



*Вкладыш, шейка  
коленчатого вала,  
расточка под вкладыш,  
кольцевые риски, натяг,  
антифрикционный слой*

*Thrust bearing, crankshaft  
pin, bore for thrust bearing,  
annular marks, preload,  
antifriction layer*

10.35694/YARCX.2020.51.3.007

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВКЛАДЫШЕЙ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Б.С. Антропов (фото)

д.т.н., профессор, профессор кафедры автомобильного транспорта

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль

В.В. Капралов

к.п.н., старший преподаватель кафедры тактики и общевойенных дисциплин

В.В. Гумённый

доцент кафедры тактики и общевойенных дисциплин

В.А. Генералов

преподаватель кафедры тактики и общевойенных дисциплин

ФГБУ МО «Ярославское высшее военное училище

противовоздушной обороны», г. Ярославль

Установлено, что дефекты вкладышей коленчатого вала в большинстве случаев возникают тогда, когда применяется масло, не соответствующее рекомендациям заводов-изготовителей, а сроки его замены увеличиваются. Это приводит к тому, что в полнопоточном фильтре системы смазки двигателя открывается перепускной клапан, и двигатель длительное время работает на неочищенном масле. Твёрдые частицы с неочищенным маслом поступают к коренным и шатунным шейкам коленчатого вала, вызывая на вкладышах сопрягаемых элементов задиры, а впоследствии и провороты.

Количество упомянутых выше видов отказов можно существенно снизить, применяя качественные сорта моторных масел и не допуская увеличения сроков их замены в эксплуатации.

Форсирование двигателей по наддуву неизбежно ведёт к росту тепловых и механических нагрузок на их детали. Из деталей кривошипно-шатунной группы, определяющих работоспособность двигателей, наиболее ответственными являются вкладыши коленчатого вала, особенно шатунные. Эти вкладыши являются более нагруженными, т.к. они по ширине меньше коренных и под собой имеют постель меньшей жёсткости.

Пары трения «вкладыш – шейка» наиболее чувствительны к попаданию в зазор между ними твёрдых частиц (металлических и абразивных) с величиной близкой или большей, чем рассматриваемый зазор. Именно с этим связано 70–80% аварийных выходов из эксплуатации автотракторных дизельных двигателей.

Твёрдые частицы, проходя по зазору, образуют на рабочей поверхности кольцевые риски (как правило, в середине вкладыша, где расположено отверстие для подвода масла). Температура вкладышей в месте кольцевых рисков по замерам, выполненным на ОАО «Автодизель», достигает значений 400–500°C, а в отдельных случаях 600°C. В результате нагрева происходит тепловое расширение стального основания вкладышей. Вследствие большого натяга и высокой жёсткости постелей, где они установлены, увеличение длины вкладышей невозможно, поэтому тепловое расширение компенсируется смятием стыков между ними, что приводит к уменьшению размеров и снижению натяга, как показано на рисунке 1а. Кроме того, вкладыши деформируются и по ширине. Средняя часть вкладыша вспучивается, при этом выпуклая часть кривой всегда обращена к шейке вала (рис. 1б).

Вспучивание приводит к ухудшению теплоотвода от вкладышей и их прижиму к постелям в момент приложения нагрузки на поршень, а после снятия её за счёт упругих свойств вкладыши

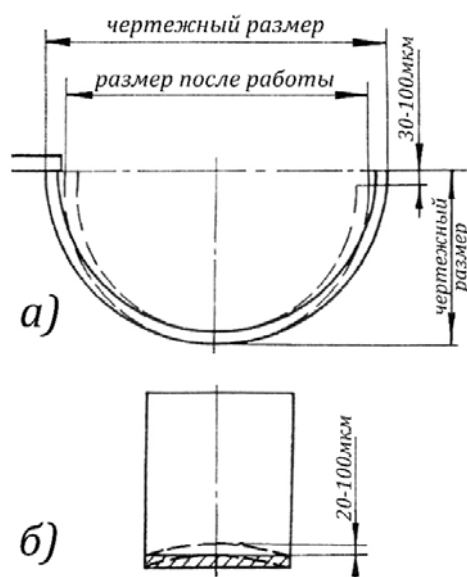
возвращаются в исходное деформированное состояние. Слой свинцовистой бронзы в этих условиях подвергается усталостным разрушениям [1].

