшипников, нарушение посадок сопрягаемых деталей, фреттинг-коррозия.

Для цитирования: Кузьменко И.В., Кузьменко П.И. Условия работы, нагруженность и дефекты подшипниковых соединений сельскохозяйственной техники // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 48-52.

Original article

WORKING CONDITIONS, LOAD AND DEFECTS OF BEARING CONNECTIONS OF AGRICULTURAL MACHINERY

Igor' V. Kuz'menko, Pavel I. Kuz'menko
Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

Abstract. The materials of the article present an analysis of working conditions, loading and emerging defects of bearing joints for further researches on the development of directions for improving manufacturing technologies for new parts and technologies for restoring worn parts. Technical means of agricultural production are used in very harsh conditions: high humidity, in contact with abrasive substances, under the influence of salts, acids, etc. One of the most vulnerable points of machinery are bearing couplings, which ensure the movement of rotating parts, which sometimes determine the possibility of performing a specific technological operation. Often, particles of substances of aggressive environments, overcoming protective sealing parts, penetrate directly to the parts of the bearing joint and into the inner part of the rolling bearing itself. In this case, the lubricant loses its properties and turns into an emulsion or, when mixed with an abrasive, turns into a plastic paste. Foreign particles enter the zone of interaction between the bearing and its support surface. This leads to significant wear on the seating surfaces of the body parts, violating the bearing seating tolerances established by the designers. In this case, the shaft axes resting on the bearings are displaced, and the parts that are placed on them (pulleys, gears, couplings, etc.) either begin to work incorrectly, or due to misalignment, they are partially or completely destroyed. The second type of critical wear of the landing surfaces is fretting corrosion. This type of wear is manifested due to the dynamic loading of bearing assemblies. The initial stage is cutting off the interface of micro-steps of surface roughness during assembly.

These particles, under the influence of vibrations, due to the inability to leave the contact zone, create significant local pressure, making zones of fatigue crumbling of surface areas. In addition, the particles form oxides, which lock the fretting particles even more tightly in the coupling.

Key words: defects in bearing couplings, wear of bearing mounting surfaces, violation of the fit of mating parts, fretting corrosion.

For citation: Kuzmenko I.V., Kuzmenko P.I. Working conditions, load and bearing defects connections of agricultural machinery // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. №5 (105). С. 48-52.

Введение. Работоспособность и продолжительность эксплуатации соединений подшипниковых опор в значительной степени зависит от условий их работы: динамики нагрузок, влажностно-температурных факторов окружающей среды, уровня технического обслуживания, качества выполняемых работ по эксплуатации и обслуживанию со стороны персонала. Аграрное производство очень сильно зависит от изменений окружающей среды и погодных условий, поэтому и использование техники в сельском хозяйстве отличается от других отраслей промышленности. Технические единицы подвергаются воздействию пыли, переменной влажности, значительным изменениям температур, влиянию органических кислот и газов их соединений, радиации солнца, ветра и осадков. К примеру, на машины, обеспечивающие технологические процессы в животноводстве, в состав которых входят подшипниковые сопряжения, воздействуют постоянно изменяющаяся температура и влажность. При значительных перепадах этих факторов на внутренних площадях корпусных деталей происходит конденсация влаги. При работе подшипникового узла, эта влага попадает в смазочные материалы, разжижает их, образует эмульсии, нарушая эффективность смазки нагруженного узла из-за нестабильности её физико-механических свойств и химического состава [1,2].

Цель исследования. Анализ возникновения дефектов подшипниковых соединений и их причин для определения технических и технологических решений, рекомендуемых производственным организациям для модернизации технологий изготовления новых деталей и разработки технологических процессов восстановления деталей с износом.

