

ВЛИЯНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В СИСТЕМЕ СМАЗКИ НА ХАРАКТЕР ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ ДВС



Постановка задачи исследования

Нарушение режима смазки - одна из наиболее распространенных причин повреждений подшипников коленчатого вала в эксплуатации.

Опыт более чем 100 лет эксплуатации ДВС - возможность локализовать повреждение и уточнить его причину.

- 1) **если повреждены все подшипники или их большинство, то речь идёт об общей недостатке масла**
 - неисправный или негерметичный масляный насос, или же дефект редукционного клапана насоса,
 - утечки в масляной системе (чрезмерно большие зазоры, поломки заглушек, масляных форсунок и т.д.),
 - засорение сетки маслоприемника,
 - слишком низкий уровень масла,
 - слишком большой наклон автомобиля.
- 2) **если же повреждён только один подшипник, то это считается локальной недостатчей масла**
 - установка вкладыша подшипника в неправильном положении - если одна половина подшипника имеет масляные каналы, а другая не имеет таковых, то в неправильном положении (наоборот) происходит перекрытие масляного канала в постели подшипника, и тогда масло не поступает в подшипник.
 - засорение масляных каналов к поврежденному подшипнику посторонними предметами.
 - полное отсутствие подачи масла к шейке (например, при поломке вала),
 - прочие причины, в том числе, производственные, включая попадание под подшипник посторонних предметов, частиц, неправильная геометрия и др.

Основные трудности в правильном определении причин неисправности ДВС

- при исследовании причины неисправности ДВС, в котором повреждены подшипники коленвала, указанной информации, как правило, недостаточно.



Результат

- отсутствует подробное описание целого ряда наблюдаемых конкретных признаков повреждений и их причин,
- Большое количество ошибок при исследовании причин.

Цель работы

- разработка рекомендаций для определения причин неисправностей подшипников ДВС в зависимости от характера их повреждений.

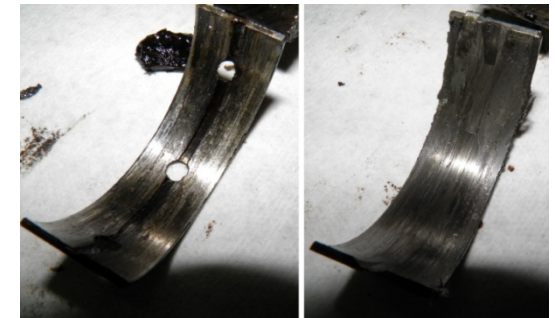
1. Особенности повреждения подшипников ДВС и их причины

Основные и наиболее часто встречающиеся виды повреждений подшипников скольжения коленвала можно разбить на 3 основных вида:

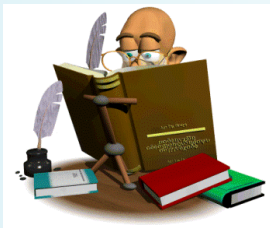
- 1) повреждены большинство или все **шатунные подшипники**, с образованием следов масляного голодания на шатунных шейках коленвала, на рабочей поверхности подшипников в виде цветов побежалости металла, задиров, плавления и разрушения антифрикционного слоя подшипников, с повреждением кривошипных головок шатунов, при этом коренные подшипники следов повреждения не имеют или они незначительны,
- 2) повреждены большинство или все **коренные подшипники**, с образованием следов масляного голодания на коренных шейках коленвала, на рабочей поверхности подшипников в виде цветов побежалости металла, задиров, плавления и разрушения антифрикционного слоя подшипников, с повреждениями на поверхности отверстий опор (постелей) коленвала в блоке цилиндров, при этом шатунные подшипники следов повреждения не имеют,
- 3) повреждены в той или иной степени **и коренные, и шатунные подшипники**, имеющие следы повреждения различной степени .



Типичный пример повреждения шатунных подшипников при отсутствии повреждений коренных подшипников.