Уменьшение длины вкладыша (натяга по высоте) вызывает его радиальные перемещения с возрастающей амплитудой, а впоследствии – его проворачивание.

В эксплуатации существует мнение, что выступы (усы) на вкладышах не только являются монтажными элементами (фиксируют вкладыши в расточках шатунов и опорах коленчатого вала в блоке цилиндров), но и способны удерживать их от проворачивания. Проведённые в инженерно-конструкторском центре ОАО «Автодизель» исследования показали, что вкладыши даже со средними выступами, но с натягом, соответствующим чертежу, надёжно удерживаются в расточках за счёт сил трения. И, наоборот, при уменьшении натяга на вкладышах ниже допустимого приводит к их «дерганию» вокруг шеек коленчатого вала. В результате постепенно сминаются и изнашиваются фиксирующие выступы, и вкладыши проворачиваются.

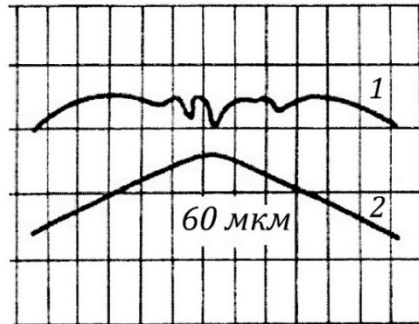
Деформацию (вспучивание) стального основания вкладышей с кольцевыми рисками (после эксплуатации) можно определить и визуально [2].

Для этого необходимо вкладыши установить друг на друга по образующим и посмотреть на просвет по линии их контакта. Вкладыши с рисками до бронзы всегда имеют просвет, как показа-



а – свободные (по чертежу) размеры и размеры после работы вкладыша;  
б – прогиб образующей вкладыша.

Рисунок 1 – Изменение размеров вкладыша при повреждении антифрикционного слоя



1 – рабочая сторона вкладыша; 2 – стальное основание вкладыша (максимальный прогиб – 60 мкм).

Рисунок 2 – Профилограмма образующих вкладыша в поперечном сечении

но на рисунке 3. Такие вкладыши для дальнейшей эксплуатации непригодны.

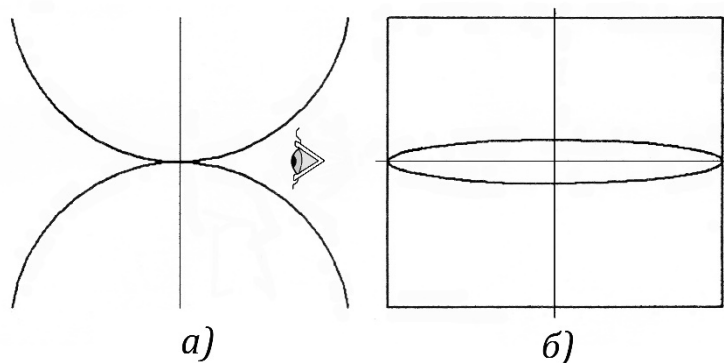
При провороте коренных вкладышей выходят из строя коленчатый вал и блок цилиндров (нарушение расточек в опорах коленчатого вала на блоке цилиндров приводят к замене блока цилиндров, нарушение расточек в шатунах – к замене шатунов, обрыв шатуна – к замене блока цилиндров). В обоих случаях необходим капитальный ремонт двигателя с заменой или восстановлением блока цилиндров и коленчатого вала.

Сложность восстановления коленчатого вала в условиях эксплуатации связана с тем, что при задирах и провороте вкладышей происходит повышение температуры шеек вала, приводящее к трещинам на самих шейках, изменению их твердости и, как следствие, деформации вала (повышается биение шеек вала). Восстановление такого вала представляет собой сложный процесс и в отдельных случаях не может быть выполнено качественно, т.к. наличие трещин на поверхностях

шеек вала приведёт к его поломке в процессе эксплуатации.

Восстановление постелей опор коленчатого вала на блоке цилиндров после проворота вкладышей – также сложная операция, требующая подрезки крышек коренных опор и проведения последующей расточки отверстий под коренные подшипники.