Раскрытие цели. В сельскохозяйственных машинах, имеющих детали вращения, опирающиеся на подшипниковые соединения, зачастую происходит взаимодействие элементов подшипникового узла и, в первую очередь его уплотнений, с веществами и влажными смесями почв, остатков кормов, химических средств защиты растений и удобрений. Под воздействием таких субстанций защитные уплотнительные элементы подвергаются критическим изменениям теряют эластичность, становятся хрупкими, что приводит к проникновению к подшипникам влаги и абразивных частиц. При этом развиваются процессы вымывания смазочных материалов подшипников, образования очагов коррозии и, как следствие, интенсивное изнашивание всех частей подшипникового сопряжения [1,2].

Движение воздуха, вызванное вращением деталей машин, например, барабанов и вентиляторов комбайнов, ножей различных машин для измельчения сырья способствуют перемещению частиц пыли и проникновению её через зазоры уплотнительных элементов в подшипниковый узел. Пыль вместе с абразивными частицами оседает на всех частях подшипников: сепараторе, шариках (роликах) и их беговых дорожках. Перемешивание пыли с пластической смазкой приводит к образованию массы пастообразной субстанции, которая ведёт к значительному износу всех контактирующих частей подшипника. Результат – осевое перемещение подшипника [2,3,4].

Достаточно большое количество подшипниковых сопряжений не проходят дефектовку из-за износа посадочных поверхностей. Исследования многих учёных установили количество непригодных из-за этой причины к дальнейшей эксплуатации подшипниковых узлов: 5...10 %. Выбраковывание изношенных деталей производится для предотвращения во время эксплуатации вибрационных нагрузок из-за отклонения осей вращения валов и интенсивного износа размещаемых на этих валах деталей. Всё это ведёт к серьёзному уменьшению ресурса подшипниковых соединений, валов, шестерен, зубчатых колёс и т.д. Зачастую смена изношенного подшипника на новый происходит без использования специального инструмента и оборудования неквалифицированными работниками. К тому же, практически никогда не производятся измерительные действия по отношению к посадочным поверхностям. Последующий результат несложно предсказать: снижение долговечности соединения, а в некоторых случаях и невозможность восстановления его работоспособности.

Во время работы механизмов машин выделяют поломки подшипниковых сопряжений постоянные и внезапные. Работоспособность узла механизма при этом утрачивается. Для того чтобы восстановить работоспособность необходимы немалые трудовые и материальные затраты из-за большого количества работ по разборке и сборке машин, выполнению замены подшипников и, если потребуется, и других деталей к которым иногда относятся и корпусные детали [2,5,6].

Публикации результатов научных исследований устанавливают наличие развития при взаимодействии трущихся поверхностей окислительного и абразивного износа и усталостного выкрашивания. Эти износы способствуют изменению геометрических размеров и из-за этого увеличению технологических зазоров [5,6]. Для ремонта техники в аграрном секторе производства ежегодно требуется около ста миллионов подшипников [6]. На ресурс этих подшипников оказывают значительное влияние условия их работы: динамические нагрузки, силовое воздействие на опорные поверхности, постоянство химического состава и физических свойств смазочных материалов и содержанием в них частиц, оказывающих абразивное воздействие.

Установка подшипника в корпусную деталь создаёт напряжение в зоне контакта и приводит к деформированию поверхностей. Между посадочной поверхностью корпуса и кольцом подшипника контакт неравномерен, а его зона составляет не более 15...20 % от полной площади поверхностей. В связи с этим, и действующая на кольцо нагрузка тоже будет неравномерной. Это приводит к возникновению различных размеров радиальных деформаций. Как следствие – беговая дорожка подшипника изменяет свою форму. Даже предположение отсутствия неточности размещения относительно друг друга соединяемых деталей не может отрицать вероятности частичного срезания и деформации поверхностного слоя посадочной поверхности корпуса. Срезанный металл, в свою очередь, будет перемещён кольцом подшипника в торцевую часть, создавая неточность сопряжения в виде перекоса кольца подшипника [5,6,7].

