MOTORSERVICE
RHEINMETALL AUTOMOTIVE

Повреждения подшипников скольжения

KOLBENSCHMIDT

Группа Motorservice

Качество и сервис из одних рук

Группа Motorservice – это организация по сбыту продукции концерна Rheinmetall Automotive, активно действующая на мировом рынке обслуживания автомобилей. Она является ведущей фирмой, предлагающей компоненты двигателей для свободного рынка запасных частей. Широкий и всеобъемлющий ассортимент группы Motorservice, включающий в себя продукцию марок премиум-класса Kolbenschmidt, Pierburg, TRW Engine Components, а также марки BF, позволяет клиентам приобретать компоненты двигателей высшего качества из одних рук. Для решения задач торговых предприятий и мастерских она предлагает также широкий спектр услуг. Таким образом клиенты группы Motorservice значительно выигрывают от специализированного технического ноу-хау крупного поставщика мировой автомобильной промышленности.

Rheinmetall Automotive

Пользующийся хорошей репутацией поставщик мировой автомобильной промышленности

Rheinmetall Automotive представляет собой подразделение мобильности технологического концерна Rheinmetall Group. Предлагая продукцию марок премиум-класса Kolbenschmidt, Pierburg и Motorservice, Rheinmetall Automotive занимает на соответствующих рынках ведущие в мире позиции в таких областях, как снабжение воздухом, уменьшение содержания вредных веществ и насосы, а также по разработке и производству поршней, блоков цилиндров двигателей и подшипников скольжения, включая поставку запасных частей к ним. Низкий уровень выбросов вредных веществ, экономный расход топлива, надежность, качество и безопасность являются определяющими стимулами к созданию новаторских решений Rheinmetall Automotive.

1-е издание, май 2017 г.
Тов. № изделия 50 003 859-09

Редакция:
Motorservice, Technical Market Support

Разработка и производство:
Motorservice, Marketing
DIE NECKARPRINZEN GmbH, Heilbronn

Перепечатка, размножение и перевод, в том числе и отдельных частей, разрешены только с нашего предварительного письменного согласия и с указанием источника.

Сохраняем за собой право на внесение изменений и на отклонения в иллюстрациях. Любая ответственность исключена.

Издатель:
© MS Motorservice International GmbH

Ответственность

Все данные этой брошюры были тщательно исследованы и составлены. И всё же возможны ошибки, данные могут быть неверно переведены, может недоставать информации или предоставленная информация может тем временем устареть. В отношении правильности, полноты, актуальности или качества предоставленной информации мы не можем ни дать гарантии, ни взять на себя юридическую ответственность. Любая ответственность с нашей стороны за ущерб, особенно за прямой или косвенный, материальный или нематериальный, возникший в результате использования или неверного применения, а также из-за неполноты или неверности содержащейся в данной брошюре информации, исключается, если только это не произошло в результате умысла или грубой небрежности с нашей стороны.

Соответственно, мы не несём ответственности за ущерб, возникший по причине того, что то или иное предприятие по ремонту двигателей или механик не имеет соответствующей технической квалификации, необходимых знаний и опыта по ремонту.

Насколько описанные здесь технологические процессы и указания по ремонту применимы к будущим поколениям двигателей, предсказать невозможно; это должно быть рассмотрено в каждом отдельном случае предприятием по ремонту двигателей или мастерской.

Оглавление

1 |	Введение	04
2 |	Основы	05
2.1	Места установки подшипников в двигателе	05
2.2	Коренные и шатунные подшипники кривошипно-шатунного механизма	06
2.3	Функции подшипников скольжения	07
2.4	Строение подшипников скольжения	08
2.5	Демонтаж подшипников скольжения в случае повреждения	10
3 |	Износ из-за полусухого трения	12
3.1	Введение	12
3.2	Износ в период приработки	13
3.3	Места трения	14
3.4	Задиры	16
3.5	Особые случаи	18
3.5.1	Односторонний кромочный контакт	20
3.5.2	Одно- и разносторонний кромочный контакт	22
3.5.3	Двусторонний кромочный контакт	24
3.5.4	Широкий след износа центра вкладыша по окружности	26
3.5.5	След износа центра вкладыша в виде полосы	28
3.5.6	Износ в области противоположных поверхностей разъема	30
3.5.7	Двусторонний износ в области поверхностей разъема	32
3.5.8	Узкая область износа на гребне вкладыша подшипника	34
3.5.9	Узкие неизношенные полосы по краям подшипника	36
4 |	Повреждения под действием частиц	38
4.1	Введение	38
4.2	Образование бороздок	40
4.3	Внедрение частиц	42
4.4	Неравномерный грязевой след	44
4.5	Частицы на обратной стороне вкладыша подшипника	46
5 |	Эрозия и кавитация	48
5.1	Эрозия	48
5.2	Кавитация	49
6 |	Усталостные повреждения	52
6.1	Введение	52
6.2	Растрескивание и крошение антифрикционного слоя	54
6.3	Растрескивание и крошение подшипникового металла	55
7 |	Повреждения от перегрева	56
7.1	Введение	56
7.2	Температурные трещины	57
7.3	Места наплавления на рабочем слое	58
7.4	Изменения окраски рабочего слоя или обратной стороны вкладыша подшипника	59
8 |	Коррозия	60
8.1	Коррозия от трения/контактная коррозия	60
8.2	Химическая коррозия	62
9 |	Повреждения упорных пластин	64
10 |	Глоссарий	66

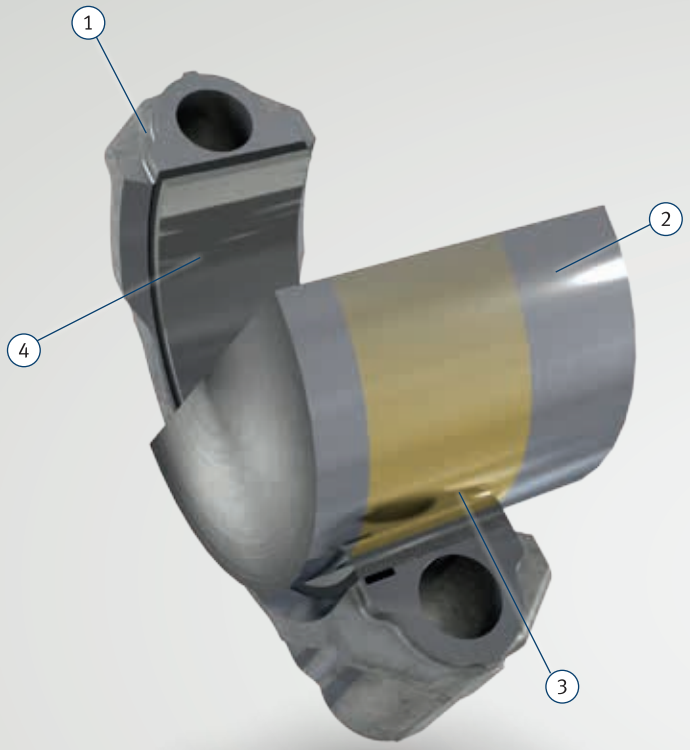
О брошюре

Данная брошюра содержит обзорную информацию о различных видах повреждений используемых в двигателях полувкладышей подшипников скольжения и упорных пластин. Она также поможет специалисту в диагностике и выявлении причин повреждений.

Чтобы определить порой неоднозначные причины повреждений, при оценке повреждений двигателей всегда требуется целостный подход. Нередко после ремонта двигателя снова возникают неисправности. Это связано с тем, что, несмотря на замену поврежденных деталей, не устраняются причины повреждений.

В большинстве случаев причину повреждения нелегко распознать из-за особой сложности взаимодействия отдельных компонентов расположенного внутри двигателя подшипника (см. рис.). Часто причина кроется не в самом подшипнике, а в окружающей его среде. Хотя подшипник, как правило, подвергается наибольшему повреждению, для устранения причины повреждения часто недостаточно одной лишь его замены.

Поэтому профессиональный ремонт двигателя требует сначала выявления действительной причины повреждения, исходя из которой могут быть выполнены надлежащие ремонтные работы.



1 Отверстие корпуса (пример: шатун):
- жесткость (эластичность и прочность)
- тепловая деформация
- производственные допуски
- качество поверхности
- моменты затяжки болтов

2 Шейка вала:
- материал (напр., чугунный или стальной вал)
- жесткость (эластичность и прочность)
- тепловая деформация
- производственные допуски
- качество поверхности

3 Смазывание:
- смазочный материал: вязкость, присадки
- маслоснабжение: уровень и давление масла, масляный насос, маслопроводы, масляный фильтр
- степень загрязнения

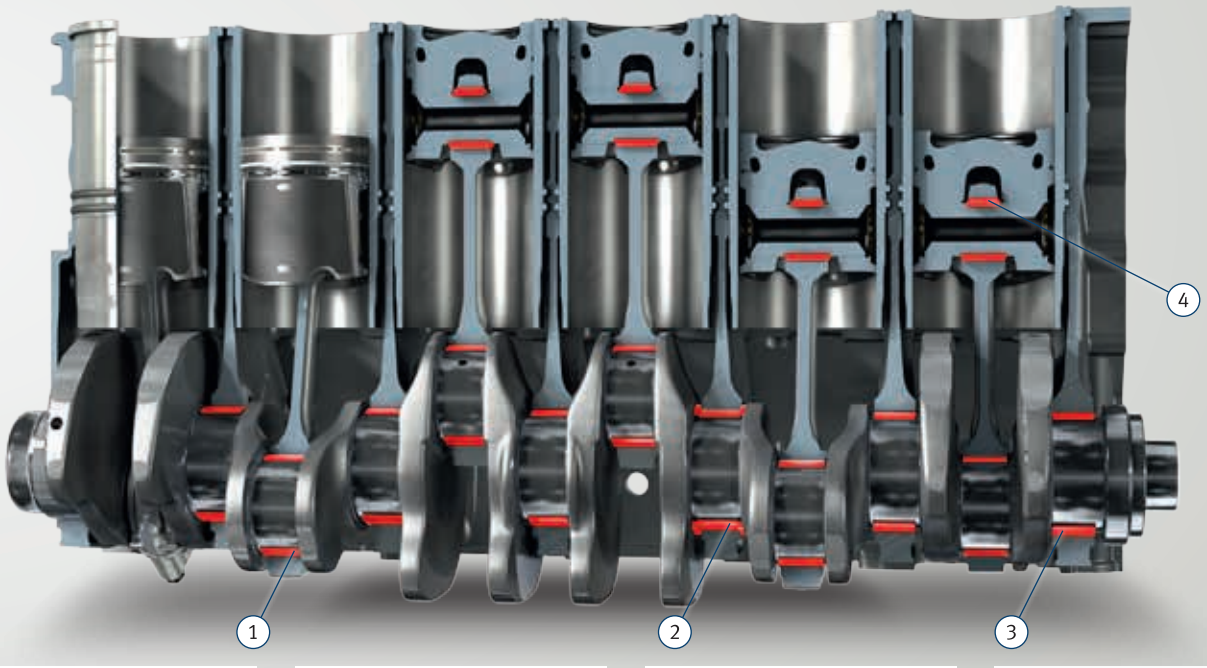
4 Вкладыш подшипника:
- материал: прочность, износостойкость, поведение в аварийном режиме, поглощательная способность
- производственные допуски
- качество поверхности

2.1 Места установки подшипников в двигателе

На рисунке представлены места установки подшипников в шестицилиндровом двигателе. Установлены семь коренных подшипников, причем один из них выполняет роль осевого подшипника. Между коренными подшипниками расположены шатунные подшипники – по одному на каждый цилиндр.

Для установки других подшипников, напр., распределительных валов, нижних головок шатунов и компенсационных валов, используются, как правило, не полувкладыши, а втулки подшипников скольжения.

В данной брошюре основной упор делается на полувкладыши, применяемые в кривошипно-шатунном механизме для установки подшипников шатунов и коленчатого вала.



1 Шатунный подшипник

2 Упорные пластины/ коренной или упорный подшипник

3 Коренной подшипник

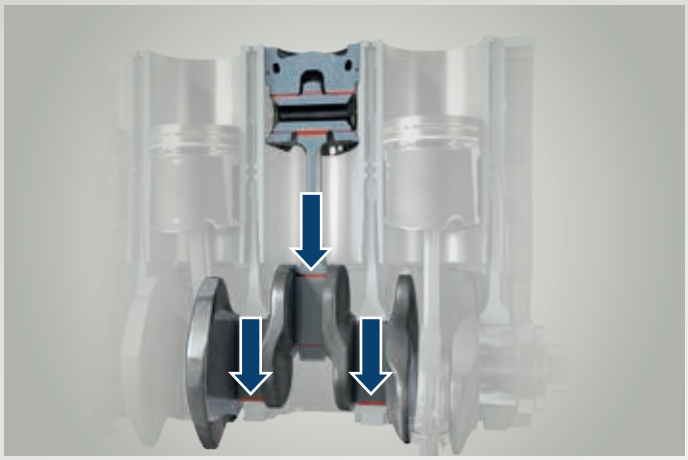
4 Втулка нижней головки шатуна

2.2 Коренные и шатунные подшипники кривошипно-шатунного механизма

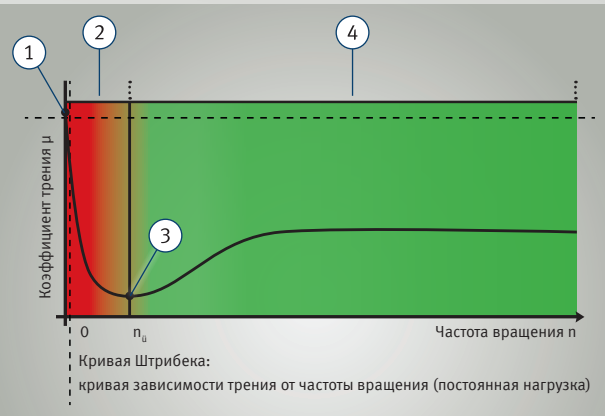
Шатунные подшипники соединяют шатуны с коленчатым валом. Возможны различные исполнения вкладышей подшипников со стороны шатуна и крышки, причем нагрузка на вкладыши со стороны шатуна намного выше, чем на вкладыши со стороны крышки. Возникающее в процессе сгорания усилие зажигания передается через них на коленчатый вал. У бензиновых двигателей высокой нагрузке подвергаются также вкладыши со стороны крышки, так как из-за более высоких, чем у дизельных двигателей, частот вращения воздействуют значительные силы инерции. Масло поступает в шатунные подшипники через отверстия в коренных подшипниках коленчатого вала.

Коленчатый вал устанавливается на коренных подшипниках. При этом также различают верхние и нижние вкладыши подшипников. У коренных подшипников повышенную нагрузку на нижний вкладыш оказывают усилия зажигания. Усилия, передаваемые от шатуна к коленчатому валу, воспринимаются несколькими коренными подшипниками, поэтому они подвергаются меньшей нагрузке, чем вкладыши шатунных подшипников со стороны шатунов. Верхний вкладыш коренного подшипника имеет смазочную канавку, которая служит для подачи масла к шатунным подшипникам через отверстия в коленчатом валу.

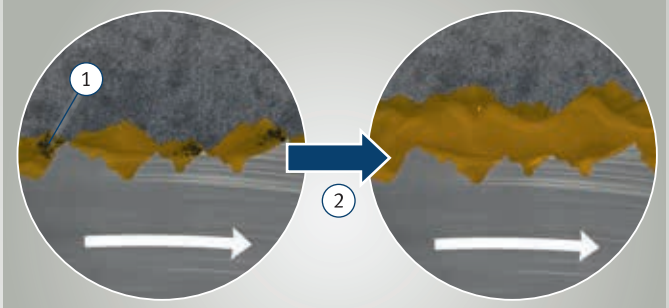
Для дополнительного восприятия осевых усилий, возникающих, например, при включении сцепления, в качестве осевых подшипников устанавливают подшипники с упорными пластинами или композитные подшипники.



2.3 Функции подшипников скольжения



1 Трение покоя
2 Полусухое трение
3 Переходная точка (переходная частота вращения)
4 Жидкостное трение



1 Истирание
2 Создание прочной масляной пленки

Основная функция подшипников скольжения заключается в восприятии и передаче усилий, возникающих между движущимися относительно друг друга компонентами. Кроме того, они снижают трение, обеспечивая тем самым вращательное движение почти без износа. Во время работы любого подшипника возникают силы трения, которые препятствуют вращательному движению и вырабатывают при этом тепло. Для уменьшения этих сил и отвода образующегося при трении тепла требуется масляная пленка между подшипником и шейкой вала. Отсутствие масляной пленки приводит к прямому контакту и сухому трению, вызывающему износ и истирание подшипника.

Гидродинамические подшипники скольжения, у которых только за счет относительного движения между вкладышами и шейкой образуется прочная масляная пленка, проходят до момента достижения определенной переходной частоты вращения зону полусухого трения.

При малой частоте вращения гидродинамического эффекта недостаточно для того, чтобы полностью отделить поверхности друг от друга. Это приводит к частичному соприкосновению твердых поверхностей скольжения, что может вызвать повреждение подшипника. Лишь по мере увеличения частоты вращения уменьшаются силы трения, и образуется постоянная масляная пленка. Возникает жидкостное трение, при котором обе поверхности скольжения полностью отделены друг от друга. С целью обеспечения надежной функции подшипников возникающее давление смазочного материала должно быть в зазоре подшипника достаточным для восприятия действующих на подшипник сил при отсутствии контакта поверхностей скольжения. Этим характеризуется идеальная рабочая точка подшипников скольжения. Но и этот вид трения приводит к образованию тепла, для отвода которого требуется достаточная смазка.

2.4 Строение подшипников скольжения

Согласно норме DIN 50282 («Материалы металлические антифрикционные для подшипников скольжения. Термины и определения поведения материалов в процессе эксплуатации»), трибологические свойства антифрикционного материала характеризуются такими понятиями, как режим работы при приработке, поглощательная способность, поведение в аварийном режиме, износостойкость и приспособляемость. Поэтому предъявляемые к подшипникам скольжения требования играют решающую роль при выборе материала.

