

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СМАЗКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Большое значение для современного машиностроения имеет проблема организации системы смазки подшипников качения. Обеспечение надежности работы машин заключается в своевременном и равномерном распределении тепла и его качественном отводе из рабочей зоны подшипниковых узлов. В данной статье подробно рассмотрены свойства смазки, способы и количество ее подачи. Основное внимание уделено эмпирическим зависимостям для определения оптимального количества прокачиваемого масла и рабочей температуры подшипников при различных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: подшипники, трение, смазка, масляный туман, отвод тепла, тепловой баланс, нагрузка.

В подшипниках качения смазка применяется для разделения поверхностей трения от взаимного контакта и для уменьшения износа и трения между ними. Смазка предназначена для равномерного распределения тепла, образующегося в результате работы трения в подшипнике, и его отвода. Также, немаловажная задача смазки предохранять поверхности подшипника от коррозии и обеспечивать герметичность подшипника, защищая его от загрязнения. На работоспособность подшипников существенно влияют свойства смазки, ее количество и способ подачи.

Для смазывания подшипников качения применяются твердые и консистентные смазки, жидкие минеральные или синтетические масла².

Консистентные смазки обычно используют для подшипников, имеющих трудности с обслуживанием и работающих в загрязненной среде. Для подшипников качения обычно применяют следующие консистентные смазки: кальциевые, натриевые, кальциевонатриевые, литиевые и силиконовые.

¹ © Елена Филипповна Чубенко к т. н., доцент кафедры Сервиса и технической эксплуатации автомобилей ИИБС Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, ул. Гоголя, 41, г. Владивосток, Приморский край, 690014, Россия, E-mail: elena.chubenko@vvsu.ru. тел.: +74232951485.

²Бломберг А.И. Расчет на прочность деталей машин. М., 2003. С. 116.

Кальциевые смазки (солидолы) применяют для подшипников, окружная скорость вала которых не выше 10 м/с, а рабочая температура не превышает 60°C.

Натриевые смазки (консталины) также применяют при скорости вала не выше 10 м/с. Эти смазки чувствительны к влаге, под действием которой вызывают коррозию подшипников, но выдерживают большие рабочие температуры.

Кальциевонатриевые смазки применяют при окружных скоростях вала до 15 м/с и температурах до 120°C. Силиконовые смазки могут быть использованы до рабочей температуры подшипника 140-280°C.

Корпуса подшипников заполняют консистентной смазкой в объеме до 1/2 их свободного пространства, при этом смазку регулярно добавляют и не реже одного раза в год полностью заменяют.

Применение жидких смазок обеспечивает меньшее трение на поверхностях взаимного соприкосновения и допускает работу подшипников при более высоких температурах, чем консистентные смазки.

В качестве жидких масел используют минеральные масла и синтетические смазки. Минеральные масла сохраняют свои свойства до 160°C. Для более высоких температур, используют синтетические смазки, которые не теряют своих свойств до 300°C.

Для работы при более высоких температурах используют твердые смазки. Наиболее часто применяют коллоидальный графит, дисульфид молибдена (MoS_2) и нитрид бора (BNO_2). Графит может быть использован до температуры 350°C, а дисульфид молибдена сохраняет свои смазывающие свойства до температуры 400°C. При более высокой температуре образуется окись молибдена, обладающая высокими абразивными свойствами, что приводит к повышенному износу соприкасающихся поверхностей и резкому повышению температуры теплоотдачи¹.

При условии работы механизма без подачи смазки сепараторы подшипников изготавливают из самосмазывающихся материалов. Наилучшими материалами для работы в таких условиях признаны маслянисты $B1$ и $B2$ и смеси фторопласта 40 с бронзой.

В зависимости от режимов и условий работы применяют различные способы подачи жидкой смазки в подшипники. Смазка посредством окунания тел качения в масляную ванну применяется до значений параметра S_{min} не более $0,3 \cdot 10^6$ мм·об/мин. Для подшипников с горизонтальными осями валов уровень масла в корпусе поддерживают на

¹Дмитриев Н.В. Теоретические основы работы подшипников. М., 2006. С. 214.