Очень много исследователей считают нарушение посадки основной причиной отказа подшипниковых сопряжений. В связи с износом поверхностей сопряжения, неподвижность установки наружного кольца подшипника нарушается. Наибольшие величины изменения размеров посадочных поверхностей имеют широкий диапазон, однако значения средних показателей разнятся незначительно [4,6,7]. Определить характер отклонения размеров посадочных поверхностей от номинальных значений возможно с помощью микрометрических измерений. При их проведении учитывались макроотклонения геометрии: допуска профиля продольного сечения, круглости и торцевого биения. Корпуса подшипников с размерами, выходящими за допустимый диапазон, выбраковывались. Измерениям подверглись 72 корпуса, выбраковано из них 8,3% (6 штук). Аналитика результатов замеров посадочных поверхностей проводилась по данным измерений 66 корпусов. Математическая обработка статистических результатов проведена по методике Артемьева Ю.Н. В итоге были получены такие показатели [11]:

- среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,051$ мм;
- доверительные границы $\bar{t}_a^a = 0,054$ мм; $\bar{t}_a^b = 0,074$ мм;
- средневзвешенное значение износа $\bar{i} = 0,064$ мм;
- коэффициент вариации $v = 0,8$;
- показатели надёжности подчиняются закону Вейбула.

Изношенные посадочные поверхности – причина возрастания вибраций, изменяющегося крутящего момента, увеличения динамических нагрузок. Эти факторы уменьшают ресурс использования не только конкретной подшипниковой опоры, зубчатых колёс и валов, но и всего узла или механизма, в состав которых входит это подшипниковое сопряжение.

Для того чтобы обеспечить повышение долговечности неподвижных сопряжений необходимо знать механизмы влияния разных факторов на изменение износа подшипниковых посадочных поверхностей. При этом в плоскостях реального контакта микровыступы деформируются пластически, размеры отверстий корпусов изменяются из-за релаксации внутренних напряжений во время работы, деформируются отверстия посадочные из-за гидродинамики жидкой смазки в сопряжениях. Как считают многие учёные (Уотерхауз Р.Б., Голего Н.Л., Алябьев А.Я., Курчаткин В.В. и др.) основным видом износа посадочных поверхностей корпусных деталей является фреттинг-коррозия, происходящая как следствие динамического нагружения деталей, работающих в сопряжении [8,9,10]. Фреттинг-коррозия появляется из-за воздействия вибраций, динамического нагружения, скручивания и изгибающих нагрузок соединений. Этот процесс приводит к разрушению поверхностей сопрягаемых деталей из-за относительного знакопеременного перемещения с высокой частотой и очень малой амплитудой. Продукты износа фреттинг-коррозии и коррозии различны. Фреттинг-коррозия может развиваться и без доступа кислорода: в вакууме и среде инертных газов. Она является результатом действия различных физико-химических процессов в зоне контактирования металлических поверхностей: абразивного разрушения, схватывания, усталостных процессов с окислением и коррозией. Процесс разрушения взаимодействующих поверхностей, как указывается в работах Голего Н.Л., Алябьева А.Я., Шевеля В.В., является результатом химического и механического воздействий, которые между собой связаны [8,9,11].

Механический фактор является первичным на начальном этапе развития фреттинг-коррозии, способствуя интенсивному разрушению деталей соединения. Дальнейшее развитие процесса приводит к появлению химического фактора из-за активности в зоне трения процессов коррозии. Исследование продуктов процесса позволило определить стадии фреттинг-коррозии:

- на первой стадии поверхность контакта упрочняется, происходит периодическая текучесть поверхности слоёв сопряженных деталей. При взаимодействии подшипника и посадочной поверхности корпуса выступы фактического контакта пластически взаимодействуют. При этом из-за усталостных явлений разрушившиеся выступающие части образуют начальные продукты разрушения;

- вторая стадия характеризуется накоплением усталостных повреждений. Изнашивание развивается довольно медленно. Износ идёт из-за разрушения оксидных плёнок на поверхности взаимодействия. Продукты изнашивания по объёму больше, чем объём разрушенного металла. Ограничение возможности удаления их от поверхностей трения создаёт значительные локальные давления;

- во время третьей стадии зоны повреждения окончательно разрушаются из-за развития усталостных и коррозионных процессов. По составу продукты разрушения мало отличаются от продуктов второй стадии, однако, они более дисперсны.