Различают два семейства антифрикционных материалов:

Биметаллические подшипники
- композиты сталь-алюминий

Биметаллические подшипники состоят из стальной основы, подслоя из чистого алюминия и нанесенного подшипникового материала. Как правило, в качестве материала применяют алюминиевый сплав с добавлением олова, меди и кремния.

Триметаллические подшипники
- спеченные/литые композиты сталь-бронза или сталь-латунь с покрытием
- композиты сталь-алюминий с покрытием

В зависимости от области применения и предъявляемых специфических требований, наносимое на триметаллические подшипники покрытие представляет собой дополнительный антифрикционный слой в виде ионно-плазменного напыления (sputter), гальванического покрытия или слоя лака скольжения. Подшипниковый металл (сплав алюминия, бронзы или латуни) наносится на стальную основу методами плакирования, заливки или спекания. При необходимости, для предотвращения диффузии между подшипниковым материалом и рабочим слоем (покрытием) наносится подслой из никеля или сплава никеля.

Таким образом, для изготовления подшипников скольжения используют различные материалы, в зависимости от предъявляемых требований. Часто материал для более высоконагруженного вкладыша подшипника отличается от материала противоположного вкладыша. Например, у V-образного двигателя полувкладыш шатунного подшипника со стороны шатуна имеет ионно-плазменное напыление, а полувкладыш со стороны крышки изготавливают из композита сталь-алюминий без покрытия.

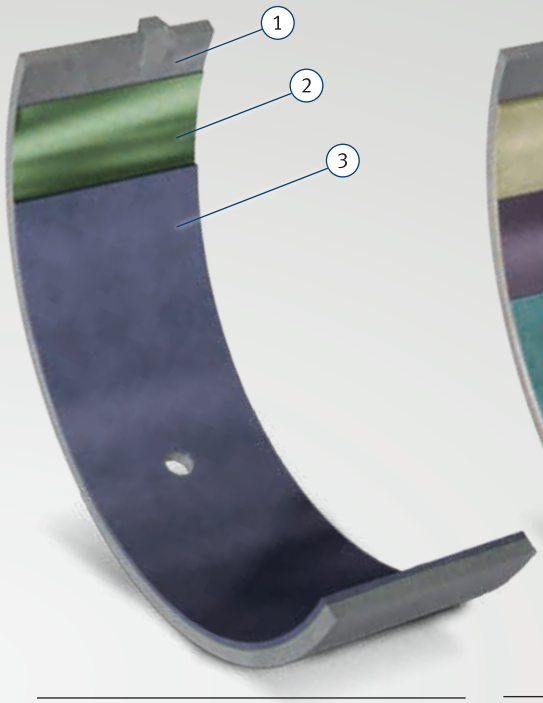
Для каждого случая повреждения приводится иллюстрация соответствующих вкладышей подшипников с типичной картиной повреждения. Следует учитывать, что у различных материалов возможны разные картины повреждений. По причине различных проявлений одной и той же картины повреждения возможны отличия от иллюстраций, приведенных в данной брошюре.

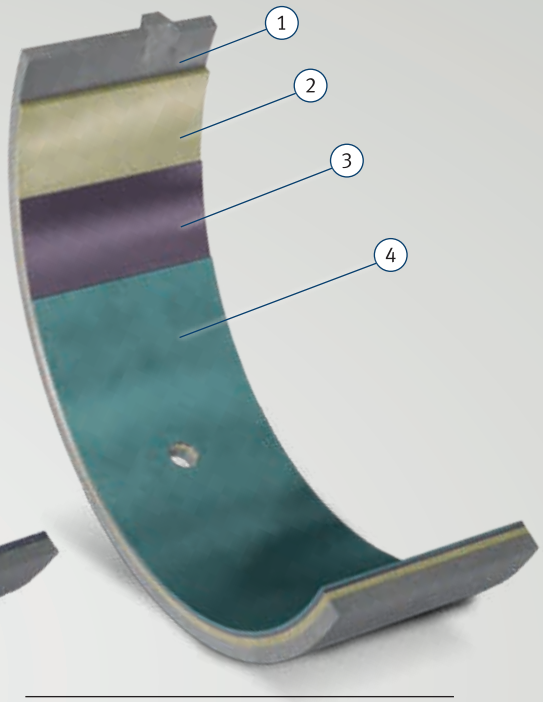
Биметаллические подшипники

Сталь-алюминий

Основа: сталь
Подшипниковый материал: алюминий

Строение подшипников





Биметаллические подшипники

1 Стальная основа
2 Подслой (при необходимости)
3 Подшипниковый материал

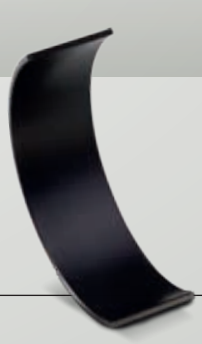
Триметаллические подшипники

1 Стальная основа
2 Подшипниковый материал
3 Подслой (при необходимости)
4 Рабочий слой (покрытие)

Триметаллические подшипники

Гальванизация

Основа: сталь
Подшипниковый материал: бронза
Подслой
Рабочий слой: гальванизация



Триметаллические подшипники

Лак скольжения

Основа: сталь
Подшипниковый материал: алюминий или бронза
Рабочий слой: лак скольжения

Триметаллические подшипники

Ионно-плазменное напыление (sputter)

Основа: сталь
Подшипниковый материал: латунь или бронза
Подслой (если бронза)
Рабочий слой: ионно-плазменное напыление (sputter)

2.5 Демонтаж подшипников скольжения в случае повреждения

При демонтаже вкладышей подшипников в случае повреждения необходимо учитывать следующее:

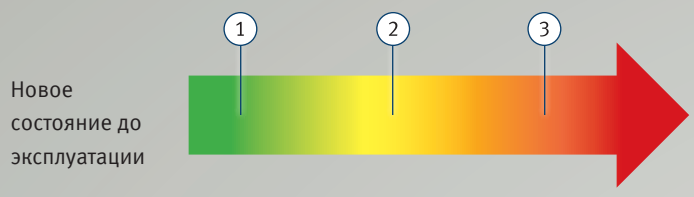
- На вкладышах подшипников следует отметить места посадки и позиции в ряду отверстий под коренные подшипники, чтобы лучше понять ход повреждения. Часто ход повреждения определяется не только по общему внешнему виду подшипника, но и по месту посадки. Например, в случае изгиба коленчатого вала односторонние следы износа образуются, в первую очередь, на первом и последнем коренных подшипниках.
- Необходимо задокументировать условия работы (длительность, вид нагрузки) и прочие воздействия, например, используемое масло, чтобы дать более точную оценку повреждения.
- Должны быть задокументированы нетипичные признаки других компонентов двигателя, например, коленчатого вала. В большинстве случаев видны повреждения детали, сопряженной с подшипником скольжения. Часто повреждения подшипника связаны с повреждениями других компонентов двигателя.
- Для последующего анализа следует взять пробу примененного масла и сохранить масляный фильтр. Можно определить и проанализировать остатки частиц, что позволит выяснить возможные причины повреждения.
- Необходимо задокументировать крутящие моменты, требуемые для ослабления болтов двигателя. В случае неправильного крутящего момента затяжки болтов возможно относительное движение вкладыша подшипника в отверстии корпуса.

Рис. 1: Затяжка болтов согласно предписаниям изготовителя

Рис. 2: Документирование мест посадки и позиций подшипников

Рис. 3: Сравнение старого и нового подшипников скольжения

3.1 Введение



1 Износ в период приработки
2 Места трения
3 Задиры

«Износ – это прогрессирующее удаление материала с поверхности твердого тела вследствие механических воздействий, т. е. контакта и относительного движения твердого, жидкого или газообразного сопряженного тела» (DIN 50320).

Причиной износа вкладышей подшипников является металлический контакт, возникающий в результате полусухого трения между подшипником и шейкой вала.

Это наблюдается, к примеру, каждый раз при запуске и выключении двигателя. В период между простоем и достижением переходной частоты вращения вала используемые подшипники проходят зону полусухого трения. В этой зоне прочность масляной пленки не всегда достаточна для того, чтобы полностью отделить друг от друга сопряженные скользящие части (см. главу: «Функции подшипников скольжения»). Поэтому особенно в автомобилях с автоматической системой старт-стоп важную роль играют износостойкие материалы. При низких частотах вращения и высокой нагрузке также возможны недостижение жидкостного трения и износ подшипника. Кроме того, к износу могут привести геометрические отклонения, возникающие из-за ошибок при монтаже или деформаций шеек и отверстий под подшипники.

В первые часы работы подшипника происходит приработка сопряженных скользящих частей. При этом сглаживаются выступы шероховатости и выравнивается профиль шероховатости. Данный износ, наблюдаемый во время приработки, желателен и не влияет на надежную работу подшипника. Однако при усилении воздействия полусухого трения обычный износ в период приработки приводит к появлению мест трения, затем – задиров и, в конечном итоге, к полному повреждению.

3.2 Износ в период приработки

Описание

- гладкие, блестящие места контакта в области основной нагрузки
- плавные границы начала и конца
- еще видна структура обработки подшипника

Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий (без покрытия)

По центру вкладыша заметна блестящая полоса износа, в то время как в области утончения и кромок подшипника следы работы не наблюдаются. Здесь еще видна структура обработки подшипника.

Оценка

В первые часы работы подшипника сглаживаются выступы шероховатости и выравнивается профиль шероховатости за счет контакта подшипника и шейки вала в зоне полусухого трения. Износ происходит преимущественно в области основной нагрузки на подшипник или в местах макроскопических отклонений формы (см. главу: «Особые случаи износа из-за полусухого трения»).

Износ в период приработки желателен и поэтому не считается повреждением подшипника.

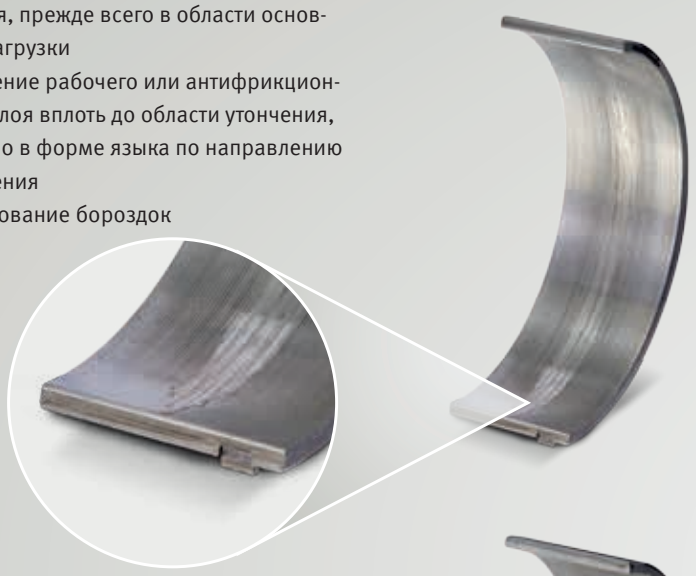
Указание:
Функция подшипника не нарушена.

Однако в случае усиления износа в период приработки, например, под длительным воздействием ошибки соосности и деформации, возможно появление мест трения, задиров или усталостных повреждений.

3.3 Места трения

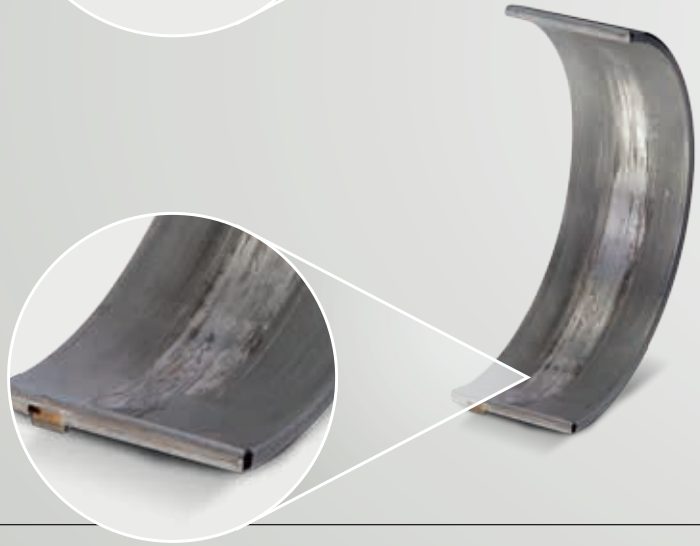
Описание

- гладкие, блестящие следы от полусухого трения, прежде всего в области основной нагрузки
- смещение рабочего или антифрикционного слоя вплоть до области утончения, обычно в форме языка по направлению вращения
- образование бороздок



Вкладыш шатунного подшипника со стороны крышки, композит сталь-алюминий

По центру вкладыша четко виден блестящий след от полусухого трения, с сопутствующим образованием бороздок. Наблюдается смещение пятна контакта вплоть до области утончения.



Вкладыш шатунного подшипника со стороны шатуна, композит сталь-латунь с ионно-плазменным напылением

Виден блестящий след от полусухого трения, частично с сопутствующим образованием бороздок. Напыленный слой смещен вплоть до области утончения. Расплавилась та область напыленного слоя, где уже образовались задиры.

Оценка

Места трения могут образоваться на месте следов запуска, если усилится воздействие полусухого трения. В случае временного характера возможно их сглаживание, работоспособность подшипника больше не ограничивается. Однако очень сложно дать этому оценку.

Когда полусухое трение принимает длительный характер, места трения упрочняются и могут привести к образованию бороздок на шейке. В результате этого на соответствующих вкладышах подшипников образуются задиры, причем из-за тепловой нагрузки происходит сваривание вкладыша с шейкой.

Возможные причины

- несвободные отверстия для смазки: причиной может быть неверная установка вкладышей подшипников или засорение отверстий для смазки – последнее часто встречается при использовании биологических видов топлива
- зазор для смазочного материала слишком мал: из-за этого не образуется прочная масляная пленка – причины: отклонения формы и геометрии вала или шеек, либо изгиб коленчатого вала
- зазор для смазочного материала слишком велик: не достигается гидродинамическое давление для образования прочной масляной пленки
- слишком низкие значения уровня или давления масла
- засоренный масляный фильтр
- неисправный масляный насос
- неплотность маслопроводов
- перегрузка подшипника: превышение расчетной нагрузки – причины: напр., чип-тюнинг или задиры на поршне
- воздействие частиц: частицы попадают в зазор подшипника и вызывают образование мест трения на шейке и подшипнике. Образование бороздок или мест внедрения частиц приводит к наслоению материала на кромках – следствие: значительное увеличение полусухого трения

Меры по устранению

В местах трения подшипников могут образоваться задиры. Поэтому важно заменить подшипники и устранить причину:

- проверить, свободны ли все отверстия для смазки и нет ли засорения
- проверить действительный зазор в подшипнике: если значение выходит за пределы допусков, то частой причиной являются погрешности формы и геометрии (см. главу: «Особые случаи износа из-за полусухого трения»)
- проверить работоспособность масляного фильтра и всегда производить замену масляного фильтра и масла согласно предписаниям изготовителя
- проверить уровень и давление масла, при необходимости подрегулировать
- проверить работоспособность масляного насоса
- проверить маслопроводы на наличие неплотностей
- проверить нагрузку на отдельные подшипники
- обследовать весь набор подшипников скольжения на образование бороздок или мест внедрения частиц: при их наличии возможно, что под действием частиц образовались места трения (см. главу: «Повреждения под действием частиц»)

3.4 Задиры

Описание

- выкрашивание материала
- образование глубоких бороздок и деформация
- утончение, а также шероховатость и растрескивание
- невооруженным глазом видно уменьшение значения распрямления в сравнении с соседними вкладышами без задиров
- проявления перегрева, напр.: места наплавления на подшипниковом материале и изменения окраски, часто возникают в связи с задирами

Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

Наблюдаются образование мест наплавления и смещение подшипникового материала в области кромки подшипника, а также растрескивание поверхности и выкрашивание материала.

Оценка

В местах сильного полусухого трения под действием высокой температуры образуются места сваривания шейки и подшипника. Эти места сваривания снова разрушаются, из-за чего более мягкий в сравнении с коленчатым валом подшипниковый материал выкрашивается. Причиной этого является острая нехватка смазочного материала. Вызванное этим повышение температуры проводит к повреждениям от перегрева, которые часто сопутствуют образованию задиров на подшипниках. В результате попадания частиц истирания в смазочный контур возможны повреждения соседних подшипников под действием частиц или мест трения.
Образованию задиров на подшипниках предшествуют места трения.

Возможные причины

- несвободные отверстия для смазки: причиной может быть неверная установка вкладышей подшипников или засорение отверстий для смазки – последнее часто встречается при использовании биологических видов топлива
- зазор для смазочного материала слишком мал: из-за этого не образуется прочная масляная пленка – причины: отклонения формы и геометрии вала или шеек, либо изгиб коленчатого вала
- зазор для смазочного материала слишком велик: не достигается гидродинамическое давление для образования прочной масляной пленки
- слишком низкие значения уровня или давления масла
- засоренный масляный фильтр
- неисправный масляный насос
- неплотность маслопроводов
- перегрузка подшипника: превышение расчетной нагрузки – причины: напр., чип-тюнинг или задиры на поршне
- воздействие частиц: частицы попадают в зазор подшипника и вызывают образование мест трения на шейке и подшипнике. Образование бороздок или мест внедрения частиц приводит к наслоению материала на кромках – следствие: значительное увеличение полусухого трения

Меры по устранению

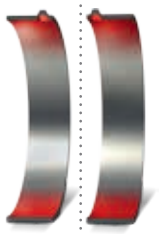
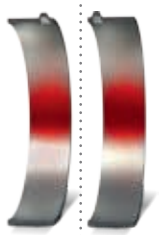
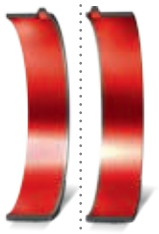
Задиры представляют собой наиболее серьезные повреждения подшипника. Такой подшипник разрушается и подлежит замене. При дальнейшем использовании подшипника возможно повреждение других компонентов двигателя.