I. ТЕОРИЯ – ПРАКТИКЕ

уровне центра тела качения, занимающего в подшипнике нижнее положение.

Для высокооборотных малогабаритных подшипников горизонтальных и вертикальных валов применяют дозированную капельную систему смазки при значении параметра $S_{ни}$ не более $0,75 \cdot 10^6$ мм·об/мин.

Для подшипников опор редукторов и автомобилей применяют подачу смазки с разбрызгиванием из масляной ванны узла. Масло разбрызгивается погруженным в ванну на 10-15 мм зубчатым колесом или диском, при этом в корпусе образуется масляный туман, проникающий в подшипники и обеспечивающий их смазку.

Из-за низкого теплоотвода приведенные способы организации смазки оказываются неэффективными для высокоскоростных подшипников. В связи с этим для смазки и охлаждения высокоскоростных подшипников эффективна смазка масляным туманом, т.е. смазка маслом, распыленным струей воздуха. Этот способ позволяет при минимальном расходе масла достаточно эффективно отводить тепло и обеспечить низкий коэффициент трения подшипников. Смазку масляным туманом применяют при значении параметра $S_{ни}$ до $1,5 \cdot 10^6$ мм·об/мин и более.

Для смазки и охлаждения тяжело нагруженных высокоскоростных подшипников применяют сплошную подачу смазки струями из форсунок. Этот способ подачи смазки используют при значениях параметра $S_{ни}$ до $3,5 \cdot 10^6$ мм·об/мин и более. Поданное в подшипник масло смазывает дорожку качения внутреннего кольца, принимает от него тепло и под действием центробежных сил отбрасывается на дорожку качения наружного кольца, смазывая при этом поверхности тел качения и стенки гнезд сепараторов. Охлаждая и смазывая поверхности деталей подшипника, смазка выходит с обеих его сторон через зазор между сепаратором и бортами наружного кольца.

Как показывает опыт, большая доля тепла может образовываться в результате перемешивания значительных объемов смазки, подаваемых в подшипник для охлаждения. В таких условиях работы требуется регулировка подачи смазки в зависимости от режима эксплуатации для обеспечения наименьшего сопротивления движению деталей подшипника и обеспечения эффективного и равномерного теплоотвода.

Величина оптимального объема прокачиваемого масла в зависимости от значения параметра $S_{ни}$ может быть определена по эмпирической формуле¹

¹ Крылов П.А. Основы инженерных расчетов. М., 2000. С. 211.

$$V_0 = r + 1.92 \cdot 10^{-6} S_{\text{нш}}, \quad (1)$$

где V_0 - оптимальный объем прокачиваемой смазки, л/мин;

r - параметр, зависящий от величины радиальной нагрузки, л/мин.

Если к подшипнику дополнительно к теплу, развиваемому от работы трения подводится тепло от нагретых сопряженных деталей, то для отвода этого тепла следует увеличить прокачку на величину, определяемую уравнением теплового баланса¹

$$Q_n = V_\partial c(t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}), \quad (2)$$

где Q_n - количество тепла, поступающего к подшипнику от нагретых деталей, ккал/мин;

V_∂ - дополнительный объем прокачиваемого масла для отвода тепла, л/мин;

c - теплоемкость масла, ккал/л·град;

$t_{\text{вых}}$ и $t_{\text{вх}}$ - температура масла, выходящего из подшипника и перед входом в подшипник, °С.

Общий объем прокачиваемого масла в л/мин для случая подвода тепла от нагретых деталей к подшипнику равен

$$V = V_0 + V_\partial, \quad (3)$$

Рабочую температуру радиальных роликовых и шариковых, а также радиально-упорных шарикоподшипников при струйной смазке определяют по эмпирической формуле

$$t = 50e^\beta + K_1(t_{\text{вх}} - 50) + \Delta t_1 + \Delta t_2, \quad (4)$$

где e - основание натурального логарифма;

β - термический коэффициент, зависящей от количества подаваемой смазки;

$$\beta = \frac{0.76 \cdot 10^{-6}}{V^m}, \quad (5)$$

$m = 0.28$ при $V \geq 1$ л/мин;

$m = 0.14$ при $V < 1$ л/мин;

$t_{\text{вх}}$ - температура масла перед входом в подшипник;

Δt_1 - приращение температуры подшипника при действии радиальной нагрузки;

$$\Delta t_1 = R^V + 1.5V - 30, \quad (6)$$

¹ Чернов И.М. Расчеты деталей машин. М., 2002. С. 116.

