

МЕЛЬНИКОВ ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ, доцент

E-mail: ommelnikov@rambler.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева;

127550, ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ «ВАЛ-МАНЖЕТА» И ПОВЫШЕНИЕ ИХ НАДЕЖНОСТИ

Рассмотрено влияние условий работы сельскохозяйственной техники на работоспособность подшипниковых узлов. Указаны причины низкой надежности и долговечности манжетных уплотнений сельскохозяйственных машин: ухудшение физико-механических свойств манжет со временем, невысокие антифрикционные свойства материалов, попадание в смазку и на рабочую поверхность манжеты абразивных частиц. Перечислены способы уменьшения износа вала и коэффициента трения в соединении. Исследованы способы повышения работоспособности соединения «вал-манжета»: обработка рабочих поверхностей эпиламирующими составами (ЭС); финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО); поверхностная обработка фторорганическими соединениями (ФОС). В результате эксперимента установлено, что покрытия из антифрикционных материалов снижают коэффициент трения, повышают износостойкость рабочих поверхностей, ЭС и ФОС также замедляют старение РТИ. Эпиламирование рабочих поверхностей вала и манжеты позволяет повысить износостойкость соединения в 1,2 и более раз. Этот метод особенно эффективен для новых соединений и соединений техники, предназначенной для хранения. Поверхностная обработка ФОС может быть использована как для новых соединений, так и для восстановления изношенных. Комбинированные методы обработки с ФАБО являются более трудоёмкими и дорогостоящими.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, подшипниковые узлы, манжетные уплотнения, надежность, износостойкость.

Введение. Одной из причин выхода из строя подшипников является недостаточная надежность соединений «вал-манжета».

Практически все детали сельскохозяйственной техники работают в непосредственном кон-

такте с почвой, оказывающей разрушающее действие на поверхности трения (рис. 1). Абразивность, повышенная влажность, кислотность, щелочность и другие факторы ускоряют износ деталей [1].



Рис. 1. Условия работы сельскохозяйственной техники

Цель исследований – оценка способов повышения работоспособности соединений «вал-манжета» и влияние их на надежность подшипниковых узлов.

Материал и методы. Материалом исследований послужили армированные резиновые манжеты. Методом исследования явился эксперимент.

В качестве уплотнений подшипниковых узлов чаще других используются армированные резиновые манжеты по ГОСТ 8752-79 (рис. 2, 3).

Манжетные уплотнения в зависимости от условий работают в течение 3-5 лет при наработке 500-30000 ч [1].

В режиме сухого и полужидкостного трения между валом и манжетой в начале эксплуатации происходит приработка материалов, которая положительно влияет на герметичность соединения. Но по истечении времени физико-механические свойства манжеты теряются, происходит изменение ее геометрических параметров. На стадии химической релаксации, характеризующей процесс разрушения резины, происходит потеря герметичности соединения. Одновременно из-за компрессионного действия зазора (вследствие биения вала) происходит попадание из окружающей среды в смазку и на рабочую поверхность манжеты абразивных частиц (табл. 1), что ускоряет процесс изнашивания, так как рабочая кромка уплотнения уподобляется наждачной бумаге. За период эксплуатации сельскохозяйственных машин фактический расход уплотнений в 2...3 раза

превышает нормативный. При капитальном ремонте техники практически все уплотнения подлежат замене, а у 70% валов требуется восстановить рабочую поверхность в зоне контакта с уплотнениями. В этой зоне износ валов достигает 0,3...0,5 мм [1] (рис. 4).

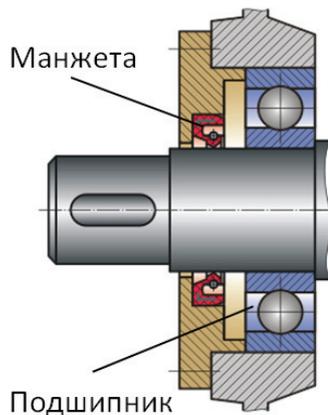
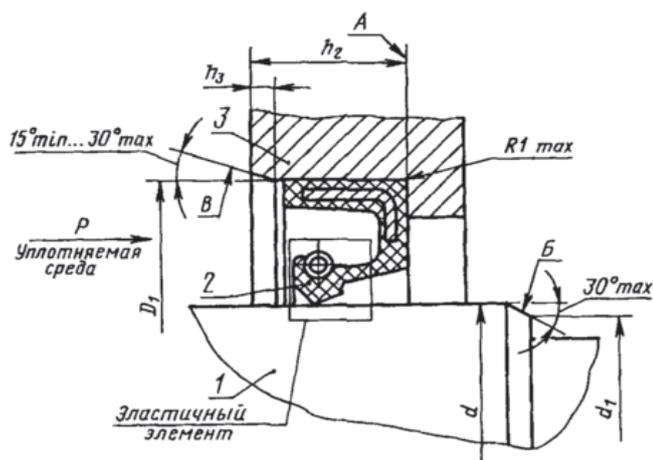