- проверить, свободны ли все отверстия для смазки и нет ли засорения
- проверить действительный зазор в подшипнике: если значение выходит за пределы допусков, то частой причиной являются погрешности формы и геометрии (см. главу: «Особые случаи износа из-за полусухого трения»)
- проверить работоспособность масляного фильтра и всегда производить замену масляного фильтра и масла согласно предписаниям изготовителя
- проверить уровень и давление масла, при необходимости подрегулировать
- проверить работоспособность масляного насоса
- проверить маслопроводы на наличие неплотностей
- проверить нагрузку на отдельные подшипники
- обследовать весь набор подшипников скольжения на образование бороздок или мест внедрения частиц: при их наличии возможно, что под действием частиц образовались места трения (см. главу: «Повреждения под действием частиц»)

3.5 Особые случаи

В некоторых случаях на вкладышах подшипников образуются особые пятна контакта. С помощью приведенных пиктограмм повреждений можно сопоставить возможную картину повреждения с видом повреждения.

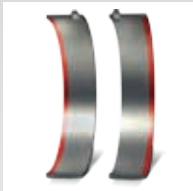
Нижний вкладыш подшипника	Верхний вкладыш подшипника	Глава
		3.5.1 **Односторонний кромочный контакт** • на верхнем и нижнем вкладышах, соответственно с одной и той же стороны
		3.5.2 **Одно- и разносторонний кромочный контакт** • на верхнем и нижнем вкладышах, по диагонали • в разных местах возможны различные степени проявления
		3.5.3 **Двусторонний кромочный контакт** • на верхнем и нижнем вкладышах, соответственно с обеих сторон
		3.5.4 **Широкий след износа центра вкладыша** • на верхнем и нижнем вкладышах, обычно одинаковые степени проявления • отсутствие явных следов износа на верхних вкладышах коренных подшипников из-за масляной канавки
		3.5.5 **След износа центра вкладыша в виде полосы** • на верхнем и нижнем вкладышах, обычно одинаковые степени проявления • отсутствие явных следов износа на верхних вкладышах коренных подшипников с масляной канавкой

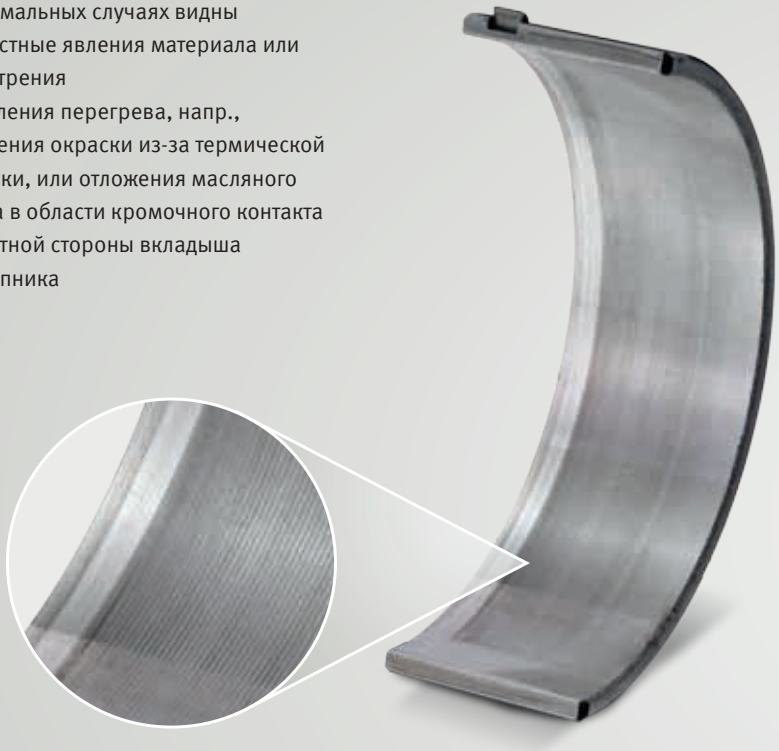
Нижний вкладыш подшипника	Верхний вкладыш подшипника	Глава
		3.5.6 **Износ в области противоположных поверхностей разъема**
		**3.5.7** **Двусторонний износ в области поверхностей разъема**
		**3.5.8** **Узкая область износа на гребне вкладыша подшипника**
		**3.5.9** **Узкие неизношенные полосы по краям подшипника** • могут возникнуть с одной или с обеих сторон

3.5.1 Односторонний кромочный контакт

Описание

- светлая, блестящая полоса износа – по кромке подшипника с одной стороны
- в области кромочного контакта: в экстремальных случаях видны усталостные явления материала или места трения
- проявления перегрева, напр., изменения окраски из-за термической нагрузки, или отложения масляного нагара в области кромочного контакта с обратной стороны вкладыша подшипника





Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

Виден односторонний износ кромки подшипника. Этот вид износа имеет признаки износа в период приработки. Функция подшипника не нарушена.

Оценка

Зазор для смазочного материала у кромки подшипника слишком мал, что приводит к снижению прочности масляной пленки и местами к полусухому трению. При длительной нехватке смазочного материала повышается температура под действием теплоты трения. Из-за этого могут возникнуть повреждения от перегрева, напр., потемнение окраски обратной стороны вкладыша подшипника.
В результате увеличения температуры нехватка смазочного материала усиливается, и весь процесс усугубляется, приводя к первым местам трения и усталостным повреждениям из-за повышенного давления на поверхность.

В зависимости от степени износа кромок подшипника, это можно рассматривать в качестве типичного явления. В процессе работы коленчатый вал подвергается изгибу, который воздействует прежде всего на внешние коренные подшипники. Вследствие этого кромочный контакт ярче выражен у внешних подшипников.

Возможные причины

- конически отшлифованная шейка (Рис. 1)
- коническое отверстие под подшипник (Рис. 2)
- радиус закругления слишком велик с одной стороны (Рис. 3)
- изгиб коленчатого вала: коленчатый вал не был сбалансирован при установке или деформируется во время работы под действием механической нагрузки
- несоосность отверстий под подшипники из-за неверных моментов затяжки болтов при сборке двигателя или чрезмерная деформация отверстий под коренные подшипники из-за высокой температуры во время работы
- осевое смещение вкладышей

Рис. 1

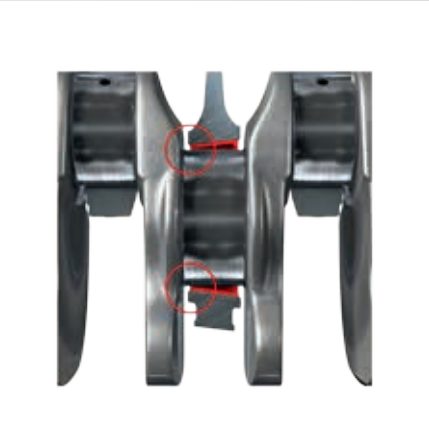


Рис. 2

Рис. 3

Меры по устранению

В зависимости от степени износа, подшипники с кромочным контактом можно по-прежнему использовать.

Если картина повреждения ухудшится уже по истечении нескольких часов эксплуатации, следует принять меры по выявлению причин:

- проверить правильность геометрии коленчатого вала: размеры, круглость, цилиндричность, волнистость, шероховатость поверхности
- проверить правильность расточки отверстий под подшипники: размеры, круглость, цилиндричность, поверхность
- отбалансировать коленчатый вал при монтаже и проверить нагрузку на вал
- проверить соосность отверстий под коренные подшипники: при сборке двигателя всегда соблюдать заданные моменты затяжки, а также последовательность затяжки болтов – во время работы требуется достаточное охлаждение двигателя, так как деформации могут возникнуть также при слишком высокой температуре
- перед монтажом проверить правильность положения шатунов

3.5.2 Одно- и разносторонний кромочный контакт

Описание

- светлые, блестящие полосы износа – с одной стороны на верхнем и нижнем вкладышах, в противоположном направлении
- в области кромочного контакта: видны усталостные явления материала или возможны места трения
- проявления перегрева, напр., изменения окраски из-за термической нагрузки, или возможны отложения масляного нагара в области кромочного контакта с обратной стороны вкладыша подшипника

Вкладыш шатунного подшипника со стороны шатуна, композит сталь-латунь с ионно-плазменным напылением (Рис. 1)

Вкладыш шатунного подшипника со стороны крышки, композит сталь-алюминий (Рис. 2)

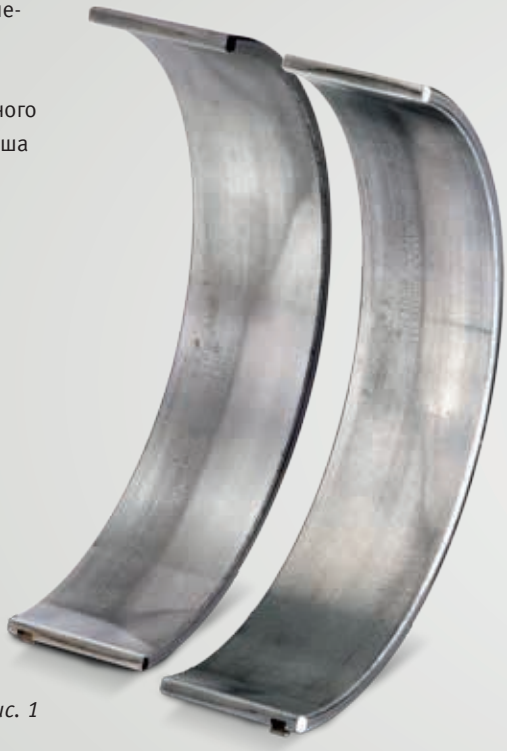


Рис. 1

Рис. 2

Видно диагонально смещенное пятно контакта. Наблюдаются отличия в степени износа различных областей кромок подшипника.

Функция подшипника не нарушена.

Оценка

Зазор для смазочного материала у кромки подшипника слишком мал, что приводит к снижению прочности масляной пленки и местами к полусухому трению. При длительной нехватке смазочного материала повышается температура под действием теплоты трения. Из-за этого могут возникнуть повреждения от перегрева, напр., потемнение окраски обратной стороны вкладыша подшипника.

В результате увеличения температуры нехватка смазочного материала усиливается, и весь процесс усугубляется, приводя к первым местам трения и усталостным повреждениям из-за повышенного давления на поверхность.

Возможные причины

- ошибка соосности шейки или корпуса (Рис. 3)
- неверные радиусы закругления вала
- «качание» шатуна (погнут или скручен) (Рис. 4)
- деформация картера

Рис. 3

Рис. 4

Меры по устранению

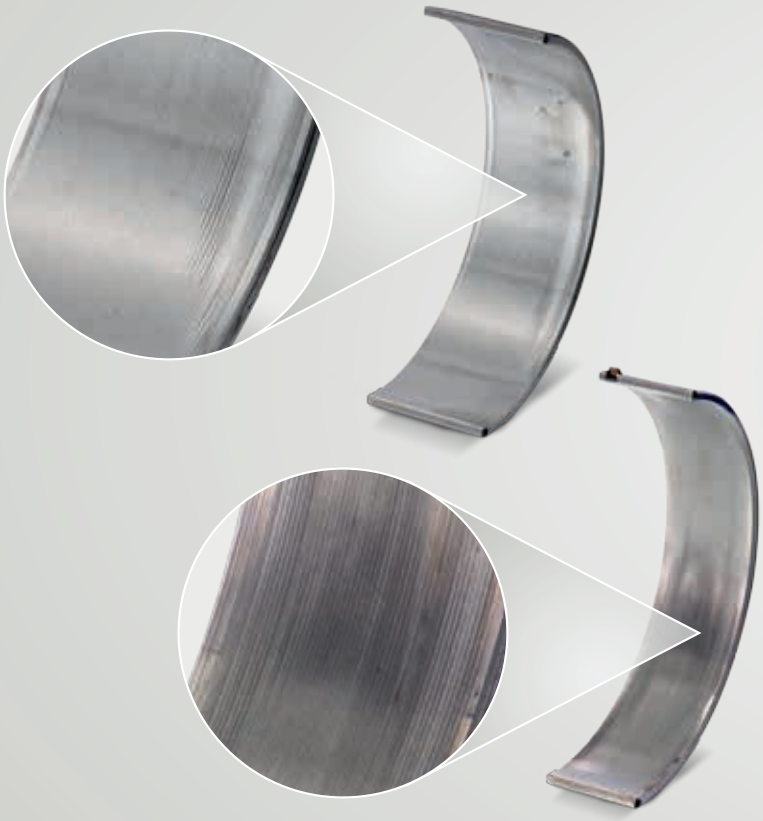
В зависимости от степени износа, подшипники с кромочным контактом можно по-прежнему использовать.
Если картина повреждения ухудшится уже по истечении нескольких часов эксплуатации, следует принять меры по выявлению причин:

- проверить правильность геометрии коленчатого вала: размеры, круглость, цилиндричность, волнистость, шероховатость поверхности
- проверить правильность расточки отверстий под подшипники: размеры, круглость, цилиндричность, поверхность
- отбалансировать коленчатый вал при монтаже и проверить нагрузку на вал
- проверить соосность отверстий под коренные подшипники: при сборке двигателя всегда соблюдать заданные моменты затяжки, а также последовательность затяжки болтов – во время работы требуется достаточное охлаждение двигателя, так как деформации могут возникнуть также при слишком высокой температуре
- перед монтажом проверить правильность положения шатунов

3.5.3 Двусторонний кромочный контакт

Описание

- светлая, блестящая полоса износа – по кромкам подшипника с обеих сторон
- в области кромочного контакта: видны усталостные явления материала или возможны места трения
- проявления перегрева, напр., изменения окраски из-за термической нагрузки, или возможны отложения масляного нагара в области кромочного контакта с обратной стороны вкладыша подшипника



Вкладыш шатунного подшипника со стороны крышки, композит сталь-алюминий

Начальная стадия двустороннего кромочного контакта – износ в виде износа в период приработки.

Вкладыш шатунного подшипника со стороны шатуна, композит сталь-латунь с ионно-плазменным напылением

Начальная стадия двустороннего кромочного контакта – износ в виде износа в период приработки.

Оценка

Зазор для смазочного материала у кромки подшипника слишком мал, что приводит к снижению прочности масляной пленки и местами к полусухому трению. При длительной нехватке смазочного материала повышается температура под действием теплоты трения. Из-за этого могут возникнуть повреждения от перегрева, напр., потемнение окраски обратной стороны вкладыша подшипника. В результате увеличения температуры нехватка смазочного материала усиливается, и весь процесс усугубляется, приводя к первым местам трения и усталостным повреждениям в этой области из-за повышенного давления на поверхность.

Двусторонний кромочный контакт очень часто возникает в области основной нагрузки на подшипник. В зависимости от степени износа, это можно рассматривать в качестве типичного явления, которое не влияет на надежную работу подшипника.

Возможные причины

- вогнутая форма шейки (Рис. 1)
- вогнутое отверстие под подшипник (Рис. 2)
- слишком большой радиус закругления между коренной шейкой и щекой кривошипа (Рис. 3)
- слишком большой осевой зазор, «качание» шатуна
- наклонно отшлифованная шейка (Рис. 4)

Рис. 1

Рис. 2

Рис. 3

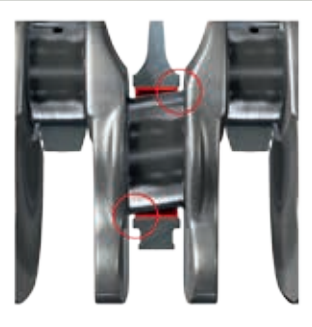


Рис. 4

Меры по устранению

В зависимости от степени износа, подшипники с кромочным контактом можно по-прежнему использовать.

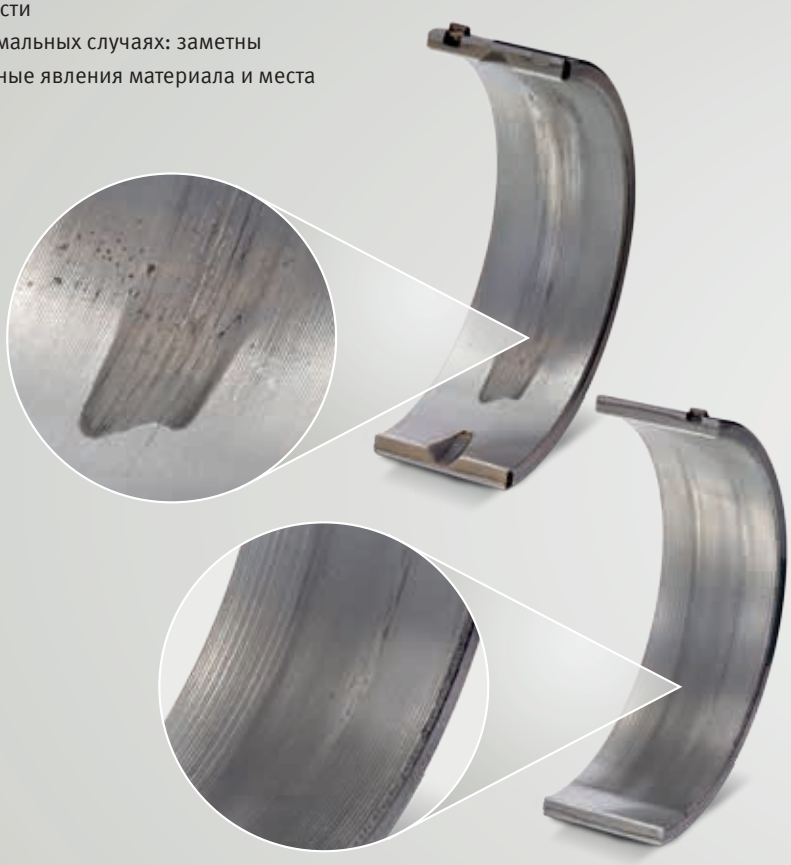
Если картина повреждения ухудшится уже по истечении нескольких часов эксплуатации, следует принять меры по выявлению причин:

- проверить правильность геометрии коленчатого вала: размеры, круглость, цилиндричность, волнистость, шероховатость поверхности
- проверить правильность расточки отверстий под подшипники: размеры, круглость, цилиндричность, поверхность
- отбалансировать коленчатый вал при монтаже и проверить нагрузку на вал
- проверить соосность отверстий под коренные подшипники: при сборке двигателя всегда соблюдать заданные моменты затяжки, а также последовательность затяжки болтов – во время работы требуется достаточное охлаждение двигателя, так как деформации могут возникнуть также при слишком высокой температуре
- перед монтажом проверить правильность положения шатунов

3.5.4 Широкий след износа центра вкладыша по окружности

Описание

- сильный след износа центра вкладыша по окружности
- менее изношенные края подшипника
- местами смещение материала по окружности
- в экстремальных случаях: заметны усталостные явления материала и места трения



Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

По центру вкладыша четко видны следы износа, достигающие области утончения. Они уже привели к образованию мест трения в рабочем слое.

Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

По центру вкладыша ярче выражено пятно контакта, достигающее области утончения. Внешний вид пятна контакта еще соответствует износу в период приработки.

Оценка

Зазор для смазочного материала по центру вкладыша слишком мал, что приводит к снижению прочности масляной пленки и местами к полусухому трению. При длительной нехватке смазочного материала повышается температура под действием теплоты трения. В результате увеличения температуры нехватка смазочного материала усиливается. Данный процесс усугубляется, приводя к первым местам трения и усталостным повреждениям в этой области из-за повышенного давления на поверхность.

Возможные причины

- сильно выпуклая форма шейки (Рис. 1)
- выпуклое отверстие под подшипник (Рис. 2)
- нехватка смазочного материала

Рис. 1

Рис. 2

Меры по устранению

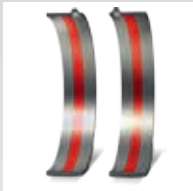
В зависимости от степени износа, подшипники можно по-прежнему использовать. Как только появятся места трения или признаки усталости материала, следует заменить подшипники и принять меры по выявлению причин:

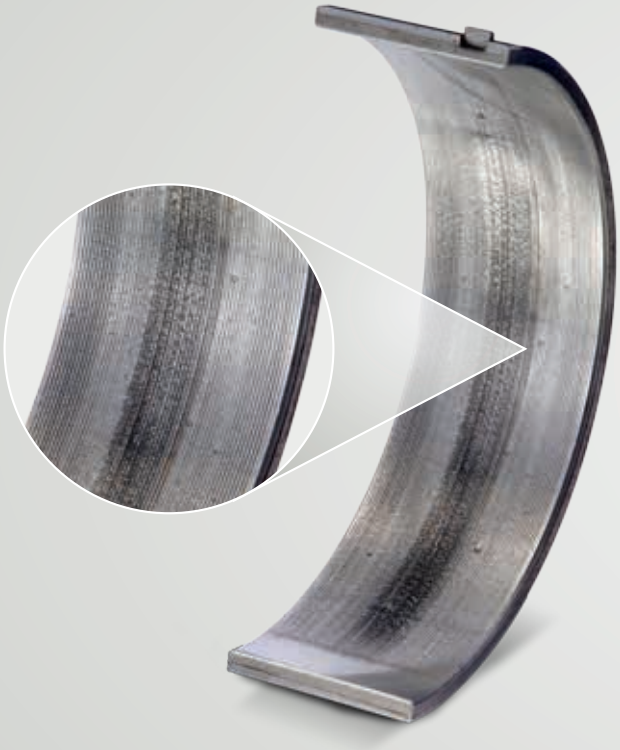
- проверить правильность геометрии коленчатого вала: размеры, круглость, цилиндричность, волнистость, шероховатость поверхности
- проверить правильность расточки отверстий под подшипники: размеры, круглость, цилиндричность, поверхность
- отбалансировать коленчатый вал при монтаже и проверить нагрузку на вал
- проверить соосность отверстий под коренные подшипники: при сборке двигателя всегда соблюдать заданные моменты затяжки, а также последовательность затяжки болтов – во время работы требуется достаточное охлаждение двигателя, так как деформации могут возникнуть также при слишком высокой температуре
- перед монтажом проверить правильность положения шатунов
- проверить систему смазки (см. главу: «Места трения: меры по устранению»)

3.5.5 След износа центра вкладыша в виде полосы

Описание

- след износа центра вкладыша в виде полосы как продолжение масляной канавки – у шатунного подшипника оба вкладыша в области отверстия для смазки на шейке
- местами царапины по окружности
- менее изношенные края подшипника
- узкая, ограниченная область износа
- в экстремальных случаях: заметны усталостные явления материала и места трения





Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

В центре вкладыша видны полосы с четкими границами. По форме они соответствуют масляной канавке, расположенной в верхнем вкладыше коренного подшипника. Эти следы износа имеют признаки износа в период приработки.

Оценка

Причиной этой формы износа может служить отсутствующее или недостаточное скругление краев отверстия для смазки (Рис. 1). При этом износ ярко выражен у нижнего вкладыша коренного подшипника или у обоих вкладышей шатунного подшипника в области отверстия для смазки на шейке.

Второй путь возникновения такой же картины повреждения связан с так называемым гребневым износом (Рис. 2), вызванным меньшим износом шейки в области масляной канавки. Так как из-за масляной канавки отсутствует металлический контакт между шейкой и подшипником, материал в этом месте не снимается, и на шейке образуется возвышение. Это возвышение приводит к износу на вкладыше подшипника без масляной канавки в виде полосы.

Оба процесса могут вызвать появление мест трения и усталостных повреждений.

Возможные причины

- отсутствующее или недостаточное скругление краев отверстия для смазки (Рис. 1)

- неподходящее сочетание материалов подшипника и шейки приводит к меньшему износу шейки в области масляной канавки (Рис. 2)

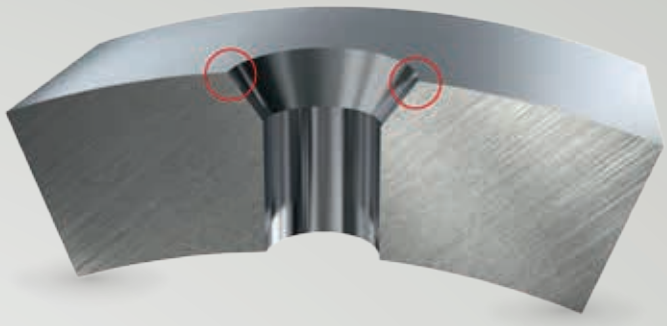
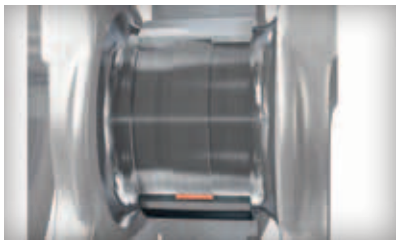


Рис. 1

(1) В области масляной канавки верхнего вкладыша коренного подшипника отсутствует металлический контакт. Шейка изнашивается меньше, чем в местах контакта с опорной поверхностью.

(2) Из-за уменьшенного износа шейки в области масляной канавки может образоваться незначительное возвышение (здесь его размеры преувеличены для наглядности).



(3) В нижнем вкладыше коренного подшипника без масляной канавки это возвышение вызывает повышенный износ по центру вкладыша. Это приводит к образованию типичного следа гребневого износа в виде полосы.

Рис. 2

Меры по устранению

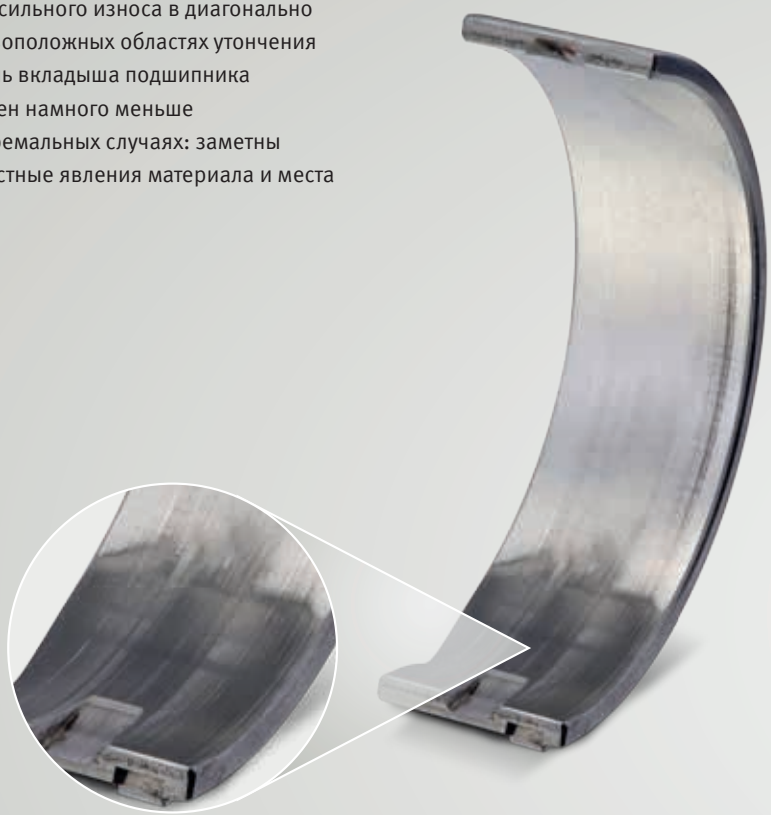
В зависимости от степени износа, подшипники можно по-прежнему использовать. Как только появятся места трения или признаки усталости материала, следует заменить подшипники и принять меры по выявлению причин:

- контроль и доработка отверстия для смазки
- проверить шейку вала на наличие возвышения в области масляной канавки
- проверить сочетание материалов шейки и подшипника (твердость вала/подшипника)
- проверить шероховатость шейки

3.5.6 Износ в области противоположных поверхностей разъема

Описание

- следы сильного износа в диагонально противоположных областях утончения
- гребень вкладыша подшипника изношен намного меньше
- в экстремальных случаях: заметны усталостные явления материала и места трения



Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

Ясно виден износ в области утончения, в то время как гребень вкладыша подшипника изношен намного меньше.

Оценка

Если вкладыши подшипников испытывают в этой области нагрузку, то имеет место серьезная неполадка. Причиной возникновения износа может быть смещение вкладышей подшипников между собой в результате ошибки при монтаже.

Из-за смещения крышки зазор в подшипнике местами слишком мал, что приводит к снижению прочности масляной пленки и полусухому трению. При длительной нехватке смазочного материала повышается температура под действием теплоты трения.

В результате увеличения температуры нехватка смазочного материала усиливается, и весь процесс усугубляется, приводя к первым местам трения и усталостным повреждениям из-за повышенного давления на поверхность.

Возможные причины

- установка неподходящей крышки подшипника
- установка крышки подшипника в перевернутом на 180 градусов положении
- использование неподходящего инструмента или неверных пригнанных болтов
- неправильная последовательность затяжки или неверный момент затяжки болтов

Меры по устранению

Подшипник необходимо заменить, а причину – устранить, так как подшипник не рассчитан на то, чтобы испытывать нагрузку в этой области.

- учитывать соответствие вкладышей подшипников цилиндрам
- установить надлежащие болты только подходящим инструментом
- затянуть болты с соблюдением данных изготовителя относительно моментов и последовательности затяжки
- проверить отверстия под подшипники: размеры, круглость, цилиндричность, поверхность должны иметь значения в пределах заданных допусков

3.5.7 Двусторонний износ в области поверхностей разъема

Описание

- следы сильного износа в обеих областях утончения верхнего и нижнего вкладышей
- гребни вкладышей подшипника изношены намного меньше
- в экстремальных случаях: заметны усталостные явления материала и места трения

Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

В области поверхностей разъема с обеих сторон видны ярко выраженные следы износа. При этом гребень/область основной нагрузки вкладыша подшипника изношены намного меньше.

Оценка

Если вкладыши подшипников испытывают в этой области нагрузку, то имеет место серьезная неполадка. Причиной подобного внешнего вида могут быть продольно-овальные отверстия под подшипники. Из-за этого зазор в подшипнике уменьшается в области поверхности разъема, что приводит к снижению прочности масляной пленки и полусухому трению в областях утончения. При длительной нехватке смазочного материала повышается температура под действием теплоты трения. В результате увеличения температуры нехватка смазочного материала усиливается, и весь процесс усугубляется, приводя к первым местам трения и усталостным повреждениям в этой области из-за повышенного давления на поверхность.

Возможные причины

- овальная деформация отверстия под подшипник из-за термической или механической нагрузки
- шатун с овальной головкой: бывший в употреблении шатун был снова установлен без требуемой доработки
- неверная затяжка болтов при расточке отверстий под подшипники

Меры по устранению

- проверить нагрузку на отверстие под подшипник
- проверить отверстия под подшипники: размеры, круглость, цилиндричность, поверхность должны иметь значения в пределах определенных допусков – при необходимости доработать бывшие в употреблении детали перед повторным монтажом
- затянуть болты с соблюдением данных изготовителя относительно моментов и последовательности затяжки

3.5.8 Узкая область износа на гребне вкладыша подшипника

Описание

- узкие следы износа на гребне вкладыша
- ярче выражены на вкладыше, несущем основную нагрузку
- в экстремальных случаях: заметны усталостные явления материала и места трения

Верхний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

В области гребня заметны следы износа в виде износа в период приработки. Остальная часть рабочей поверхности подшипника не имеет следов работы.

Оценка

Причиной подобного внешнего вида являются поперечно-овальные отверстия под подшипники. Из-за этого зазор в подшипнике уменьшается в области гребня, что приводит к снижению прочности масляной пленки и местами к полусухому трению. При длительной нехватке смазочного материала повышается температура под действием теплоты трения. В результате увеличения температуры нехватка смазочного материала усиливается, и весь процесс усугубляется, приводя к первым местам трения и усталостным повреждениям в этой области из-за повышенного давления на поверхность.

Возможные причины

- осадка шатуна или, соответственно, стыковых поверхностей корпуса
- неверная затяжка болтов при расточке отверстий под подшипники
- экстремальная давящая нагрузка на шатун

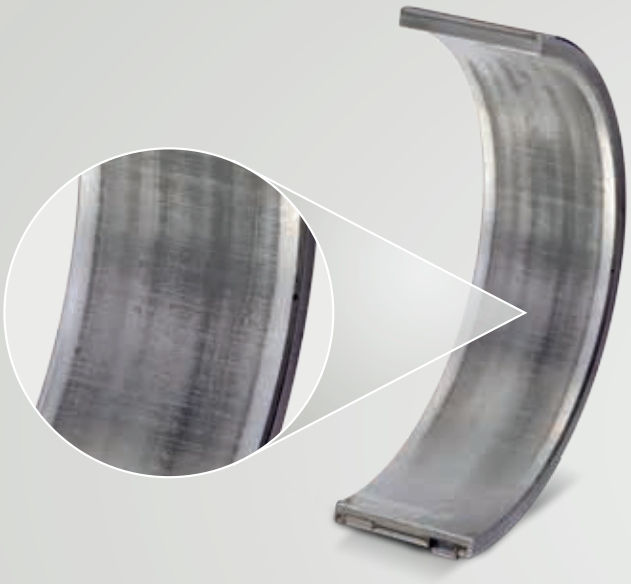
Меры по устранению

- проверить правильность расточки отверстий под подшипники: размеры, круглость, цилиндричность, поверхность
- затянуть болты с соблюдением данных изготовителя относительно моментов и последовательности затяжки
- проверить нагрузку на шатун

3.5.9 Узкие неизношенные полосы по краям подшипника

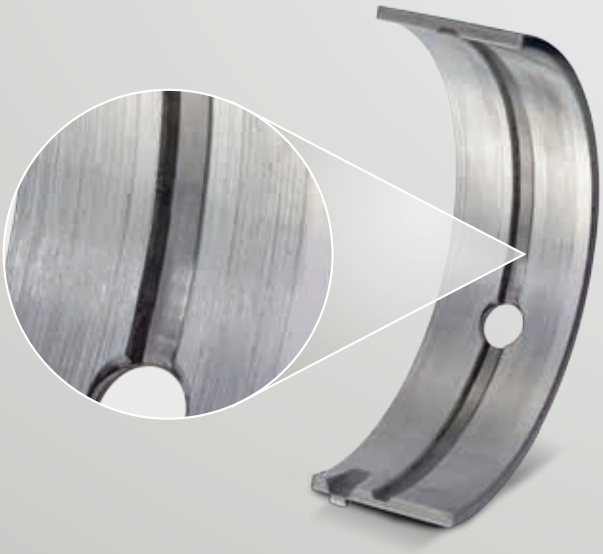
Описание

- узкие неизношенные полосы на кромках подшипника
- следы приработки в этой области не видны
- в этой области еще видна структура обработки при изготовлении
- видна четкая граница между неизношенной полосой и изношенной областью



Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

На обеих кромках подшипника видны неизношенные полосы, не имеющие видимых мест контакта. Остальная часть вкладыша подшипника имеет измененную темноватую окраску, вероятно, вследствие коррозии или износа.



Верхний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

На кромке подшипника видна неизношенная полоса, не имеющая видимых мест контакта. На остальной части вкладыша подшипника образовались глубокие бороздки.

Оценка

Из-за одностороннего (Рис. 1) или двустороннего (Рис. 2) осевого выступа вкладыша подшипника на кромках подшипника образуются узкие неизношенные полосы, которые также не подвергаются типичному износу в период приработки. Независимо от частоты вращения шейки, в этих областях никогда не возникает металлический контакт.

