

ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ НА ТРЕНИЕ В ОПОРАХ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

В настоящее время задача повышения надежности и износостойкости механизмов и машин решается на основе применения новых композиционных материалов. Наиболее эффективным методом получения композиционных материалов является применение геологических активаторов, которые вводятся в зону трения узлов механизмов и машин через систему смазывания, что позволяет увеличить микротвердость поверхностей трения до 2,3 раза, а также уменьшить трение в опорах скольжения и качения. По результатам исследований установлено, что использование ремонтно-восстановительных технологий в парах трения приводит к экономии электроэнергии на 10–20 %, увеличению износостойкости в 2,5 раза, увеличению ресурса смазочных материалов в 2,5–5 раз, существенному снижению вибрации и шумов, а также увеличению межремонтного ресурса не менее чем в 2 раза и снижению эксплуатационных затрат. Однако для широкого внедрения данных технологий необходимы дополнительные исследования, которые приведены в данной работе.

Ключевые слова: шпиндельный узел, опоры качения, опоры скольжения, ремонтно-восстановительный состав (РВС), коэффициенты трения скольжения, коэффициенты трения качения.

1. Введение. Известно, что работа шпиндельных узлов во многом определяет показатели качества металлорежущих станков [1–3]. Установлено, что начало образования механических разрушений в опорах качения шпинделей значительно опережает момент, когда развитие дефекта проявится в виде недопустимых отклонений параметров точности и жесткости технологического оборудования. Установлено, что текущие проверки и плановые ревизии подшипников, служащих опорами шпинделя, не гарантируют стабильную работу последнего. Деформация и перекосы подшипниковых колец, повышенный нагрев при эксплуатации в условиях недостаточного отвода тепла являются основными причинами дефектов опор, от которых зависит скорость «деградации» шпиндельного узла [1]. Для продления срока службы подшипников качения и скольжения ответственных узлов технологического оборудования в настоящее время получили различные способы модификации поверхностей трения [4–8]. Целью работы является повышение качества работы опор качения и скольжения шпиндельных узлов.

2. Методы. Исследования жидкой смазки с ремонтно-восстановительным составом проводятся с целью установления влияния введенных минеральных добавок на антифрикционные свойства

и изменение структуры материалов взаимодействующих деталей опор качения и скольжения.

При определении числовых значений коэффициентов трения качения был применен экспериментальный метод, разработанный в МГТУ им. Н. Э. Баумана. Эксперименты выполнялись с использованием установки ДМ-28М. С помощью съемного модуля, в котором были установлены подшипники качения и нагрузочного устройства, создавалась деформация балки на двух опорах при действии поперечной силы. При сообщении вращательного движения шпинделю, на который устанавливался модуль, создавался момент трения, величина которого фиксировалась поворотом маятника модуля по шкале, отградуированной в Н·м. Далее применялись известные зависимости Д. Н. Решетова для расчета величины коэффициента трения при известном моменте трения для соответствующей ступени нагружения (радиальной силе) опоры.

Для исследования структуры материала поверхности трения, в частности (вкладыша) опоры скольжения использовался метод металлографического анализа с применением металлографического микроскопа МИМ-8. Изготавливались микрошлифы вкладыша опоры по известной технологии, а именно полирование до получения зеркальной поверхности образца, травление

реактивом (для углеродистых сталей) до получения матовой поверхности, промывание и сушка. Структуру материала поверхности трения вкладышей опоры скольжения исследовали при увеличении в 200 раз.

3. Результаты экспериментальных исследований. Для уменьшения трения и исключения механического изнашивания и разрушения контактируемых поверхностей деталей сборочных единиц шпиндельных узлов станков, работающих в условиях переменных напряжений, были проведены экспериментальные исследования воздействия ремонтно-восстановительного состава разной дисперсности частиц введенного в смазочный материал подшипников скольжения и качения.

Проведены исследования трибологических материалов, являющихся продуктом переработки горных пород, представленных классом слоистых силикатов, которые были использованы в качестве геологических активаторов, позволяющих изменить структуру материала деталей различных соединений машин и уменьшить трение. Проведённые эксперименты доказали образование металлокерамического покрытия на контактной поверхности деталей пары трения. Металлокерамическое покрытие было представлено в виде однородного слоя, структура которого не выявляется при травлении. Металлографическим анализом установлено, что толщина металлокерамического покрытия может изменяться от 5 до 10 мкм и более, в зависимости от величины износа деталей пары трения.