Противоположный случай – повреждения коренных подшипников, сопровождаемые сравнительно небольшими повреждениями шатунных подшипников.



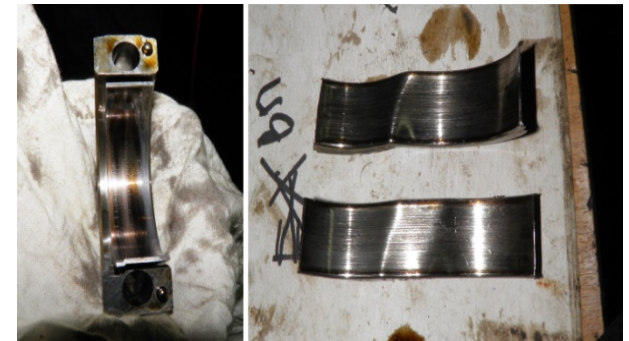
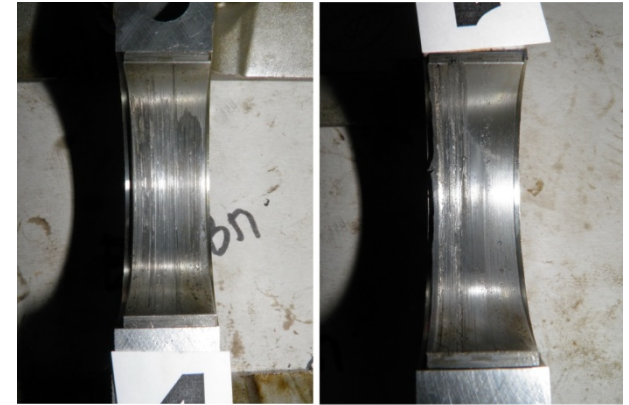
1. Особенности повреждения подшипников ДВС и их причины

Предположение:

- в случае внезапного и полного прекращения подачи масла к коленчатому валу нарушение смазки возникнет в 1-ю очередь в тех подшипниках, куда смазка непосредственно подается под давлением.

Следствия

- 1) режим масляного голодания при быстром и полном прекращении подачи масла должен возникать, в 1-ю очередь, в **коренных подшипниках** коленвала,
- 2) наблюдаемое повреждение **только шатунных подшипников** (без повреждения коренных) возможно не только и не столько в случае полного отсутствия масла в смазочных отверстиях коленвала, сколько при снижении подачи масла, но не полного его прекращения (иначе повреждения получили бы и коренные подшипники).



Особенности реальных исследований

- не принимается во внимание наблюдаемое различие в степени повреждения коренных и шатунных подшипников,
- указываются такие причины возникновения масляного голодания, которые прямо противоречат имеющимся признакам.

Пример повреждения всех подшипников - и коренных, и шатунных, в результате длительной эксплуатации двигателя на мощностных режимах при неисправном маслососе.

Наличие одновременного повреждения всех подшипников коленвала вызывает наибольшие трудности при определении достоверной причины повреждения, соответствующей реальной картине выхода двигателя из строя.



2. Влияние конструкции коренных подшипников на смазку шатунных

Конструктивная схема подшипников коленвала ДВС.

В подавляющем большинстве конструкций автомобильных ДВС коренные подшипники, помимо основной "подшипниковой" функции, выполняют и роль маслораспределителей для подачи масла к шатунным подшипникам.

Отличительные особенности конструкции коренных подшипников:

- 1) нижняя половина коренного вкладыша выполняется без маслосборной канавки, что необходимо из условия максимальной грузоподъемности и минимального эксплуатационного износа подшипника,
- 2) маслосборная канавка выполняется только на менее нагруженной верхней половине вкладыша,
- 3) на коленчатом валу выполняется одно или два отверстия для подачи масла из маслосборной канавки к шатунному подшипнику.



