

NEW BEARING DOCTOR

ДИАГНОСТИКА НЕПОЛАДОК ПОДШИПНИКОВ



Будучи ведущим производителем подшипников качения, систем рулевого управления и компонентов линейных систем, наша компания практически на всех континентах имеет свои производственные площадки, офисы продаж и технологические центры. Именно поэтому наши клиенты высоко ценят оперативное принятие решений, своевременные поставки и обслуживание на месте.



Компания NSK

NSK – первый японский производитель подшипников качения, компания основана в 1916 году. С тех пор мы постоянно расширяли и улучшали не только ассортимент нашей продукции, но и спектр наших услуг, чтобы соответствовать различным отраслям промышленности. Поэтому мы развиваем технологии производства подшипников качения, линейных систем, автомобильных деталей и мехатронных изделий. Наши производственные площадки и исследовательские центры в Европе, Америке и Азии связаны между

собой в единую глобальную техническую сеть. И здесь наше внимание направлено не только на разработку новых технологий, но и на постоянную оптимизацию качества, причем на каждой ступени процесса. Кроме того, наши научные исследования включают конструирование изделий, моделирование процесса работы при использовании различных аналитических систем, а также разработку различных видов сталей и смазок для подшипников качения.

Уверенность в качестве – доверие в сотрудничестве

Высокое качество изготовления подшипников NSK – совместное усилие глобальной сети технологических центров компании NSK.

Всего один пример того, как мы выполняем требования к высокому качеству.

NSK – одна из ведущих компаний, которая имеет богатые традиции в области подачи заявок на патенты на детали машин. В наших исследовательских центрах по всему миру мы целенаправленно работаем не только над развитием новых технологий, но и над постоянным совершенствованием качества,

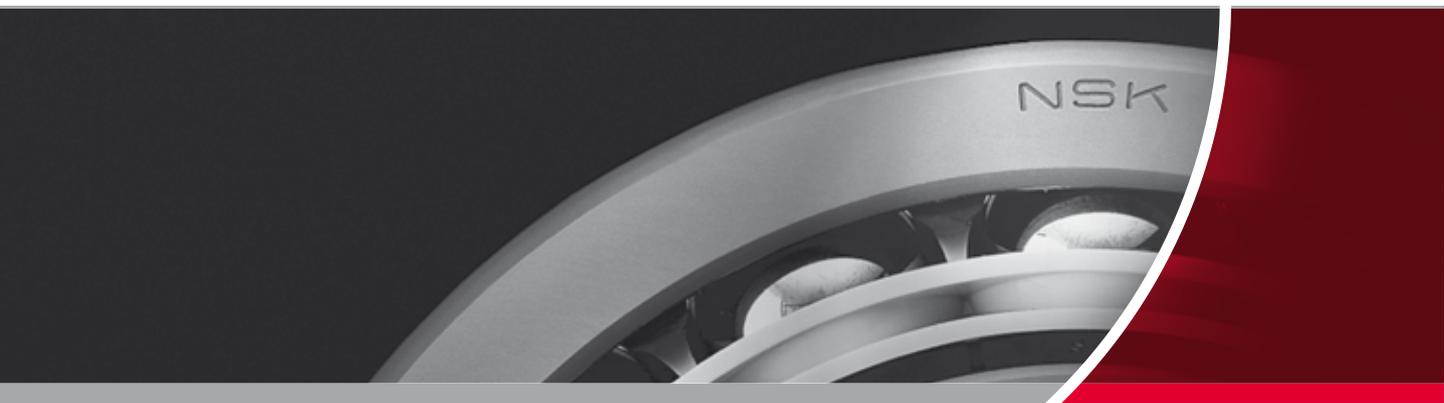
основываясь на интегрированной технологической платформе, включающей трибологию, материаловедение, системы анализа и механотронику.

Узнать больше о компании NSK вы можете на сайте www.nskeurope.ru или по телефону +48 22 645 15 17



New Bearing Doctor





Содержание

Введение	6
Обслуживание и эксплуатация подшипников	7
Меры предосторожности при обслуживании	7
Монтаж.....	8
Проверка работы подшипников.....	8
Рабочие характеристики подшипников.....	10
Шум подшипников.....	10
Вибрации подшипников	10
Температура подшипников.....	10
Влияние смазки.....	10
Выбор способа смазки.....	11
Добавление и замена смазочного материала	12
Ревизия подшипников	14
Следы вращения и приложенные нагрузки	16
Повреждение подшипников и профилактические мероприятия	18
Усталостное отслаивание.....	19
Выкрашивание.....	21
Образование задиров.....	22
Размазывание	24
Сколы.....	26
Трещины	27
Повреждение сепаратора	29
Выщербливание	31
Поверхностное выкрашивание	32
Износ	33
Истирание	34
Ложное бринеллирование.....	35
Ползучесть	36
Схватывание.....	37
Коррозия при воздействии электрического тока.....	38
Ржавчина и коррозия	39
Дефекты, вызванные монтажом	40
Изменение цвета.....	41
Приложение: Таблица диагностики подшипников	42

Введение

Если подшипник выходит из строя в процессе работы машины, то может быть нарушен нормальный режим работы всего производственного цикла. После того как подшипники преждевременно разрушаются или внезапно выходят из строя, важно суметь распознать и предсказать аварию, с тем чтобы можно было принять профилактические меры.

Обычно, ревизия подшипников или осмотр корпуса могут выявить причину проблемы. Часто причина связана с недостаточной смазкой, неправильным обслуживанием, неправильным выбором подшипника или с недостаточной конструкторской проработкой вала и корпуса. В большинстве случаев, причину можно определить, рассматривая его работу до поломки, исследуя условия смазки и монтажа и тщательно осматривая сам подшипник.

Иногда подшипники выходят из строя внезапно и быстро. Такой преждевременный отказ отличается от отказа, вызванного усталостным выкрашиванием. Долговечность подшипника можно рассматривать с точки зрения преждевременного разрушения и нормальной контактной усталости при качении.



Обслуживание и эксплуатация подшипников

Меры предосторожности при обслуживании

Так как подшипники качения являются высокоточными деталями машин, их обслуживание необходимо осуществлять тщательно и аккуратно. Даже при использовании высококачественных подшипников невозможно рассчитывать на их ожидаемую долговечность и эксплуатационные характеристики, если они эксплуатируются неправильно. Ниже перечислены основные меры предосторожности, которые должны быть соблюдены:

(1) Обеспечение чистоты подшипников

и окружающей их среды: Пыль и грязь, даже невидимые невооруженным глазом, оказывают вредное воздействие на подшипники. Необходимо предотвращать проникновение пыли и грязи, сохраняя подшипники и их окружение настолько чистыми, насколько это возможно.

(2) Аккуратное обслуживание: Сильные воздействия во время обслуживания могут вызывать царапины или другие повреждения подшипника и привести к выходу подшипника из строя. Сильные удары могут вызвать бринеллирование, разрушение или растрескивание.

(3) Использование специальных приспособлений:

При обслуживании подшипников всегда используйте специальные приспособления и избегайте применения инструмента общего назначения.

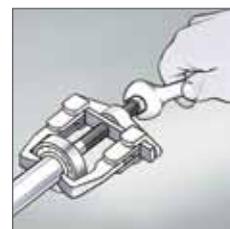
(4) Предотвращение коррозии: Так как пот на руках и другие загрязняющие вещества могут вызвать коррозию, мойте руки перед обслуживанием подшипников. По возможности, работайте в перчатках.



Поддерживайте подшипники и помещение в чистоте!



Обращайтесь с подшипниками осторожно!



Используйте соответствующие инструменты!



Защищайте подшипники от коррозии!

Обслуживание и эксплуатация подшипников

Монтаж

Необходимо всесторонне изучить монтаж подшипников, так как качество монтажа влияет на точность рабочих параметров подшипников, их долговечность и рабочие характеристики.

Рекомендуется, чтобы технология монтажа включала в себя следующие шаги:

- › Очистка подшипника и смежных деталей;
- › Контроль размеров и подготовка соответствующих деталей;
- › Выполнение монтажа подшипника;
- › Проверка правильности монтажа подшипника;
- › Применение необходимой марки и количества смазочного материала.

Так как большинство подшипников вращаются вместе с валом, при монтаже подшипников, как правило, осуцествляют посадку с натягом для внутреннего кольца подшипника и вала и посадку с зазором для наружного кольца и корпуса машины.

Проверка работы подшипников

После монтажа подшипника необходимо провести рабочие испытания для контроля правильности выполненного монтажа. В **таблице 2.1** перечислены методы рабочих испытаний. В случае обнаружения неисправности, необходимо немедленно прекратить испытания и обратиться за справкой к **таблице 2.2**, в которой перечислены профилактические мероприятия для характерных неисправностей подшипников.

Необходимо периодически осматривать и обслуживать подшипник и контролировать условия его работы для того, чтобы продлить срок службы подшипника. Обычно применяют следующий метод:

(1) Проверка состояния подшипникового узла в рабочем режиме

Для определения срока замены подшипника и интервала добавления смазочного материала, изучите ее свойства, принимая во внимание такие факторы, как рабочая температура, вибрации, шумы подшипников. (Обратитесь за справкой к Разделу «Рабочие характеристики подшипников» для более детального ознакомления.)

(2) Контроль состояния подшипников

Старайтесь тщательно обследовать подшипник во время периодических осмотров машины и замены неисправных деталей. Проверьте состояние следов вращения. Проверьте наличие повреждений. Подтвердите возможность дальнейшего использования подшипника или необходимость его замены. (Обратитесь за справкой к Разделу «Ревизия подшипников» для более детального ознакомления.)



Таблица 1 Способы проверки работы подшипников

Размер машины	РСпособ проверки	Оценка состояния подшипника
Небольшая машина	Работа в ручном режиме. Вращать подшипник вручную. Если проблем не обнаружено, продолжать эксплуатацию машины.	<ul style="list-style-type: none"> › Скачкообразность вращения (поломки, трещины, вмятины). › Неравномерный крутящий момент (неправильный монтаж). › Чрезмерный крутящий момент (ошибка при монтаже или недостаточный внутренний радиальный зазор).
	Режим работы под нагрузкой. Начать работу на низкой скорости и без нагрузки. Постепенно увеличивать скорость и нагрузку до достижения номинальной мощности.	Проверка ненормальных шумов. Проверка повышения температуры подшипников. Утечка смазочного материала. Изменение цвета.
Большая машина	Режим холостого хода. Включить питание и запустить машину на низких оборотах. Выключить питание, дав возможность подшипнику вращаться по инерции. Если при проверке не обнаружено неисправностей, продолжить испытание машины под нагрузкой.	Вибрации, шумы и т.д.
	Режим работы под нагрузкой. Выполнить испытание в режиме работы под нагрузкой, как это описано для небольшой машины.	Выполнить те же проверки, что и для небольшой машины.