Рис. 2. Подшипниковый узел



а



1 — вал; 2 — манжета; 3 — корпус

б

Рис. 3. Манжетные уплотнения:
а — общий вид; б — схема установки



Рис. 4. Износ вала

Таблица 1

Состав пыли [2]

Состав пыли	Содержание, %	Микротвёрдость, МПа
Кварц	76	10500...11300
Оксид алюминия	11	21000
Оксид железа	11	9000
Оксид магния	1	-
Оксид кальция	1	-

Результаты и обсуждение. Исследование износа соединения «вал-манжета» показало, что комплексным критерием, определяющим состояние деталей в соединении, является величина утечки уплотняемой жидкости, которая возможна как при недостаточном, так и при избыточном контактом давлении. Избыточное давление ведет к повышению температуры, значительному тепловыделению и, следовательно, к ускоренному старению и снижению свойств материала манжеты и уплотняемой среды. Резина под воздействием повышенной температуры разлагается, выделяя продукты распада, ускоряя процессы старения смазочного материала. Уплотняемая среда теряет свою вязкость (при использовании консистентных смазок и масел), просачивается сквозь щель, загрязняется абразивом и пылью, что способствует более быстрому изнашиванию рабочей кромки уплотнения и поверхности вала.

Нарушение герметичности в процессе эксплуатации также зависит от частоты и правильности замены смазки. При нагнетании свежей пластичной смазки в подшипниковый узел (до появления ее в зазоре между валом и манжетой) происходит постепенное «выворачивание» манжеты под давлени-

ем смазки, сбрасывание пружинного кольца и потеря герметичности уплотнения.

Перечисленные выше процессы приводят к нарушению оптимального зазора в соединении «вал – манжета», определяемого при проектировании, из-за чего происходит утечка смазочного материала, нарушается нормальная работа уплотнительного устройства и подшипникового узла в целом. Около 90% случаев аварийных ситуаций в подшипниковых узлах вызваны проникновением абразива в подшипниковый узел вследствие неудовлетворительной работы уплотнений, что ведёт к интенсивному износу деталей подшипников и их посадочных мест, утечке смазочного материала и загрязнению почвы нефтепродуктами (табл. 2) [1].

При анализе технического состояния соединений «вал-уплотнение» было выявлено, что наиболее изнашиваемой деталью является манжета, максимальный износ которой по внутреннему диаметру составляет 2,3 мм (при ремонте редукторов подлежат замене 100% манжет).

Оптимальный зазор между валом и манжетой должен быть не более 0,06 мм (0,02...0,05 мм) [3]. Указанная величина зазора обеспечивает необходимую герметичность подшипникового узла.

Таблица 2

Распределение выбракованных подшипников качения тракторов по видам повреждений

Виды повреждений (выбраковочный признак)	Частота возникновения выбраковочного признака, %
Увеличение зазоров сверх предельных значений нарушения плотности посадки	65...76
Нарушение плотности посадки	17...21
Микроскопические повреждения рабочих поверхностей дорожек и тел качения	4...11
Поломка деталей подшипников	5...9

Утечка жидкости через концентричную кольцевую щель пропорциональна величине зазора в третьей степени и может быть определена по формуле [4]:

$$Q_0 = \frac{\pi}{12} \frac{d}{\mu l} a^3 \cdot p, \quad (1)$$

где d – средний диаметр зазора, мм; μ – коэффициент абсолютной вязкости среды, Па с; l – ширина контакта в соединении, мм; a – величина зазо-

ра, мм; Δp – разность давлений на концах зазора, $\Delta p = p_1 - p_2$, Па.

Для эксцентричной кольцевой щели утечка жидкости определяется [4]:

$$Q = Q_0 \left(1 + \frac{3e^2}{2}\right), \quad (2)$$

где e – величина эксцентриситета, мм; Q_0 – утечка жидкости через концентричную щель, мм³/с.

Из формул (1) и (2) следует, что утечка жидкости через эксцентричную кольцеобразную щель манжеты возрастает. Это подтверждает влияние динамического биения вала на герметизирующую способность манжет.

Следовательно, для сохранения зазора в указанных пределах необходимо уменьшить износ вала и рабочей кромки манжеты путем:

- повышения износостойкости материалов;
- снижения коэффициента трения;
- повышения точности сборки соединения и изготовления деталей [5, 6].