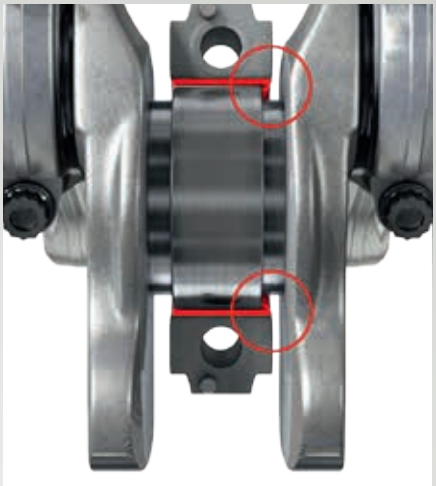


Рис. 1

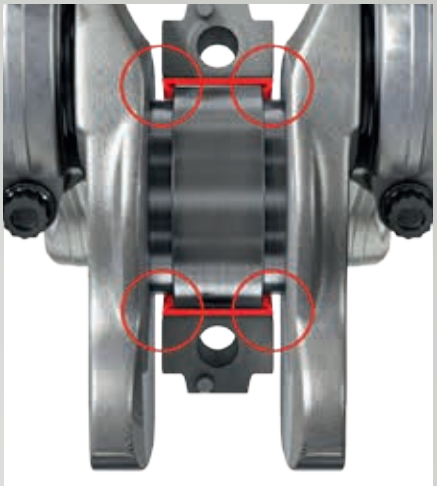


Рис. 2

Возможные причины

- отклонение геометрии шейки
- неправильно подобрана ширина подшипника
- монтажный зазор (смещение вала/шейки)

Меры по устранению

В зависимости от степени износа, подшипники можно по-прежнему использовать. Как только появятся места трения или признаки усталости материала, следует заменить подшипники и принять меры по выявлению причин:

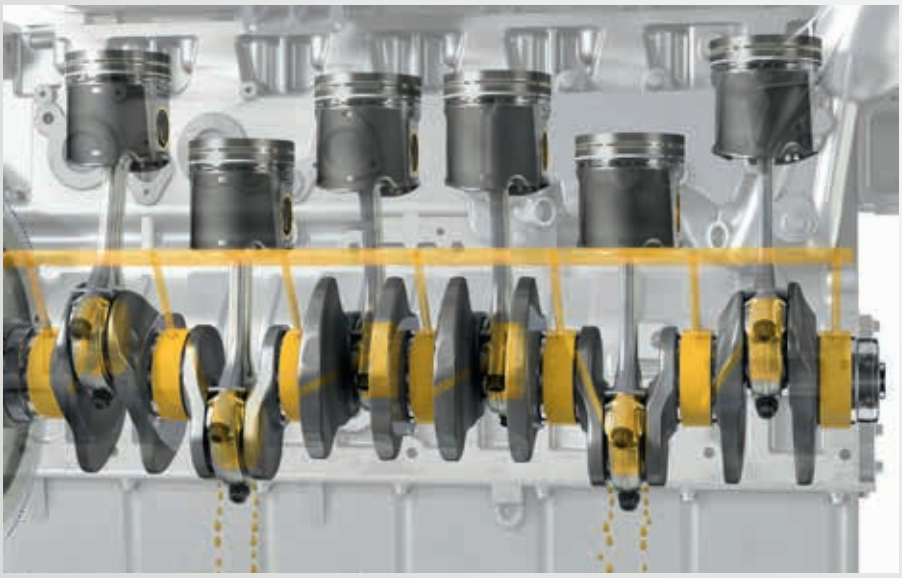
- проверить перед монтажом правильность геометрии коленчатого вала: размеры, круглость
- заменить коленчатый вал или установить новые подшипники, подходящие к геометрии коленчатого вала

4.1 Введение

При попадании инородных частиц в смазочный зазор между подшипником и шейкой вала велика вероятность повреждения подшипника. Из-за очень малой толщины масляной пленки даже мелкие частицы могут нарушить работу и привести к полусухому трению. Возможны их внедрение в антифрикционный или рабочий слой и тем самым «обезвреживание». В результате контакта с валом происходит сглаживание кромок с наслоенным материалом. Частицы, размеры которых превышают толщину антифрикционного или рабочего слоя, не внедряются полностью. Выступающие части приводят к износу шейки вала в виде бороздок. Глубокие бороздки снижают предполагаемый срок службы и могут способствовать образованию задиров на подшипнике.

Еще при изготовлении двигателя или же при его ремонте возможны попадание и закрепление частиц в блоке цилиндров двигателя. Это может произойти, например, при песко- или стеклоструйной обработке блока цилиндров двигателя. Во время работы также «образуются» или заносятся частицы грязи (напр., сажа или масляный нагар).

Недостаточное техническое обслуживание системы смазки или экстремальные внешние воздействия дополнительно способствуют занесению грязи в смазочный контур. Поврежденные соседние подшипники или другие поврежденные компоненты двигателя также могут стать причиной попадания частиц в масляный контур.



Как правило, риск повреждения под действием частиц у коренного подшипника выше, чем у шатунного. Шатунные подшипники снабжаются маслом, поступающим из коренных подшипников, через отверстия в коленчатом валу, т. е. сначала масло проходит через коренные подшипники (см. рис.).

Более крупные частицы внедряются в коренные подшипники, не достигая, как правило, шатунных подшипников.

Для определения происхождения частиц целесообразно проанализировать подшипник и взять пробу масла.

Возможные причины

- несоблюдение чистоты при монтаже: из-за невнимательности или недостаточной очистки компонентов двигателя в блок цилиндров может попасть грязь
- остаточные продукты, например, металлические опилки или остатки после струйной обработки при изготовлении или ремонте, могут отложиться в блоке цилиндров двигателя; во время работы эти отложения отслаиваются – часто также от навесных агрегатов, например, масляного радиатора, которые в недостаточной степени очищаются при ремонте двигателя
- повреждения уплотнений в двигателе: если уплотнение испытывает чрезмерную нагрузку или повреждается при установке, то оно больше не выполняет свою функцию, и возможно проникновение частиц
- недостаточное техническое обслуживание системы смазки: несоблюдение периодичности осмотров или засоренные масляные фильтры могут привести к накоплению грязи в масле
- кавитация: выкрошенные частицы подшипникового материала, передаваемые дальше за счет масла, могут привести, в зависимости от размеров, к образованию бороздок или незначительных мест внедрения на самом подшипнике или на соседнем подшипнике
- задиры: поврежденные задирами компоненты двигателя (поршни, вкладыши подшипников) заносят в смазочный контур большое количество частиц, которые, в свою очередь, могут привести к повреждению других компонентов
- усталостные повреждения: выкрошенные частицы материалов компонентов двигателя могут попасть вместе с маслом в подшипники и вызвать их повреждения

Меры по устранению

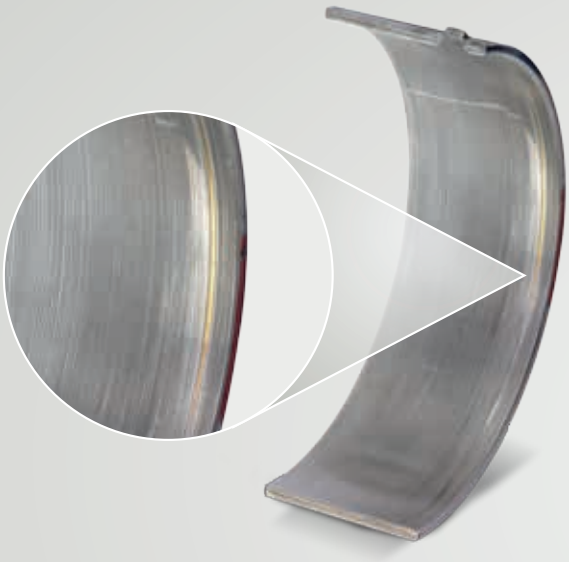
Как правило, подшипники можно по-прежнему использовать, несмотря на образование бороздок или мест внедрения частиц. Однако, это зависит от степени повреждения. Если, например, уже образовалось много крупных отпечатков частиц и следов от полусухого трения из-за наслоения материала, то подшипник рекомендуется заменить. Мелкие отпечатки частиц не ухудшают работу подшипника. Однако, в обоих случаях следует выявить причину:

- очистка всех компонентов перед монтажом: важно промыть все отверстия для смазки на валу и корпусе перед эксплуатацией и очистить посадочные поверхности под подшипники, чтобы удалить мелкие опилки и частицы, попавшие при изготовлении или ремонте; масляные каналы навесных агрегатов, например, масляного радиатора и турбонагнетателя, также должны быть тщательно очищены
- проверить функционирование уплотнений
- замену масляного фильтра и масла всегда выполнять согласно данным изготовителя: следить за тем, чтобы соблюдалась периодичность осмотров и используемые масло и масляный фильтр всегда имели достаточное качество
- фильтрование впускаемого воздуха: регулярно обслуживать фильтры, при необходимости заменять их
- проверить другие компоненты двигателя на такие виды повреждений, как кавитация, усталость или образование задиров – часто повреждения подшипников скольжения под действием частиц являются косвенными
- при необнаружении влияния частиц могут помочь анализ поврежденных вкладышей подшипника и проба масла: при наличии внедрившихся в подшипник или попавших в масло частиц можно определить их химический состав – если выявится, например, материал коленчатого вала, то именно вал следует целенаправленно проверить на повреждения

4.2 Образование бороздок

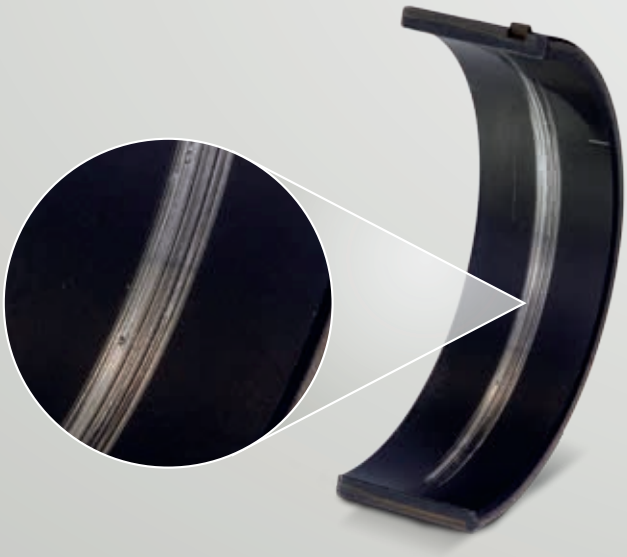
Описание

- углубления в виде полос в направлении скольжения с наслоением материала по кромкам
- места наслоения частично снова сглажены от износа и имеют светлый, блестящий оттенок
- часто наблюдается также образование бороздок или мест внедрения частиц на коленчатом валу или соседних подшипниках



Вкладыш шатунного подшипника со стороны шатуна, композит сталь-латунь с ионно-плазменным напылением

Бороздки достигли слоя латуни. Рядом с бороздками образовались светлые следы износа в виде сглаженных мест наслоения.



Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий с полимерным покрытием

Бороздки достигли слоя сплава алюминия.

Оценка

Частицы, попавшие в зазор для смазочного материала и не внедрившиеся в подшипниковый материал, многократно проносятся по всему зазору, образуя бороздки. В зависимости от толщины материала, наслоенного при этом на кромки, невозможно сглаживание кромок в процессе дальнейшей работы. Вследствие повышенного полусухого трения происходит увеличение температуры при контакте с валом. Это часто приводит к образованию мест трения и задиров.

Бороздки могут образоваться также под действием полусухого трения. Однако при этом образуются мелкие бороздки, которые занимают большую площадь и наблюдаются у обоих сопряженных скользящих частей.

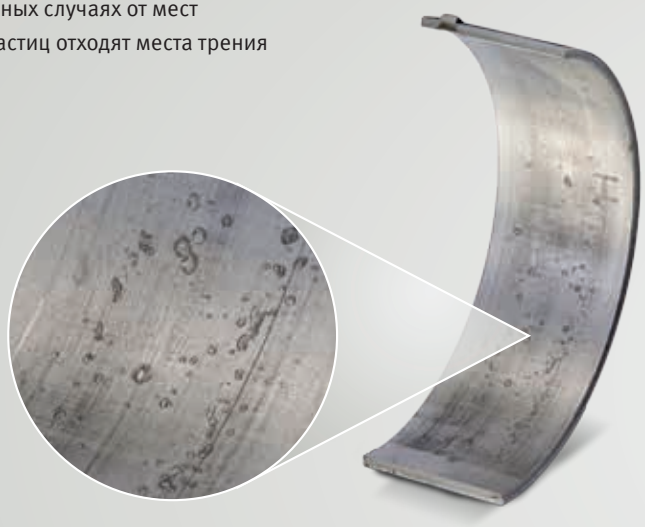
Меры по устранению

При наличии бороздок со значительными наслоениями по кромкам подшипник необходимо заменить. Но если наслоения по кромкам бороздок сглажены и больше не ожидается дополнительного воздействия частиц, то возможно дальнейшее использование подшипников.

4.3 Внедрение частиц

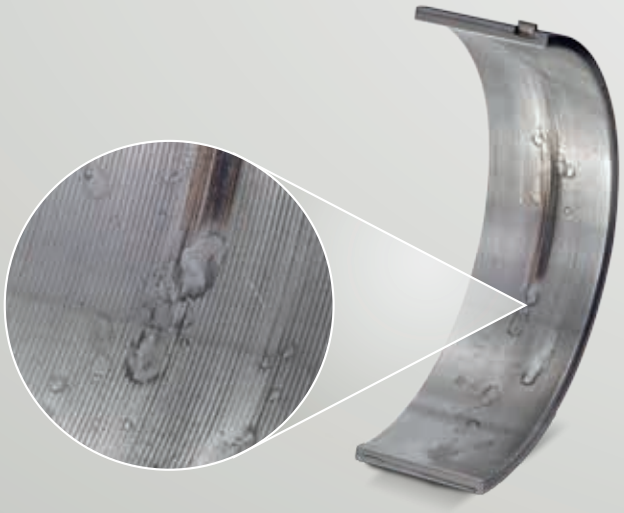
Описание

- покрытая ямками поверхность
- отпечатки (некоторые с частицами внутри), по краям с наслоенным материалом, имеющим вид светлой, блестящей точки в результате износа
- часто сопровождается образованием бороздок на шейке и подшипнике
- в экстремальных случаях от мест внедрения частиц отходят места трения



Вкладыш шатунного подшипника со стороны крышки, композит сталь-алюминий

Видны мелкие отпечатки частиц и отдельные бороздки.



Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

Видны крупные отпечатки без внедрившихся частиц. Частицы привели к наслоению материала, из-за которого по центру вкладыша образовалось место трения.

Оценка

Частицы, попавшие в зазор для смазочного материала, могут внедриться в подшипниковый материал. В зависимости от толщины антифрикционного/рабочего слоя, различают глубокое и мелкое внедрение. При глубоком внедрении частицы полностью интегрируются в антифрикционный или рабочий слой. Это возможно только тогда, когда размеры частиц меньше значения толщины слоя. Подшипниковый материал, наслоенный при внедрении частиц, сглаживается от износа в результате последующего контакта с валом.

Мелкое внедрение имеет место тогда, когда размеры частиц превышают значение толщины слоя. Такие частицы внедряются неполностью и выступают за поверхность подшипника. Они вызывают износ и образование бороздок на поверхности шейки.

Из-за кромочного наслоения материала или выступа неполностью внедрившихся частиц нарушается процесс создания масляной пленки, что может привести к полусухому трению. Вследствие этого возможно также образование так называемой шерсти от износа. При этом внедрившиеся частицы врезаются в поверхность вала и снимают материал (металлическая шерсть). Отделившиеся частицы, которые снова внедряются, усиливают повреждение подшипника, и часто невозможно избежать полного повреждения шейки и подшипника.

Таким образом, внедрение частиц может привести к образованию мест трения и задиров.

Меры по устранению

При наличии крупных мест внедрения частиц в связи с начинающимся износом шейки и подшипника требуется замена подшипника. Если имеются мелкие места внедрения частиц, у которых наслоенный по кромкам материал сглажен, и больше не ожидается дополнительного воздействия частиц, то функция подшипника не нарушена.

4.4 Неравномерный грязевой след

Описание

- следы в виде отдельных, расположенных друг за другом отпечатков, на концах следов еще могут находиться внедрившиеся частицы
- как правило, проходят под наклоном к кромке подшипника
- отходят от масляных канавок или отверстий для смазки
- часто сопровождаются образованием бороздок на шейке и образованием бороздок/внедрением частиц на подшипнике

Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

Начиная от поверхности разъема, проходит неравномерный грязевой след. Видны многочисленные крупные отпечатки частиц, расположенные друг за другом под наклоном. В некоторых местах еще имеются внедрившиеся частицы.

Оценка

Очень крупные и твердые частицы, попавшие в зазор для смазочного материала, не могут внедриться в подшипниковый материал. Они проносятся по всему зазору для смазочного материала, время от времени зацепляясь при этом. Часто повреждение начинает проявляться у масляных канавок или отверстий для смазки, так как частицы проникли именно сюда. Значительные наслоения материала вдоль неравномерного следа приводят к образованию мест трения и задиров.