Смазочные отверстия в коленчатом валу:

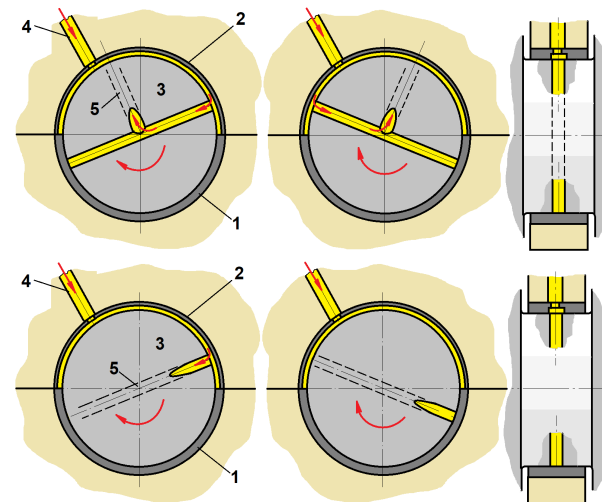
- 1) коренная шейка сверлится поперек по ее диаметру насквозь, затем выполняется отверстие в шатунной шейке до его соединения с отверстием в коренной,
- 2) сверлится только одно сквозное отверстие, соединяющее коренную и шатунную шейки.

Особенности смазки шатунных подшипников

Установка коленчатого вала, имеющего только по одному отверстию в коренных шейках, в подшипники, у которых маслосборная канавка есть только на верхних половинах вкладышей, приводит к **прерывистой подаче масла** в смазочное отверстие коленвала для смазки шатунных подшипников:

- при вращении коленчатого вала отверстие подачи масла к шатунным подшипникам открыто только пол оборота, а остальные пол оборота отверстие закрыто нижней половиной вкладыша.

При полном перекрытии смазочного отверстия в коленвале подача масла к шатунным подшипникам неизбежно продолжится - за счет центробежных сил.



Конструктивные схемы коренного подшипника с непрерывной и с прерывистой подачей масла через отверстие, соединяющее коренную и шатунную шейки:

1- нижний вкладыш без канавки, 2- верхний вкладыш с канавкой, 3- коленвал, 4- канал подачи масла к коренной опоре, 5- канал подачи масла к шатунной шейке.

3. Оценка влияния центробежных сил на смазку шатунных подшипников

Допущения :

- 1) смазочное отверстие просверлено приблизительно по радиусу кривошипа,
- 2) течение масла в отверстии имеет свойство неразрывности,
- 3) подача масла от коренного подшипника перекрыта,
- 4) вращение вала идет с постоянной скоростью, равной 3000 об/мин, что соответствует режиму средних оборотов.

Давление масла $P_{мц}$ в выходном сечении отверстия (на шатунной шейке) равно:

$$P_{мц} = F_{ц}/f, \quad (1)$$

где $F_{ц} = m v^2/R$ - центробежная сила, действующая на столб масла в отверстии, H - масса столба масла, кг, ρ - плотность масла (900 кг/м³), f - площадь проходного сечения отверстия, м², l - длина столба масла, на который действуют неуравновешенная центробежная сила, м, $v = \pi R n/30$ - окружная скорость, м/с, на радиусе кривошипа R , n - частота вращения, об/мин.

$$P_{мц} = \rho R^2 n^2 (\pi^2 / 900)$$

При радиусе кривошипа 0,05 м и частоте вращения 3000 об/мин простейший расчет дает давление подачи масла $P_{мц} = 2,2$ бар.

