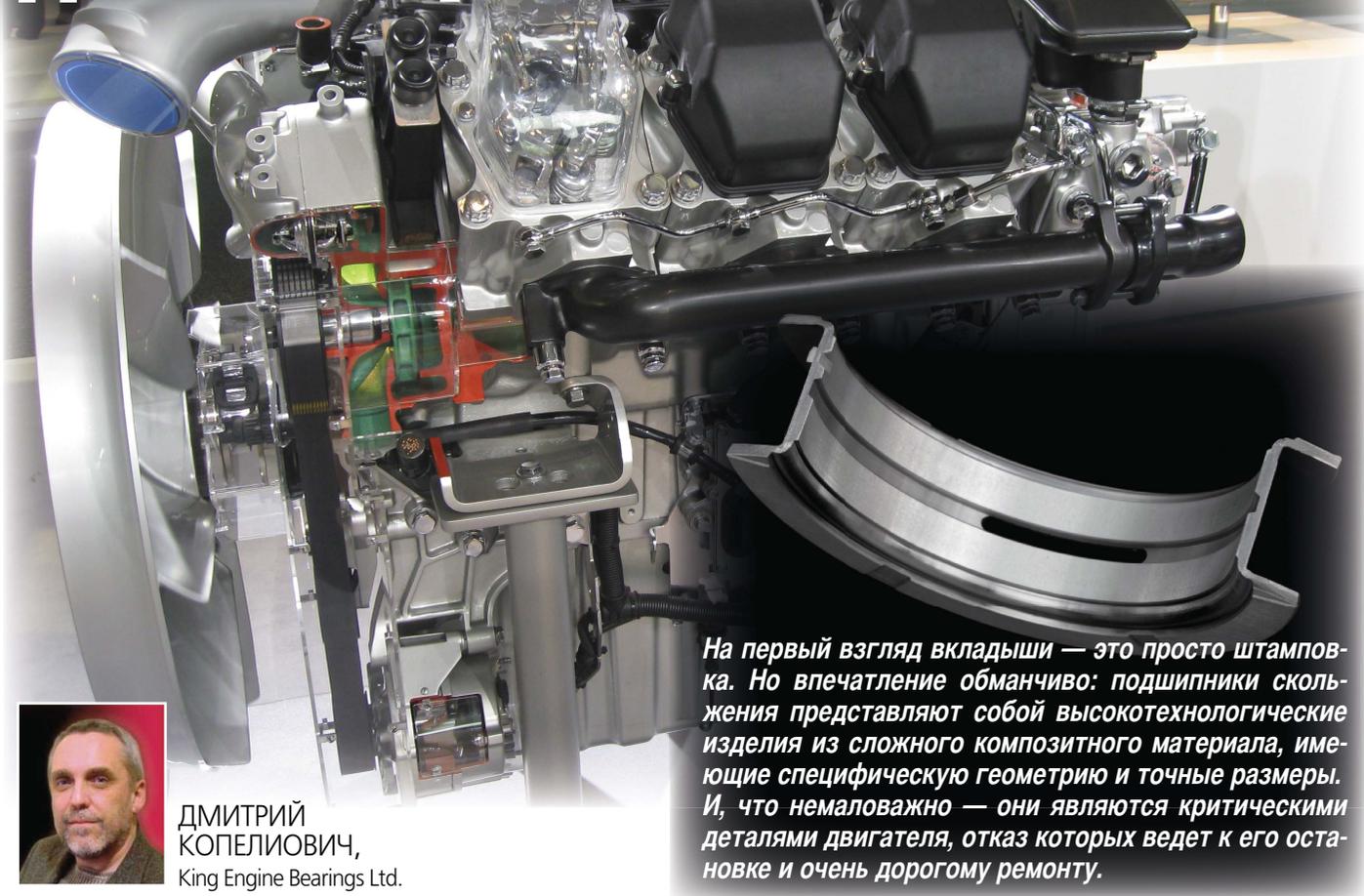


# Вкладыши для двигателя — детали критические



ДМИТРИЙ  
КОПЕЛИОВИЧ,  
King Engine Bearings Ltd.