I. ТЕОРИЯ – ПРАКТИКЕ

R - радиальная нагрузка;

V - показатель степени, зависящий от скорости прокачки масла;

$V = 0,5 - 0,01$;

Δt_2 - приращение температуры подшипника при действии осевой нагрузки;

K_1 - коэффициент влияния на нагрев подшипника температуры масла перед входом в подшипник.

Приращение температуры подшипника от действия осевой нагрузки

$$\Delta t_2 = bA^\delta, (7)$$

где A - действующая на подшипник осевая нагрузка, Н;

b и δ - параметры;

$b = 0.24 + 0.03V$,

$\delta = (0.74 - 0.02V)K_2$,

$K_2 = 0.85 + 0.12S_{\text{нш}} \cdot 10^{-6}$.

Рабочая температура подшипников существенно зависит от скорости и величины осевой нагрузки. В меньшей степени нагрев подшипников зависит от радиальной нагрузки.

Трение в подшипниках возникает между поверхностями скольжения и качения их деталей. В высокоскоростных тяжело нагруженных подшипниках при интенсивной подаче масла существенное сопротивление вращению подшипников оказывает смазочное масло, на интенсивное перемешивание которого в подшипниках при высоких скоростях тратится значительная мощность.

Трение скольжения в подшипниках возникает между телами качения и стенками гнезд сепаратора, между сепаратором и направляющими бортами колец. В шариковых подшипниках возникает трение скольжения из-за кривизны площадки соприкосновения на ее поверхности.

Трение качения возникает между телами качения и кольцами. В шариковых подшипниках при действии осевой нагрузки между телами качения и кольцами возникает трение верчения.

Если к подшипнику дополнительно к теплу от работы трения подводится тепло от горячих сопряженных деталей или окружающей среды, то отводимое маслом от подшипника тепло равно сумме тепловыделений от работы трения и подводимого к подшипнику тепла

$$Q_n = Q_p + Q_n, (8)$$

В соответствии с основным уравнением теплового баланса может быть определена величина дополнительно подводимого к подшипнику тепла от нагретых сопряженных деталей. При установившемся тепловом режиме подшипника для упрощения расчетов можно принять, что все тепло, выделяющееся в подшипнике, отводится от него маслом.

Средняя температура вытекающей из подшипника смазки определяется по уравнению

$$t_{\text{вых}} = t_{\text{вх}} + \frac{60Q_n}{cV\gamma}, \quad (9)$$

где $t_{\text{вх}}$ - температура масла перед входом в подшипник, °С;

c - теплоемкость масла, ккал/кг·град;

V - прокачка масла, л/мин;

γ - удельный вес масла, кг/л.

В зависимости от способа подачи смазки в подшипник температура смазки, вытекающей с разных сторон подшипника, может существенно отличаться от ее среднего значения. Чтобы выровнять температуру смазки и избежать ее местного перегрева при работе подшипников в условиях высоких скоростей, необходимо смазку подавать в подшипник с двух сторон под углом наклона к оси подшипника до 20°.

Библиография

- Блумберг А.И. Расчет на прочность деталей машин. М., 2003. С. 116.
Дмитриев Н.В. Теоретические основы работы подшипников. М.: ДРОФА, 2006. С. 214.
Крылов П.А. Основы инженерных расчетов. М., 2000. С. 211.
Кузьмин А.В. Расчеты деталей машин. М., 2002. С. 326.
Подшипники качения. Каталог-справочник. М.: НИМАВТО, 2000. С. 315-328.
Чернов И.М. Расчеты деталей машин. М., 2002. С. 116.