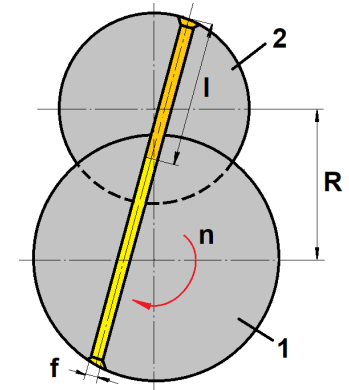


Схема подачи масла от коренной (1) к шатунной (2) шейке коленвала



Отсюда:

- 1) подача масла обеспечивается действием центробежных сил на столб масла в смазочном отверстии,
- 2) прерывистой подачи масла к шатунным подшипникам нет, даже если каждое пополюса смазочное отверстие на коренной шейке перекрывается нижним коренным вкладышем без канавки,
- 3) при аварийном и полном прекращении подачи масла в смазочное отверстие смазка шатунного подшипника некоторое время будет продолжаться - точно так же, как и при отключении подачи масла в смазочное отверстие каждые пополюса коленвала,
- 4) подача масла к шатунным подшипникам под действием центробежных сил вполне достаточна для нормальной работы подшипника (хотя и ограниченное время - пока масло не будет полностью выдавлено из смазочного отверстия в шатунный подшипник).

4. Влияние режима работы двигателя на повреждения подшипников

Режим масляного голодания приводит к повреждению и последующему разрушению подшипника скольжения:

- первоначально возникает при недостаточной подаче масла к трущимся поверхностям подшипника (при штатной нагрузке),
- масляная пленка становится тоньше,
- ухудшение отвода теплоты и повышение температуры масла и самого подшипника снижает вязкость масла и еще больше уменьшает толщину пленки масла.

Результат:

- непосредственный контакт и разогрев подшипника от трения контактирующих деталей.

Стадии повреждения:

- соприкосновение по микронеровностям (блеск), износ, задиры, плавление, полное разрушение.

Влияние режима работы двигателя

- **на низких оборотах и нагрузках** на стадии задиры и плавления подшипника может произойти заклинивание вала в подшипнике за счет приваривания деталей друг к другу,
- **на высоких оборотах и у мощных двигателей** такой эффект наблюдается реже (при большой развиваемой мощности двигатель преодолевает любую силу сопротивления вращению коленчатого вала). Даже если вкладыши привариваются к валу, они проворачиваются в блоке цилиндров и/или кривошипной головке шатуна.
- **дальнейшая работа двигателя** ведет к распространению повреждений на все большее число подшипников, их вторичному повреждению продуктами разрушения, а также перекрытию каналов при проворачивании вкладышей в коренных постелях.



Повреждение шатунных вкладышей с плавлением и разрушением рабочего слоя и проворачиванием в кривошипной головке шатуна при незначительном повреждении коренных подшипников частицами разрушения шатунных - результат эксплуатации на масле с чрезмерно низкой вязкостью, вызванной перегревом двигателя.

4. Влияние режима работы двигателя на повреждения подшипников

Реальная картина повреждения – результат влияния нагрузки и времени ее действия:

- на практике наблюдаются не две характерных картины повреждений (повреждены или только коренные, или только шатунные подшипники), а три,
- к двум часто встречающимся вариантам добавляется третий - повреждение и шатунных, и коренных подшипников.

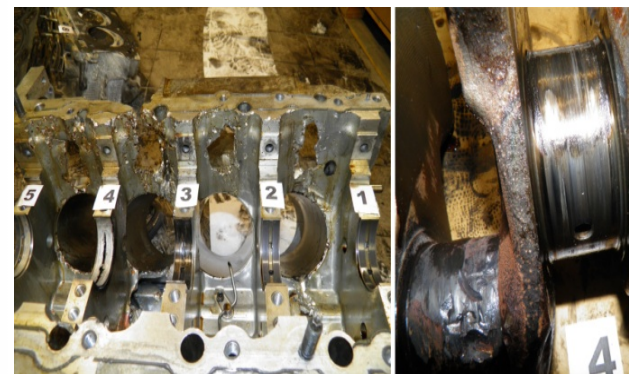
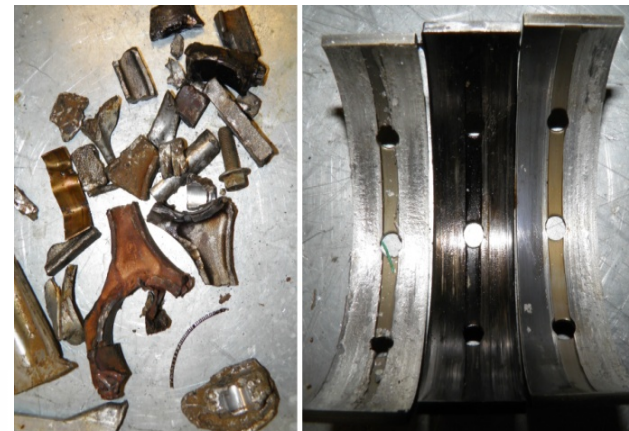


