

УДК 621.822.741.1
DOI: 10.12737/20240

С. П. Шец, В.И. Сакало

ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ

Описано взаимодействие тел качения и колец в шариковых подшипниках качения в присутствии смазочного материала. Рассмотрен процесс образования модифицированного слоя и его влияние на интенсивность изнашивания деталей подшипника качения.

Ключевые слова: смазочный материал, пара трения, коэффициент трения, подшипник качения, триботехнические испытания, модифицированный слой, интенсивность изнашивания.

S.P. Shets, V.I. Sakalo

INFLUENCE OF LUBRICANT ON PROCESSES, PROCEEDING IN ROLLING BEARINGS

Chemically active components which are available both in structure of material of a blanket and in lubricant, decay under the influence of temperature, a force field of a solid body and catalytic impact of a svezheobnazhenny surface of metal, are allocated in the form of active agents who react and form the modified layer. The modified layer has smaller (in comparison with the main metal) resistance to shift owing to what decrease in coefficient of friction and replacement of intensive adhesive wear softer corrosion and mechanical is provided. The condition of details of the rolling bearing in the presence of the modified layer does not change during all service life. However in case of a leakage of lubricant or loss in it chemically active components the modified layer is not formed that leads to metal contact and failure of the bearing. Metal contact causes sharp temperature increase, and also mechanical damages to a type of zadir on bodies

of swing and забойн on the rings received as a result of shock loadings.

Intensity of wear of details of the rolling bearing is influenced substantially by the process temperature which depends on the relative speed of sliding and the normal squeezing force. In process of temperature increase of process the speed of education and a share of the modified layer increase. Critical value of temperature determines a lubricant scope. The concentration of an active component in lubricant is higher, the wear resistance of the rolling bearing is higher. When toughening the mode of friction there is a competition of two processes – educations and wear of the modified layer and if wear prevails, then inevitably there will be a metal contact leading to failure of the bearing.

Key words: lubricant, couple of friction, friction coefficient, the rolling bearing, tribotechnical tests, the modified layer, intensity of wear.

В подшипниках качения происходит поворот тел качения или колец относительно постоянных или мгновенных осей, который сопровождается сменой участков взаимного контакта без видимого скольжения. При этом поверхность тела качения как бы развертывается по поверхности кольца. В этом случае качение можно назвать чистым, но обычно оно сочетается с проскальзыванием поверхностей или верчением (спином) деталей, принимая смешанный характер.

Проскальзывание тел качения в шариковых подшипниках происходит потому, что контакт шарика с кольцами осуществляется по некоторой дуге АВА

(рис. 1). Окружные скорости точек А и В при вращении шарика вокруг своей оси различны. Если допустить, что в точках А (АА – мгновенная ось) нет скольжения, то оно будет в точке В. Это создает дополнительный износ и потери на трение в шариковых подшипниках. Для снижения интенсивности данных процессов требуется смазочный материал, который выполняет следующие основные функции:

- образует между рабочими поверхностями необходимую упругогидродинамическую масляную пленку, которая одновременно смягчает удары тел качения о кольца и сепаратор, увеличивая этим долговеч-

ность подшипника и снижая шум при его работе;

- уменьшает трение скольжения между поверхностями качения, возникающее вследствие их упругой деформации под действием нагрузки при работе подшипника;

- уменьшает трение скольжения, возникающее между телами качения, сепаратором и кольцами;

- служит охлаждающей средой;

- способствует равномерному распределению тепла, образующегося при работе подшипника, по всему подшипнику и предотвращает этим развитие высокой температуры внутри подшипника;

- защищает подшипник от коррозии;

- препятствует проникновению в подшипник загрязнений из окружающей среды.

Смазочный материал определяет долговечность подшипника не в меньшей мере, чем материал его деталей. Особенно возросла роль смазки с повышением напряженности работы узлов трения, т. е. с повышением частот вращения, нагрузок и температуры (наиболее значительного фактора, обуславливающего долговечность смазочного материала в подшипнике).

Триботехнические испытания закрытых шариковых подшипников качения № 204 с применением пластичных смазочных материалов Castrol LMX и Литол-24 проводились с использованием стенда, описанного в работе [1, С. 10]. В результате испытаний установлено, что при равных условиях нагружения подшипника Castrol LMX обеспечивает значительно большее снижение интенсивности изнашивания (порядка 20%), чем общепринятый смазочный материал Литол-24. «Это объясняется тем, что смазочный материал Castrol LMX лучше удерживается вблизи зоны контакта нагруженных пар трения подшипника и интенсифицирует отвод тепла» [2, С. 34].