Твёрдость металлокерамического покрытия исследовали на микротвердомере ПМТ-3 путём сравнения с основой. В результате проведенных измерений установлено, что при нагрузке 0,981 Н (100 Г) микротвёрдость основы равна 110 HV, а микротвёрдость покрытия — 254 HV. Таким образом, микротвёрдость металлокерамического покрытия в 2,3 раза выше, чем микротвёрдость основы (углеродистой стали) [9].

В лаборатории «Детали машин» кафедры «Прикладная механика и математика» Забайкальского института железнодорожного транспорта были проведены экспериментальные исследования воздействия ремонтно-восстановительного состава на трущиеся контактные поверхности подшипников скольжения и качения [10–12].

Исследования жидкой смазки с РВС проводятся с целью установления влияния введенных минеральных добавок на антифрикционные свойства материалов взаимодействующих деталей опор скольжения и качения.

Для проведения экспериментов использовалась установка ДМ-29М. Результаты экспериментальных исследований влияния РВС на трибологические характеристики подшипника скольжения, вкладыш которого был изготовлен из бронзы марки А5Ц5С5, а шпиндель — из стали 45, представлены в табл. 1.

Установлено, что коэффициент трения скольжения уменьшается до 63,6 % после применения жидкой смазки И-12А с РВС. Усилие нагружения изменялось от 500 до 4500 Н. Число циклов нагружения равно $6,61 \cdot 10^4$.

В дальнейшем были проведены экспериментальные исследования подшипника скольжения, вкладыш которого был изготовлен из стали 35, а шпиндель — из стали 45. Измеренная твердость материала вкладыша составляла HRC30, а шпинделя — HRC56 соответственно. Для смазывания подшипника скольжения использовали жидкое промышленное масло И-12А. При этом усилии нагружения изменялось в пределах от 500 до 3000 Н при числе оборотов шпинделя 1350 об/мин.

До обработки подшипника скольжения РВС изменение коэффициента трения скольжения в зависимости от радиальной нагрузки и после обработки подшипника скольжения РВС через систему смазки приведено в табл. 2.

Как показывает сравнительный анализ, после обработки подшипника скольжения РВС

Таблица 1

Значения коэффициента трения скольжения $f_{ст.-бр}$ пары сталь-бронза подшипника скольжения

Радиальная нагрузка F , Н	$f_{ст.-бр}$		Уменьшение $f_{ст.-бр}'$, %
	до обработки РВС	после обработки РВС	
500	0,366	0,133	63,6
1000	0,3	0,183	39
1500	0,222	0,166	25,2
2000	0,225	0,158	29,7
2500	0,253	0,180	28,8
3000	0,255	0,211	17,2
3500	0,268	0,228	14,9
4000	0,245	0,225	8,1
4500	0,248	0,218	12,01

Значения коэффициента трения скольжения $f_{ст.-ст.}$ пары сталь-сталь подшипника скольжения

Радиальная нагрузка F , Н	$f_{ст.-ст.}$		Уменьшение $f_{ст.-ст.}'$, %
	до обработки РВС	после обработки РВС	
500	0,18	0,06	66,6
1000	0,26	0,18	30,7
1500	0,29	0,20	31
2000	0,37	0,23	37,8
2500	0,39	0,26	33,3
3000	Заедание	0,26	—

Таблица 3

Значения коэффициента трения качения f_k подшипника (208) без смазки

F	Величина радиальной нагрузки, Н			
	2500	5000	7500	10000
f_k	0,0013	0,0018	0,0025	0,0033

Таблица 4

Значения коэффициентов трения качения f_k подшипника (208) со смазкой

Радиальная нагрузка F , Н	Коэффициент трения качения, f_k	
	до обработки РВС	после обработки РВС
2500	0,0012	0,0015
5000	0,0018	0,0017
7500	0,0025	0,0021
10000	0,0032	0,0030

в течение $4,99 \cdot 10^4$ циклов нагружения коэффициент трения уменьшается на 66,6 % при нагрузке 500 Н и на 33,3 % при нагрузке 2500 Н.