Общее правило повреждения:

- чем больше нагрузка и обороты и длительнее работа двигателя после появления неисправности,
- тем в целом меньше различия в степени повреждения подшипников.

Общий подход к определению причины повреждения (неисправности) – принцип разделения признаков на главные, подтверждающие и уточняющие.

- ❑ **главный признак неисправности** - сам характер повреждения подшипников, а именно, какая группа подшипников повреждена - шатунные, коренные или те и другие.
- ❑ **подтверждающие признаки** - особенности повреждения, в том числе, наличие или отсутствие заклинивания вала в подшипнике, проворачивания вкладыша в постели, перегрева и разрушения кривошипной головки шатуна.
- ❑ **уточняющие признаки** - состояние маслонасоса, фильтра, сетки маслоприемника, целостность поддона картера, наличие течей и продуктов загрязнения масла, качество масла и другие признаки, характеризующие состояние деталей.

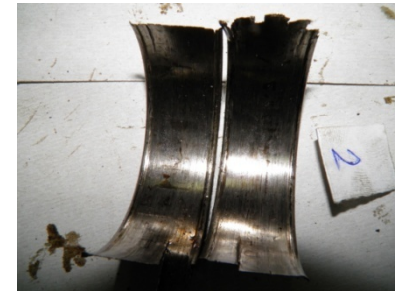


Разрушение двигателя с чрезвычайными повреждениями большинства коренных и шатунных вкладышей, коленчатого вала и множественными пробоями блока цилиндров - результат длительной работы двигателя на мощностных режимах с неисправной системой смазки.

4. Влияние режима работы двигателя на повреждения подшипников

Характер повреждения подшипников скольжения - в зависимости от вида неисправности системы смазки и режима работы двигателя.

Главные признаки неисправности (какая группа подшипников повреждена)	Повреждены несколько или все шатунные подшипники коленвала	Повреждены несколько или все коренные подшипники коленвала	Повреждены и коренные, и шатунные подшипники
Режимы работы двигателя (оказывают влияние на характер повреждения деталей)	- пониженные обороты и нагрузки, сравнительно малое время работы после возникновения неисправности, - повышенные нагрузки - увеличенная длительность работы после возникновения неисправности	- пониженные обороты и нагрузки, сравнительно малое время работы после возникновения неисправности - повышенные нагрузки	- сравнительно длительная работа двигателя на мощностных режимах после возникновения неисправности
Подтверждающие признаки (характер повреждения деталей кривошипно-шатунного механизма)	- заклинивание коленвала в шатунных подшипниках на малых оборотах, - проворачивание шатунных вкладышей и повреждение кривошипн. головок шатунов при повышении нагрузки, - перегрев и разрушение кривошипной головки шатуна при увеличении длительности работы	- заклинивание коленвала в коренных подшипниках на малых оборотах, - проворачивание коренных вкладышей и повреждение коренных постелей в блоке цилиндров при увеличении нагрузки	- проворачивание шатунных вкладышей и повреждение кривошипных головок шатунов с последующим их разрушением, - проворачивание коренных вкладышей и повреждение коренных постелей в блоке цилиндров
Причины неисправности (находятся по уточняющим признакам - состоянию конкретных деталей)	Снижение подачи масла к коленвалу, в том числе: - несвоевременный контроль за уровнем масла, - износ деталей масляного насоса, - износ коленвала и подшипников, - загрязнение сетки маслозаборника, - чрезмерно низкая вязкость масла	Прекращение подачи масла к коленвалу, в том числе: - заклинивание редукционного клапана масляного насоса в открытом положении, - заклинивание редукционного клапана маслонасоса в закрытом положении, выдавливание резинового кольца из-под масляного фильтра, - неисправность механизма регулирования объема нагнетательной полости маслонасоса, - разрушение поддона картера, - внутренние разрушения в двигателе, влияющие на герметичность и/или исправность маслосистемы	Возможные причины неисправности могут соответствовать как снижению, так и полному прекращению подачи масла: - ключевое значение имеет разница между состоянием (степенью повреждения) коренных и шатунных подшипников, - чем дольше работает двигатель после появления неисправности, тем труднее определить разницу между состоянием (повреждением) коренных и шатунных подшипников