*На первый взгляд вкладыши — это просто штамповка. Но впечатление обманчиво: подшипники скольжения представляют собой высокотехнологические изделия из сложного композитного материала, имеющие специфическую геометрию и точные размеры. И, что немаловажно — они являются критическими деталями двигателя, отказ которых ведет к его остановке и очень дорогому ремонту.*

## Функции подшипников

Вращающиеся компоненты двигателей внутреннего сгорания оборудованы подшипниками скольжения, которые выполняют разные функции:

- **коренные вкладыши** поддерживают коленчатый вал и обеспечивают его вращение. Устанавливаются в блоке цилиндров. Каждый вкладыш состоит из верхней и нижней половин. На внутренней поверхности верхней половины, как правило, есть канавка для смазки и отверстие для подачи масла.
- **шатунные вкладыши** обеспечивают вращение шейки шатуна, который, в свою очередь, вращает коленвал. Устанавливаются в нижней головке шатуна.
- **упорные кольца** предотвращают осевое движение вала. Часто упорные кольца являются частью одного из коренных вкладышей — такие комбинированные подшипники называются буртовыми или фланцевыми вкладышами.
- **втулки верхней головки шатуна** обеспечивают вращение поршневого пальца, соединяющего поршень с шатуном.
- **вкладыши распредвала** поддерживают распредвал и обеспечивают его вращение. Устанавливаются в верхней части головки блока цилиндров (или в блоке цилиндров — у двигателей с нижним расположением распредвала).

Подшипники скольжения смазываются моторным маслом, постоянно подающимся к их поверхности и обеспечивающим гидродинамический режим трения.

Непосредственный контакт между трущимися в гидродинамическом режиме поверхностями отсутствует — благодаря масляной пленке, которая образуется в сходящемся зазоре (масляном клине) между поверхностями подшипника и вала.

## Условия работы подшипников скольжения

Масляная пленка предотвращает локальную концентрацию нагрузки. Однако при определенных условиях гидродинамический режим трения сменяется на смешанный. Это происходит, если имеются:

- недостаточный поток масла;
- высокие нагрузки;
- низкая вязкость масла;
- перегрев масла, дополнительно снижающий его вязкость;
- высокая шероховатость поверхностей подшипника и вала;
- загрязнение масла;
- деформация и геометрические дефекты подшипника, его гнезда или вала.

В смешанном режиме трения возникает непосредственный физический контакт поверхностей, чередующийся с гидродинамическим трением. А это может привести к задирам, повышенному износу подшипника и даже к схватыванию с валом.

ДВС характеризуются циклическими нагрузками подшипников, обусловленными переменным давлением в цилиндрах и инерционными силами, вызванными движущимися частями. И эти циклические нагрузки

на подшипник могут привести к его разрушению. Отсюда — высочайшие требования к материалам, из которого он производится.

### Материалы подшипников скольжения

Материалы, из которых делают подшипники, должны обладать многими, иногда противоречивыми, свойствами.

- **Усталостная прочность (максимальная нагрузка)** — максимальная циклическая нагрузка, которую подшипник выдерживает в течение неограниченного числа циклов. Превышение этой нагрузки приводит к образованию усталостных трещин в материале.
- **Сопротивление схватыванию (совместимость)** — способность материала подшипника сопротивляться свариванию с материалом вала во время прямого физического контакта между ними.
- **Износостойкость** — способность материала подшипника сохранять свои размеры несмотря на присутствие абразивных частиц в масле, а также в условиях механического контакта с валом.
- **Прирабатываемость** — способность материала подшипника компенсировать небольшие геометрические дефекты вала и гнезда за счет незначительного локального износа или пластической деформации.
- **Абсорбционная способность** — способность материала подшипника захватывать мелкие чужеродные частицы, циркулирующие с маслом.
- **Коррозионная стойкость** — способность материала подшипника сопротивляться химическим воздействиям окисленных или загрязненных масел.
- **Кавитационная стойкость** — способность материала подшипника выдерживать ударные нагрузки, производимые схлопывающимися кавитационными пузырьками (пузырьки образуются в результате резкого падения давления в текущем масле).

Соответственно длительная и надежная работа подшипника скольжения достигается соединением высокой прочности (усталостной прочности, износостойкости, кавитационной стойкости) с мягкостью (прирабатываемостью, сопротивлением схватыванию, абсорбционной способностью).

То есть материал должен быть одновременно и прочным, и мягким. Это звучит парадоксально, однако существующие подшипниковые материалы соединяют эти противоположные свойства — правда, с определенным компромиссом.