С увеличением радиальной нагрузки до 3000 Н отсутствует заедание. Установлено, что наиболее эффективно использование РВС в подшипниках скольжения, работающих в условиях полужидкостного трения. По результатам эксперимента определено уменьшение величины коэффициента трения скольжения от 63,6 % до 66,6 %. Применение РВС в жидких смазочных материалах подшипников скольжения позволяет обеспечить работоспособность данной опоры без заедания и в условиях граничного трения.

Таким образом, можно утверждать, что смазка с РВС значительно улучшает антифрикционные свойства материалов контактных поверхностей опор скольжения.

Экспериментальные исследования опор качения при смазывании жидкой смазкой с РВС проведены на установке ДМ-28М. В качестве объектов исследования были взяты различные типы подшипников качения (208, 308, 7208). Величина усилия нагружения изменялась от 2500 до 10000 Н при числе оборотов шпинделя 1880 об/мин. Результаты первого испытания, проведенного без заполнения подшипника качения (208) маслом, представлены в табл. 3.

Дальнейшие испытания проведены с заполнением подшипника индустриальным маслом И-12А до центра нижнего шарика без РВС и с РВС.

Сравнение результатов экспериментальных исследований подшипника качения (208) показало, что с заполнением подшипника маслом с РВС до центра нижнего шарика коэффициент трения

Числовые значения коэффициентов трения скольжения пары сталь-сталь

F	Величина радиальной нагрузки, Н						
	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
РВС-50 И-12А	0,066	0,18	0,20	0,23	0,26	0,26	–
РВС-50 Сепарат. Т	0,12	0,19	0,173	0,197	0,231	0,242	–
РВС-100 Сепарат. Т	0,066	0,126	0,182	0,225	0,254	0,253	0,256

качения уменьшается от 5,5 до 6,2 % при нагрузках 5000 и 10000 Н соответственно при числе циклов нагружения, равном $1,2 \cdot 10^4$ (табл. 4).

В настоящее время в Забайкальском институте железнодорожного транспорта продолжены научные исследования ремонтно-восстановительных составов разной дисперсности частиц.

В качестве объекта исследования использовали подшипники скольжения, вкладыши которых не были в эксплуатации и изготовлены из стали 35, а шпиндель станка изготовлен из стали 45. Для смазывания подшипника скольжения использовали различные жидкие смазочные материалы.

В задачу исследований входило определение влияния величины дисперсности частиц РВС, введенного в смазочную жидкость. Исследовали три вида смазки, а именно индустриальное масло с РВС дисперсностью частиц 50 мкм; сепараторное масло с РВС дисперсностью частиц 50 мкм и сепараторное масло с РВС дисперсностью частиц 100 мкм. Числовые значения коэффициента трения скольжения представлены в табл. 5.

Как показал сравнительный анализ для первой ступени нагружения при радиальной силе 500 Н, коэффициент трения скольжения для смазки РВС-50 масло сепараторное Т увеличивается по сравнению со смазкой РВС-50 масло индустриальное И-12А на 81,81 %, а при дальнейшем увеличении нагрузки до 3000 Н уменьшается до 6,92 %.

При сравнении сепараторной смазки с разной дисперсностью частиц РВС (50 и 100 мкм) коэффициент трения скольжения при дисперсности частиц 100 мкм уменьшается при радиальной силе 500 Н на 45 %, а при дальнейшем увеличении радиальной нагрузки до 3000 Н изменяется незначительно и увеличивается на 4,54 %.

Таким образом, экспериментально подтверждено, что ремонтно-восстановительные составы с дисперсностью частиц 100 мкм улучшают трибологические характеристики опор для радиальных нагрузок шпинделя в диапазоне от 500 до 3500 Н при образовании защитного металло-керамического покрытия с лучшими антифрикционными свойствами.

4. Выводы.

1. Суспензия, изготовленная на основе жидкого масла (например, индустриального) и минеральных добавок, введенная в зону трения пары через систему смазывания шпиндельного

узла, приводит к улучшению антифрикционных свойств материалов контактируемых деталей пар трения, как в случае трения скольжения, так и в случае трения качения.

2. Наибольший эффект достигается для опор скольжения. При этом коэффициент трения скольжения уменьшается до 63,6 % (пара бронза – сталь) и до 66,6 % (пара сталь – сталь).

