

DOI: <https://doi.org/10.32353/khrife.2018.44>

УДК 343.98

В. І. Федорченко, науковий співробітник
Харківського НДІСЕ,

В. С. Ольхов, провідний судовий експерт
Харківського НДІСЕ

E-mail: olhov_81@ukr.net,

О. М. Панасенко, судовий експерт
Харківського НДІСЕ

ЕКСПЕРТНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВСТАНОВЛЕННЯ ПРИЧИН ПОРУШЕНЬ У РОБОТІ ТРІБОВУЗЛІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Розглянуто види, причини порушень у роботі трібовузлів двигунів внутрішнього згоряння. Однією з основних причин цього є повертання підшипників ковзання (вкладишів) колінчастого вала через зношування їх елементів. Прийняття обґрунтованих заходів для запобігання катастрофічних видів зношування, таких як заїдання, глибокі подряпини та схоплювання, дозволить забезпечити надійну й безпечну роботу двигуна в процесі експлуатації.

Ключові слова: вкладиш, колінчастий вал, повертання, зношення, момент тертя, подряпини, двигун внутрішнього згоряння, трібовузол.

Останнім часом збільшилась кількість звернень фізичних і юридичних осіб до Харківського НДІ судових експертиз щодо проведення експертного дослідження з встановлення причин порушень у роботі двигунів внутрішнього згоряння. Аналізуючи звернення до інституту за останні роки та висновки експертних досліджень проведені за ними, з'ясовано, що однією з основних причин порушень у роботі двигунів внутрішнього згоряння є повертання підшипників ковзання (вкладишів) колінчастого вала.

Підшипники колінчастого вала є одними з найбільш відповідальних деталей, що визначають надійність роботи двигунів внутрішнього згоряння. Вони працюють у важких умовах дії змінних навантажень, підвищених швидкостей ковзання та інших несприятливих чинників, що визначає складний комплекс вимог до технології їх виготовлення та властивостей підшипникових матеріалів. У процесі експлуатації двигунів внутрішнього згоряння може виникнути порушення їх нормального функціонування через, наприклад, вихід із ладу підшипників ковзання колінчастих валів. Як показує експертна практика проведення експертного дослідження двигунів внутрішнього згоряння, основною причиною цього є зношення й деградація поверхонь тертя внаслідок фізичних і хімічних процесів, що відбуваються в трібовузлі, а також порушення правил технічної експлуатації двигуна або роботи фільтрів очищення мастила.

Найбільш характерні дефекти деталей трібовузла «шийка колінчастого вала – підшипник ковзання» такі:

— кругові риси, подряпини, схоплювання чи наклеп металу (рис. 1);

- зношення та руйнування антифрикційного шару підшипників ковзання (рис. 2);
- спрацьовування основи підшипників ковзання по всій робочій поверхні в разі повертання.



Рис. 1. Великі кільцеві риски внаслідок подряпин



Рис. 2. Руйнування й викришування антифрикційного шару

Риски на поверхнях деталей трібосполучення утворюються внаслідок абразивного зносу через попадання твердих частинок забруднень у шар рідкого мастила, що розділяє поверхні тертя. Зі збільшенням концентрації та розмірів частинок у моторному маслі зростає знос деталей трібовузла «шийка колінчастого вала – підшипник ковзання».

На досліджуваних двигунах шийки колінчастих валів мали риски, подряпини, що виникають за будь-якої їх твердості. Риски й подряпини на шийках колінчастих валів утворюються внаслідок того, що частки від зношення матеріалів і механічні домішки, які знаходяться в мастилі, мають більш високу твердість порівняно з твердістю шийок вала й у моменти пуску, зупинки й на перехідних режимах роботи двигуна, коли масляний зазор у трібосполученнях менше розміру часток, відбувається їх удавлення в м'який антифрикційний шар підшипника ковзання, а в подальшому – інтенсивний знос поверхонь шийок виступаючими з антифрикційного шару підшипника ковзання твердими включеннями.

Максимальний знос у трібосполученнях відбувається в зоні мінімальної товщини масляного шару, через що формується овальність шийок колінчастого вала. Зі збільшенням масляного зазору мінімальна товщина масляного шару знижується та перевищує критичну (товщина шару, при якій поверхні тертя сполучених деталей починають стикатися вершинами мікровиступів). У міру зростання величини зносу і, відповідно, збільшення масляного зазору спостерігається зростання кута, при якому мінімальна товщина масляного шару стає менше критичної¹.

¹ Лучинин Б. Н., Смирнов В. Г. Повышение долговечности деталей автомобильных двигателей за счет совершенствования конструкции систем смазки. Москва : НИИавтопром, 1980. 59 с.