Пара трения «тело качения – кольцо» в подшипнике качения работает в режиме граничной смазки, при котором смазочное действие, т.е. обеспечение низких энергетических затрат, требуемой несущей спо-

собности и низкой интенсивности изнашивания трущихся тел в заданном интервале температур, скоростей относительного перемещения и нагрузок, осуществляют тончайшие граничные слои, образованные в результате взаимодействия (адсорбции, хемосорбции, химической реакции) активных компонентов смазочной среды с материалом поверхностей трения [3; 4].

Химически активные компоненты, имеющиеся как в структуре материала поверхностного слоя, так и в смазочном материале, разлагаются под действием температуры, силового поля твердого тела и каталитическим воздействием свежееобнавленной поверхности металла, выделяются в виде активных агентов, которые вступают в реакцию и образуют модифицированный слой. Толщина модифицированного слоя, необходимая и достаточная для эффективного разделения поверхностей трения, в данном случае составляет несколько нанометров.

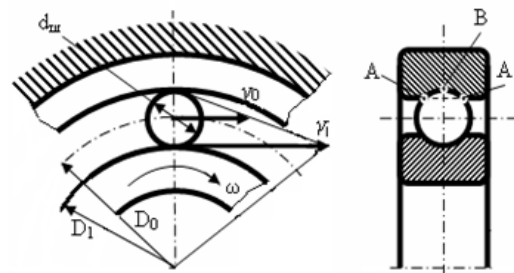


Рис. 1. План скоростей при неподвижном наружном кольце подшипника качения

Таким образом, полученный модифицированный слой имеет меньшее (по сравнению с основным металлом) сопротивление сдвигу, вследствие чего обеспечивается снижение коэффициента трения и замена интенсивного адгезионного изнашивания более мягким коррозионно-механическим.

При наличии смазочного материала в зоне трения взаимодействие происходит полностью по модифицированному слою (рис. 2 а), а при частичном разрушении модифицированного слоя, например абразивом, – частично (рис. 2 б). Если между поверхностями трения смазочный матери-

ал отсутствует, то возникает металлический контакт (рис. 2 в).

Состояние деталей подшипника качения при наличии модифицированного слоя не меняется в течение всего срока службы (рис. 3 а, б). Однако при утечке смазочного материала или утрате в нем химически активных компонентов модифицированный слой не образуется, что приводит к металлическому контакту и отказу подшипника.

Для подтверждения изложенных теоретических выкладок были проведены исследования более 120 подшипников качения, демонтированных с валков ременных переборов пресс-подборщиков «John Deere 864». В результате исследований поврежденных подшипников установлено, что при эксплуатации происходит разгерметизация подшипникового узла (повреждение уплотнения). «При этом повышается вероятность попадания в зону контакта кварцевых частиц из окружающей среды и утечек рабочей жидкости из уплотняемой полости» [5, С. 28].

Анализ деталей подшипников качения, демонтированных с валков ременных переборов пресс-подборщиков «John Deere 864», позволяет утверждать, что при разрушении модифицированного слоя образуется металлический контакт. Металлический контакт вызывает резкое повышение температуры, о чем свидетельствует наличие оттенка серого цвета (цвета побежалости) на шариках поврежденных подшипников (рис. 3 в), а также механические повреждения в виде задиров на телах качения и забоин на кольцах, полученных в результате ударных нагрузок (рис. 3 в, г).

В зависимости от наличия или отсутствия модифицированного слоя между поверхностями деталей подшипника качения изменяется и коэффициент трения.

При наличии модифицированного слоя коэффициент трения $f_{Тмс}$ можно определить как [6]

$$f_{Тмс} = \alpha_{мс} f_{мс} + (1 - \alpha_{мс}) f_2 \quad (1)$$

где $\alpha_{мс}$ – доля поверхности, находящаяся в контакте по модифицированному слою; $f_{мс}$ – коэффициент трения поверхностей, контактирующих по модифицированному

слою; f_2 – коэффициент гидродинамического трения.