Для достижения этого компромисса используются композитные структуры, которые могут быть или слоистыми (мягкое покрытие, нанесенное на прочное основание) или дисперсными (мягкие частички, распределенные внутри прочной матрицы).

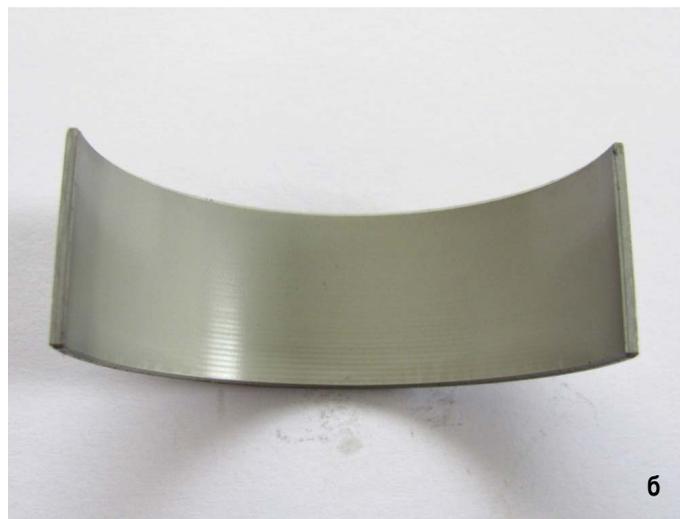
**Биметаллические подшипники** имеют стальное основание, обеспечивающее жесткость и натяг в тяжелых условиях повышенной температуры и циклических нагрузок.

Второй слой материала состоит из антифрикционного сплава. Его толщина относительно велика: она составляет около 0,3 мм. Толщина антифрикционного слоя — важная характеристика биметаллических подшипников, способных прирабатываться и приспосабливаться к относительно большим геометрическим дефектам. Биметаллический подшипник также обладает хорошей абсорбционной способностью, поглощая как мелкие, так и крупные включения в масле.

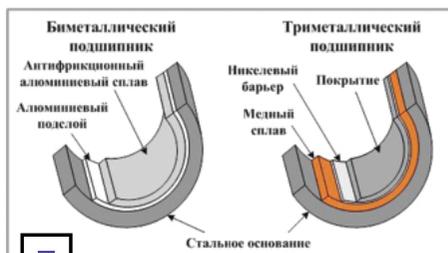
Обычно рабочий слой делают из алюминия, содержащего 6–20% олова в качестве твердого смазочного материала: именно олово обеспечивает антифрикционные свойства. Кроме этого, сплав часто содержит 2–4% кремния в виде мелких включений, распределенных в алюминии. Твердый кремний упрочняет сплав и обладает способностью полировать поверхность вала — поэтому его присутствие особенно важно при работе с валами из ковкого чугуна. Сплав может быть дополнительно упрочнен небольшими добавками меди, никеля, марганца, ванадия и других элементов.

**Триметаллические подшипники**, помимо стального основания, имеют промежуточный слой из медного сплава, содержащего 20–25% свинца в качестве твердой смазки и 2–5% олова для упрочнения меди.

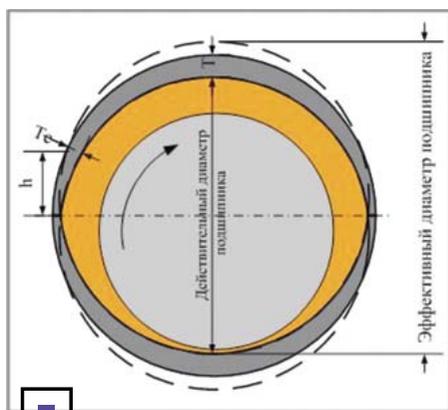
Третий слой представляет собой покрытие на основе свинца, которое также содержит около 10% олова, повышающего коррозионную стойкость сплава и несколько процентов меди для упрочнения. Толщина покрытия составляет всего 12–20 мкм. Низкая толщина покрытия повышает его усталостную прочность, однако снижает антифрикционные



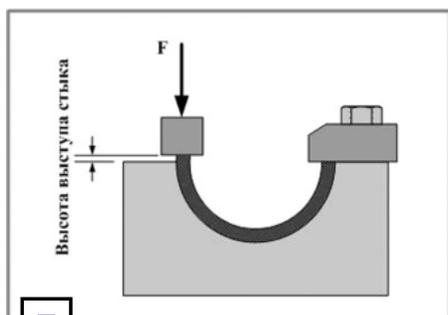
Биметаллические (а) и триметаллические подшипники со свинцовистым покрытием (б, в)



Структура подшипников скольжения



Эксцентриситет подшипника скольжения



Измерение высоты выступа стька подшипника

свойства (прирабатываемость, абсорбционную способность, сопротивление схватыванию), особенно если мягкое покрытие было подвергнуто износу. Между промежуточным слоем и свинцовистым покрытием наносится очень тонкий (1–2 мкм) слой никеля, служащий барьером, предотвращающим диффузию олова из покрытия в промежуточный слой.