Таблица 2 Причины неисправностей и профилактические мероприятия

Неисправности		Вероятные причины	Профилактические мероприятия
Шум	Громкий металлический звук	Повышенная нагрузка	Уточнить посадку, внутренний зазор, предварительную нагрузку, положение заплечиков корпуса и т.д.
		Некачественная сборка	Повысить точность обработки и выверки соосности вала и корпуса, точность методики сборки
		Недостаточное количество или непригодность смазочного материала	Пополнить смазочный материал или подобрать другой смазочный материал
		Соприкосновение вращающихся деталей	Исправить лабиринтное уплотнение и т.д.
	Постоянный громкий звук	Повреждения, коррозия, или царапины на дорожках качения	Заменить или очистить подшипник, исправить состояние уплотнений и использовать чистую смазку
		Бринеллирование	Заменить подшипник и быть внимательным и аккуратным при обслуживании
		Отслаивание на дорожках качения	Заменить подшипник
Прерывистый звук	Чрезмерный зазор	Улучшить посадку, зазор и предварительный натяг	
	Проникновение посторонних частиц	Заменить или очистить подшипник, исправить состояние уплотнений и использовать чистую смазку.	
	Трещины или отслаивание в шариках	Заменить подшипник	
Ненормальное повышение температуры	Избыточное количество смазочного материала	Уменьшить количество смазочного материала, подобрать более густую смазку	
	Недостаточное количество или непригодность смазочного материала	Добавить смазочный материал или подобрать более подходящий	
	Ненормальная нагрузка	Уточнить посадку, внутренний зазор, предварительную нагрузку, положение заплечиков корпуса	
	Неправильная сборка	Повысить точность обработки и выверки соосности вала и корпуса, точность монтажа или усовершенствовать технологию монтажа	
	Деформация посадочной поверхности, чрезмерное трение в уплотнениях	Исправить уплотнения, заменить подшипник, исправить посадку или монтаж	
Вибрации (осевое биение)	Бринеллирование	Заменить подшипник и быть внимательным и аккуратным при обслуживании	
	Отслаивание	Заменить подшипник	
	Неправильная сборка	Обеспечить перпендикулярность вала по отношению к заплечикам корпуса или торцу проставки	
	Проникновение посторонних частиц	Заменить или очистить подшипник, исправить состояние уплотнений	
Утечка или обесцвечивание смазочного материала		Чрезмерное количество смазочного материала. Проникновение инородного вещества или абразивных частиц.	Уменьшить количество смазочного материала, подобрать более густую смазку. Заменить подшипник или смазочный материал. Очистить корпус и смежные детали

Рабочие характеристики подшипников

Основными рабочими характеристиками подшипника в процессе эксплуатации являются шумы подшипника, вибрации, температура и состояние смазочного материала. Обратитесь за справкой к таблице 2.2 в случае обнаружения каких-либо нарушений рабочего режима.

Шум подшипников

В процессе эксплуатации для исследования уровня и характеристик шумов при вращении подшипников могут быть использованы звукоулавливающие приборы. По характерным аномальным шумам возможно различить такие повреждения подшипников, как небольшое усталостное выкрашивание.

Вибрации подшипников

Неисправности подшипников можно проанализировать посредством измерения вибраций работающей машины. Для измерения величины и частотного распределения вибраций применяется анализатор частотного спектра. Результаты тестов дают возможность определять вероятные причины неисправностей подшипников. Данные измерений различаются в зависимости от условий работы подшипника и размещения датчика вибраций. Вследствие этого, данный метод требует разработки способов измерений для каждой конкретной исследуемой машины. Полезно уметь определять неисправность по характеру вибраций подшипников в процессе работы. Обратитесь за справкой к техническому руководству компании NSK Pr. No. E410 (Bearing Monitor) для более детальной информации об этом методе.

Температура подшипников

Как правило, температура подшипников может быть оценена по температуре наружной поверхности корпуса, однако предпочтительным способом является непосредственное измерение температуры наружного кольца подшипника с помощью измерительного зонда через отверстие для масла. Обычно, после начала работы машины температура подшипников постепенно повышается в течение около 1-2 часов до достижения установившегося режима. Температура подшипника в установившемся режиме зависит от нагрузки, частоты вращения и характеристик теплопроводности машины.

Недостаточная смазка или некачественный монтаж могут стать причиной быстрого повышения температуры подшипников. В таком случае, необходимо приостановить работу машины и провести соответствующие профилактические мероприятия.

Влияние смазки

Две основные цели использования смазки заключаются в минимизации трения и сокращении износа подшипников, которые могут привести к преждевременному выходу подшипников из строя. Смазка обеспечивает следующие преимущества:

- › **Уменьшение степени трения и износа**
Непосредственный контакт между кольцами подшипника, элементами качения и сепаратором, которые являются основными компонентами подшипника, устраняется благодаря слою смазки, которая уменьшает трение и сокращает износ на поверхностях контакта.
- › **Продление усталостной долговечности**
Усталостная долговечность качения подшипников в значительной мере зависит от вязкости и толщины смазочного слоя между поверхностями контакта качения. Большая толщина слоя смазки продлевает усталостную долговечность, и наоборот, долговечность уменьшается, если вязкость масла слишком мала, вследствие чего толщина смазочного слоя недостаточна.
- › **Рассеяние теплоты трения и охлаждение**
Циркуляционная смазка может быть использована как для отвода теплоты трения, так и теплоты, поступающей извне, с целью не допустить перегрева подшипника и порчи масла.
- › **Уплотнение и защита от коррозии**
Соответствующая смазка также препятствует попаданию инородных частиц в подшипники и защищает от коррозии.

Таблица 3 Сравнение пластичной смазки и смазки жидким смазочным материалом

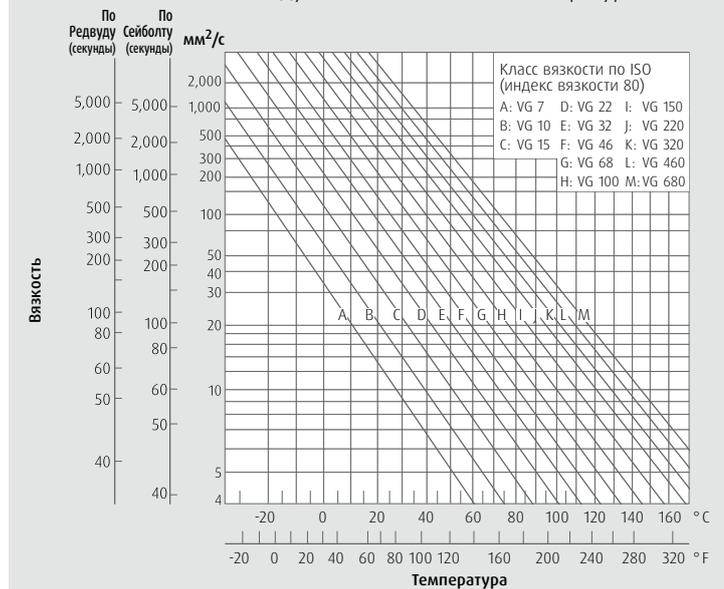
Позиция	Смазывание пластичной смазкой	Смазывание маслом
Конструкция корпуса и способ уплотнения	Простые	Могут быть сложными. Необходима аккуратная эксплуатация
Скорость	Предельная скорость составляет 65% – 80% от таковой при смазке жидким смазочным материалом	Высокая предельная скорость
Охлаждающий эффект	Слабый	Отвод теплоты возможен при использовании принудительной циркуляции масла
Текучесть	Слабая	Хорошая
Замена смазочного материала	Иногда затруднена	Легко выполняема
Устранение инородного материала	Удаление частичек из пластичной смазки невозможно	Легко выполняема
Загрязнение окружающей среды в результате утечек	Загрязнение при утечках происходит очень редко	Возможны частые утечки, если не приняты соответствующие меры противодействия. Данный способ смазки не подходит, если необходимо избежать внешнего загрязнения

Таблица 4 Необходимая вязкость в соответствии с типом подшипника

Тип подшипника	Вязкость при рабочей температуре
Шариковые подшипники, цилиндрические роликовые подшипники	13 мм ² /с или более
Конические роликовые подшипники, Сферические роликовые подшипники	20 мм ² /с или более
Сферические упорные роликоподшипники	32 мм ² /с или более

Замечание: 1 мм²/с = 1 сСт (Сантистокс)

Рис. 1 Зависимость между вязкостью масла и температурой



Выбор способа смазки

Способы смазки подшипников подразделяются на две основные категории: пластичная смазка и смазка жидким смазочным материалом. Применяют тот способ смазки, который отвечает условиям эксплуатации и назначению, для того, чтобы достигнуть наилучших рабочих характеристик подшипника. В **таблице 3** дано сравнение пластичной смазки и смазки жидким смазочным материалом.

▶ Пластичная смазка

Пластичная смазка представляет собой смазочный материал, изготовленный из базового масла, загустителя и добавок. При выборе пластичной смазки необходимо выбирать такую смазку, которая подходит для условий эксплуатации подшипника. Имеются большие различия в эксплуатационных характеристиках даже между разными марками одного и того же типа пластичной смазки. Поэтому выбору пластичной смазки должно уделяться особое внимание. **Таблица 5** (стр. 12) содержит примеры применения и консистенции данного типа смазки.

▶ Смазка жидким смазочным материалом

Существует несколько различных методов смазки жидким смазочным материалом: масляная ванна, капельная подача, разбрызгивание, циркуляция, распыление, масляный туман и масляный воздух. Смазка жидким смазочным материалом, по сравнению с пластичной смазкой, является наиболее подходящей для применения при повышенных скоростях и температурах. Смазка жидким смазочным материалом особенно эффективна в случае, когда необходимо рассеивать теплоту во внешнюю среду. Убедитесь, что выбрано смазочное масло, имеющее подходящую вязкость при рабочей температуре подшипника. Как правило, масло с низкой вязкостью используется для применения при высоких скоростях, в то время как масло с высокой вязкостью используется при тяжелых рабочих нагрузках. В **таблице 4** перечислены подходящие диапазоны вязкости при рабочей температуре для нормальных условий эксплуатации. При выборе масла можно руководствоваться **рис. 1**, на котором приведена зависимость между температурой и вязкостью для смазочного масла. В **таблице 6** (стр. 13) даны примеры выбора смазочного масла для различных условий применения подшипников.

