

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. В. Неговора¹, А. В. Бугаев², Д. А. Гусев¹, А. А. Козеев¹ ¹ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа, Российская Федерация

²Министерство просвещения Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассмотрены результаты испытаний подшипников скольжения, в которых используется пара трения металл - композитный материал. Такая пара трения позволяет подшипнику работать без применения смазочных материалов. Авторами проведены натурные испытания экспериментального подшипника скольжения при различных нагрузках и угловых скоростях. Полученные результаты позволяют определить оптимальные условия, где работа подшипников будет наиболее эффективна.

Ключевые слова: подшипник скольжения, композитный материал, коэффициент трения, нагрев, автотракторная техника.

OPTIMIZATION OF THE WORKING PROCESS OF SLIDING BEARINGS MADE OF COMPOSITE MATERIALS

A. V. Negovora^a, A. V. Bugaev^b, D. A. Gusev^a, A. A. Kozev^a ^aBashkir State Agrarian University, Ufa, Russian Federation ^bThe Ministry of Education of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

Abstract. This article discusses the results of tests of sliding bearings, which use a metal - composite friction pair. Such a pair of friction allows the bearing to work without the use of lubricants. The authors conducted full-scale tests of an experimental sliding bearing at various loads and angular velocities. The results obtained allow us to determine the optimal conditions where the operation of bearings will be most effective.

Keywords: sliding bearing, composite material, coefficient of friction, heating, automotive equipment.

Современная экономика Российской Федерации требует высокого уровня механизации различных технологических процессов в различных отраслях агропромышленного комплекса,

особенно в транспорте, сельском хозяйстве, добывающей, перерабатывающей промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве, что указывает на их потребность в сложных технологических машинах и оборудовании, которое содержит множество соединений, в том числе подшипниковых узлов.

Авторами рассмотрены условия работы подшипниковых узлов, применяемых в автотракторной технике, сельскохозяйственных машинах, специализированного технологического оборудования. Работа подшипниковых узлов характерна тем, что значительный по времени объём работ приходится на условия высокой запылённости, агрессивного воздействия реагентов и комбинации из этих факторов. Использование подшипников качения, при всех их плюсах, в таких условиях затруднено тем, что частицы абразива, попавшие на беговую дорожку тел качения, равно как и продукты коррозии, при попадании коррозионно-активных веществ внутрь подшипника, вызывают плохо прогнозируемое заклинивание подшипника с последующим проворотом обойм и аварийным выходом из строя всего агрегата, либо значительной части деталей (корпусные детали, валы и т.д.) [1-5].

В этом отношении более безопасными являются подшипники скольжения, которые при правильном проектировании имеют минимальный риск заклинивания. Подавляющее большинство подшипников скольжения требует смазки. Эти условия хорошо выполняются при работе подшипника в корпусе агрегата, в масляной ванне, либо при смазке под давлением. В случае работы подшипника в контакте с агрессивной средой условия смазки ухудшаются, так как приходится использовать периодическую замену масла с разборкой подшипникового узла, либо закачку новой порции смазочного материала, например, шприцеванием. Всё это существенно повышает трудоёмкость технического обслуживания техники и увеличивает стоимость её эксплуатации.

Как решение проблемы Башкирским ГАУ предлагается использовать композитные материалы в качестве втулок, формируя тем самым пару трения «композит - металл». В качестве композитного материала предлагается применять полиамиды с различными наполнителями. Например, угленаполненные и с наполнителем из серпентина. Пара скольжения «угленаполненный полиамид

- сталь» может работать без смазки, имеет низкий коэффициент трения, составляющий 0,04...0,09.

В лаборатории Башкирского ГАУ был создан и испытан экспериментальный образец подшипникового узла, модель которого показана на рисунке 1.

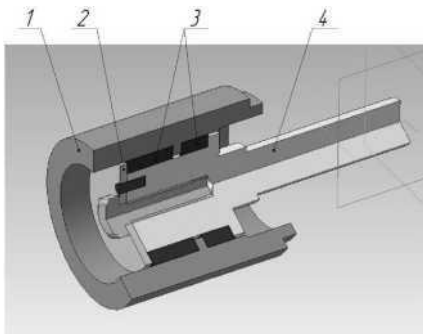


Рисунок 1 - Испытательный подшипниковый узел

*1 - наружная обойма; 2 - шайба фрикционная; 3 - композитные втулки;
4 - цапфа*

Экспериментальный подшипник предназначен для работы с радиальными нагрузками. Осевые перемещения ограничены фрикционной шайбой 2 и буртом цапфы 4. Композитные (полиамид с наполнителем) втулки 3 запрессованы в корпус 1. Зазор между втулками 3 и цапфой 4 составляет 0,05 мм, рабочий диаметр цапфы 30 мм, наружный диаметр - 57 мм. Подшипник установлен на экспериментальную установку, выполненную на базе токарного станка 1В62Г, показанную на рисунке 2.



