

*Коленчатые валы,
прижоги поверхности,
противозадирные
покрытия, дисульфиды
молибдена, эпиламы*

*Crankshafts, surface
tempering, scuff-resistant
coatings, molybdenum
disulfides, epilam*

СНИЖЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПРИЖОГОВ ШЕЕК КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДИЗЕЛЕЙ

В.П. Дмитренко (фото)

к.т.н., доцент кафедры технического сервиса

Р.Д. Адакин

старший преподаватель кафедры технического сервиса
ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, г. Ярославль

Надёжность коленчатых валов дизелей в процессе эксплуатации определяется в основном скоростью износа коренных и шатунных шеек. Этот износ носит абразивный характер и зависит от твёрдости поверхности шеек и тонкости фильтрации масла.

Кроме абразивного износа существует проблема прижогов шеек валов. Прижоги появляются при недостаточном поступлении масла к подшипникам. Существует множество возможностей, когда в подшипниках создаются условия масляного голодания. При полусухом трении, вследствие высокой скорости выделения тепла, может резко возрасти температура только той зоны поверхности шейки, где происходит трение без масла. Эти процессы подробно изложены в работе [1].

В трибологии подобная задача решается определением интенсивности тепловыделения в зоне трения [2]. В паре трения вал-опора количество выделяемого тепла в зоне трения равно мощности трения:

$$Q_{\text{выдел.}} = f \cdot F \cdot v, \quad (1)$$

где f – коэффициент трения;

F – нагрузка;

v – скорость скольжения поверхности вала относительно опоры.

При низких скоростях скольжения отвод тепла будет определяться теплопроводностью материалов вала и опоры:

$$Q_{\text{отвод.}} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{l} \cdot S \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где λ_1 и λ_2 – коэффициенты теплопроводности материалов вала и опоры соответственно;

S – площадь поверхности трения;

l – характерный размер, определяющий фактический контакт поверхностей;

Δt – прирост температуры в зоне трения.

При высоких скоростях скольжения выделяющееся в зоне трения тепло будет нагревать холодные участки вала, проходящие через фактическую зону контакта поверхностей, зону трения. Количество этого тепла пропорционально массе металла (M_1), вступающего в контакт в единицу времени, и его удельной теплоёмкости (C_1).

$$Q_{\text{нагрев.}} = C_1 \cdot M_1 \cdot \Delta t^{\circ}. \quad (3)$$

Масса металла $M_1 = \gamma_1 \cdot v \cdot l \cdot l$,

где γ_1 – плотность металла вала.

$$Q_{\text{нагрев.}} = C_1 \cdot \gamma_1 \cdot v \cdot l^2 \cdot \Delta t^{\circ}. \quad (4)$$

Уравнение баланса для этого случая:

$$Q_{\text{выдел.}} = Q_{\text{отвод.}} + Q_{\text{нагрев.}} \quad (5)$$

Из этого уравнения найдем величину Δt° :

$$\Delta t^{\circ} = \frac{f \cdot F \cdot v}{\frac{\lambda_1 + \lambda_2}{l} \cdot S + C_1 \cdot \gamma_1 \cdot v \cdot l^2}. \quad (6)$$

Величина Δt° – это увеличение в единицу времени температуры поверхности вала, контактирующей с зоной трения.

Анализ этой формулы показывает, что интенсивность местного повышения температуры поверхности вала в основном определяется величиной площади фактического контакта и величиной коэффициента трения.

На рисунке 1 построена расчётная зависимость (Δt°) от величины параметра (l) для шатунной шейки коленвала двигателя ЯМЗ-238, работающего при частоте вращения вала 1000 мин⁻¹ без нагрузки. Для упрощения задачи нагрузка на шатунную шейку принята только от газовых сил, действующих на поршень, величина коэффициента трения принята постоянной. В случае идеального прилегания поверхностей вала и вкладыша $\Delta t^{\circ} = 9,4^{\circ}\text{C}$. Реальный процесс отличается от принятого при расчётах, но качественный характер зависимости сохранится.

Если двигатель будет продолжать работать на режиме с высокой интенсивностью выделения тепла в зоне фактического контакта, то произойдёт задира и проворот вкладыша. Если же в зазор вал-вкладыш начнёт поступать масло, то температура поверхности вала снизится, но в поверхностном слое в зоне прижога произойдёт снижение твёрдости, и могут появиться термические трещины.