Рабочие характеристики подшипников

Добавление и замена смазочного материала

(1) Интервал добавления пластичной смазки

С течением времени даже высококачественная пластичная смазка теряет свои свойства и смазывающая способность ухудшается.

Обязательно добавляйте пластичную смазку с регламентированным интервалом.

На **рис. 2 (1)** и **(2)** показаны примерные интервалы добавления пластичной смазки в зависимости от времени работы и скорости. На **рис. 2 (1)** и **(2)** составлена для высококачественной смазки на основе литиевого загустителя при 70°C и нормальной нагрузке ($P/C=0,1$).

› Температура

Если рабочая температура подшипника превышает 70°C, интервал замены смазочных материалов должен быть уменьшен в два раза на каждые 150°C повышения его температуры.

› Смазочные материалы

В случае использования шариковых подшипников, интервал замены смазочных материалов может быть увеличен в зависимости от типа и качества смазочных материалов. (Например, высококачественное синтетическое масло с литиевым загустителем может увеличить интервал замены в два раза, **рис. 2 (1)**. В случае рабочей температуры подшипника менее 70°C, использование минеральных или синтетических масел с литиевым загустителем является предпочтительным.)

› Нагрузка

Интервал замены смазки зависит также от величины нагрузки подшипника. На **рис. 2 (3)** показан интервал замены смазочных материалов в зависимости от коэффициента нагрузки. Если значение коэффициента P/C превышает 0,16, то необходимо обратиться к специалисту.

(2) Интервал замены смазочного масла

Интервалы замены смазочного масла зависят от условий работы и количества масла.

Обычно, для рабочей температуры ниже 50°C и при чистых окружающих условиях, интервал замены составляет 1 год. Если температура масла выше 100°C, то масло должно заменяться, по крайней мере, один раз в три месяца.

Таблица 5

Примеры применения и консистенция смазки

Номер консистенции	Консистенция (1/10 мм)	Применение	
#0	355 до 385	Централизованное использование пластичной смазки	Если имеет место легкое истирание
#1	310 до 340	Централизованное использование пластичной смазки, низкая температура	Если имеет место легкое истирание
#2	265 до 295	Обычная пластичная смазка	Закрытые шариковые подшипники
#3	220 до 250	Обычная пластичная смазка, высокая температура	Закрытые шариковые подшипники
#4	175 до 205	Высокая температура	Если пластичная смазка используется в качестве уплотнения

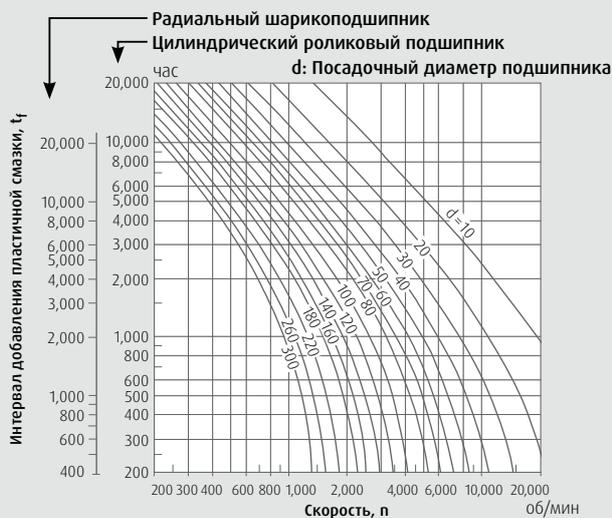
Таблица 6 Выбор смазочного масла для различного применения подшипников

Рабочая температура	Скорость	Легкая или нормальная нагрузка	Тяжелая или ударная нагрузка
-30 до 0°C	Ниже предельной скорости	ISO VG 15, 22, 32 (рефрижераторное масло)	—
0 до 50°C	Ниже 50% от предельной скорости	ISO VG 32, 46, 68 (подшипниковое масло, турбинное масло)	ISO VG 46, 68, 100 (подшипниковое масло, турбинное масло)
	В интервале 50–100% от предельной скорости	ISO VG 15, 22, 32 (подшипниковое масло, турбинное масло)	ISO VG 22, 32, 46 (подшипниковое масло, турбинное масло)
	Выше предельной скорости	ISO VG 10, 15, 22 (подшипниковое масло)	—
50 до 80°C	Ниже 50% от предельной скорости	ISO VG 100, 150, 220 (подшипниковое масло)	ISO VG 150, 220, 320 (Olej tożyskowy)
	В интервале 50–100% от предельной скорости	ISO VG 46, 68, 100 (подшипниковое масло, турбинное масло)	ISO VG 68, 100, 150 (подшипниковое масло, турбинное масло)
	Выше предельной скорости	ISO VG 32, 46, 68 (подшипниковое масло, турбинное масло)	—
80 до 110°C	Ниже 50% от предельной скорости	ISO VG 320, 460 (подшипниковое масло)	ISO VG 460, 680 (подшипниковое масло, трансмиссионное масло)
	В интервале 50–100% от предельной скорости	ISO VG 150, 220 (подшипниковое масло)	ISO VG 220, 320 (подшипниковое масло)
	Выше предельной скорости	ISO VG 68, 100 (подшипниковое масло, турбинное масло)	—

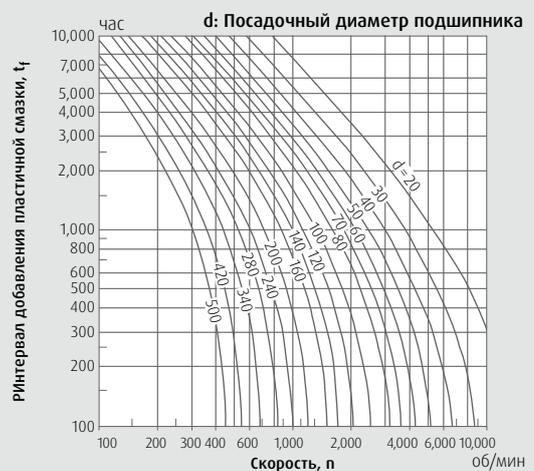
Замечания: 1. Что касается предельной скорости, используйте значения, перечисленные в таблицах размеров подшипников каталога «Подшипники качества NSK» (No. E1102).
 2. См. рефрижераторное масло (JIS K2211), подшипниковое масло (JIS K2239), турбинное масло (JIS K2213), трансмиссионное масло (JIS K2219).
 3. Температурные диапазоны даны в левой колонке таблицы 6. Для высоких рабочих температур рекомендуется смазочное масло с высокой вязкостью.

Рис. 2 Интервалы добавления пластичной смазки

(1) Радиальные шарикоподшипники и цилиндрические роликоподшипники



(2) Радиальные шарикоподшипники и цилиндрические роликоподшипники

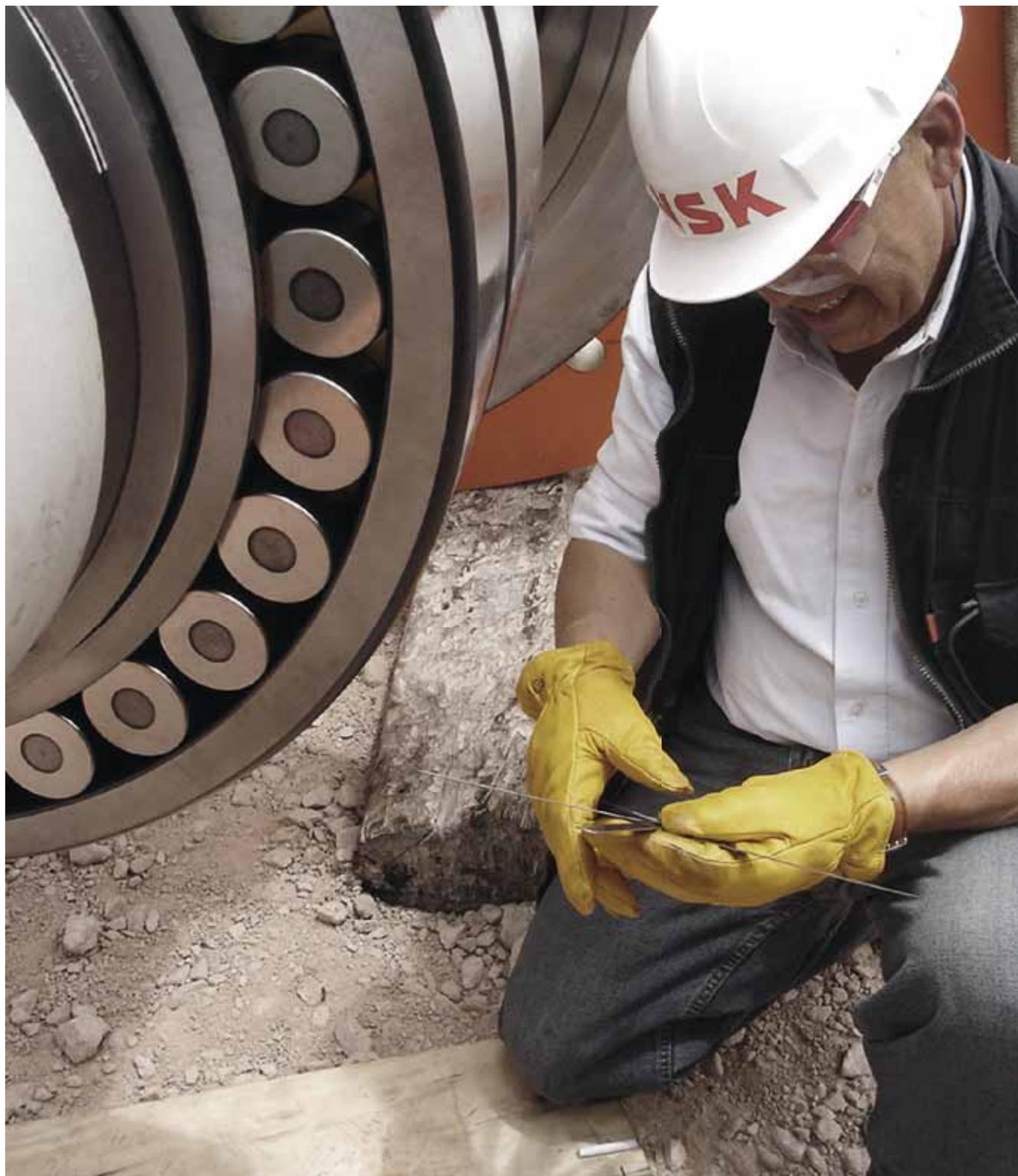


(3) Коэффициент нагрузки

P/C	≤0.06	0.1	0.13	0.16
Коэффициент нагрузки	1.5	1	0.65	0.45

Замечания:
 P: эквивалентная нагрузка
 C: номинальная грузоподъемность

Ревизия подшипников



При ревизии подшипников во время периодических осмотров оборудования, рабочих осмотров или замены смежных деталей, необходимо определять состояние подшипников и возможность их дальнейшего обслуживания.