Скорость разрушения напрямую зависит от значения шероховатости поверхностей. Развитие фреттинг-коррозии протекает медленнее на поверхностях с более качественной обработкой [8,9].

Образовавшиеся оксиды по объёму и твердости в 2-4 раза превышают показатели металлических поверхностей. Значительные давления на поверхности возникают в местах скопления этих оксидов. Объёмы поверхности металла по глубине окисляются неравномерно, а площади контакта покрыты характерными зонами повреждений. При этом повреждённые поверхности по виду очень похожи на подвергшиеся коррозии. Большое количество факторов, влияющих на процесс разрушения поверхностей контакта и сложность протекания фреттинг-коррозии делают затруднительной работу над способами борьбы с ней. Котиным А.В. предложены методы защиты поверхностей от фреттинг-коррозии [10]:

- уменьшение, а лучше исключение относительного движения деталей неподвижных сопряжений;

- в зону контакта не должен проникать кислород, или его проникновение необходимо минимизировать;

- одна из деталей должна иметь меньшую твёрдость относительно второй;

- поверхности деталей должны иметь малые значения шероховатости;

- удельное давление в зоне контакта необходимо уменьшать;

- относительное движение деталей должно быть перенесено в промежуточную среду.

Заключение. Таким образом, определены дефекты подшипниковых соединений, возникающих во время работы, и указаны их причины. Исследования механизмов и причин появления дефектов помогут определить направления совершенствования технологии изготовления деталей для предприятий-изготовителей и разработать технологии восстановления изношенных деталей.

Список источников

1. Ляхов Е.Ю. Исследование процессов восстановления посадочных мест подшипников автомобилей с помощью полимерных композитных материалов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2021. 149 с.
2. Сидоров В.А., Сотников А.Л. Эксплуатация подшипников качения: монография. М.: Инфа-Инженерия, 2022. 136 с.
3. Нестеров С.А. Восстановление посадочных мест подшипников качения электроискровой обработкой // Технологии металлов. 2017. № 1 (8). С. 91.
4. Шиловский В.Н., Питухин А.В., Костюкевич В.М. Сервисное обслуживание и ремонт машин и оборудования: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2019. 240 с.
5. Ерохин М.Н., Манаенков А.П. Восстановление фреттинг-изношенных поверхностей подшипниковых узлов композиционными покрытиями // Механизация и электрификация. 1995. № 9-10. С. 28.
6. Кононенко А.С., Соловьёва А.А. Применение полимерных материалов при восстановлении посадочных поверхностей валов под подшипника качения // Инновационная наука. 2017. № 04-3. С. 80.
7. Шорин В.А., Смогунов В.В., Кочитков Д.В. Методы защиты поверхностей деталей от фреттинга [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 2.
8. Фреттинг-коррозия (логические модели формирования повреждений) / В.П. Горбатов, А. Дубар, С.О. Иванов, и др. // Вестник МЭИ. 2017. № 2. С. 27-31.
9. Котин А.В. Восстановление точности размерных цепей сборочных единиц применением жестких компенсаторов износа: дис. ... д-ра техн. наук. Саранск, 1998. 335 с.

10. Кузьменко И.В., Самусенко В.И. Причины возникновения дефектов посадочных мест под подшипника качения // Сельский механизатор. 2019. № 1.

11. ГОСТ 3325-85 Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки. М.: Издательство стандартов, 1988. 103 с.

Информация об авторах

И.В. Кузьменко – кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

П.И. Кузьменко – магистрант, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Information about the authors

I.V. Kuz'menko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Environmental Management and Road Construction, Bryansk State Agrarian University.

P.I. Kuz'menko – master's student, Bryansk State Agrarian University.

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 17.09.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024, принята к публикации 30.09.2024.

The article was submitted 17.09.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 30.09.2024.

© Кузьменко И.В., Кузьменко П.И.