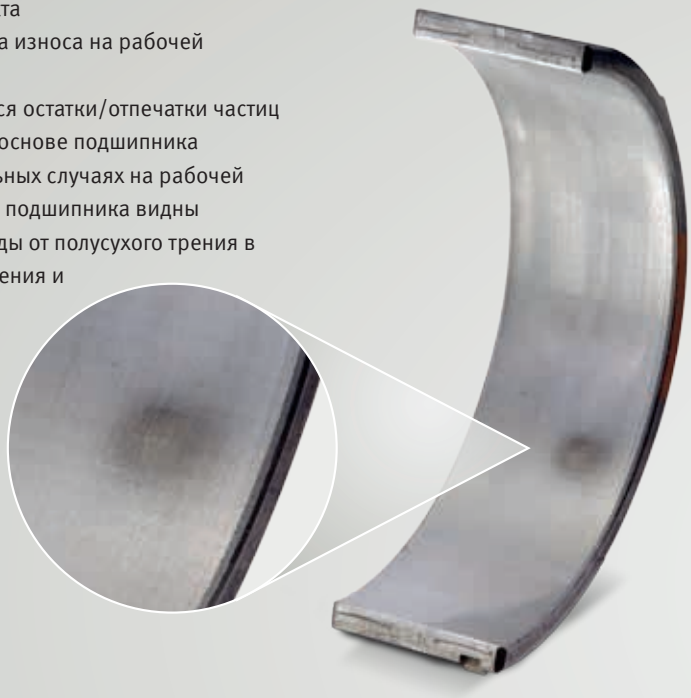
Меры по устранению

При наличии значительных наслоений материала вдоль неравномерного следа или признаков образования места трения подшипник необходимо заменить. Однако дальнейшее использование подшипников возможно, если наслоения материала сглажены и больше не придется опасаться дополнительного воздействия частиц.

4.5 Частицы на обратной стороне вкладыша подшипника

Описание

- локально ограниченное отклонение пятна контакта
- светлая точка износа на рабочей поверхности
- часто имеются остатки/отпечатки частиц на стальной основе подшипника
- в экстремальных случаях на рабочей поверхности подшипника видны сильные следы от полусухого трения в виде мест трения и усталостные явления



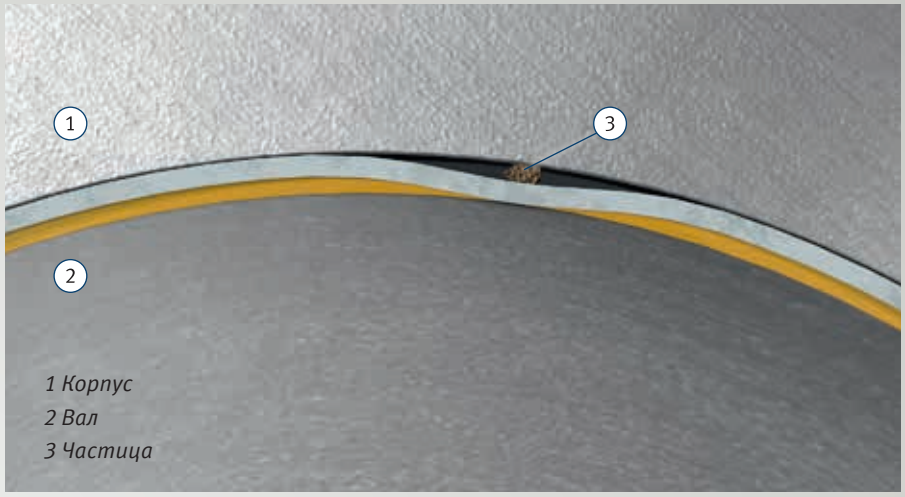
Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

Заметны значительное отклонение пятна контакта и точечный износ на рабочей поверхности. Под действием частиц на обратной стороне вкладыша подшипника образовалось место нажима.

Рисунок на обратной стороне вкладыша подшипника

Оценка

Под действием грязи или остатков масла (масляный нагар) на обратной стороне вкладыша подшипника образовались точечные места нажима, которые видны на рабочей поверхности. В результате нажима износ внутри подшипника выше, чем в остальной его части. Этот износ представляет собой броское отклонение от пятна контакта, часто со светлым, блестящим оттенком. Вследствие этого возможно появление мест трения, задиров и усталостных повреждений, в зависимости от размеров мест нажима.



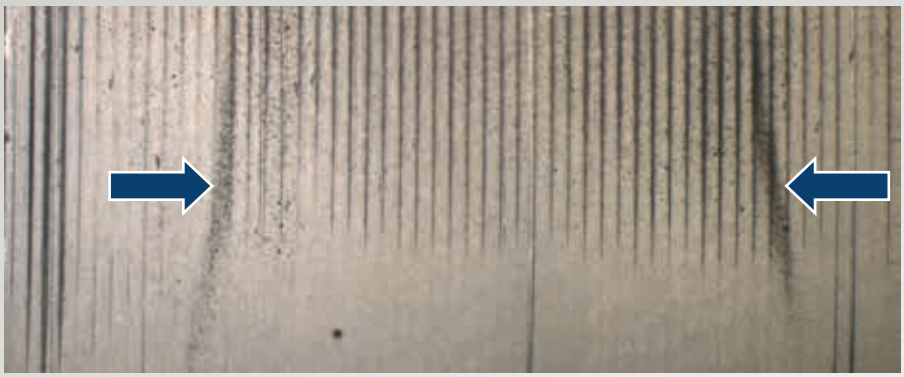
1 Корпус
2 Вал
3 Частица

Меры по устранению

Возможность дальнейшего использования подшипника зависит от степени износа рабочего слоя. Как только в области места нажима появятся места трения или усталостные явления, например, трещины или выкрашивание, подшипник следует заменить, так как иначе существует риск полного повреждения. Вследствие выкрашивания материала возможно повреждение того же самого или соседнего подшипника.

5.1 Эрозия

Описание
- образование мелких бороздок в направлении потока масла
- шероховатость и растрескивание рабочего/антифрикционного слоя



Оценка

Эрозия – это форма абразивного съема материала под действием сил потока масла. Дополнительное воздействие оказывают содержащиеся в масле мельчайшие частицы, например, остаточные продукты сгорания или продукты истирания. Часто эрозия возникает вследствие кавитации, так как при этом происходит отделение частиц от материала и их проникновение в систему смазки.

Эрозия разрушает поверхность материала и повышает ее химическую активность, что способствует развитию коррозии. Кроме того, она отрицательно сказывается на усталостной прочности материала, так как растрескивание поверхности может привести к образованию трещин. Возникают усталостные повреждения.

Из-за применения маловязких масел эрозия стала встречаться чаще.

Возможные причины
- высокие значения частоты вращения и малые зазоры в подшипниках
- использование неподходящих моторных масел, например, масел без присадок или с неверными присадками
- мельчайшие частицы в потоке масла: частицы могут происходить из различных областей двигателя и, например, образоваться в результате неполного сгорания или кавитации

Меры по устранению
- поддерживать низкую температуру масла путем достаточного охлаждения
- замену масляного фильтра и масла всегда выполнять согласно данным изготовителя: следить за тем, чтобы соблюдалась периодичность осмотров и используемые масло и масляный фильтр всегда имели достаточное качество

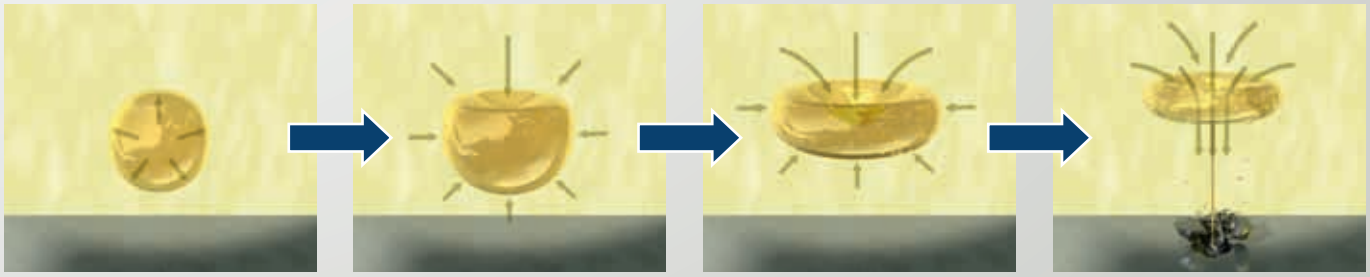
5.2 Кавитация

Кавитация вызывается потоком смазочного материала через зазор в подшипнике. Решающую роль при этом играет давление пара используемого масла.

Точнее, кавитация – это лишь физический процесс образования в жидкости пузырьков пара, который сам по себе еще не вызывает повреждения подшипника. К появлению соответствующей картины повреждения приводит кавитационная эрозия и типичный для нее съем материала, причиной которого является схлопывание пузырьков пара в областях давления ниже давления пара (кавитация ‹–› кавитационная эрозия).

Картины некоторых повреждений, несмотря на различные пути их возникновения, с трудом позволяют различить кавитацию, эрозию и коррозию. Часто встречаются сложные переходные формы, например, кавитационная или эрозионная коррозия. Это объясняется тем, что как кавитация, так и эрозия разрушают антикоррозионные слои, повышая их химическую активность, в результате чего может возникнуть коррозия.

Кавитация
В случае недостижения значения давления пара используемого масла образуются пузырьки газа и пара, передаваемые потоком дальше. Этот процесс называют кавитацией. Когда статическое давление снова повышается, пузырьки разрушаются в результате схлопывания, что приводит к сильным гидравлическим ударам – так называемым микроструйкам – и увеличению температуры. Гидравлические удары вызывают выкрашивание и съем материала, т. е. кавитационную эрозию.



Образование и увеличение кавитационного пузыря

Начало схлопывания

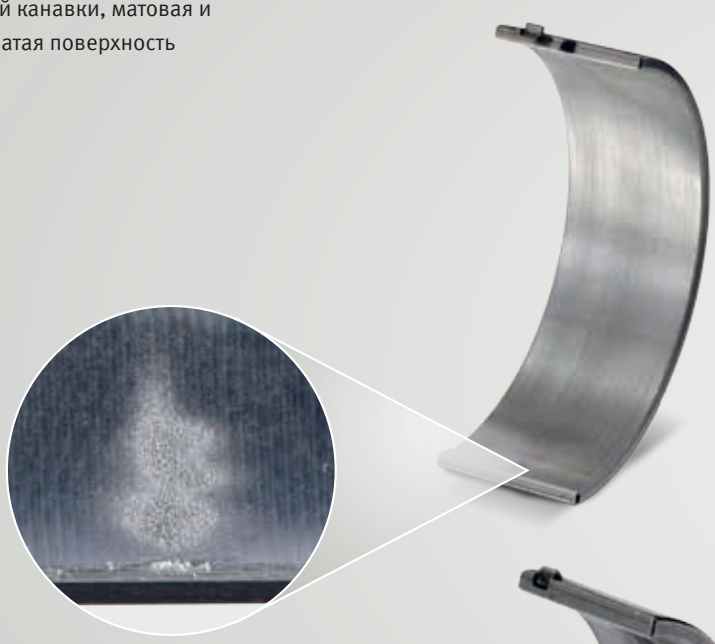
Образование микроструйки

Проникновение микроструйки через кавитационный пузырь и попадание ее на поверхность

Описание

- кавитация в области утончения: точечное или грибовидное поражение в области утончения по направлению к поверхности разъема, матовая и сильно шероховатая поверхность
- кавитация на конце масляной канавки: грибовидное поражение на конце масляной канавки, матовая и шероховатая поверхность

Кавитация может возникнуть также в других областях подшипника, например, на гребне. Однако эти формы намного сложнее отличить от эрозии и коррозии. Обычно при этом не наблюдается выкрашивания материала, как у указанных выше форм, а образуются матовые, слегка шероховатые места, которые также могут быть следствием эрозии или коррозии.



Вкладыш шатунного подшипника со стороны крышки, композит сталь-алюминий

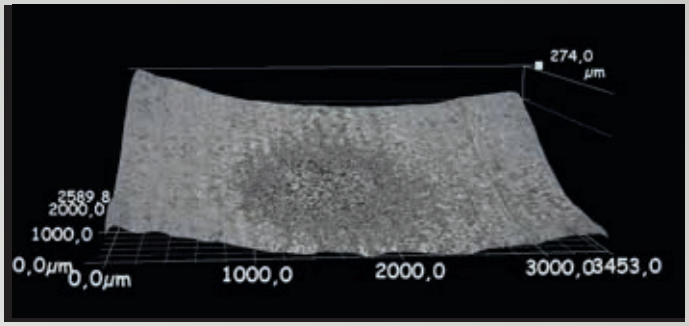
Кавитация в области утончения: виден значительный съем материала – матовое место поражения в сравнении с остальной поверхностью материала.

Верхние вкладыши коренных подшипников, композит сталь-алюминий

Кавитация на конце масляной канавки: видно грибовидное поражение подшипникового материала. В сравнении с остальной поверхностью материала место поражения имеет ярко выраженную матовую и шероховатую поверхность.

Оценка

Гидравлические удары, возникающие в результате разрушения пузырьков газа и пара вблизи поверхности подшипника, вызывают выкрашивание материала (см. главу: «Эрозия и кавитация – введение»). Кавитация часто сопровождается эрозией и коррозией, а также может привести к образованию бороздок на самом подшипнике или на соседнем подшипнике.



3D-измерение: кавитация

Возможные причины

Высокая температура и низкокипящие примеси способствуют кавитации.

- содержащиеся в масле примеси: вода, топливо или продукты истирания и грязь
- слишком низкое давление масла: имеются непредвиденные потери давления (напр., из-за поврежденного масляного насоса) или задано слишком низкое давление масла
- слишком низкое давление пара используемого масла
- повышение температуры в подшипнике (напр., из-за недостаточной подачи масла)
- низковязкие масла повышают риск появления кавитации
- пустоты/частицы (напр., отложения масляного нагара) на обратной стороне вкладыша подшипника могут привести к колебаниям/вибрациям вкладыша подшипника и вызвать тем самым кавитацию

Кавитация под действием колебаний или подсоса:

- из-за слишком большого зазора для смазочного материала снижается гидродинамическое давление в зазоре подшипника
- колебания коленчатого вала: движение шейки вызывает снижение давления с одной стороны из-за возникновения подсоса
- колебания отверстия под подшипник (обычно в головках шатунов) из-за деформации или изгиба – происходит снижение давления в масляной пленке

Кавитация в потоке:

- неровности поверхности (отверстия для смазки, масляные канавки) и отклонения потока масла могут привести к снижению давления

Меры по устранению

Подшипники, в которых наблюдается кавитация, не требуют замены.
В зависимости от степени кавитации, из-за воздействия на динамические характеристики подшипника возможно снижение срока службы. Но полного повреждения опасаться не следует.

- использовать качественные масла и регулярно заменять масло и фильтр согласно данным изготовителя
- проверить давление масла, при необходимости подрегулировать
- использовать масло с более высоким значением давления пара: однако масло должно подходить для всех компонентов двигателя, при необходимости проконсультироваться с изготовителем
- проверить зазор для смазочного материала, при необходимости подрегулировать зазор в подшипнике
- проверить подверженность двигателя колебательным нагрузкам (вибрациям)
- проверить масло на разжижение топливом

6.1 Введение

Локальное превышение усталостной прочности материала приводит к его усталости. Появляются первые надрезы (Рис. 1), которые постепенно увеличиваются и образуют сеть трещин (Рис. 2). Затем подшипниковый материал начинает крошиться (Рис. 3). Сеть трещин и выкрашивание материала снижают прочность подшипника, что в случае нагрузки может привести к усталостному излому. В конечном итоге подшипник скольжения теряет работоспособность, и возникает полное повреждение.
В результате выкрашивания материала частицы проникают в систему смазки. Возможно образование бороздок или внедрение частиц на самом подшипнике или на вкладышах соседних подшипников. Кроме того, на самом подшипнике или на соседних подшипниках могут появиться места трения и задиры.