Необходимо вести запись осмотра и внешнего вида демонтированных подшипников. После взятия пробы пластичной смазки и оценки количества остаточной пластичной смазки подшипник должен быть очищен. Также необходимо проверить наличие повреждений и дефектов в сепараторе, посадочных поверхностях, на поверхности элементов качения и поверхности следов вращения. Обратитесь за информацией к Разделу «Следы вращения и приложенные нагрузки» относительно исследования следов качения на поверхности следов вращения.

При оценке возможности дальнейшей эксплуатации подшипника необходимо принимать во внимание следующие факторы: степень повреждения подшипника, производительность машины, анализ режима эксплуатации, режима работы, периодичности проверок. Если ревизия выявит повреждения или нарушения в работе подшипника, необходимо выяснить причину и осуществить профилактические мероприятия (см. Раздел «Повреждение подшипников и профилактические мероприятия»). Если ревизия выявит такие повреждения подшипника, при которых его дальнейшая эксплуатация невозможна, то подшипник необходимо заменить новым.

К таким повреждениям относятся:

- (1) Трещины или скалывание на сепараторе, элементах качения или кольце с дорожкой качения;
- (2) Усталостное выкрашивание в элементах качения, на дорожке качения;
- (3) Заметное образование задиров на элементах качения, поверхности буртика (втулки) или поверхности следов вращения;
- (4) Заметный износ сепаратора или свободных роликов;
- (5) Дефекты или ржавчина на элементах качения или поверхности следов вращения;
- (6) Заметные выбоины на элементах качения или поверхности следов вращения;
- (7) Заметная ползучесть внешней поверхности наружного кольца или отверстия внутреннего кольца;
- (8) Изменение цвета вследствие нагрева;
- (9) Серьезные повреждения на защитной шайбе или уплотнении закрытого подшипника с незаменяемой пластичной смазкой.

Следы вращения и приложенные нагрузки

Когда подшипник вращается, следы вращения внутреннего и наружного колец контактируют с элементами качения. Это приводит к появлению следов износа на элементах качения и дорожках качения. Необходимо осмотреть следы вращения с точки зрения анализа работы подшипника, они отражают характер нагрузки и должны быть тщательно изучены после демонтажа подшипника.

Если следы вращения явно выражены, то возможно определить, работал ли подшипник при радиальной нагрузке, осевой нагрузке или мгновенной нагрузке. Кроме того, можно определить отклонения колец подшипника от круглости. Проверьте, имеют ли место непредвиденные нагрузки подшипника или серьезные монтажные ошибки. Также определите возможную причину неисправности подшипника.

На **рис. 3** показаны следы вращения, образующиеся в шариковом подшипнике при различных режимах нагрузки. На **рис. 3 (а)** показан наиболее общий вид следов вращения, образующейся, когда внутреннее кольцо вращается под действием только радиальной нагрузки. На **рис. 3 (е) до (h)** изображено несколько различных дорожек качения, которые приводят к снижению ресурса вследствие их неблагоприятного воздействия на подшипники. Аналогично, на **рис. 4** показаны различные следы вращения роликовых подшипников: на **рис. 4 (i)** показана дорожка качения на наружном кольце, когда радиальная нагрузка приложена соответствующим образом к вращающемуся внутреннему кольцу цилиндрического роликоподшипника.

На **рис. 4 (j)** приведена дорожка качения в случае изгиба вала или относительного наклона между внутренним и наружным кольцами.

Такая несоосность приводит к образованию слегка затененных (тусклых) полос по ширине кольца. Дорожки расположены по диагонали к началу и концу зоны приложения нагрузки. Для двухрядных конических роликовых подшипников, когда сосредоточенная нагрузка приложена к вращающемуся внутреннему кольцу, на **рис. 4 (k)** изображена дорожка качения на наружном кольце под действием радиальной нагрузки, а на **рис. 4 (l)** – дорожка качения на наружном кольце при осевой нагрузке.

Если имеет место несоосность между внутренним и наружным кольцами, то приложение радиальной нагрузки вызывает появление дорожек качения на наружном кольце, как показано на **рис. 4 (m)**.

Рис. 3 Типичные следы вращения шариковых подшипников

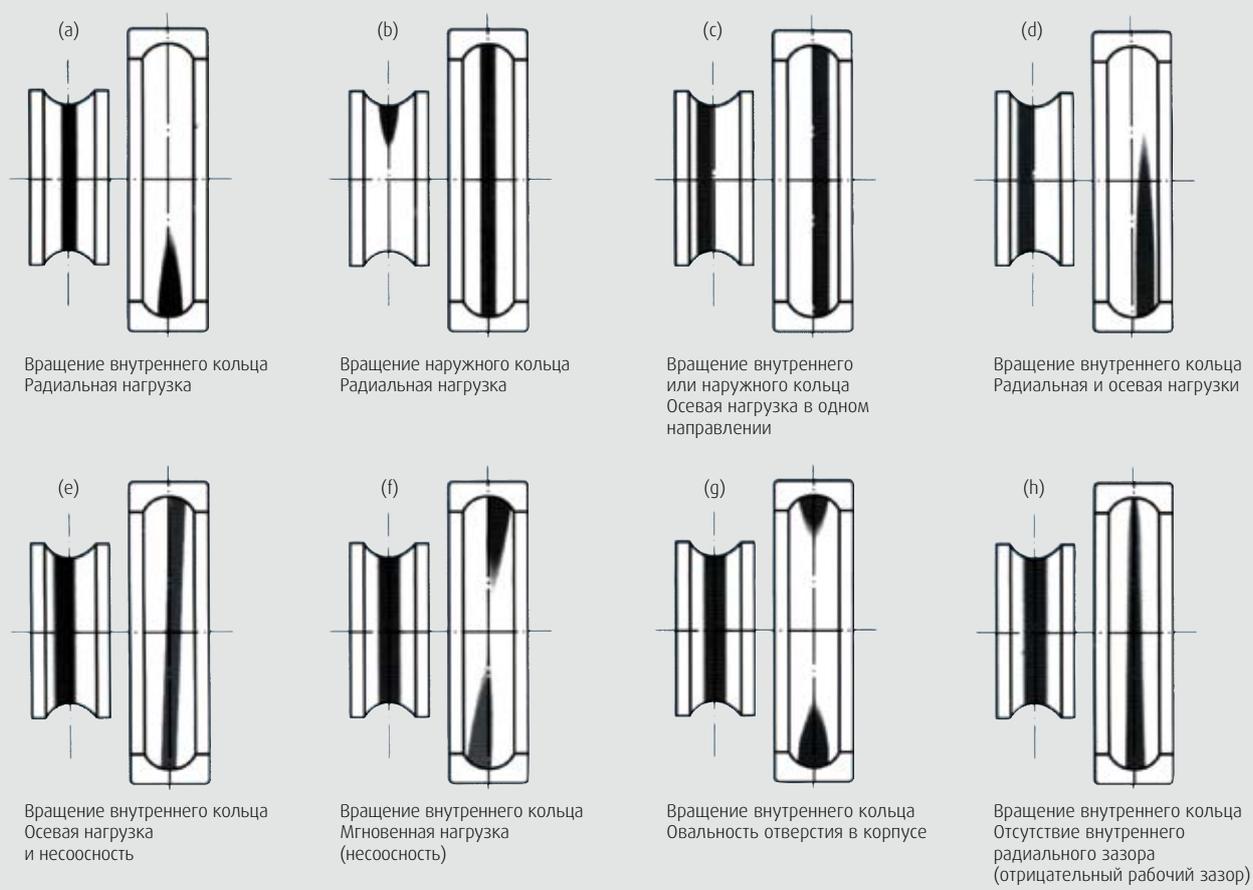
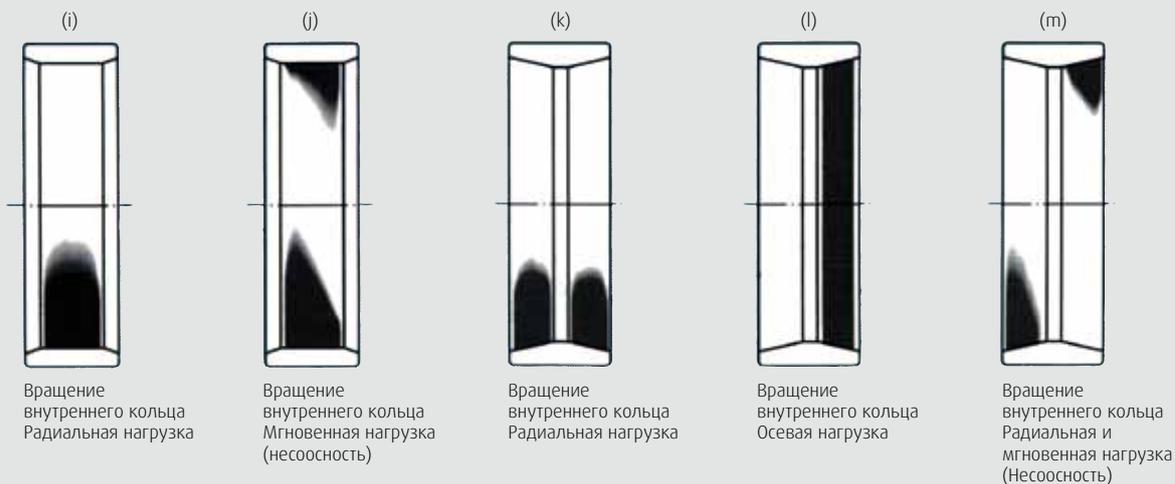


Рис. 4 Типичные следы вращения роликовых подшипников



Повреждение подшипников и профилактические мероприятия

Обычно, если подшипники качения эксплуатируются правильно, они достигают своего прогнозируемого усталостного срока службы. Однако, часто подшипники выходят из строя преждевременно в результате ошибок, которых можно было избежать. В отличие от усталостного разрушения, преждевременное разрушение вызвано ошибочным монтажом, несоблюдением правил эксплуатации, недостаточной смазкой, проникновением инородного вещества или повышенным тепловыделением.