Найбільш небезпечними є критичні види зношування: заїдання, глибокі подряпини та схоплювання. Риски й подряпини на шийках колінчастих валів підвищують параметри шорсткості, збільшують швидкість зношування сполучених поверхонь у моменти пуску й зупинки двигуна й ймовірність заїдання, подряпин шийок або схоплювання матеріалів сполучених поверхонь (рис. 3–4).

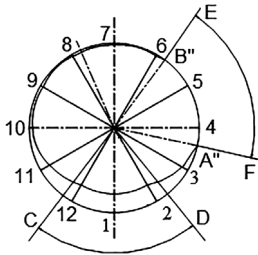


Рис. 3. Діаграма зносу шийки колінчастого вала, де АВ – теоретична межа зносу; EF – найменш навантажена ділянку шийки; СД – найбільш навантажена ділянку шийки

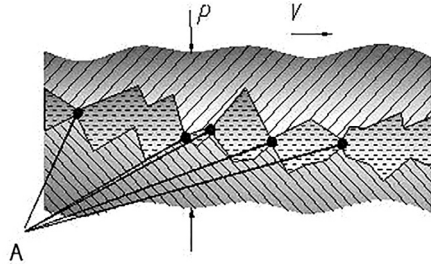


Рис. 4. Схема утворення зношування при заїданні шийки вала з вкладишем, де P – сила притиснення деталей; V – швидкість відносного переміщення сполучених деталей; А – зони контакту поверхонь

Умови виникнення заїдання, подряпин і схоплювання металів створюються в періоди пуску або провертання підшипників ковзання, коли масло не надходить до зв'язаних поверхонь або на перехідних режимах роботи двигуна, коли товщина масляного шару менше критичної й поверхні стикаються. Це призводить до значного зростання температури поверхонь тертя та руйнування масляної плівки на поверхнях тертя. При цьому зусилля, що діють у місцях фактичного контакту, викликають напруги, що перевищують межу текучості металу, у зв'язку з чим у тонких поверхневих шарах відбуваються пластичні деформації металу, при цьому поверхневі адсорбовані окисні, газові плівки й забруднення руйнуються. Одночасно відбувається згладжування нерівностей на поверхнях тертя, завдяки чому значно збільшується площа їх фактичного контакту. При тісному зближенні поверхонь тертя виникає міжатомне тяжіння металів, при цьому на значній площі фактичного контакту утворюються зв'язки металів, аналогічні міжатомним зв'язкам у суцільному металі – відбувається схоплювання металів. Це призводить до різкого збільшення коефіцієнта тертя та інтенсивного адгезійного зношування.

Слід зазначити, що порушення в роботі трібосполучення «шийка колінчастого вала – підшипник ковзання» через критичні види зношування, як правило, призводять до провертання підшипників ковзання й деформації колінчастого вала (виникає биття корінних шийок колінчастого вала внаслідок вигину його осі) (рис. 5).

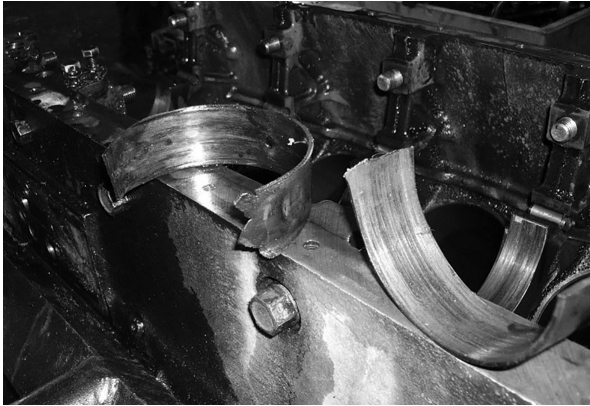


Рис. 5. Результат повертання підшипників ковзання

Причини повертання *підшипників ковзання* колінчастого вала двигуна *внутрішнього згорання*. Порушення в роботі трібовузлів через повертання вкладишів відбуваються внаслідок низьких параметрів шорсткості ліжка, збільшення діаметрального зазору в підшипниках ковзання більше допустимого та переходу режиму тертя в трібовузлі з гідродинамічним мастилом до напіврідинного (змішаного), а потім і до граничного, що викликає підвищений знос підшипників ковзання й шийки колінчастого вала, зниження тиску мастила, підвищення температури в зоні тертя, а потім до пошкодження, схоплювання або розплавлення антифрикційного шару підшипників ковзання.