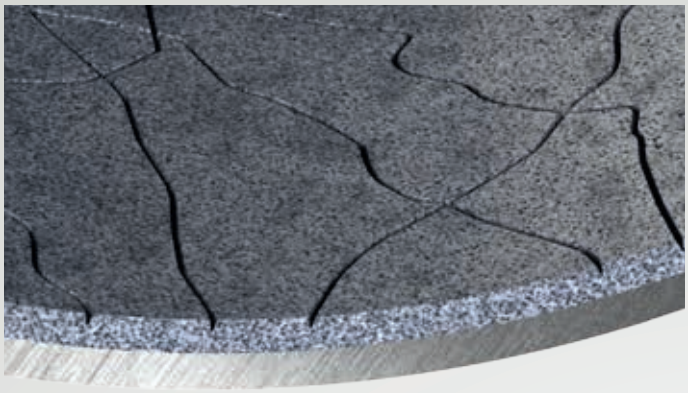


Рис. 1

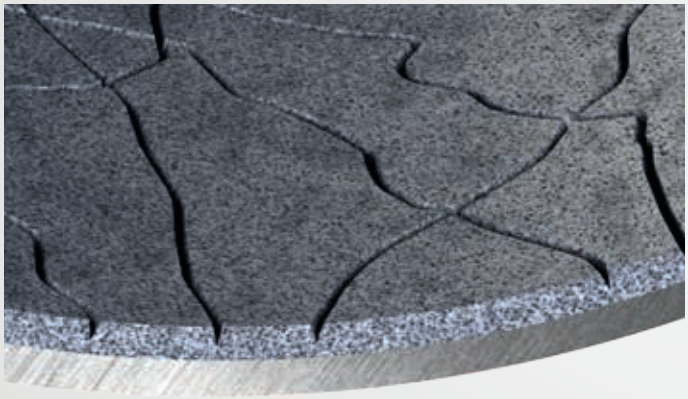


Рис. 2

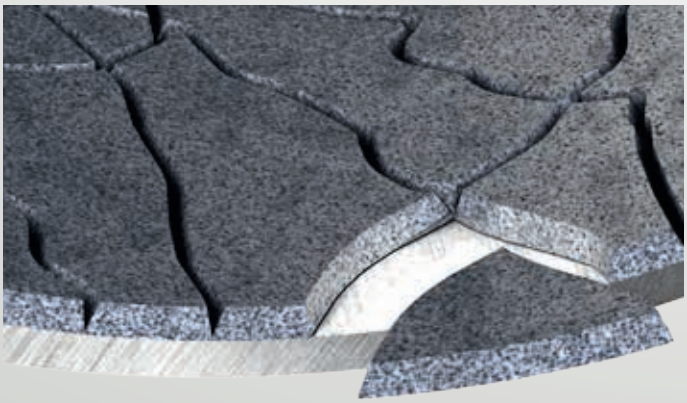


Рис. 3

Возможные причины

Усталостные явления, например, трещины и крошение подшипникового металла, вызываются динамической перегрузкой. Это может иметь различные причины:

- перегрузка: при воздействии на подшипник сил, превышающих допустимые значения, возникает усталость материала – из-за нарушений процесса сгорания, например, детонации, увеличивается давление на поршень и тем самым на шатунный подшипник
- зазор для смазочного материала слишком мал – не образуется прочная масляная пленка: в этих местах увеличиваются давление масляной пленки и давление на поверхность, что может быть вызвано ошибками соосности, погрешностями формы, геометрическими погрешностями или ошибками при монтаже (см. главу: «Особые случаи износа из-за полусухого трения»); осмотр соседних подшипников может дать разъяснение
- плохое качество масла или старение масла: использование неподходящего масла или масла недостаточного из-за старения качества может отрицательно повлиять на образование масляной пленки
- колебания: в случае дополнительного воздействия на подшипник переменных напряжений вследствие колебаний повышается риск наступления усталости материала
- высокие температуры: усталости материала способствуют высокие температуры, так как они снижают прочность подшипникового материала

Меры по устранению

- проверить нагрузку на подшипник – при необходимости использовать подшипник из более прочного материала
- проверить правильность геометрии коленчатого вала: размеры, круглость, цилиндричность, волнистость, шероховатость поверхности
- проверить правильность расточки отверстий под подшипники: размеры, круглость, цилиндричность, поверхность
- проверить соосность отверстий под коренные подшипники (соблюдать заданные моменты затяжки болтов, в достаточной мере охладить двигатель)
- перед монтажом проверить правильность положения шатунов
- при монтаже выполнить балансировку коленчатого вала
- использовать только рекомендуемое изготовителем масло и соблюдать периодичность смены масла
- обеспечить достаточное охлаждение двигателя

6.2 Растрескивание и крошение антифрикционного слоя

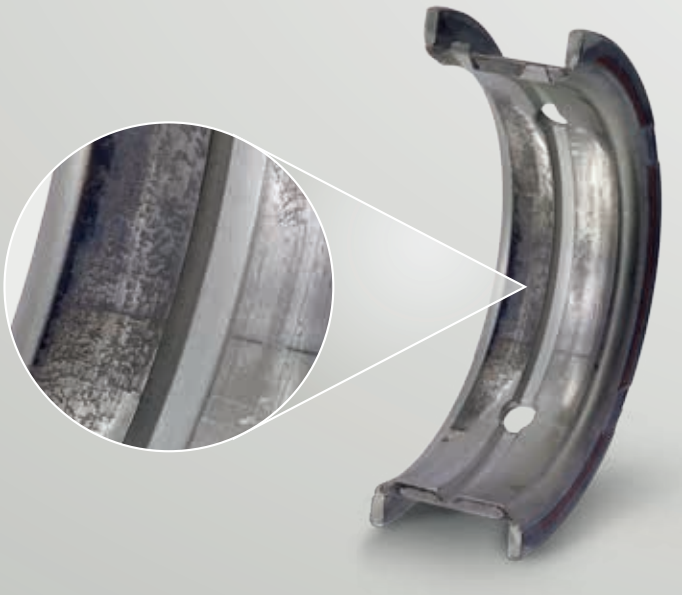
Этот вид повреждения возникает только у подшипников скольжения с нанесенным антифрикционным слоем в виде полимерного покрытия/слоя лака скольжения, гальванического покрытия или ионно-плазменного напыления.

Описание

- антифрикционный слой с видимыми тонкими трещинами, особенно поперек направления вращения: часто используется название «короед», так как картина повреждения напоминает места, поврежденные короедом
- часто сопровождается кромочным контактом и изменением окраски поверхности подшипника

Вкладыш шатунного подшипника со стороны шатуна, композит сталь-латунь с ионно-плазменным напылением

В направлении области утончения у подшипника скольжения наблюдаются усталостные явления в виде трещин и начала выкрашивания вплоть до слоя латуни.



Вкладыш коренного подшипника, композит сталь-бронза с гальваническим покрытием

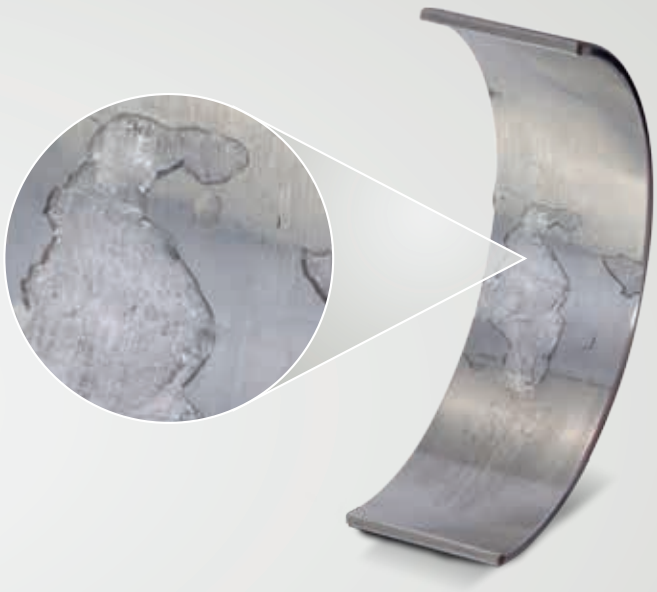
Односторонний кромочный контакт, наблюдаемый у обоих вкладышей подшипника, привел к усталости гальванического слоя и появлению типичной картины повреждения «короед».

Указание:
Возможные причины и меры по устранению см. в главе «6.1 Введение».

6.3 Растрескивание и крошение подшипникового металла

Описание

- трещины и крошение в форме брусчатки вплоть до подшипникового материала
- в зависимости от дальнейшей эксплуатации, кромки мест крошения скруглены из-за износа



Вкладыш шатунного подшипника со стороны шатуна,
композит сталь-алюминий

Видны крупные места крошения и трещины.

Указание:
Возможные причины и меры по устранению см. в главе «6.1 Введение».

7.1 Введение

Повреждения от перегрева возникают в результате значительного повышения температуры вкладыша подшипника скольжения при сильном полусухом трении. Поэтому образование мест трения или задиров всегда сопровождается также температурными трещинами, изменением окраски и появлением мест наплавления.

Отвод тепла смазочным материалом играет при этом решающую роль. Если больше не обеспечивается отвод тепла, то наступает полное повреждение.

Уже при возникновении первых проявлений перегрева местами происходит изменение структуры, и снижается усталостная прочность материала. В пораженных местах образуются температурные трещины.

Возможные причины

- повреждение вследствие повышения температуры по причине образования мест трения, задиров или кромочного контакта
- недостаточный отвод тепла смазочным материалом (см. главу: «Места трения: возможные причины»)

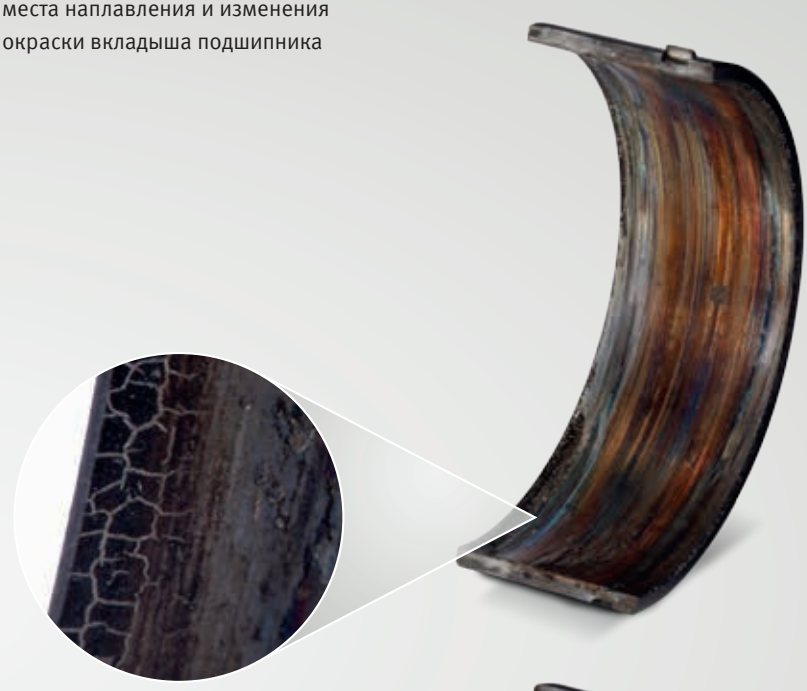
Меры по устранению

При возникновении повреждений от перегрева требуется заменить подшипник и выявить причины. Если повреждение является следствием, то необходимо устранить причину первичного повреждения. При отсутствии дополнительного повреждения подшипника требуется проверить смазочный контур (см. главу: «Места трения: меры по устранению») и нагрузку на подшипник.

7.2 Температурные трещины

Описание

- видна сеть трещин
- места наплавления и изменения окраски вкладыша подшипника



Вкладыши шатунного подшипника со стороны крышки и шатуна, композит сталь-бронза с гальваническим покрытием

На рабочем слое вкладышей подшипника с задирами ясно видны значительные изменения окраски и места наплавления. Трещины образовались прежде всего в области кромок.

Указание:
Возможные причины и меры по устранению см. в главе «7.1 Введение».

7.3 Места наплавления на рабочем слое

Описание

- на рабочей поверхности видны смещения материала и места размазывания
- процесс сопровождается температурными трещинами и изменениями окраски вкладыша подшипника

Вкладыш шатунного подшипника со стороны крышки, композит сталь-бронза с гальваническим покрытием

На гальваническом слое видны белые места наплавления.

Указание:
Возможные причины и меры по устранению см. в главе «7.1 Введение».

7.4 Изменения окраски рабочего слоя или обратной стороны вкладыша подшипника

Описание

- синевато-черная окраска рабочего слоя или обратной стороны вкладыша подшипника
- процесс сопровождается образованием мест наплавления и отделением/смещением материала

Вкладыш шатунного подшипника со стороны шатуна, композит сталь-бронза с гальваническим покрытием

После образования задиров на подшипнике обратная сторона вкладыша подшипника приобрела черную окраску.

Вкладыш шатунного подшипника со стороны крышки, композит сталь-бронза с гальваническим покрытием

На рабочем слое распознается цвет побежалости.

Указание:
Возможные причины и меры по устранению см. в главе «7.1 Введение».

8.1 Коррозия от трения/контактная коррозия

Описание

- покрытая ямками поверхность обратной стороны вкладыша подшипника или ямки в области поверхности разъема
- матовые, шероховатые места

Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

На поверхности разъема также могут проявляться признаки движения вкладыша подшипника в виде коррозии от трения. Поверхность материала сильно изменилась (Рис. 1).

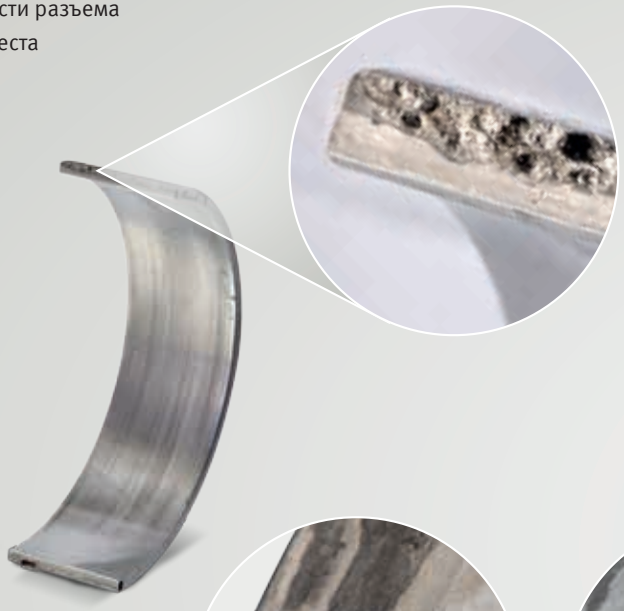


Рис. 1

Верхние вкладыши коренных подшипников, композит сталь-алюминий

Видны значительные следы коррозии от трения и места выкрашивания материала (Рис. 2).

Здесь видны однозначные признаки обширной коррозии от трения: выкрашивание материала и образование ямок на поверхности (Рис. 3).

Рис. 2

Рис. 3

Оценка

Если вкладыш подшипника неправильно установлен в постели, то наблюдается относительное движение (микродвижение скольжения), из-за которого возникает коррозия от трения. Тепло, образующееся при трении в процессе движения подшипника, не отводится смазочным материалом, как внутри подшипника, а приводит к локальному перегреву стальной основы. В результате этого перегрева образуются места наплавления, а поверхность покрывается типичными ямками. Происходит перенос материалов между обратной стороной вкладыша подшипника и корпусом.

Окружающая среда может проникнуть в уже ставшие шероховатыми и химически активными поверхности и ускорить коррозию.
Коррозия от трения снижает усталостную прочность материала из-за содействия образованию микротрещин. Возможны усталостные повреждения, вследствие которых возникают трещины и усталостные изломы.

Возможные причины

- недостаточный предварительный натяг из-за слишком большого отверстия под подшипник или слишком малого вкладыша подшипника
- выступ вкладыша подшипника слишком мал: выступ вкладыша подшипника обеспечивает глухую посадку за счет достаточной прессовой посадки
- деформация корпуса: у изготовленных из алюминия картеров двигателей под действием значительной температуры корпус и вкладыш подшипника могут деформироваться по-разному, из-за чего больше не обеспечивается глухая посадка подшипника
- изгиб коленчатого вала: вследствие изгиба коленчатого вала на рабочей поверхности подшипника остается особое пятно контакта (см. главу: «Особые случаи износа из-за полусухого трения»)
- недостаточная затяжка болтов
- колебания или вибрации корпуса или коленчатого вала, которые вызывают микродвижение (возможно также усиление колебаний или вибраций за счет частиц или, соответственно, пустот на обратной стороне вкладыша)

Меры по устранению

Если распознаются признаки контактной коррозии, то подшипник необходимо заменить, так как уже возможно снижение усталостной прочности.

- отверстие под подшипник и наружный диаметр вкладыша подшипника должны быть в пределах допусков, чтобы обеспечить соблюдение заданного зазора в подшипнике
- выступ: для обеспечения глухой посадки вкладыша подшипника за счет надлежащей прессовой посадки требуется достаточное значение выступа вкладыша
- проверить отверстие под подшипник и корпус на наличие возможных деформаций
- отбалансировать коленчатый вал при монтаже и проверить нагрузку на вал
- затянуть болты с соблюдением данных изготовителя относительно моментов и последовательности затяжки
- проверить работающий двигатель на вибрации и колебания

8.2 Химическая коррозия

Описание

- изменения окраски поверхности материала, обычно в области основной нагрузки
- шероховатая и пористая рабочая поверхность

Нижний вкладыш коренного подшипника, композит сталь-алюминий

Заметно отложение продуктов коррозии на рабочей поверхности подшипника, особенно в центре подшипника. Это отложение имеет вид пятна. Под микроскопом видно, что пораженная коррозией рабочая поверхность подшипника приобрела шероховатость.

Оценка

Химическую коррозию вызывают реакции между вкладышем подшипника и моторным маслом. Причинами химической реакции являются агрессивные присадки к маслу или загрязнение масла во время эксплуатации.

В результате химического воздействия снижается усталостная прочность материала, из-за чего ускоряется развитие усталостных повреждений даже при малой нагрузке.

Возможные причины

- износ, кавитация и эрозия могут способствовать появлению коррозии из-за разрушения и химической активации поверхности материала
- образование кислот и солей металлов вследствие старения масла
- недопустимые, агрессивные присадки к маслу
- агрессивные продукты сгорания (сера, сероводород)
- загрязнение масла водой или антифризом
- высокие рабочие температуры ускоряют химические процессы, например, старение масла

Меры по устранению

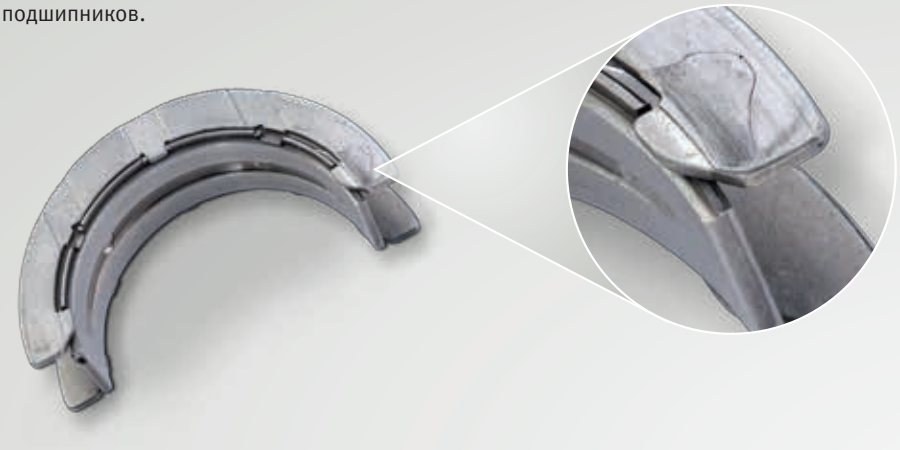
Пораженные коррозией подшипники необходимо заменить.

- смену масла всегда выполнять согласно предписаниям изготовителя
- использовать только качественные масла, не содержащие агрессивных присадок
- обеспечивать достаточное охлаждение двигателя

9 Повреждения упорных пластин

Упорные пластины способны воспринимать осевые усилия, возникающие, например, при включении сцепления. Поэтому в наборе коренных подшипников один подшипник всегда служит для восприятия осевых усилий. Для этого используются вставные упорные пластины, предварительно смонтированные и готовые к монтажу подшипники с буртами или вкладыши упорных подшипников.