Рисунок 2 - Экспериментальная установка

Контроль температуры оси осуществлялся электронным термометром с выносным датчиком, установленным в специально выполненный канал цапфы.

Замеры температуры производились с интервалом 300 секунд. Задавались следующие режимы работы: 1) частота вращения шпинделя $n = 600 \text{ мин}^{-1}$, радиальное усилие $F = 1000 \text{ Н}$; 2) $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$, $F = 500 \text{ Н}$; $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$, $F = 1000 \text{ Н}$. В каждом из установленных режимов подшипник работал 2 часа. Число повторов каждого режима 3.

В процессе испытаний было выявлено повышение разности потенциалов между цапфой 4 и наружной обоймой 1, за счёт электризации при трении полиамидных втулок 3 по цапфе 4. В результате в подшипниковом узле происходил периодический ($1 \dots 2 \text{ с}^{-1}$) искровой разряд, показанный на рисунке 3.

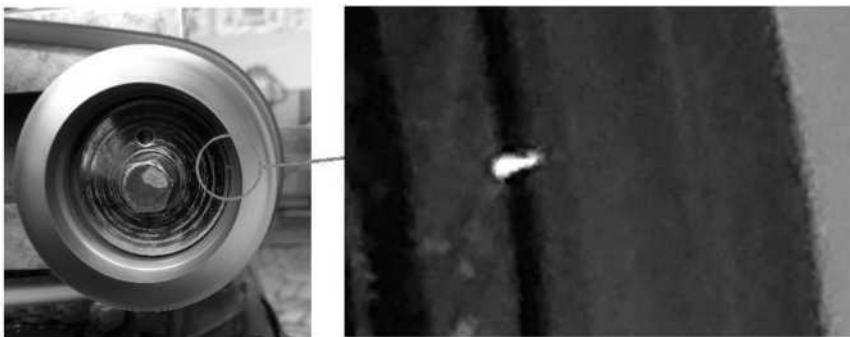


Рисунок 3 - Периодический искровой разряд, образующийся в процессе работы подшипникового узла

Результаты исследований представлены в виде графиков на рисунке 4. Отображение температуры цапфы на графиках производилось до момента стабилизации температуры, когда наступал тепловой баланс. Примечательно, что температура стабилизировалась через 30.. 35 минут.

Из графиков видно, что температура цапфы существенно зависит от нагрузки на подшипник и от частоты вращения наружной обоймы подшипника. Оптимальным режимом работы является режим, когда температура цапфы не достигает $150 \dots 180 \text{ }^\circ\text{C}$. Эта

температура, которая не оказывает негативного влияния на материал втулок.

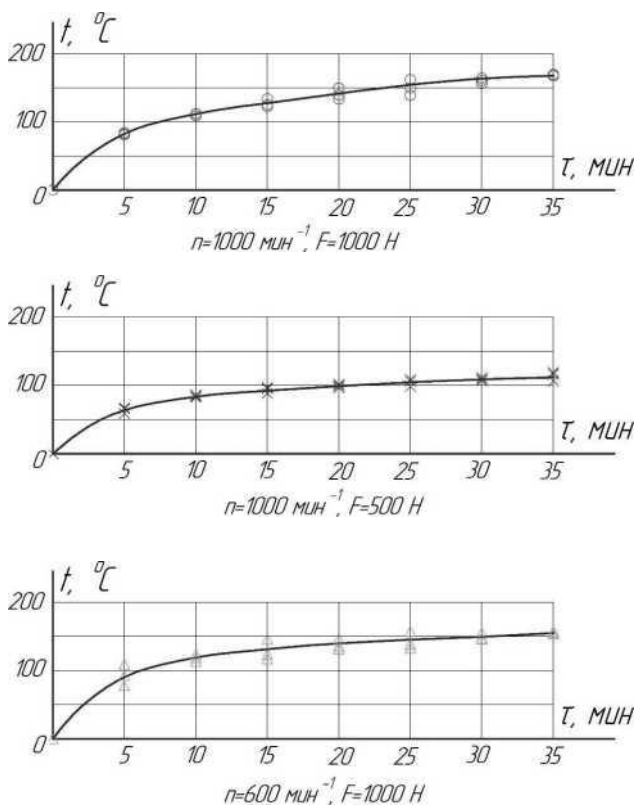


Рисунок 4 - Графики изменения температуры цапфы во времени

Предельно допустимый режим, не вызывающий визуального изменения элементов пары трения ограничен температурой 200 $^{\circ}\text{C}$. При длительной работе (6 часов) в этом режиме наблюдается потемнение трущейся поверхности втулок, изменение цвета (потемнение и пожелтение от температуры) шлифованной поверхности трения цапфы. При этом подшипниковый узел не потерял работоспособность, заклинивание, существенного (аварийного) увеличения зазоров и громких звуков при вращении не наблюдалось. Последующая разборка узла не выявила существенного износа трущихся элементов.