3. Использование жидкой смазки с РВС позволяет исключить заедание в подшипниках скольжения в случае контакта сталь – сталь при радиальной нагрузке не более 3000 Н.

4. Применение жидкого смазочного материала с РВС для опор качения приводит к уменьшению коэффициента трения качения от 5,5 до 6,2 %.

5. Изменение дисперсности частиц РВС от 50 до 100 мкм влияет на изменение трибологических характеристик опор скольжения. Жидкий смазочный материал с РВС дисперсностью 100 мкм, позволяет уменьшить коэффициент трения скольжения до 45 % в интервале нагрузок от 500 до 1000 Н. При дальнейшем увеличении радиальной силы от 1500 до 3500 Н коэффициент трения скольжения увеличивается до 4,5 %.

Библиографический список

1. Григорьев С. Н., Козочкин М. П., Сабиров Ф. С., Синопальников Ф. С. Техническая диагностика станочного оборудования автоматизированного производства // Контроль. Диагностика. 2011. № 8 (158). С. 48 – 54.
2. Козочкин М. П., Гусев А. В., Порватов А. Н. Разработка мобильных систем для мониторинга и диагностики станочных узлов // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2011. № 3. С. 20 – 23.
3. Kozochkin M. P., Kochinev N. A., Sabirov F. S. Diagnostics and monitoring of complex production processes using measurement of vibration-acoustic signals // Measurement Techniques. 2006. Vol. 49, no. 7. P. 672 – 678. DOI:10.1007/s11018-006-0169-6.
4. Пат. 2201998 Российская Федерация, МПК С 23 С 24/02, В 23 Р 6/00. Способ модификации железосодержащих поверхностей узлов трения / Нежданов В. И., Какоткин В. З., Балабин В. Н., Ермаков В. И. № 2001117721/02; заявл. 29.06.01; опубл. 10.04.03.
5. Пат. 2201999 Российская Федерация, МПК С 23 С 24/02, С 23 С 26/00, В 23 Р 6/00. Способ модификации железосодержащих поверхностей узлов трения / Нежданов В. И., Какоткин В. З., Балабин В. Н., Ермаков В. И.,

Лифенко В. И. № 2001117721/02; заявл. 29.06.01; опубл. 10.04.03.

6. Хебда М., Чичинадзе А.В. Справочник по триботехнике. Теоретические основы. В 2 т. Москва: Машиностроение, 1989. Т. 1. 397 с.

7. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. Москва: Техносфера, 2004. 408 с. ISBN 5-94836-032-6.

8. Кристенсен Р. Введение в механику композитов / пер. с англ. А. И. Бейля, Н. П. Жмудя. Москва: МИР, 1982. 334 с.

9. Ильиных В. А., Гроховский В. С. Технология образования металлокерамических покрытий на деталях пар трения путем применения геоактиваторов // Заготовительные производства в машиностроении. 2003. № 12. С. 51–55.

10. Ильиных В. А., Тишакова Н. В., Большаков А. Н. Исследование РВС технологий на Забайкальской дороге (статья) // Железнодорожный транспорт. 2005. № 10. С. 62–64.

11. Ильиных В. А., Гроховский В. С. Исследование влияния РВС на триботехнические параметры опор скольжения и качения // Вестник Читинского государственного университета. 2002. № 23. С. 110–114.

12. Ильиных В. А., Гроховский В. С. Внедрение ресурсосберегающей технологии РВС в различных узлах механизмов и машин // Вестник Читинского государственного университета (спец. выпуск). 30 лет Читинскому государственному университету. 2004. Т. 9, № 6. С. 190–192.

ИЛЬИНЫХ Виктор Анатольевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Прикладная механика и математика».

SPIN-код: 1446-6405

AuthorID (РИНЦ): 713503

AuthorID (SCOPUS): 57212555086

Адрес для переписки: ilinykh.viktor5@mail.ru

Для цитирования

Ильиных В. А. Влияние смазочных материалов с минеральными добавками на трение в опорах шпиндельных узлов // Омский научный вестник. 2021. № 6 (180). С. 11–15. DOI: 10.25206/1813-8225-2021-180-11-15.

Статья поступила в редакцию 23.10.2021 г.

© В. А. Ильиных