Например, одной из причин преждевременного выхода из строя является скол на кромке, который может появиться вследствие недостаточной смазки, использования неподходящего смазочного материала, несовершенной системы смазки, проникновения инородного вещества, ошибки при монтаже подшипника, чрезмерных отклонений формы вала или вследствие комбинации перечисленных факторов. Если на данный момент известны все условия, то путем изучения природы неполадки и возможных причин ее возникновения могут быть приняты соответствующие профилактические меры как до, так и после поломки, независимо от особенностей применения, условий работы и условий окружающей среды. Удачные профилактические меры снизят или предотвратят повторное возникновение подобных неполадок.

Страницы 19–41 содержат примеры повреждений подшипников и меры по их предотвращению. Обращайтесь за справкой к этим разделам, если необходимо определить причину неполадок. Кроме того, в качестве справочного руководства для быстрого ознакомления может оказаться полезной таблица диагностики подшипников в Приложении.

Усталостное отслаивание

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
Усталостное отслаивание представляет собой откалывание мелких частиц материала подшипника от гладкой поверхности следов вращения или элементов качения в результате явления усталости при качении, в связи с чем возникают участки с шероховатой и крупнозернистой структурой поверхности.	<ul style="list-style-type: none"> › Чрезмерная нагрузка › Некачественный монтаж (несоосность) › Мгновенная нагрузка › Проникновение инородных частиц, проникновение воды › Недостаточная смазка, несоответствующий смазочный материал › Неправильный зазор в подшипнике › Несоответствующая точность обработки поверхности вала или корпуса, неравномерная жесткость корпуса, большой изгиб вала › Развитие ржавчины, следов язвенной коррозии, размазывание, выбоины (бринеллирование) 	<ul style="list-style-type: none"> › Пересмотреть условия эксплуатации подшипника и проверить режим нагрузки › Усовершенствовать технологию монтажа › Улучшить уплотнение, не допускать коррозии во время простоя › Использовать смазочный материал с подходящей вязкостью, улучшить способ смазки › Проверить точность обработки поверхностей вала и корпуса › Проверить внутренний зазор подшипника



Фото 1.1
Деталь: Внутреннее кольцо радиально-упорного шарикового подшипника
Симптом: Усталостное отслаивание на половине поверхности дорожки качения
Причина: Недостаточная смазка вследствие попадания охлаждающей жидкости в подшипник



Фото 1.2
Деталь: Внутреннее кольцо радиально-упорного шарикового подшипника
Симптом: Усталостное отслаивание по диагонали вдоль следов вращения
Причина: несоосность между валом и корпусом в результате неправильного монтажа



Фото 1.3
Деталь: Внутреннее кольцо радиального шарикового подшипника
Симптом: Усталостное отслаивание следов вращения, соответствующее шагу шариков
Причина: Выбоины в результате ударной нагрузки при монтаже



Фото 1.4
Деталь: Внутреннее кольцо радиально-упорного шарикового подшипника
Симптом: Усталостное отслаивание следов вращения, соответствующее шагу шариков
Причина: Выбоины в результате ударной нагрузки в неподвижном состоянии

Усталостное отслаивание



Фото 1.5
Деталь: Наружное кольцо с фото 1.4
Симптом: Усталостное отслаивание поверхности следов вращения, соответствующее шагу шариков
Причина: Выбоины в результате ударной нагрузки в неподвижном состоянии



Фото 1.6
Деталь: Шарика с фото 1.4
Симптом: Усталостное отслаивание поверхности шарика
Причина: Выбоины в результате ударной нагрузки в неподвижном состоянии



Фото 1.7
Деталь: Внутреннее кольцо подшипника качения со сферическими роликами
Симптом: Усталостное отслаивание только одного следа вращения по всей периферии
Причина: Чрезмерная осевая нагрузка



Фото 1.8
Деталь: Наружное кольцо с фото 1.7
Симптом: Усталостное отслаивание только одного следа вращения по всей периферии
Причина: Чрезмерная осевая нагрузка



Фото 1.9
Деталь: Внутреннее кольцо подшипника качения со сферическими роликами
Симптом: Усталостное отслаивание только одного ряда следов вращения
Причина: Недостаточная смазка



Фото 1.10
Деталь: Ролики цилиндрического роликового подшипника
Симптом: Преждевременное усталостное отслаивание в осевом направлении поверхности ролика
Причина: Царапины, вызванные неправильным монтажом

Выкрашивание

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
Тусклые или мутные пятна на поверхности вместе с незначительным общим износом. Из таких тусклых участков развиваются микротрещины по направлению вглубь кольца, на глубину 5-10 мкм. Маленькие частицы материала, отделяясь, вызывают в различных местах вторичное усталостное выкрашивание.	<ul style="list-style-type: none">› Неподходящий смазочный материал› Попадание инородных частиц в смазочный материал› Шероховатая поверхность вследствие недостаточной смазки› Шероховатость поверхности сопряженных движущихся частей	<ul style="list-style-type: none">› Выбрать подходящий смазочный материал› Улучшить механизм уплотнения› Улучшить качество обработки поверхности сопряженных движущихся частей



Фото 2.1

Деталь: Внутреннее кольцо подшипника качения со сферическими роликами

Симптом: Характерное выкрашивание круглой формы по центру поверхности следов вращения

Причина: Недостаточная смазка



Фото 2.2

Деталь: Увеличение примера с фото 2.1



Фото 2.3

Деталь: Сферические ролики с фото 2.1

Симптом: Характерное выкрашивание круглой формы по центру поверхности роликов

Причина: Недостаточная смазка



Фото 2.4

Деталь: Наружное кольцо подшипника качения со сферическими роликами

Симптом: Выкрашивание вблизи буртика следов вращения по всей периферии

Причина: Недостаточная смазка

Образование задиров

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
<p>Одним из довольно часто встречающихся видов преждевременного отказа подшипников качения является образование на дорожках качения и поверхностях тел качения линейных ударов. Происходит это явление при легких (незначительных) заклиниваниях по каким-либо причинам тел качения в гнезде сепаратора (например, скольжения из-за избыточного или недостаточного количества смазки или неправильного выбора ее марки).</p>	<ul style="list-style-type: none"> › Чрезмерная нагрузка, чрезмерный предварительный натяг › Недостаточная смазка › Частицы, попавшие на поверхность › Наклон внутреннего и наружного колец › Изгиб вала › Низкая точность обработки поверхностей вала и корпуса 	<ul style="list-style-type: none"> › Проверить величину нагрузки › Отрегулировать предварительный натяг › Улучшить смазочный материал и способ смазки › Проверить точность обработки поверхностей вала и корпуса



Фото 3.1
Деталь: Внутреннее кольцо подшипника качения со сферическими роликами
Симптом: Задир на поверхности буртика внутреннего кольца
Причина: Проскальзывание роликов вследствие резкого ускорения и торможения



Фото 3.2
Деталь: Сферические ролики с фото 3.1
Симптом: Задир на краю ролика
Причина: Проскальзывание роликов вследствие резкого ускорения и торможения



Фото 3.3
Деталь: Внутреннее кольцо конического упорного роликоподшипника
Симптом: Задир на поверхности буртика внутреннего кольца
Причина: Инородные частицы смешиваются со смазочным материалом и разрывают масляную пленку под воздействием чрезмерной нагрузки



Фото 3.4
Деталь: Ролики двухрядного цилиндрического роликоподшипника
Симптом: Задир на краю ролика
Причина: Недостаточная смазка и чрезмерная осевая нагрузка



Фото 3.5
Деталь: Внутреннее кольцо сферического упорного роликоподшипника
Симптом: Задиране на поверхности внутреннего кольца
Причина: Частицы износа, попадающие на поверхность, и чрезмерная осевая нагрузка



Фото 3.6
Деталь: Бочкообразные ролики с фото 3.5
Симптом: Задиране на краю ролика
Причина: Частицы износа, попадающие на поверхность, и чрезмерная осевая нагрузка



Фото 3.7
Деталь: Сепаратор радиального шарикового подшипника
Симптом: Задиры в ячейках сепаратора из прессованной стали
Причина: Попадание инородных частиц

Размазывание

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
Размазывание является поверхностным дефектом, который возникает при наличии малых закаливаний между элементами подшипника, вызванных разрывом слоя смазки и/или скольжением. Образование шероховатости на поверхности происходит вместе с оплавлением поверхности.	<ul style="list-style-type: none"> › Высокая скорость и небольшая нагрузка › Резкое ускорение/торможение › Несоответствующий смазочный материал › Проникновение воды 	<ul style="list-style-type: none"> › Улучшить предварительный натяг › Улучшить зазор в подшипнике › Использовать смазочный материал с хорошей способностью образования смазочного слоя › Улучшить способ смазки › Улучшить механизм уплотнения



Фото 4.1
Деталь: Внутреннее кольцо подшипника качения с цилиндрическими роликами
Симптом: Размазывание по периферии поверхности следов вращения
Причина: Проскальзывание роликов вследствие избыточного количества пластичной смазки



Фото 4.2
Деталь: Наружное кольцо с фото 4.1
Симптом: Размазывание по периферии поверхности следов вращения
Причина: Проскальзывание роликов вследствие избыточного количества пластичной смазки



Фото 4.3
Деталь: Внутреннее кольцо подшипника качения со сферическими роликами
Симптом: Размазывание по периферии поверхности следов вращения
Причина: Недостаточная смазка



Фото 4.4
Деталь: Наружное кольцо с фото 4.3
Симптом: Размазывание по периферии поверхности следов вращения
Причина: Недостаточная смазка