У двигателей, выпускаемых заводами-изготовителями, гарантируется хорошее прилегание поверхностей шейки коленвалов-вкладышей, исключая ограниченные по размерам зоны контакта. Это обеспечивается высокой точностью изготовления деталей, низкими монтажными деформациями, высокой степенью очистки деталей от загрязнений. При ремонте двигателей такие условия обеспечить практически невозможно. Поэтому в большинстве случаев после ремонта или даже после простой переборки двигателей вероятность появления дефектов возрастает.

Чтобы снизить вероятность появления прижогов шеек, особенно после переборки и после перешлифовки шеек валов в ремонтный размер, предлагается на поверхность шеек наносить антифрикционные покрытия.

Из широкого спектра таких покрытий наилучшими характеристиками обладают дисульфиды молибдена (MoS_2). Их широко применяют как антифрикционные присадки к маслам и консистентным смазкам. Однако недостатком дисульфида молибдена является низкая адгезия к металлам. Прочное покрытие поверхности металла MoS_2 можно получить методом ионно-плазменного напыления, но это связано с нагревом поверхности металла до высоких температур. В работе [3] рекомендуется метод ударно-импульсного воздействия, при котором происходит измельчение частиц до 100 нм и менее, что позволяет им внедряться в микро- и нанополости основного металла. Реализация этого метода требует поме-

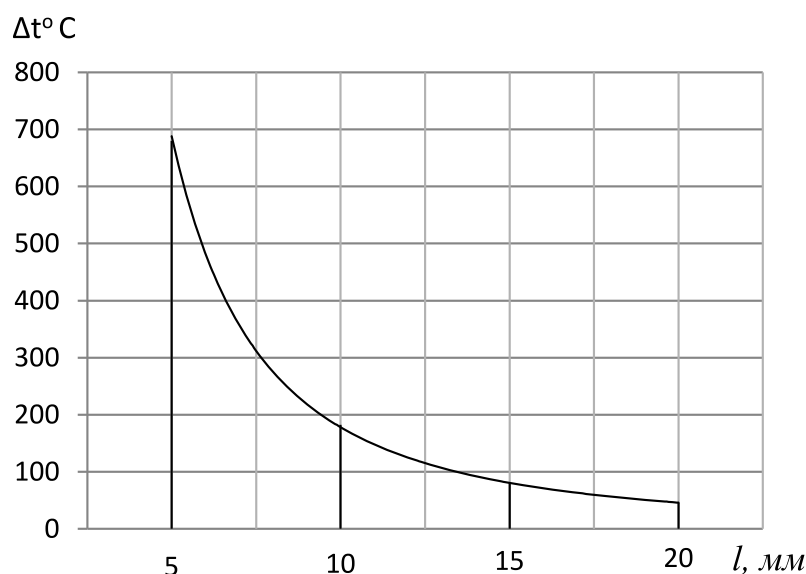


Рисунок 1 – Расчётная зависимость скорости повышения температуры поверхности в секунду от параметра (l)

стить покрываемую деталь вместе с порошком MoS_2 в специальный бункер, который должен совершать колебания с высокими частотой и ускорениями.

Нами предлагается более простой метод натирания, который обеспечит и измельчение частиц, и внедрение их в микро- и нанополости поверхности металла. Этот метод может быть легко реализован в ремонтных мастерских. Для этого используем сорт дисульфида молибдена суперулучшенный со средним размером частиц 1,5 мкм. Устройство для натирания показано на рисунке 2.

Техническая характеристика устройства.

$L_1 = 300$ мм, $L_2 = 1200$ мм, $d = (1,005 \dots 1,006)$ $d_{\text{шейки вала}}$, $D = (1,7 \dots 1,8)d$, $l = 0,8l_{\text{шейки вала}}$, $r = (0,85 \dots 0,9) r_{\text{галтели вала}}$, $Ra = 0,35$ мкм – (полировать).

Материал детали натирания – сталь 15ХГН2ТА. Деталь перед чистовым шлифованием отверстия d подвергнуть цементации. После закалки с охлаждением в масле и отпуска твердость поверхности 60...62 HRC. После доводки

отверстия d деталь разрезать, используя шлифовальный отрезной круг на бакелитовой связке с упрочняющими элементами. Диаметр круга 180 мм, высота 3 мм. Для прижимов использовать полосу 10Х25 мм по ГОСТ 103-76, материал сталь 65Г. После закалки и отпуска предел текучести $\sigma_T = 380 \dots 400$ МПа.