Для исключения вероятности поступления твёрдых частиц в подшипники коленчатого вала необходимо обеспечить надёжную фильтрацию заливаемого в двигатель масла в условиях эксплуатации. При нормальной работе системы фильтрации масла образование кольцевых рисок до бронзы маловероятно. Кроме того, полнопоточные фильтры очистки масла оборудованы сигнализаторами, информирующими водителей о чрезмерном загрязнении фильтрующих элементов и открытии перепускного клапана, т.е. о начале работы двигателя на неочищенном масле, в котором содержатся твёрдые частицы. К сожа-



а – расположение вкладышей для проверки; б – просвет (щель) по контакту.

Рисунок 3 – Визуальная проверка деформации вкладышей

лению, аналогичный сигнал подаётся во время запуска двигателя при отрицательных температурах окружающей среды, даже при условии применения зимних сортов масел, рекомендуемых заводом-изготовителем. В рассматриваемом случае открытие перепускного клапана допускается на период до 60 секунд [3]. Применение летних сортов масла при пуске двигателя в условиях низких температур приводит к значительному превышению допустимой нормы времени открытого состояния перепускного клапана.

Учитывая данные обстоятельства, необходимо помнить, что работа двигателя с открытым перепускным клапаном выше допустимой нормы увеличивает износ деталей двигателя и ведёт к аварийным ситуациям в парах «шейка коленчатого вала – вкладыш» и в подшипниках турбокомпрессора в наддувных двигателях. Анализируя вышесказанное, следует отметить, что в период эксплуатации двигателя необходимо руководствоваться рекомендациями завода-изготовителя – применять качественные масла, соответствующие сезону эксплуатации.

Однако даже при работе двигателей на качественном масле возможны случаи длительного открытия перепускного клапана. Обычно это происходит тогда, когда фильтрующие элементы

и само масло чрезмерно засорены продуктами износа деталей двигателя и сгорания топлива. Обычно это происходит в тех случаях, когда в эксплуатации не выдерживаются рекомендуемые сроки замены масла, и переработка его становится недопустимой (час. или км).

### **Выводы**

1. В большинстве случаев задиры и провороты вкладышей на автотракторных двигателях в эксплуатации связаны с попаданием твёрдых частиц в зазоры «вкладыш – шейка коленчатого вала». Твёрдые частицы нарезают кольцевые риски на антифрикционном слое, которые приводят к нагреву вкладышей, их деформированию, потере натяга в расточках шатунов и коренных опор коленчатого вала и, в конечном итоге, к их провороту. При провороте вкладышей требуется капитальный ремонт двигателей с ремонтом или заменой базовых деталей (блока цилиндров, коленчатого вала).

2. Избежать аварийного состояния двигателей в эксплуатации можно путём применения моторных масел в строгом соответствии с рекомендациями заводов-изготовителей и не допускать увеличения сроков замены масел, указанных в руководствах по эксплуатации.

### **Литература**

1. Антропов, Б.С. Диагностирование автомобилей [Текст]: учеб. пособие / Б.С. Антропов, Ю.З. Звонкин, А.А. Крайнов. – Ярославль: ЯГТУ, 2010. – 228 с.
2. Антропов, Б.С. Техническое обслуживание современных автомобилей [Текст]: учеб. пособие / Б.С. Антропов, Е.И. Рубеев, А.В. Соколов. – Ярославль: ЯГТУ, 2019. – 96 с.
3. Силовые агрегаты ЯМЗ-236Н и их модификации. Руководство по эксплуатации 236НЭ-3902150 РЭ [Текст]. – Ярославль: ОАО «Автодизель», 2010. – 392 с.

### **References**

1. Antropov, B.S. Diagnostirovanie avtomobilej [Tekst]: ucheb. posobie / B.S. Antropov, Yu.Z. Zvonkin, A.A. Krajnov. – Jaroslavl': JaGTU, 2010. – 228 s.
2. Antropov, B.S. Tehnicheskoe obsluzhivanie sovremennyh avtomobilej [Tekst]: ucheb. posobie / B.S. Antropov, E.I. Rubeev, A.V. Sokolov. – Jaroslavl': JaGTU, 2019. – 96 s.
3. Silovye agregaty JaMZ-236N i ih modifikacii. Rukovodstvo po jekspluatácii 236NJe-3902150 RJe [Tekst]. – Jaroslavl': OAO «Avtodizel'», 2010. – 392 s.