Существует много способов снижения износа и коэффициента трения в соединениях с резинотехническими изделиями, основные из них:

- повышение твердости и чистоты обработки вала в зоне контакта;
- нанесение покрытия из антифрикционных материалов;
- модификация резиновых смесей;
- применение твердосмазочных покрытий (нейлон, графит, дисульфид молибдена, медный порошок) или антифрикционных добавок в смазку.

На кафедре «Сопrotивление материалов и деталей машин» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева проводятся исследования, направленные на повышение работоспособности подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники. С этой целью исследованы несколько способов повышения работоспособности соединения «вал-манжета»: обработка рабочих поверхностей эпиламирующими составами (ЭС); финишная антифрикционная безобразивная обработка (ФАБО); поверхностная обработка фторорганическими соединениями (ФОС).

Эпиламирующие составы представляют собой растворы поверхностно-активных веществ. Они наносятся на предварительно обезжиренную поверхность и абсорбируются в виде пленки. Образующаяся пленка повышает усилие тангенциального сдвига масла в несколько раз, благодаря чему смазка фиксируется в зоне трения, снижается адгезия, износостойкость рабочей поверхности увеличивается в 1,2...1,3 раза.

Хорошие показатели дает ФАБО с одновременным покрытием рабочих кромок манжет медьсодержащей пленкой и введением в смазочные материалы металлоорганических присадок. Такое комплексное воздействие на триботехнические характеристики соединения повышает износостойкость в период приработки 2...2,5 раза, снижает утечку масла в 2,5...3 раза [7, 8].

Поверхностная обработка фторорганическими соединениями привела к остановке утечек масла через соединения.

Выводы

1. Покрытия из антифрикционных материалов снижают коэффициент трения, повышают износостойкость рабочих поверхностей, ЭС и ФОС дополнительно замедляют старение РТИ.

2. Эпиламирование рабочих поверхностей вала и манжеты позволяет повысить износостойкость соединения в 1,2 и более раз. Этот метод особенно эффективен для новых соединений и соединений техники, предназначенной для хранения или работающей сезонно.

3. Поверхностная обработка ФОС может быть использована как для новых соединений, так и для восстановления изношенных.

4. Комбинированные методы обработки являются более трудоёмкими и дорогостоящими.

Для стабильного эффекта свойств уплотнений представляет интерес исследование – введение ФОС в состав резинотехнических изделий [9, 10].

Библиографический список

1. Ерохин М.Н., Казанцев С.П. Детали машин. М.: ТРАНСЛЮГ, 2018. 410 с.
2. Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Чупятлов Н.Н. Способы модифицирования поверхностей трения деталей машин: Монография. М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2014. 140 с.
3. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник / Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.Б. Овандер и др.; Под общ. ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.
4. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. – 4 изд. М.: «Издательство дом Альянс», 2010. 423 с.
5. Ерохин М.Н., Леонов О.А. Проблемы точности и надежности соединений при ремонте с.-х. техники: Тезисы докладов «Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов». СПб, 2005. 96 с.
6. Ерохин М.Н., Леонов О.А. Взаимосвязь точности и надежности соединений при ремонте с.-х. техники // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина. 2006. № 2. С. 22-25.
7. Ерохин М.Н., Выскребенцев Н.А. Реализация эффекта «безызносности» в сопряжениях «вал-уплотнение» с.-х. машин: Тезисы докладов Международной науч.-практ. конференции, посвященной памяти В.П. Горячкина. Т. 2. М., 1998. С. 144-145.
8. Ерохин М.Н., Быстров В.Н., Кремененко О.И. Повышение надежности соединений вал-уплотнение // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1993. № 9. С. 24-25.
9. Ерохин М.Н., Выскребенцев Н.А. Исследования влияния полимерных добавок на основе фтора на физико-механические свойства резин: Сборн. науч. трудов «Технические средства для интенсивных технологий с.-х. производства. М.: МИИСП, 1991 С. 91-97.
10. Ерохин М.Н., Козырева Л.В. Полимерные нанокмозиты для восстановления и изготовления узлов трения с.-х. машин // Ремонт, восстановление, модернизация. 2012. № 8. С. 6-9.