Разность между диаметрами шейки вала и натирающего устройства (0,4...0,5 мм) будет способствовать высоким удельным давлениям соприкасаемых поверхностей и обеспечит равномерное распределение порошка дисульфида молибдена по поверхности шейки вала.

Например, у коленчатых валов двигателей ЯМЗ диаметр коренной шейки $\varnothing 110$ мм, длина 56 мм. Длина (l) натирающего устройства для этих шеек 45 мм. Если сжать рукоятки прижимной силой 10 кгс, то это обеспечит удельное давление сопрягаемых поверхностей 0,9 кг/мм. Прогиб каждого прижима в районе рукояток составит 55 мм и напряжения изгиба в прижимах – 50% от предела текучести.

Процесс нанесения покрытия следующий. Вал устанавливают на станок, обеспечивающий вращение его с частотой 8–10 мин⁻¹. Шейка вала тщательно промывается ацетоном или другим растворителем. Остатки растворителя удаляются салфеткой. Порошок дисульфида молибдена наносится на верхнюю поверхность шейки вала и на нижнюю половину натирающего устройства. Сжимаем рукоятки прижимов силой 5 кгс и приводим вал во вращение. Частота 8...10 мин⁻¹. Плавно увеличиваем усилие до 10 кгс и перемещаем рукой натирающее устройство влево, вправо по длине шейки. Скорость скольжения сопрягаемых поверхностей 5,5...6,0 см/сек. Время натирания – 5 минут, не менее. Такой режим обеспечит измельчение частиц дисульфида молибдена и заполнение ими нано- и микрополостей на поверхности вала. Для нанесения покрытия на шатунные шейки вал необходимо установить на станок, используя центросместители.

Кроме дисульфидов молибдена в последние годы стали широко применять эпиламы – поверхностно активные вещества (ПАВ), особенно после того как были разработаны эпиламы с атомами фтора. Молекулы этих ПАВ покрывают металлическую поверхность, образуя так называемый молекулярный ворс, удерживающий смазку и исключаящий сухое трение [4]. Адгезия плёнки к поверхности металла настолько велика, что выдерживает удельные нагрузки до 300 кг/мм² и температуры до 450°C. Их стали использовать для

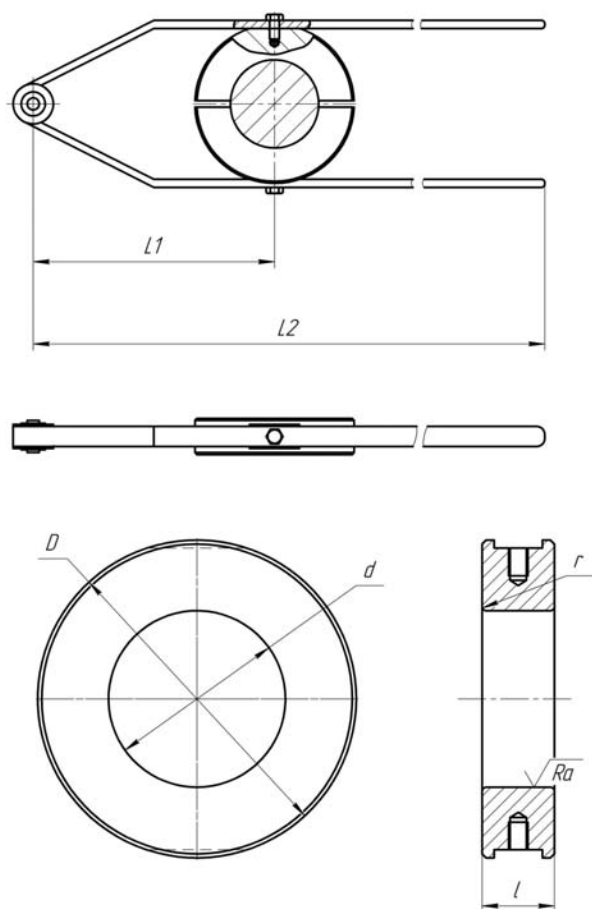


Рисунок 2 – Устройство для нанесения на поверхность шеек коленчатого вала дисульфида молибдена

покрытия поверхностей режущих инструментов, штампов.

Из широкого перечня предлагаемых ПАВ для нанесения на поверхность шеек коленвалов нами рекомендуется следующая технология.