Из проведённых испытаний следует, что подшипник скольжения, работающий без смазки, обладает достаточной нагрузочной способностью, не имеет склонности к внезапному заклиниванию. В некоторых случаях следует применять меры для предотвращения электризации элементов подшипникового узла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернявский, С. А. Подшипник скольжения / С. А. Чернявский. - М. : МАШГИЗ, 1963.
2. Альшиц, И. Я. Металлофторопластиковые подшипники / И. Я. Альшиц, А. П. Семенов, Ю. Э. Сявинский. - Л. : Машиностроение, 1976. - 144 с.
3. Дидмянидзе, О. Н. Повышение пяриметрической надёжности автомобильных двигателей / О. Н. Дидмянидзе, Д. В. Вярняков // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2007. - №5.- С. 2-7.
4. Infographics and their application in the educational process / L. Tarkhova, S. Tarkhov, M. Nafikov, I. Akhmetyanov, D. Gusev, R. Akhmarov // International Journal of Emerging Technologies in Learning. - 2020. - Т. 15. - № 13.- С. 63-80.
5. Хайт Д. М. Неметаллические подшипники скольжения / Д. М. Хайт. - М. : Машиностроение, 1949.
6. Vasiliev, V. V. Optimal Design - Theory and Applications to Materials and Structures / V. V. Vasiliev, Z. Gurdal. - Lancaster: Technomic, 1999.-320 p.
7. Дидмянидзе, О. Н. Тенденции развития цифровых технологий диагностирования технического состояния тракторов / О. Н. Дидмянидзе, А. С. Дорохов, Ю. В. Катаев // Техника и оборудование для села. - 2020. - № 11(281).- С. 39-43.-DOI 10.33267/2072-9642-2020-11-39-41.
8. Дидмянидзе, О. Н. Основы оптимального проектирования машинно-тракторных агрегатов / О. Н. Дидмянидзе, Р. Н. Егоров. - М. : Учебно-методический центр «Триада», 2017. - 230 с.
9. Разяпов, М. М. Снижение риска отказов мобильной сельскохозяйственной техники и транспортных средств в условиях низких температур / М. М. Разяпов, Д. А. Гусев // В сб.: Реновация машин и оборудования : материалы Всероссийской научно-практической конференции. Башкирский ГАУ, Уфа. - 2017. - С. 160-166.
10. Дидмянидзе, О. Н. Основные направления развития тягово-транспортных средств в АПК / О. Н. Дидмянидзе, С. А. Иванов, А. М. Карев // Доклады ТСХА, Москва, 02-04 декабря 2014 года. Том 1. - М. : Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева, 2016.-С. 180-182.

Об авторах:

Неговора Андрей Владимирович, профессор кафедры мобильных энергетических и транспортных средств, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет» (450001, Республика Башкортостан, Уфа, ул. 50-летия Октября, 34), доктор технических наук, negovora@bsau.ru.

Бугаев Александр Вячеславович, первый заместитель Министра просвещения Российской Федерации (127006, Российская Федерация, Москва, ул. Каретный Ряд, д. 2), кандидат технических наук.

Гусев Дмитрий Александрович, доцент кафедры механики и конструирования машин, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет» (450001, Республика Башкортостан, Уфа, ул. 50-летия Октября, 34), кандидат технических наук, d-a-gusev@yandex.ru.

Козеев Арсений Александрович, доцент кафедры мобильных энергетических и транспортных средств, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет» (450001, Республика Башкортостан, Уфа, ул. 50-летия Октября, 34), кандидат технических наук, kozeev@bsau.ru.

About the authors:

Andrey V. Negovora, Professor of the Department of Mobile Energy and Vehicles, Bashkir State Agrarian University (450001, Russian Federation, Republic of Bashkortostan, Ufa, ul. 50-letiya Oktyabrya, 34), D.Sc. (Engineering), negovora@bsau.ru.

Aleksandr V. Bugaev, First Deputy Minister of Education of the Russian Federation (127006, Russian Federation, Moscow, Karetny Ryad str., 2), Cand.Sc. (Engineering).

Dmitry A. Gusev, Associate Professor of the Department of Mechanics and Machine Design, Bashkir State Agrarian University (450001, Russian Federation, Republic of Bashkortostan, Ufa, ul. 50-letiya Oktyabrya, 34), Cand.Sc. (Engineering), d-a-gusev@yandex.ru.

Arseniy A. Kozeev, Associate Professor of the Department of Mobile Energy and Vehicles, Bashkir State Agrarian University (450001, Russian Federation, Republic of Bashkortostan, Ufa, ul. 50-letiya Oktyabrya, 34), Cand.Sc. (Engineering), kozeev@bsau.ru.