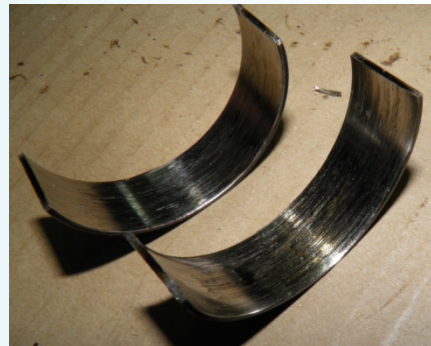


- ✓ сопоставление признаков повреждения подшипников конкретного двигателя с данными таблицы позволяет достаточно быстро локализовать неисправность и путем ограниченного числа проверок быстро выявить причину неисправности.

Выводы



1. Наблюдаемое, согласно имеющимся экспериментальным данным, различие в повреждениях коренных и шатунных подшипников коленчатого вала при неисправностях в системе смазки вызвано различиями в организации подачи масла к подшипникам при влиянии центробежных сил и является ключевым фактором, указывающим на причину неисправности.
2. Нарушение режима смазки и повреждение только коренных подшипников связано, главным образом, с быстрым и полным (или почти полным) прекращением подачи к ним масла, в то время как повреждение только шатунных подшипников является, как правило, следствием снижения подачи масла ниже некоего минимального уровня. Возможны и переходные состояния, когда повреждены и коренные, и шатунные подшипники, однако для правильного определения причины наиболее важна разница в степени их повреждения.
3. Если известные признаки повреждений подшипников разбить на главные (какая группа подшипников повреждена), подтверждающие (характер повреждений) и уточняющие (состояние деталей системы смазки), а затем проверять наличие указанных признаков при исследовании причин неисправностей в зависимости от разницы в состоянии коренных и шатунных подшипников, то причины неисправности двигателя, вызвавшие повреждение подшипников, могут быть определены с более высокой достоверностью.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

А.Э.Хрулев, М.В.Кротов



Специализированный моторный центр
«АБ-ИНЖИНИРИНГ»
БЮРО МОТОРНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ



**Международное
МОТОРНОЕ БЮРО**

Россия, Москва, Шереметьевская, 85Б, стр.4, тел. +7 925 544 8195

E-mail: ab@ab-engine.ru [http:// www.ab-engine.ru](http://www.ab-engine.ru)



Украина, Одесса, ул. Комарова, 12, тел. +38 048 230 9192

E-mail: ab-engine@ukr.net [http:// www.ab-engine.net.ua](http://www.ab-engine.net.ua)

Киевская обл., пгт Немешаево, ул. Школьная, 15, тел. +38 096 163 2183

E-mail: ab.engine@gmail.com [http:// www.engine-expert.com](http://www.engine-expert.com)