Фото 4.5

Деталь: Внутреннее кольцо подшипника качения со сферическими роликами

Симптом: Частичное размазывание по периферии поверхности дорожки качения

Причина: Недостаточная смазка

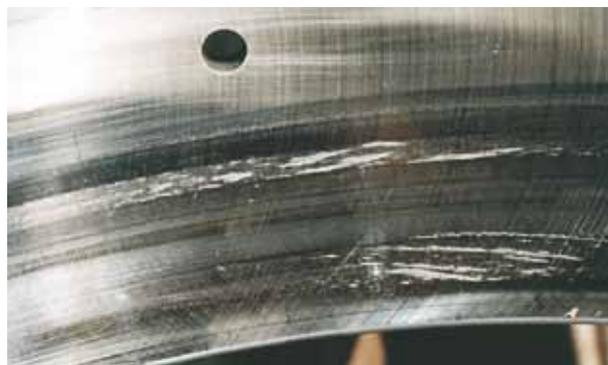


Фото 4.6

Деталь: Наружное кольцо с фото 4.5

Симптом: Частичное размазывание по периферии поверхности дорожки качения

Причина: Недостаточная смазка



Фото 4.7

Деталь: Сферические ролики с фото 4.5

Симптом: Размазывание в центре поверхности ролика

Причина: Недостаточная смазка

Сколы

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
Скол представляет собой образование мелких частей, которые отламываются в результате чрезмерной нагрузки или ударной нагрузки, действующей локально на часть угла ролика или буртика кольца с дорожкой качения.	<ul style="list-style-type: none"> › Удар в процессе монтажа › Чрезмерная нагрузка › Небрежное обращение, падение подшипника 	<ul style="list-style-type: none"> › Усовершенствовать технологию монтажа (горячая посадка, использование соответствующих приспособлений) › Пересмотреть характер нагрузки › Обеспечить достаточный резерв и обслуживание буртиков подшипников



Фото 5.1
Деталь: Внутреннее кольцо двухрядного цилиндрического роликоподшипника
Симптом: Скалывание в центре буртика
Причина: Чрезмерная нагрузка в процессе монтажа



Фото 5.2
Деталь: Внутреннее кольцо конического роликоподшипника
Симптом: Скол на буртике конической поверхности
Причина: Сильное ударное воздействие в процессе монтажа



Фото 5.3
Деталь: Внутреннее кольцо сферического упорного роликоподшипника
Симптом: Скол на большом буртике
Причина: Многократно повторяющаяся нагрузка



Фото 5.4
Деталь: Наружное кольцо радиального роликоподшипника с игольчатыми роликами
Симптом: Скол на буртике наружного кольца
Причина: Наклон роликов вследствие чрезмерной нагрузки (Игольчатые ролики имеют большую длину в сравнении с диаметром. При чрезмерной или неравномерной нагрузке ролики наклоняются и оказывают давление на буртики.)

Трещины

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
Трещины на кольце с дорожкой качения и на элементах качения. Продолжение эксплуатации подшипника в таком состоянии приводит к еще большим трещинам и расколам.	<ul style="list-style-type: none"> › Посадка с чрезмерным натягом › Чрезмерная нагрузка, ударная нагрузка › Развитие усталостного выкрашивания › Тепловыделение и истирание, вызванные контактом между деталями и дорожкой качения › Тепловыделение вследствие ползучести › Малый угол конусности вала › Нецилиндричность вала › Влияние фаски кольца подшипника вследствие большого радиуса закругления участка вала 	<ul style="list-style-type: none"> › Устранить влияние фаски › Проверить режим нагрузки › Усовершенствовать технологию монтажа › Использовать соответствующую форму посадочной поверхности вала



Фото 6.1

Деталь: Наружное кольцо двухрядного цилиндрического роликоподшипника
Симптом: Термические трещины на боковой поверхности наружного кольца
Причина: Повышенное тепловыделение вследствие контактного скольжения между сопряженными деталями и поверхностью наружного кольца



Фото 6.2

Деталь: Ролик конического упорного роликоподшипника
Симптом: Термические трещины на торцевой поверхности ролика
Причина: Тепловыделение вследствие скольжения по буртику внутреннего кольца в условиях плохой смазки



Фото 6.3

Деталь: Наружное кольцо двухрядного цилиндрического роликоподшипника
Симптом: Трещины, направленные наружу в осевом и периферийном направлениях от очага развития усталостного выкрашивания на поверхности следов вращения
Причина: Усталостное выкрашивание, развившееся из трещины вследствие ударного воздействия



Фото 6.4

Деталь: Катящееся наружное кольцо двухрядного цилиндрического роликоподшипника (вращение наружного кольца)
Симптом: Трещины на наружной поверхности
Причина: Плоский износ и тепловыделение вследствие отсутствия вращения наружного кольца

Трещины



Фото 6.5

Деталь: Поверхность следов вращения наружного кольца с фото 6.4

Симптом: Трещина наружной поверхности, образовавшаяся на дорожке качения



Фото 6.6

Деталь: Внутреннее кольцо подшипника качения со сферическими роликами

Симптом: Трещины в осевом направлении на поверхности следов вращения

Причина: Большие посадочные напряжения вследствие перепада температур между валом и внутренним кольцом



Фото 6.7

Деталь: Поперечный разрез внутреннего кольца с разломом с фото 6.6

Симптом: Очаг развития разрушения находится непосредственно под поверхностью следов вращения



Фото 6.8

Деталь: Ролик подшипника качения со сферическими роликами

Симптом: Трещины в осевом направлении на поверхности качения

Повреждение сепаратора

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
<ul style="list-style-type: none"> › Повреждения сепаратора включают в себя деформации сепаратора, разлом и износ › Разлом перемычек сепаратора › Деформация боковой поверхности › Износ поверхности ячеек › Износ направляющей поверхности 	<ul style="list-style-type: none"> › Некачественный монтаж (несоосность подшипника) › Небрежное обращение › Большая мгновенная нагрузка › Ударная нагрузка и сильные вибрации › Чрезмерная скорость вращения, резкое ускорение и торможение › Недостаточная смазка › Повышение температуры 	<ul style="list-style-type: none"> › Проверить технологию монтажа › Проверить температуру, вращение и режим нагрузки › Снизить вибрации › Подобрать тип сепаратора › Выбрать способ смазки и смазочный материал



Фото 7.1

Деталь: Сепаратор радиального шарикового подшипника
Симптом: Разрушение ячеек сепаратора из штампованной стали



Фото 7.2

Деталь: Сепаратор радиально-упорного шарикового подшипника
Симптом: Разрушение перемычек ячеек чугунного сепаратора, подвергнутого механической обработке
Причина: Разрушающее воздействие нагрузки на сепаратор вследствие несоосности при сборке между внутренним и наружным кольцами



Фото 7.3

Деталь: Сепаратор радиально-упорного шарикового подшипника
Симптом: Разрушение сепаратора из высокопрочной латуни, подвергнутого механической обработке



Фото 7.4

Деталь: Сепаратор конического роликового подшипника
Симптом: Разрушение перемычек сепаратора из штампованной стали

Повреждение сепаратора



Фото 7.5

Деталь: Сепаратор радиально-упорного шарикового подшипника

Симптом: Деформация сепаратора из штампованной стали

Причина: Ударная нагрузка вследствие небрежного обращения



Фото 7.6

Деталь: Сепаратор цилиндрического роликового подшипника

Симптом: Деформация боковой поверхности сепаратора из высокопрочной латуни, подвергнутой механической обработке

Причина: Сильное ударное воздействие в процессе монтажа



Фото 7.7

Деталь: Сепаратор цилиндрического роликового подшипника

Симптом: Деформация и износ сепаратора из высокопрочной латуни, подвергнутого механической обработке



Фото 7.8

Деталь: Сепаратор радиально-упорного шарикового подшипника

Симптом: Ступенчатый износ на наружной поверхности и поверхности ячеек сепаратора из высокопрочной латуни, подвергнутого механической обработке

Выщербливание

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
Если инородные частицы попадают в зону контакта качения, происходит выщербливание на поверхности следов вращения или поверхности элементов качения. Выщербливание может встречаться на поверхности в соответствии с шагом элементов качения в случае ударной нагрузки в процессе монтажа (выбоины Бринелля).	<ul style="list-style-type: none"> › Инородные частицы, например металлические частицы, попадают на рабочую поверхность › Чрезмерная нагрузка › Ударное воздействие в процессе транспортировки или монтажа 	<ul style="list-style-type: none"> › Промыть корпус › Улучшить механизм уплотнения › Профильтровать смазочное масло › Усовершенствовать технологию монтажа и метод обслуживания



Фото 8.1
Деталь: Внутреннее кольцо двухрядного конического роликоподшипника
Симптом: Матовая поверхность следов вращения
Причина: Инородные частицы попадают на рабочую поверхность



Фото 8.2
Деталь: Наружное кольцо двухрядного конического роликоподшипника
Симптом: Вмятины на поверхности следов вращения
Причина: Инородные частицы попадают на рабочую поверхность



Фото 8.3
Деталь: Внутреннее кольцо конического роликоподшипника
Симптом: Маленькие и большие вмятины по всей поверхности дорожки качения
Причина: Инородные частицы попадают на рабочую поверхность



Фото 8.4
Деталь: Бочкообразные ролики с фото 8.3
Симптом: Маленькие и большие вмятины на поверхности ролика
Причина: Инородные частицы попадают на рабочую поверхность

Поверхностное выкрашивание

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
Поверхность тел качения или поверхностей дорожек качения имеет матовый цвет и на них имеются ямки (лунки) от инородных тел.	<ul style="list-style-type: none">› Инородные частицы, например загустителем является предпочтительным› Контакт с атмосферной влагой› Недостаточная смазка	<ul style="list-style-type: none">› Улучшить механизм уплотнения› Тщательно отфильтровать смазочное масло› Использовать подходящий смазочный материал



Фото 9.1

Деталь: Наружное кольцо поворотного подшипника

Симптом: Поверхностное выкрашивание на поверхности дорожки качения

Причина: Ржавчина в нижней части вмятин



Фото 9.2

Деталь: Шарик с фото 9.1

Симптом: Поверхностное выкрашивание на поверхности элемента качения

Износ

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
Износ представляет собой повреждение поверхности вследствие трения скольжения на поверхности следов вращения, элементов качения, края ролика, поверхности буртика, ячеек сепаратора и т.д.	<ul style="list-style-type: none"> › Проникновение инородных частиц › Развитие ржавчины и электрохимической коррозии › Недостаточная смазка › Скольжение в результате неравномерного движения элементов качения 	<ul style="list-style-type: none"> › Улучшить механизм уплотнения › Очистить корпус › Тщательно отфильтровать смазочное масло › Проверить смазочный материал и способ смазки › Не допускать несоосность



Фото 10.1

Деталь: Внутреннее кольцо подшипника качения с цилиндрическими роликами

Симптом: Множественные следы язвенной коррозии в результате электрохимической коррозии и волнообразный износ на поверхности следов вращения