При частичном разрушении модифицированного слоя (например абразивом)

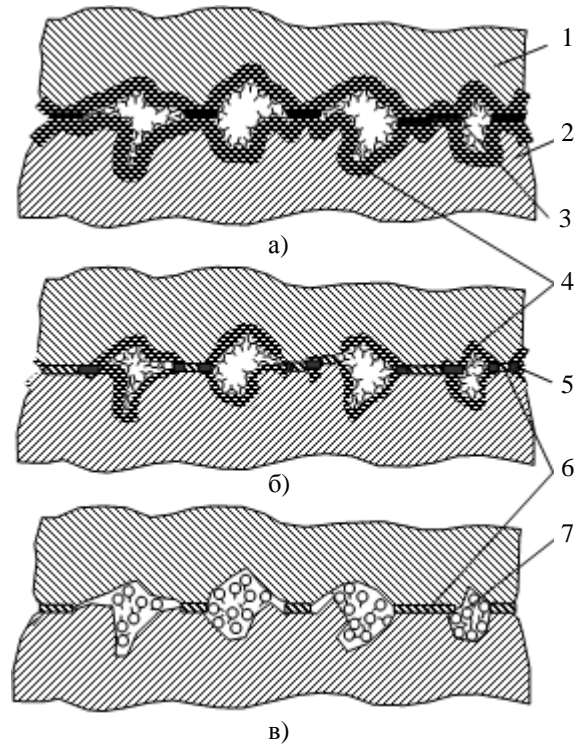


Рис. 2. Схема фрикционного взаимодействия тел: а – при наличии модифицированного слоя; б – при частичном разрушении модифицированного слоя; в – без модифицированного слоя; 1 – тело №1; 2 – тело №2; 3 – активная молекула смазочного материала; 4 – модифицированный слой; 5 – контакт по модифицированному слою; 6 – металлический контакт; 7 – неактивная молекула смазочного материала

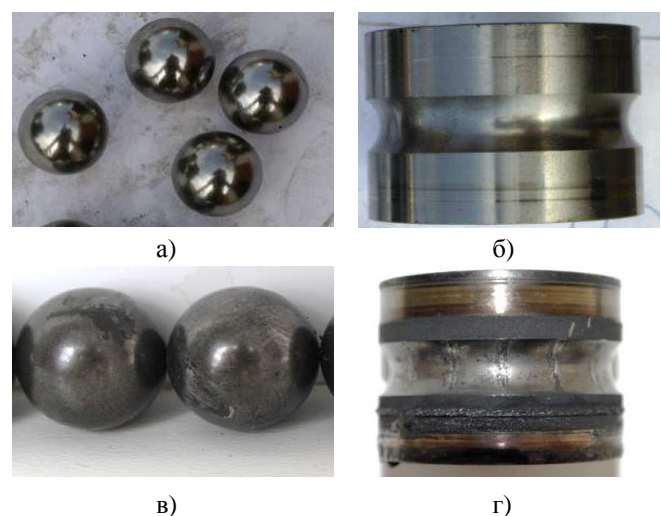


Рис. 3. Детали подшипников качения: тела качения (а) и внутреннее кольцо (б) при наличии модифицированного слоя; тела качения (в) и внутреннее кольцо (г) при отсутствии модифицированного слоя

может появиться и доля металлического контакта. Тогда контакт будет проходить по смешанному слою, а формула (1) примет вид

$$f_{Tc} = \alpha_{mc} f_{mc} + (1 - \alpha_{mc} - \beta) f_z + \beta f_m,$$

где β – доля поверхности, находящаяся в металлическом контакте; f_m – коэффициент сухого трения в металлическом контакте.

Если поверхность трения и смазочный материал не активны или модифицированный слой разрушен, то коэффициент трения определится как

$$f_{Tc} = (1 - \beta) f_z + \beta f_m.$$

При отсутствии смазочного материала или утрате в нем химически активных компонентов коэффициент трения будет равен коэффициенту f_{Tc} (металлический контакт).

Доля металлического контакта β в первом приближении может быть определена как [1]

$$\beta = \frac{b_0}{C^V} e^{\left(\frac{\Delta\mu}{RT_{аб}}\right)},$$

где b_0 , V – постоянные, зависящие от материалов трущихся тел, определяемые в модельном эксперименте; C – концентрация химически активного компонента в смазочном материале; $\Delta\mu$ – разность химических потенциалов компонента в смазочном материале и материале поверхностного слоя; R – универсальная газовая постоянная; $T_{аб}$ – температура процесса по абсолютной шкале.

Долю поверхности, находящуюся в контакте по модифицированному слою, можно определить как

$$\alpha_{mc} = \frac{A_r}{A_c} - \beta,$$

где A_r – фактическая площадь контакта;

A_c – контурная площадь контакта.