Статья поступила 22.01.2018

OPERABILITY OF “SHAFT-CUP” COUPLINGS AND THEIR RELIABILITY ENHANCEMENT

OLEG M. MELNIKOV, Associate Professor

E-mail: ommelnikov@rambler.ru

Russian Timiryazev State Agrarian University; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russian Federation

The paper analyzes the influence of operating conditions of agricultural machinery on the performance of bearing units. The author lists main reasons for low reliability and durability of cup-type seals of agricultural machines: progressive deterioration (deterioration) of the physical and mechanical properties of cups, lower antifriction properties of materials, the presence of abrasive particles in grease and on the working surface of cups. Then he suggests some ways of reducing the shaft wear and the friction coefficient in the coupling. The ways of increasing the efficiency of the “shaft-cup” coupling are studied, in particular: the treatment of working surfaces with epilating compounds (EC); finishing antifriction non-abrasive treatment (FANAT); surface treatment with organofluorine compounds (OFC). As a result of the experiment, it has been established that coatings made of antifriction materials reduce the friction coefficient and increase the wear resistance of working surfaces, the use of EC and OFC has also contributed to decelerated aging of rubber components. The epilating of the working surfaces of shafts and cups provides for increased wear resistance of couplings of 1.2 times and more. This method is especially effective for newly produced couplings and machinery couplings intended for storage. Surface treatment of OPC can be effective for both new couplings and for the restoration of the worn out ones. Combined treatment methods using FANAT are more time-consuming and expensive.

Key words: agricultural machinery, bearing units, cup-type seals, reliability, wear resistance.

References

1. Yerokhin M.N., Kazantsev S.P. *Detali mashin [Machine parts]*. Moscow, TRANSLOG, 2018. 410 p. [in Rus.]
2. Yerokhin M.N., Kazantsev S.P., Chupyatov N.N. *Sposoby modifitsirovaniya poverkhnostey treniya detaley mashin: Monografiya [Methods of modifying the friction surfaces of machine parts: Monograph]*. Moscow, FGBOU VPO MGAU, 2014. 140 p. [in Rus.]
3. Kondakov L.A., Golubev A.I., Ovander V.B. et al. *Uplotneniya i uplotnitel'naya tekhnika: Spravochnik [Seals and sealing technology: Reference book]*. Moscow, Mashinostroyeniye, 1986. 464 p. [in Rus.]
4. Bashta T.M., Rudnev S.S., Nekrasov B.B. et al. *Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody: Uchebnik [Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives: Study manual]*. Moscow, “Izdatel'stvo dom Al'yans”, 2010. 423 p. [in Rus.]
5. Yerokhin M.N., Leonov O.A. *Problemy tochnosti i nadezhnosti soyedineniy pri remonte s.-kh. tekhniki: Tezisy dokladov “Fundamental'nyye i prikladnyye problemy nadezhnosti i diagnostiki mashin i mekhanizmov” [Problems of the accuracy and reliability of couplings in the repair of agricultural machinery: Abstracts of reports on “Fundamental and applied problems of reliability and diagnostics of machines and mechanisms”]*. SPb, 2005. 96 p. [in Rus.]
6. Yerokhin M.N., Leonov O.A. *Vzaimosvyaz' tochnosti i nadezhnosti soyedineniy pri remonte s.-kh. tekhniki [Relationship between the accuracy and reliability of couplings in agricultural machinery repairing]*. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2006. No. 2. Pp. 22-25. [in Rus.]
7. Yerokhin M.N., Vyskrebentsev N.A. *Realizatsiya effekta “bezyznosnosti” v sopryazheniyakh “val-uplotneniye” s.-kh. mashin: Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konferentsii, posvyashchennoy pamyati V.P. Goryachkina [Implementation of the “non-weariness” effect in “shaft-cup” couplings of agricultural machinery: Abstracts of the International Scientific-Practical Conference dedicated to the memory of V.P. Goryachkin]*. Vol. 2. Moscow, 1998. Pp. 144-145. [in Rus.]
8. Yerokhin M.N., Bystrov V.N., Kremenenko O.I. *Povysheniye nadezhnosti soyedineniy val-uplotneniye [Increasing the reliability of shaft-cup couplings]*. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 1993. No. 9. Pp. 24-25. [in Rus.]
9. Yerokhin M.N., Vyskrebentsev N.A. *Issledovaniye vliyaniya polimernykh dobavok na osnove ftora na fiziko-mekhanicheskiye svoystva rezin [Studying the influence of fluorine-based polymer additives on physical and mechanical properties of rubber components]*. In: *Sborn. nauchn. trudov “Tekhnicheskiye sredstva dlya intensivnykh tekhnologiy s.-kh. Proizvodstva”*. Moscow, MIISP, 1991. Pp. 91-97. [in Rus.]
10. Yerokhin M.N., Kozyreva L.V. *Polimernyye nanokompozity dlya vosstanovleniya i izgotovleniya uzlov treniya s.-kh. mashin [Polymer nanocomposites for the restoration and manufacturing of friction units of agricultural machines]*. *Remont, vosstanovleniye, modernizatsiya*. 2012. No. 8. Pp. 6-9. [in Rus.]

The paper was received on January 22, 2018