Поверхность шеек вала очистить от загрязнений и удалить следы смазки промывкой ацетоном, спиртом или органическими растворителями. Приготовить раствор ПАВ. Растворить взбалтыванием 0,05 г перфторированной кислоты полипропиленоксида в 99,45 г изопропилового спирта. Затем добавить 0,5 г амидамина фторированной кислоты. Всё тщательно перемешать при нормальной температуре. Нанести приготовленный состав на поверхность шеек кистью или валиком. Наносимая плёнка должна иметь равномерную толщину. Затем просушить либо 6 часов при комнатной температуре, либо в сушильном шкафу при температуре 100...150°C 1...1,5 часа. Нанесение плёнки проверить при помощи капли машинного масла. Капля масла должна сохранять сферическую форму даже при наклоне поверхности на 70 градусов.

Кроме коренных и шатунных шеек плёнку ПАВ нужно наносить на поверхности под уплот-

нительные манжеты на обоих концах коленчатого вала.

При ремонте двигателей или даже в случае, если по какой-либо причине происходит переборка нового двигателя, мы рекомендуем на шейки вала наносить покрытия: вначале дисульфидом молибдена натиранием и затем покрытие поверхностно активного вещества по вышеприведённой методике. Эти покрытия снизят вероятность повреждения коленчатых валов двигателей как в процессе обкатки после ремонта, так и при длительной эксплуатации.

Выводы

1. При ограничении подвода смазки к шейкам коленчатых валов могут появляться прижоги в поверхностном слое. Вероятность прижогов возрастает при уменьшении площади фактического контакта пар трения.

2. Для снижения вероятности прижогов рекомендуется на поверхность шеек валов наносить покрытия дисульфидом молибдена методом натирания и дополнительно наносить поверхностно активные вещества.

Литература

1. Светличный, Н.И. Развитие упрочняющей технологии коленчатых валов дизелей КамАЗ [Текст] / Н.И. Светличный, З.А. Аюкин, В.И. Ищенко, С.М. Леонов // Автомобильная промышленность. – 2015. – № 4. – С. 29–33.
2. Жильников, Е.П. Основы триботехники [Текст]: учебник для вузов / Е.П. Жильников, В.Н. Самсонов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. университета, 2012. – 136 с.
3. Иванов, В.В. Процессы и методология создания поверхностных слоев высокоресурсных изделий путем вибрационного формирования покрытий комбинированным химико-механическим воздействием [Текст]: дисс. ... докт. техн. наук / Иванов Владимир Витальевич. – ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет, 2017. – 353 с.
4. Пат. 2215766 Российская Федерация. Состав для нанесения защитной молекулярной пленки МКП 7 С09Д171/02, С23С22/02 [Текст] / Андреева О.Г., Лукоянов Н.Н., Романова Н.А., Рябинин Н.А.; заявитель и патентообладатель Андреева О.Г., Лукоянов Н.Н., Романова Н.А., Рябинин Н.А. – № 2001122020/04; заяв. 07.08.2001; опубл. 10.11.2003, Бюл. 18.

References

1. Svetlichnyj, N.I. Razvitie uprochnjajushhej tehnologii kolenchatyh valov dizelej KamAZ [Tekst] / N.I. Svetlichnyj, Z.A. Ayukin, V.I. Ishchenko, S.M. Leonov // Avtomobil'naja promyshlennost'. – 2015. – № 4. – S. 29–33.
2. Zhil'nikov, E.P. Osnovy tribotehniki [Tekst]: uchebnik dlja vuzov / E.P. Zhil'nikov, V.N. Samsonov. – Samara: Izd-vo Samar. gos. azerokosm. universiteta, 2012. – 136 s.
3. Ivanov, V.V. Processy i metodologija sozdanija poverhnostnyh sloev vysokoresursnyh izdelij putem vibracionnogo formirovanija pokrytij kombinirovannym himiko-mehanicheskim vozdejstviem [Tekst]: diss. ... dokt. tehn. nauk / Ivanov Vladimir Vital'evich. – FGBOU VO Voronezhskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, 2017. – 353 s.
4. Pat. 2215766 Rossijskaja Federacija. Sostav dlja nanesenija zashhitnoj molekularnoj plenki MKP 7 S09D171/02, S23S22/02 [Tekst] / Andreeva O.G., Lukoyanov N.N., Romanova N.A., Ryabinin N.A.; zjavitel' i patentoobladatel' Andreeva O.G., Lukoyanov N.N., Romanova N.A., Ryabinin N.A. – № 2001122020/04; zjav. 07.08.2001; opubl. 10.11.2003, Bjul. 18.