На интенсивность изнашивания деталей подшипника качения в значительной

степени влияет температура процесса, которая зависит от относительной скорости скольжения и нормальной сжимающей силы. По мере повышения температуры процесса увеличиваются скорость образования и доля модифицированного слоя. Одновременно с этим возрастает и скорость разрушения слоя в результате изнашивания или диссоциации. Если скорость разрушения модифицированного слоя превысит скорость его образования, то через некоторое время будет достигнута критическая доля металлического контакта. В результате произойдет следующее: резкое повышение коэффициента трения; замена коррозионно-механического изнашивания адгезионным; заедание и отказ подшипника. Критическое значение температуры процесса можно определить по формуле [7]

$$T_{кр} = \frac{(E_x + \Delta\mu)}{R \ln \left[\frac{B_1 N}{C^n v^m H} \right]},$$

где $T_{кр}$ – критическая температура смазочного материала при трении; E_x – энергия активации процесса образования металлических связей между контактирующими поверхностями; N – нормальная сжимающая сила; v – скорость относительно перемещения поверхностей; H – твердость более мягкого элемента пары трения; B_1 , n , m – константы уравнения.

Критическое значение температуры определяет область применения смазочного материала. Чем выше концентрация C активного компонента в смазочном материале, тем выше износостойкость подшипника качения. При ужесточении режима трения происходит конкуренция двух процессов – образования и изнашивания модифицированного слоя, и если изнашивание будет превалировать, то неизбежно возникнет отказ подшипника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горленко, А.О. Метод испытания подшипников качения на трение и изнашивание / А.О. Горленко, М.Л. Ключников, С.П. Шец // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2010. – №1(25). – С.10-12.
2. Шец, С.П. Трибологические испытания смазочных материалов в подшипниках качения / С.П. Шец // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – №1(29). – С. 32-34.
3. Буяновский, И.А. Граничная смазка / И.А. Буяновский, И.Г. Фукс, Т.Н. Шабалина. – М.: Нефть и газ, 2003. – 248 с.
4. Крагельский, И.В. Узлы трения машин: справочник / И.В. Крагельский, Н.М. Михин. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
5. Шец, С.П. Повышение герметизирующей способности манжет комбинированием с магнетожидкостным уплотнением / С.П. Шец // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2007. – №2(14). – С.27-31.
6. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учеб. для техн. вузов / А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше [и др.]; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
7. Васильев, Ю.Н. Модель заедания при граничной смазке / Ю.Н. Васильев // Расчетно-экспериментальные методы оценки трения и износа. – М.: Наука, 1980. – С. 65 – 69.
1. Gorlenko, A.O. A test method of rolling bearings on friction and wear / A.O. Gorlenko, M. L. Klyushnikov, S. P. Shets//Bulletin of Bryansk state technical university. – 2010. – No. 1(25). – P. 10-12.
2. Shets, S. P. Tribological tests of lubricants in rolling bearings / S. P. Shets//the Bulletin of Bryansk state technical university. – 2011. – No. 1(29). – P. 32-34.
3. Buyanovsky, I.A. Boundary greasing / I.A. Buyanovsky, I.G. Fuchs, T.N. Shabalin. – M.: Oil and gas, 2003. – 248 p.
4. Kragelsky, I.V. Frictional units of cars: reference book / I.V. Kragelsky, N. M. Mikhin. – M.: Mechanical engineering, 1984. – 280 p.
5. Shets, S. P. Increase of the pressurizing ability of cuffs a combination with magnetoliquid consolidation / S. P. Shets//the Bulletin of Bryansk state technical university. – 2007. – No. 2(14). – P. 27-31.
6. Tribology bases (friction, wear, greasing): studies for techn. higher education institutions / A.V. Chichinadze, E.D. Brown, N. A. Bush [etc.]; under a general edition of A.V. Chichinadze. – 2nd prod., reslave. and additional – M.: Mechanical engineering, 2001. – 664 p.
7. Vasilyev, Yu.N. Model of jamming at boundary greasing / Yu.N. Vasilyev//Settlement and experimental methods of an assessment of friction and wear. – M.: Science, 1980. – P. 65 – 69.

Статья поступила в редколлегию 15.02.2016.

*Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
Бишутин С.Г.*

Сведения об авторах:

Шец Сергей Петрович, д.т.н., профессор кафедры «Автомобильный транспорт» Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 58-82-31.

Сакало Владимир Иванович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Механика, динамика и прочность машин» Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 56-86-37, e-mail: sakalo@tu-bryansk.ru.

Shets Sergey Petrovich, D.Eng., Prof. of the Dep. “Motor Transport” Bryansk State Technical University, Phone: (4832) 58-82-31.

Sakalo Vladimir Ivanovich, D.Eng., Prof., Head of the Dep. “Mechanics, Dynamics and Machine Durability” Bryansk State Technical University, Phone: (4832) 56-86-37, e-mail: sakalo@tu-bryansk.ru.