Перша причина – це підвищений момент тертя, який прагне повернути підшипник ковзання, і знижене зусилля, що утримує його на місці (підшипник ковзання встановлено з недостатнім натягом). Як правило, на машинах серійного виробництва випадки з порушенням натягу зустрічаються дуже рідко. Зазвичай порушення натягу виникає після некваліфікованого ремонту двигуна, коли неправильно виконувався підбір підшипників ковзання. Під дією нерівномірних навантажень ослаблена посадка підшипника ковзання призводить до його вібрації, порушення мастильної плівки і до місцевих прихоплювань. У результаті підшипник ковзання починає повертатися, а утримуючий так званий «вусик» не в змозі протистояти повертаючому моменту.

Друга причина – це підвищений момент тертя, пов'язаний із режимом роботи підшипників. При роботі двигуна на розрахункових режимах вкладиші працюють в умовах рідинного тертя. Між робочою поверхнею вкладиша і шийкою вала виникає масляна плівка, що запобігає прямій взаємодії деталей. Момент тертя в підшипнику мінімальний. Величина сили тертя пропорційна навантаженню, і це при постійному коефіцієнті тертя. Іноді цілісність масляної плівки може порушуватися, і коефіцієнт тертя починає зростати. Тоді, навіть при постійному навантаженні, збільшується повер-

таючий момент, і створюються умови для повертання підшипників ковзання. Підвищене навантаження зменшує товщину масляної плівки, збільшуючи ризик її руйнування. При цьому виділяється більше тепла, що веде до зростання локальних температур у зоні тертя. Відбувається розрідження мастила, що призводить до подальшого зниження товщини масляної плівки та збільшення ймовірності появи прихватів у зоні тертя¹.

Процес утворення масляної плівки між двома контактуючими й рухомими відносно одна одної деталями залежить від швидкості взаємного переміщення. У таких випадках говорять про гідродинамічний режим тертя, коли масляна плівка затягується в зазор між взаємодіючими деталями, роз'єднуючи деталі. Зі збільшенням швидкості плівка затягується в зазор ефективніше (плівка стає більш товстою). Але зростання швидкості призводить до зростання кількості тепла, що виділяється при терті. Температура масла підвищується, і воно стає більш рідким. Це призводить до зниження товщини плівки внаслідок розрідження масла.

Коефіцієнт тертя залежить від шорсткості й точності геометрії контактуючих поверхонь і наявності сторонніх часток у маслі (нерівності поверхні, сторонні частки, порушують цілісність плівки, що призводить до появи зон працюючих у режимі напівсухого тертя). Ці фактори особливо сильно позначаються на початковому періоді експлуатації машини, під час припрацювання деталей. За цей період експлуатації відбувається спрацювання мікронерівностей, що руйнують масляну плівку. У цей момент труться пари найбільш чутливі до перевантажень.

На повертаючому моменті позначається в'язкість масла. Чим вона більше, тим більше сила (момент) тертя. У той самий час зі збільшенням в'язкості росте товщина масляного клина в парі тертя. З другого боку, в'язке масло не може надходити в потрібних обсягах у зону тертя, і це призводить до зниження товщини масляного клина аж до його місцевого руйнування. Сукупність по-різному спрямованих процесів, пов'язаних із в'язкістю масла, ускладнює однозначне трактування впливу масла на повертання вкладишів. У цьому разі визначальним стає така індивідуальна властивість моторного мастила, як змащувальна здатність (міцність зчеплення масла з металом)².

Для попередження подряпин і повертання підшипників ковзання при збиранні двигунів ретельно дотримуються чистоти деталей, особливо масляних каналів у блоці циліндрів і колінчастому валу; підвищують ефективність системи очищення масла в двигуні (наприклад, застосовують паперові фільтруючі елементи замість елементів із деревної муки в повнопотоковому фільтрі, підвищують надійність роботи перепускного клапана фільтра, у відцентрових вікнах колінчастого вала встановлюють спеціальні маслорозподільчі втулки, які забезпечують поліпшене очищення мастила, що надходить на змащення обох шатунних підшипників на одній ший-

¹ Денисов А. С., Кулаков А. Т. Анализ причин эксплуатационных разрушений шатунных вкладышей двигателей КамАЗ 740. *Двигателестроение*. 1981. № 9. С. 37–40.

² Автомобили КамАЗ: руководство по техническому обслуживанию и ремонту. Москва : В/О Автоэкспорт. 415 с.

ці вала), надійність роботи масляного насоса; посилюють контроль геометричних параметрів підшипників ковзання перед збиранням двигуна; застосовують масло підвищеної якості¹.

На підставі проведених досліджень можна зробити висновки, що основними причинами порушення в роботі трібовузлів «шийка колінчастого вала – підшипник ковзання» є знос і пошкодження шийок колінчастих валів. Ризики на шийках і провертання підшипників ковзання спостерігаються на всіх типах двигунів незалежно від твердості шийок. Подряпини, викришування та розплавлення антифрикційного шару підшипників ковзання, як правило, призводять до деформації колінчастих валів.