Образование трещины между наружными кромками



Обширное выкрашивание материала у наружной кромки упорной пластины

Возможные причины

- осевой зазор слишком мал, из-за чего упорная пластина упирается в сопряженную скользящую часть
- слишком высокая осевая нагрузка
- постоянная осевая нагрузка
- слишком шероховатая поверхность щеки вала

Меры по устранению

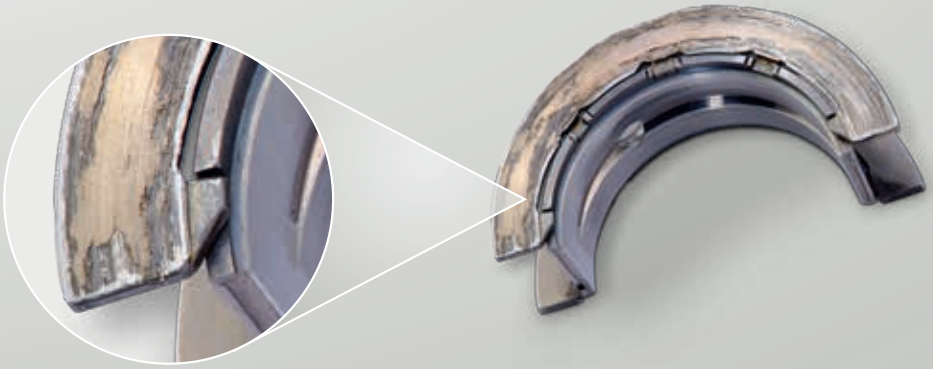
- проверить осевой зазор коленчатого вала и соблюсти заданные пределы допусков – при необходимости установить упорную пластину уменьшенных размеров
- проверить осевую нагрузку на упорную пластину

Новое состояние до эксплуатации

Износ при скольжении:
на рабочей поверхности упорной пластины видны места контакта

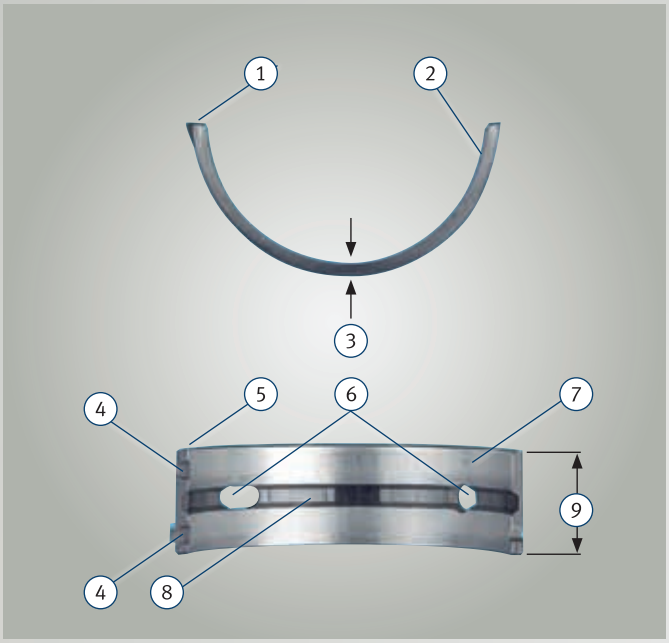
Сильный износ при скольжении:
смещение и съем материала, смазочные канавки почти отсутствуют

Задиры:
выкрашивание материала и образование глубоких бороздок, смазочные канавки больше не видны

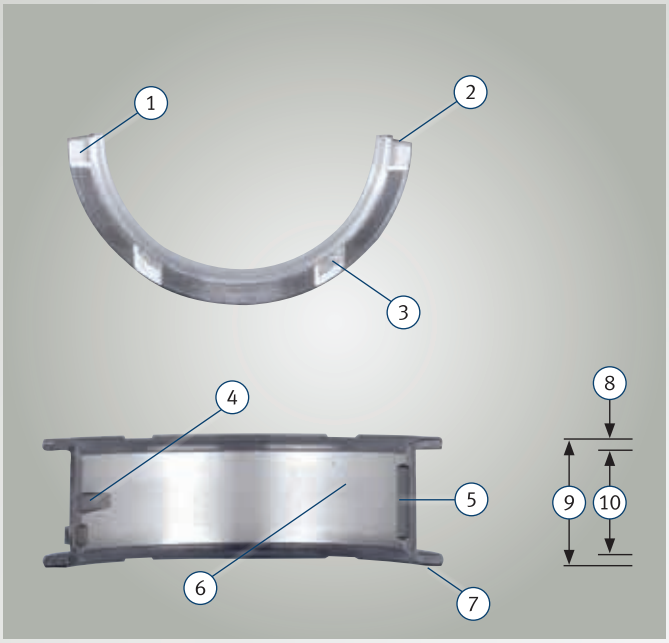


Полное повреждение

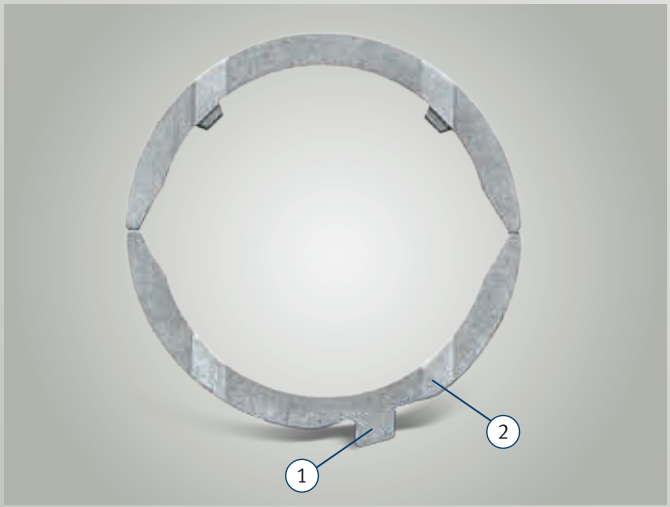
Подшипник скольжения: термины и названия



1 *Поверхность разъема*
2 *Утончение рабочей поверхности*
3 *Толщина стенки*
4 *Фиксирующие кулачки слева и справа*
5 *Торцевая поверхность*
6 *Отверстие для смазки*
7 *Рабочая поверхность*
8 *Масляная канавка внутри*
9 *Ширина подшипника*



1 *Утончение на торцевой поверхности*
2 *Утончение на поверхности разъема бурта*
3 *Смазочная канавка на торцевой поверхности*
4 *Серповидная канавка*
5 *Смазочный карман*
6 *Рабочая поверхность*
7 *Торцевая поверхность*
8 *Толщина бурта*
9 *Ширина подшипника*
10 *Расстояние между буртами*



1 *Крепежный кулачок*
2 *Смазочная канавка*

Пояснение использованных терминов

Абразивный
Шлифующий/истирающий

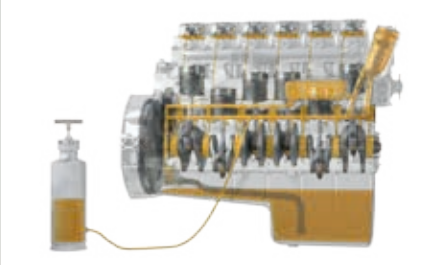
Автоматическая система старт-стоп
В первую очередь, ввиду требования снизить уровень выбросов CO_2 особое внимание уделяется старт-стопному режиму работы двигателей внутреннего сгорания. В старт-стопном режиме двигатель останавливается при остановке транспортного средства и снова автоматически запускается при трогании с места. Это требует от расположенных внутри двигателя подшипников скольжения повышенной устойчивости к полусухому трению. Каждый раз при запуске и остановке подшипники выходят из гидродинамического режима эксплуатации и проходят зону полусухого трения, достигая нулевой точки скорости скольжения. Только специально разработанные антифрикционные слои обеспечивают достаточную износостойкость подшипников скольжения в этих чрезвычайно критических с трибологической точки зрения условиях.

Гальванизация
Электрохимическая технология нанесения покрытий: на полностью обработанные подшипники скольжения электрохимическим способом наносятся гальванические слои, позволяющие выдерживать специфические нагрузки до ок. 100 МПа. Гальванические слои облегчают приработку, а также улучшают характеристики вкладышей подшипников в отношении частиц и их свойства работы в аварийном режиме.

Ионно-плазменное напыление (sputter)
Повышенная мощность двигателей требует, особенно для шатунных подшипников, применения материалов с существенно более высокой усталостной прочностью, более низкими темпами износа в зоне полусухого трения и хорошей коррозионной стойкостью при повышенной температуре. Этому сложному профилю требований отвечает физическое отделение газообразной фазы (PVD). В высоком вакууме из источника выбиваются мельчайшие частицы. С помощью электромагнитных полей они равномерно наносятся на обрабатываемую деталь. Эти магнетронные слои отличаются точнейшим распределением отдельных компонентов.

За основу взят известный триметаллический подшипник. Основная конструкция была сохранена. Гальванический антифрикционный слой заменяется напыленным антифрикционным слоем. Напыленные вкладыши подшипников используются преимущественно на стороне давления шатунных подшипников. Противоположные вкладыши – это вкладыши обычных би- или триметаллических подшипников. Правильное положение при монтаже напыленного вкладыша является важным условием для обеспечения технической безопасности.

Заполнение маслом под давлением
Во избежание повреждений при обкатке, напр., работы подшипников скольжения всухую, перед первым запуском двигателя необходимо заполнить масляную систему маслом под давлением и удалить из нее воздух.



Жидкостное трение
Называют также жидким трением. При низких частотах вращения у гидродинамических подшипников скольжения не создается прочная масляная пленка, а наблюдается полусухое трение между шейками и подшипниками. Только после достижения переходной частоты вращения наступает жидкостное трение, т. е. требуемое состояние. При этом образуется прочная масляная пленка, а износ шеек и подшипников скольжения сводится к минимуму.

Круглость
Круглость вращающегося элемента по сечению (перпендикулярно его фактической оси) равна минимальной ширине кольца между двумя кругами, имеющими общий центр. По этому сечению центр можно свободно перемещать, чтобы ширина кольца достигла минимального значения. При этом все точки элемента находятся между этими двумя кругами.

Ломаные шатуны
Ломаные шатуны сначала изготавливают в виде цельной детали, затем на них наносят насечки для разлома (металлокерамический шатун) или лазерные насечки (стальной шатун), после чего их целенаправленно ломают на две части (крекинг). Обе части свинчивают при монтаже шатуна. Благодаря индивидуальной геометрии разлома они точно подходят друг к другу.

Места трения
Первая стадия задиров, вызванная сильным полусухим трением (напр., при недостатке смазочного масла). Типичные признаки мест трения: образование бороздок и следов от полусухого трения, а также смещение антифрикционного слоя.

Место контакта/пятно контакта
Внешний вид рабочей поверхности подшипника, к которому приводит контакт с шейкой вала во время работы.

Осевое усилие
Усилие, действующее в направлении оси вращающегося тела.

Переходная частота вращения
Характеризует переходную точку, т. е. область перехода от полусухого трения к жидкостному трению в результате увеличения скорости скольжения. В гидродинамических подшипниках скольжения, используемых в двигателях внутреннего сгорания, тонкая масляная пленка создается только при повышенной скорости скольжения. При низкой скорости скольжения эти подшипники испытывают полусухое трение, при котором высока доля трения твердых тел. По этой причине всегда стараются сократить время работы в условиях полусухого трения.

Поверхность разъема
Поверхности разъема вкладыша подшипника расположены на свободных концах полого полуцилиндра. Эти поверхности образуются при отделении пластины от ленты или при соответствующей доработке. Во время монтажа верхний и нижний вкладыши зажимаются в корпусе в области поверхностей разъема, при этом за счет выступа обеспечивается прессовая посадка.

Полимерное покрытие
Называют также полимерным лаком скольжения. Данный лак состоит из устойчивой к действию температуры и грязи полиамидной смолы с высокой долей наполнителей, уменьшающих трение и износ. В результате комбинирования металла и полимера повышается устойчивость к нагрузкам на 20 % по сравнению с традиционными биметаллическими подшипниками, увеличивается износостойкость и снижается трение.

Предотвращение диффузии
Для предотвращения диффузии наносится тонкий слой, как правило, из никеля (Ni) или никель-хрома (NiCr), предотвращающий диффузию олова между напыленным или гальваническим антифрикционным слоем (самый верхний слой подшипника) и бронзовым подшипниковым материалом. Диффузия олова изменила бы механические характеристики антифрикционного слоя и подшипникового металла.

Прессовая посадка и выступ
Втулки и вкладыши подшипников фиксируются в основном путем прессовой посадки в корпусе. Прессовая посадка вкладышей подшипников обеспечивается за счет того, что периметр обоих полуцилиндров превышает 180°. Разность между фактическим значением периметра вкладыша подшипника и периметром в 180° называют выступом. Выступ вкладыша подшипника непосредственно влияет на прессовую посадку.

Распрямление
Значение распрямления указывает отклонение наружного диаметра от идеальной формы круга в области поверхности разъема. Оно отражает упругую отдачу после придания формы и измеряется в несмонтированном состоянии. Достигаемый при этом предварительный натяг вкладыша подшипника облегчает монтаж благодаря хорошему прилеганию к стенке корпуса и предотвращает выпадение или перекручивание.

Системы канавок/смазочная канавка
Системы канавок требуются для распределения смазочного материала внутри подшипников, что позволяет создать гидродинамическое рабочее состояние. Они располагаются преимущественно в ненагруженной области подшипников. Через системы канавок обеспечивается также подача смазочного материала к другим потребителям.

Со стороны шатуна/крышки
Для того чтобы шатун можно было установить на коленчатом валу, шатунный подшипник оснащают двумя вкладышами: один монтируют со стороны шатуна, а другой – со стороны крышки. В смонтированном состоянии оба вкладыша подшипника точно зажимаются шатунными болтами, образуя герметичный подшипник. Вкладыш подшипника со стороны шатуна испытывает значительно более высокую механическую нагрузку, чем вкладыш со стороны крышки, потому что через него сила действия газов, возникающая в процессе сгорания, передается к коленчатому валу. Особенно у дизельных двигателей с высоким наддувом на вкладыши подшипников скольжения воздействуют специфические нагрузки в 100 МПа и более. Вкладыш шатунного подшипника со стороны крышки служит для закрытия подшипника.

Толщина стенки
Зазор в подшипнике скольжения регулируется за счет толщины стенки подшипника. Поскольку наружный диаметр ввиду прессовой посадки имеет заданное значение, зазор в подшипнике относительно диаметра вала можно адаптировать за счет изменения толщины стенки. Для восстановленных валов предлагаются подшипники скольжения различных ремонтных исполнений (с увеличенными значениями толщины стенки).

Утончение
Область вкладыша подшипника с уменьшенной толщиной стенки в направлении поверхности разъема. Это позволяет сгладить погрешности монтажа.

Фиксирующие кулачки
Фиксирующими кулачками оснащают вкладыши подшипников в области поверхности разъема. Их осевое расположение позволяет избежать ошибок при монтаже.

Эрозия
Съем материала из-за кинетической энергии воздействующих на поверхность твердых, жидких или газообразных веществ.

Передача ноу-хау

Специальные знания от эксперта

Курсы обучения по всему миру

Напрямую от изготовителя

Ежегодно около 4 500 механиков и техников приобретают новые знания на наших курсах обучения и семинарах, которые мы проводим как на местах, в различных странах мира, так и в наших учебных центрах, расположенных в Нойенштадте, Дормагене и Тамме (Германия).

Техническая информация

Практические навыки для практического применения

Благодаря нашим Product Information, Service Information, техническим брошюрам и плакатам Вы всегда будете идти в ногу со временем.

Технические видеофильмы

Подробно разъясненный профессиональный монтаж

Передача знаний через видео: в наших видеофильмах Вы найдете связанные с практикой указания по монтажу и системные пояснения к нашим продуктам.

Новости

Регулярно рассылаемая по e-mail информация

Подпишитесь онлайн на наш бюллетень, и Вы будете регулярно и бесплатно получать информацию о новых продуктах в программе, технические издания и многое другое.

Социальные сети

Всегда в курсе

Индивидуальная информация

Специально для наших заказчиков

Подробная информация и сервис из нашего обширного спектра услуг, например: индивидуализированные материалы для содействия сбыту, поддержка сбыта, техническая поддержка и многое другое.

my IMS MOTORSERVICE

MOTORSERVICE
RHEINMETALL AUTOMOTIVE

www.ms-motorservice.com

Продукты в фокусе внимания онлайн

Информация о продуктах в режиме онлайн

Вы узнаете много интересного о наших продуктах, установленных внутри двигателя и вокруг него, благодаря интерактивным элементам, анимации и видеороликам.

Виртуальный магазин

Ваш прямой доступ к нашим продуктам

Оформление заказов круглосуточно. Быстрый контроль наличия. Обширный поиск продуктов по двигателю, транспортному средству, размерам и т. д.

Технипедия

Вы ищете техническую информацию на темы, связанные с двигателем?

В нашей технипедии мы поделимся с Вами своими ноу-хау. Здесь Вы найдете специальные знания напрямую от эксперта.

Приложение Motorservice

Мобильный доступ к техническому ноу-хау

Здесь Вы быстро и просто получите самую актуальную информацию и услуги по нашим продуктам.

MOTORSERVICE
RHEINMETALL AUTOMOTIVE

Приложение Motorservice

Мобильный доступ к техническому ноу-хау

Узнать больше

www.ms-motorservice.com/app

Партнёр Motorservice:

Headquarters:
MS Motorservice International GmbH
Wilhelm-Maybach-Straße 14–18
74196 Neuenstadt, Germany
www.ms-motorservice.com

4 028977 888298

50003859-09 – RU – 05/17 (052017)
© MS Motorservice International GmbH