Причина: Электрохимическая коррозия



Фото 10.2

Деталь: Наружное кольцо подшипника качения со сферическими роликами

Симптом: Износ имеет волнообразную или вогнуто-выпуклую структуру на нагруженной стороне поверхности следов вращения

Причина: Попадание инородных частиц при циклических вибрациях в неподвижном состоянии



Фото 10.3

Деталь: Внутреннее кольцо двухрядного конического роликоподшипника

Симптом: Фреттинг-износ следов вращения и ступенчатый износ на поверхности буртика

Причина: Развитие истирания в результате чрезмерной нагрузки в неподвижном состоянии



Фото 10.4

Деталь: Бочкообразные ролики с фото 10.3

Симптом: Ступенчатый износ на торцевой поверхности головки ролика

Причина: Развитие истирания в результате чрезмерной нагрузки в неподвижном состоянии

Истирание

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
Износ происходит вследствие периодического скольжения между двумя поверхностями. Истирание возникает на поверхности посадки, а также на поверхности контакта между дорожкой качения и элементами качения. Фреттинг-коррозия (истирание) является альтернативным термином для описания красновато-коричневых или черных частиц износа.	<ul style="list-style-type: none">› Недостаточная смазка› Вибрации малой амплитуды› Недостаточный натяг посадки	<ul style="list-style-type: none">› Использовать подходящий смазочный материал› Применить предварительный натяг› Проверить посадку с натягом› Нанести слой смазочного материала на поверхность посадки



Фото 11.1

Деталь: Внутреннее кольцо радиального шарикового подшипника

Симптом: Истирание на поверхности отверстия

Причина: Вибрации



Фото 11.2

Деталь: Внутреннее кольцо радиально-упорного шарикового подшипника

Симптом: Значительное истирание по всей периферии поверхности отверстия

Причина: Посадка с недостаточным натягом

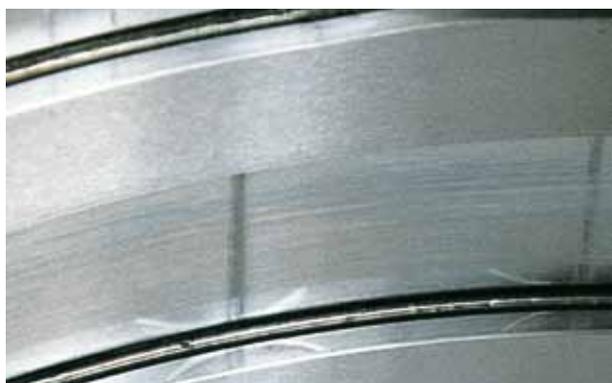


Фото 11.3

Деталь: Наружное кольцо двухрядного цилиндрического роликоподшипника

Симптом: Истирание на поверхности следов вращения с интервалом, соответствующим шагу роликов

Ложное бринеллирование

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
Подобно различным типам истирания, ложное бринеллирование представляет собой образование выбоин, имеющих сходство с вмятинами Бринелля, и происходит вследствие износа, вызванного вибрациями и колебаниями в точках контакта между элементами качения и дорожкой качения.	<ul style="list-style-type: none">› Колебания и вибрации неподвижного подшипника, например, в период транспортировки› Колебательное движение с малой амплитудой› Недостаточная смазка	<ul style="list-style-type: none">› Оберегать вал и корпус во время транспортировки› Транспортировать подшипники с отдельно упакованными внутренним и наружным кольцами› Уменьшить вибрации с помощью предварительного натяга› Использовать подходящий смазочный материал



Фото 12.1

Деталь: Внутреннее кольцо радиального шарикового подшипника
Симптом: Ложное бринеллирование на дорожке качения
Причина: Вибрации от внешнего источника в неподвижном состоянии



Фото 12.2

Деталь: Наружное кольцо с Фото 12.1
Симптом: Ложное бринеллирование на дорожке качения
Причина: Вибрации от внешнего источника в неподвижном состоянии



Фото 12.3

Деталь: Наружное кольцо упорного подшипника качения со сферическими роликами
Симптом: Ложное бринеллирование поверхности следов вращения, соответствующее шагу шариков
Причина: Циклическая вибрация с малым углом осцилляции



Фото 12.4

Деталь: Ролики цилиндрического роликового подшипника
Симптом: Ложное бринеллирование на поверхности ролика
Причина: Вибрации от внешнего источника в неподвижном состоянии

Ползучесть

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
<p>Ползучесть представляет собой явление, при котором имеет место относительное скольжение на поверхностях посадки и, в связи с этим, возникает зазор на посадочных поверхностях. Ползучесть приводит к глянцеватому внешнему виду поверхности, иногда с образованием задигов или износом.</p>	<ul style="list-style-type: none"> › Недостаточный натяг или посадка с зазором › Недостаточное уплотнение сальника 	<ul style="list-style-type: none"> › Проверить натяг посадки, не допускать вращения › Исправить уплотнение сальника › Исследовать точность обработки вала и корпуса › Создать натяг в осевом направлении › Уплотнить боковую поверхность следов вращения › Применить клей для поверхности посадки › Нанести слой смазочного материала на поверхность посадки



Фото 13.1

Деталь: Внутреннее кольцо подшипника качения со сферическими роликами

Симптом: Ползучесть, сопровождаемая образованием задигов на поверхности отверстия

Причина: Посадка с недостаточным натягом



Фото 13.2

Деталь: Наружное кольцо подшипника качения со сферическими роликами

Симптом: Ползучесть по всей периферии наружной поверхности

Причина: Посадка с зазором между наружным кольцом и корпусом

Схватывание

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
Если происходит резкий перегрев в процессе вращения, подшипник изменяет цвет. Далее, следы вращения, элементы качения и сепаратор размягчаются, оплавляются и деформируются.	<ul style="list-style-type: none"> › Недостаточная смазка › Чрезмерная нагрузка (чрезмерный предварительный натяг) › Чрезмерная частота вращения › Чрезмерно малый внутренний зазор › Попадание воды и инородных частиц › Низкая точность изготовления вала и корпуса, чрезмерный изгиб вала 	<ul style="list-style-type: none"> › Исследовать смазочный материал и способ смазки › Еще раз проверить пригодность выбранного типа подшипника › Исследовать предварительный натяг, зазор в подшипнике и посадку › Улучшить механизм уплотнения › Проверить точность обработки вала и корпуса › Усовершенствовать технологию монтажа



Фото 14.1

Деталь: Внутреннее кольцо подшипника качения со сферическими роликами

Симптом: Дорожка качения изменила цвет и оплавилась. Частицы изнашивания сепаратора прилипли к дорожке качения

Причина: Недостаточная смазка



Фото 14.2

Деталь: Бочкообразные ролики с фото 14.1

Симптом: Изменение цвета и оплавление поверхности качения ролика, адгезия частиц изнашивания сепаратора

Причина: Недостаточная смазка



Фото 14.3

Деталь: Внутреннее кольцо радиально-упорного шарикового подшипника

Симптом: Изменение цвета следов вращения, оплавление на интервале, соответствующем шагу шариков

Причина: Чрезмерный предварительный натяг



Фото 14.4

Деталь: Наружное кольцо с фото 14.3

Симптом: Изменение цвета следов вращения, оплавление на интервале, соответствующем шагу шариков

Причина: Чрезмерный предварительный натяг



Фото 14.5

Деталь: Шарики и сепаратор с фото 14.3

Симптом: Сепаратор оплавился, шарики изменили цвет и оплаввились

Причина: Чрезмерный предварительный натяг

Коррозия от воздействия электрического тока

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
<p>Когда через подшипник проходит электрический ток, происходят дуговой пробой и горение тонкого слоя смазки в точках контакта между дорожкой и элементами качения. Точки контакта локально оплавляются, в результате чего появляются дугообразные канавки, которые заметны невооруженным глазом. При увеличении этих канавок обнаруживаются кратероподобные углубления, которые указывают на плавление от искрения.</p>	<ul style="list-style-type: none"> › Электрическая разность потенциалов между внутренним и наружным кольцами › Разность электрических потенциалов высокой частоты, сгенерированные инструментом или подложкой, расположенной рядом с подшипником 	<ul style="list-style-type: none"> › Проектировать электрические цепи таким образом, чтобы не допустить протекания тока через подшипник › Изолировать подшипник



Фото 15.1
Деталь: Внутреннее кольцо конического роликоподшипника
Симптом: Полосовой характер коррозии на поверхности следов вращения



Фото 15.2
Деталь: Бочкообразные ролики с фото 15.1
Симптом: Полосовой характер коррозии на поверхности ролика



Фото 15.3
Деталь: Внутреннее кольцо подшипника качения с цилиндрическими роликами
Симптом: Характерный полосовой след электрохимической коррозии, сопровождаемый следами язвенной коррозии на поверхности следов вращения



Фото 15.4
Деталь: Шарики радиального шарикового подшипника
Симптом: Электрохимическая коррозия придает темный цвет всей поверхности шариков

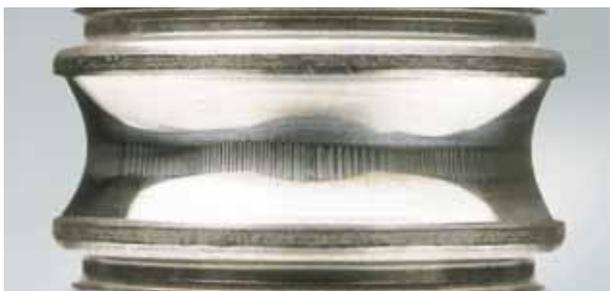


Фото 15.5
Деталь: Внутреннее кольцо шарикового подшипника
Симптом: Рефлексии на поверхности следов вращения



Фото 15.6
Деталь: Наружное кольцо шарикового подшипника
Симптом: Рефлексии на поверхности следов вращения (высокой частоты)

Ржавчина и коррозия

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
<p>Ржавчина и коррозия подшипников представляют собой пятна на поверхностях колец и элементов качения и могут встречаться с интервалом, соответствующим шагу элементов качения на кольцах или по всей поверхности подшипника.</p>	<ul style="list-style-type: none"> › Контакт с агрессивным газом или водой › Несоответствующий смазочный материал › Образование капель воды в результате конденсации влаги › Высокая температура и высокая влажность в неподвижном состоянии › Плохая профилактическая антикоррозионная обработка в период транспортировки › Неправильные условия хранения › Неправильное обслуживание 	<ul style="list-style-type: none"> › Улучшить механизм уплотнения › Исследовать способ смазки › Выполнять антикоррозионную обработку в период простоя › Улучшить условия хранения › Повысить уровень обслуживания подшипников