Для підвищення надійності та зменшення ймовірності порушення в роботі двигунів внутрішнього згорання необхідно:

— контролювати вміст механічних домішок у працюючому моторному маслі;

— контролювати величини зносу і відхилень форми шийок колінчастих валів, а також величин биття корінних шийок за наявності подряпин шийок вала або провертання підшипників ковзання;

— використовувати зносостійкі металокерамічні покриття, що мають більш високі порівняно зі сталлю температури схоплювання, для попередження катастрофічних видів зношування металів.

Підсумовуючи викладене, слід зазначити, що надана інформація є актуальною для експертних установ і може бути використана експертами-автотехніками при дослідженні причин порушень у роботі двигунів внутрішнього згорання².

ЭКСПЕРТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО УСТАНОВЛЕНИЮ ПРИЧИН НАРУШЕНИЙ В РАБОТЕ ТРИБОУЗЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Федорченко В. И., Ольхов В. С., Панасенко О. Н.

В последнее время увеличилось количество обращений физических и юридических лиц в Харьковский НИИ судебных экспертиз для установления причин нарушений в работе двигателей внутреннего сгорания. При анализе заключения проведенных экспертных исследований установлено, что одной из основных причин нарушений в работе двигателей внутреннего сгорания является проворачивание подшипников скольжения (вкладышей) коленчатого вала. Условия возникновения заедания, царапин и схватывания металлов создаются в периоды пуска или проворачивания подшипников скольжения, когда масло не поступает к связанным деталям или на переходных режимах работы двигателя, когда толщина масляного слоя меньше критической и поверхности соприкасаются. Это приводит к значительному росту

¹ Смирнов В. Г., Григорьев М. А. Баланс распределения масла по потребителям в системе смазки автомобильных двигателей. Труды семинара по очистке воздуха, масла и топлива с целью увеличения долговечности двигателей. Москва : ОНТИ. Вып. 10, кн. 1. С. 83–89.

² Смирнов В. Г., Григорьев М. А. Исследование распределения потока масла в автомобильном двигателе. Труды НАМИ. Москва, 1979. Вып. 117.

температуры поверхностей трения и разрушению масляной пленки на них. При этом усилия, действующие в местах фактического контакта, вызывают напряжения, превышающие предел текучести металла, в связи с чем в тонких поверхностных слоях происходят пластические деформации металла, при этом поверхностные адсорбированные окислительные, газовые пленки и загрязнения разрушаются. Одновременно происходит сглаживание неровностей на поверхностях трения, из-за чего значительно увеличивается площадь их фактического контакта. При тесном сближении поверхностей трения возникают межатомные тяготения металлов, при этом на значительной площади фактического контакта образуются связи металлов, аналогичные межатомным связям в сплошном металле – происходит схватывание металлов. Это приводит к резкому увеличению коэффициента трения и интенсивному адгезионному износу трущихся деталей. Следует отметить, что предоставленная информация может быть использована судебными экспертами-автотехниками при исследовании причин нарушения в работе двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: вкладыши, коленчатый вал, проворачивание, износ, момент трения, царапины, двигатель внутреннего сгорания, трибузел.

EXPERT RESEARCH ON THE ESTABLISHMENT DISTURBANCES CAUSES OF TRIBOUNIT'S OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Fedorchenko V. I., Olkhov V. S., Panasenko O. M.

Recently, the appeals number of individuals and legal entities for establishment disturbances causes in internal combustion engines has increased in the Kharkiv Research Institute of Forensic Examinations. Analyzing the conclusions of performed expert research it was established that one of the main disturbances causes of internal combustion engines is the turning of plain bearings (bearing brass) of crankshaft. Conditions for metals jawing, scratching and grabbing are created during the start-up or turning of the plain bearing when oil does not contact details or while transient operating modes of the engine when the thickness of layer oil is less critical and the surfaces are in contact. This leads to a significant increase of friction surfaces temperature and the destruction of the oil film on. At the same time, the forces acting in the places of actual contact cause stresses exceeding metal yield strength; this leads to the fact that metal plastic deformations occur in thin surface layers, while surface adsorbed oxidizing, gas films and contaminants are destroyed. Simultaneously, the smoothing of irregularities on friction surfaces occurs, thereby their area actual contact is significantly increased. When the friction surfaces close together, interatomic gravities of metals arise, and in the large area of factual contact, metal bonds are formed, similar to interatomic bonds in a continuous metal; this leads to the metal adhesion. This results in a sharp increase of the friction coefficient and intense adhesive deterioration of the rubbing details. It should be noted that provided information can be used by forensic autotechnician experts while research disturbances causes of internal combustion engines.

Keywords: bearing brass, crankshaft, turning, deterioration, friction torque, scratches, internal combustion engine, tribounits.