Фото 16.1

Деталь: Наружное кольцо подшипника качения с цилиндрическими роликами

Симптом: Ржавчина на поверхности буртика и поверхности дорожки качения

Причина: Недостаточная смазка в результате проникновения воды



Фото 16.2

Деталь: Наружное кольцо поворотного подшипника

Симптом: Ржавчина на поверхности следов вращения, соответствующая шагу шариков

Причина: Конденсация влаги в неподвижном состоянии подшипника



Фото 16.3

Деталь: Внутреннее кольцо подшипника качения со сферическими роликами

Симптом: Ржавчина на поверхности следов вращения, соответствующая шагу роликов

Причина: Попадание воды в смазочный материал



Фото 16.4

Деталь: Ролики сферического роликоподшипника

Симптом: Кратерообразная ржавчина на поверхности контакта качения. Разрушенный коррозией участок

Причина: Конденсация влаги в период хранения

Дефекты, вызванные монтажом

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
Царапины в виде прямых линий на поверхности дорожек качения или элементов качения, образовавшиеся в период монтажа или демонтажа подшипника.	<ul style="list-style-type: none">› Наклон внутреннего и наружного колец во время монтажа или демонтажа› Ударная нагрузка во время монтажа или демонтажа	<ul style="list-style-type: none">› Использовать соответствующую оправку и специальные приспособления› Избегать ударной нагрузки, использовать опрессовочную машину› Выравнивать смежные детали во время монтажа

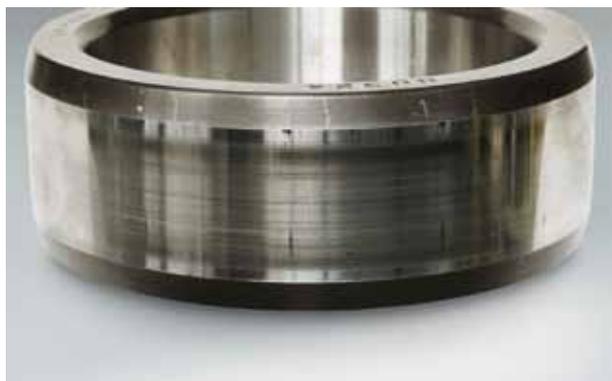


Фото 17.1

Деталь: Внутреннее кольцо подшипника качения с цилиндрическими роликами

Симптом: Царапины в осевом направлении на поверхности дорожки качения

Причина: Наклон внутреннего и наружного колец во время монтажа



Фото 17.2

Деталь: Наружное кольцо двухрядного цилиндрического роликоподшипника

Симптом: Царапины в осевом направлении на поверхности дорожки качения с интервалом, соответствующим шагу роликов

Причина: Наклон внутреннего и наружного колец во время монтажа



Фото 17.3

Деталь: Ролики цилиндрического роликового подшипника

Симптом: Царапины в осевом направлении на поверхности ролика

Причина: Наклон внутреннего и наружного колец во время монтажа

Изменение цвета

Характер повреждения	Вероятные причины	Профилактические меры
Изменение цвета сепаратора, элементов качения и следов вращения происходит в результате реакции смазочного материала и материала элементов подшипника при высокой температуре.	<ul style="list-style-type: none">› Недостаточная смазка› Масляная протрава вследствие реакции смазочного материала› Высокая температура	<ul style="list-style-type: none">› Улучшить способ смазки

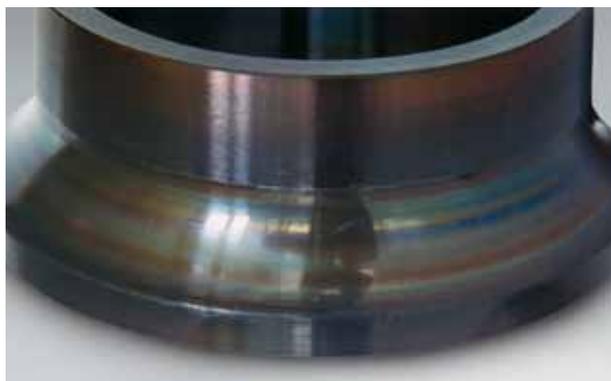


Фото 18.1

Деталь: Внутреннее кольцо радиально-упорного шарикового подшипника

Симптом: Синеватое или фиолетовое изменение цвета поверхности следов вращения

Причина: Тепловыделение вследствие недостаточной смазки



Фото 18.2

Деталь: Внутреннее кольцо 4-х точечного упорного шарикового подшипника

Симптом: Синеватое или фиолетовое изменение цвета поверхности следов вращения

Причина: Тепловыделение вследствие недостаточной смазки

Приложение:

Таблица диагностики подшипников

Наименование повреждения	Локализация (явление)	Причина												Замечания			
		Обслуживание		Окружение подшипника			Метод смазывания		Нагрузка			Скорость					
		Складирование-перевозка	Монтаж	Вал Корпус	Уплотняющее устройство	Вода-частицы изнашивания	Температура	Смазочный материал	Способ смазки	Чрезмерная нагрузка	Ударная нагрузка	Момент	Крайне малая нагрузка		Высокая скорость, сильное ускорение и торможение	Тряска-вибрации	Неподвижность
1. Усталостное выкрашивание	Дорожка качения, поверхность ролика		●	●	●		●	●	●	●						●	
2. Отслаивание	Дорожка качения, поверхность ролика				●		●	●				●	●				
	Наружная поверхность подшипника (контакт качения)			●*	●		●	●									* Сопряженные движущиеся части
3. Образование задиров	Торцевая поверхность края ролика, поверхность буртика		●	●	●		●	●	●	●			●				
	Направляющая поверхность сепаратора, поверхность ячеек сепаратора		●		●		●	●									
4. Размазывание	Дорожка качения, поверхность ролика				●		●	●				●	●				
5. Сколы	Буртик следов вращения, элементы качения	●	●	●					●	●							
6. Трещины	Следы вращения, элементы качения		●	●		●			●	●							
	Поверхность буртика, поверхность края ролика, направляющая поверхность сепаратора (термические трещины)			●				●	●	●							
7. Повреждение сепаратора	Деформация, (разлом)		●	●					●	●							
	Износ		●		●		●	●	●	●			●				
8. Выщербливание	Дорожка качения, поверхность ролика, (многочисленные мелкие выбоины)				●			●									
	Дорожка качения (частицы изнашивания на интервале, соответствующем шагу элементов качения)	●	●						●				●				
9. Поверхностное выкрашивание	Дорожка качения, поверхность ролика				●		●	●									
10. Износ	Дорожка качения, поверхность ролика, поверхность буртика, поверхность края ролика		●		●		●	●									
11. Истирание	Дорожка качения, поверхность ролика	●	●	●			●	●	●				●	●			
	Наружная поверхность подшипника и поверхность отверстия (Контакт с корпусом и валом)		●	●					●								
12. Ложное бринеллирование	Дорожка качения, поверхность ролика	●					●	●						●			
13. Ползучесть	Поверхность посадки		●	●		●	●*	●*	●				●				* Посадка с зазором
14. Схватывание	Дорожка качения, элемент качения, сепаратор		●	●	●		●	●	●	●			●			●	
15. Коррозия при воздействии электрического тока	Дорожка качения, поверхность ролика		●*	●*													* Электричество, проходящее через элемент качения
16. Ржавчина и коррозия	Дорожка качения, элемент качения, сепаратор	●	●		●	●	●	●									
17. Дефекты, вызванные монтажом	Дорожка качения, поверхность ролика		●	●													
18. Изменение цвета	Дорожка качения, элемент качения, сепаратор					●	●	●									

Замечание: Эта таблица не является исчерпывающим руководством. В ней содержатся только основные встречающиеся повреждения, причины и локализации повреждений.



Офисы продаж в Европе

Центральная, Восточная Европа и СНГ

NSK Polska Sp. z o.o.
Warsaw Branch
Ul. Migdałowa 4/73
02-796 Warszawa
Tel: +48 22 6451525
Fax: +48 22 6451529
Email: info-pl@nsk.com

Великобритания

NSK UK Ltd.
Northern Road, Newark
Nottinghamshire
NG24 2JF
Tel: +44 (0) 1636 605123
Fax: +44 (0) 1636 602775
Email: info-uk@nsk.com

Германия

NSK Deutschland GmbH
Harkortstrasse 15
40880 Ratingen
Tel: +49 (0) 2102 4810
Fax: +49 (0) 2102 4812290
Email: info-de@nsk.com

Испания

NSK Spain, S.A.
C/ Tarragona, 161 Cuerpo Bajo
2ª Planta, 08014 Barcelona
Tel: +34 93 2892763
Fax: +34 93 4335776
Email: info-es@nsk.com

Италия

NSK Italia S.p.A.
Via Garibaldi 215 - C.P. 103
20024 Garbagnate
Milanese (MI)
Tel: +39 02 995191
Fax: +39 02 99025778
Email: info-it@nsk.com

Норвегия

Nordic Sales Office
NSK Europe Norwegian Branch NUF
Østre Kullerød 5
N-3241 Sandefjord
Tel: +47 33 293160
Fax: +47 33 429002
Email: info-n@nsk.com

Турция

NSK Rulmanlari Orta Doğu Tic. Ltd. Şti
19 Mayıs Mah. Atatürk Cad.
Ulya Engin İş Merkezi No: 68 Kat. 6
PK.: 34734
Kozyatağı - İstanbul
Tel: +90 216 3550398
Fax: +90 216 3550399
Email: turkey@nsk.com

Франция

NSK France S.A.S.
Quartier de l'Europe
2, Rue Georges Guynemer
78283 Guyancourt Cedex
Tel: +33 (0) 1 30573939
Fax: +33 (0) 1 30570001
Email: info-fr@nsk.com

Швеция

NSK Sweden Office
Karolinen Företagscenter
Våxnäsgatan 10
SE-65340 Karlstad
Tel: +46 5410 3545
Fax: +46 5410 3544
Email: info-n@nsk.com

Южно Африканская Республика

NSK South Africa (Pty) Ltd.
27 Galaxy Avenue
Linbro Business Park
Sandton 2146
Tel: +27 (011) 458 3600
Fax: +27 (011) 458 3608
nsk-sa@nsk.com

Посетите наш веб-сайт: www.nskeurope.ru

Global NSK: www.nsk.com