**Инновационные материалы** для подшипников скольжения постоянно разрабатываются производителями подшипников. Это новые материалы, способные работать в тяжело нагруженных двигателях (дизельные двигатели с непосредственным впрыском топлива, двигатели с турбонаддувом), а также в гибридных и старт-стоп двигателях, в том числе:

- высокопрочные алюминиевые биметаллические материалы;
- прочные металлические покрытия для триметаллических подшипников;

- полимерные композитные покрытия, содержащие частицы твердых смазочных материалов;
- бессвинцовые экологически чистые безвредные материалы.

### Свойства подшипниковых материалов

Свойства материалов подшипников, характеризующие прочность и мягкость, сочетаются в различных пропорциях у разных материалов.

Отличные мягкие антифрикционные свойства триметалла ограничены толщиной покрытия (12 мкм). Если геометрический дефект или чужеродные частицы превышают толщину покрытия, ее антифрикционные свойства резко падают.

Мягкие свойства биметалла несколько ниже, чем у триметалла, однако они не ограничены толщиной покрытия, поэтому биметаллические подшипники способны прирабатываться к относительно крупным несоосностям и другим геометрическим дефектам. С другой стороны, усталостная прочность (максимальная нагрузка) биметаллических подшипников ниже (40–50 МПа), чем у триметаллических материалов (60–70 МПа). Также биметаллические подшипники без кремния хуже работают с чугуном валом.

### Геометрические характеристики подшипников скольжения

**Масляный зазор** — это основной геометрический параметр подшипников скольжения. Он равняется разнице между внутренним диаметром подшипника и диаметром вала (внутренний диаметр подшипника измеряется под углом 90° к линии, разделяющей верхний и нижний вкладыши).

Величина масляного зазора — очень важный показатель. Большой зазор приводит к увеличению потока масла, что снижает его нагрев в подшипнике, однако вызывает неоднородное распределение нагрузки (она концентрируется на меньшей площади поверхности и увеличивает вероятность разрушения вследствие усталости). Также большой зазор производит значительную вибрацию и шум. А слишком маленький зазор вызывает перегрев масла и резкое падение его вязкости.

Типичные величины масляного зазора **C**: для пассажирских автомобилей  $C_{\text{мин}} = 0,0005D$ ,  $C_{\text{макс}} = 0,001D$ , для гоночных автомобилей  $C_{\text{мин}} = 0,00075D$ ,  $C_{\text{макс}} = 0,0015D$  (где **D** — диаметр вала).

**Эксцентриситет** является мерой, определяющей некруглость подшипника. Действительно, внутренняя поверхность подшипника не является абсолютно круглой. Она имеет форму, напоминающую лежащий на боку лимон. Это

достигается за счет переменной толщины стенки подшипника, имеющей максимальное значение (**T**) в центральной части и постепенно уменьшающейся в направлении стька.

Принято измерять минимальное значение толщины ( $T_e$ ) на определенной высоте **h** для того, чтобы исключить зону выборки в области стька. Разница между максимальным и минимальным значениями толщины называется эксцентриситетом:  $T - T_e$ .

Эксцентриситет, образованный переменной толщиной стенки вкладыша, добавляется к эксцентриситету, вызванному смещением вала относительно центра подшипника. Наличие эксцентриситета позволяет стабилизировать гидродинамический режим смазки за счет создания масляного клина с большим углом схождения. Рекомендуемые величины эксцентриситета: для пассажирских автомобилей 5–20 мкм, для гоночных автомобилей 15–30 мкм.

**Посадочный натяг** необходим для обеспечения надежной посадки подшипника в гнезде. Прочно посаженный подшипник имеет равномерный контакт с поверхностью гнезда — это предотвращает смещение подшипника во время работы, обеспечивает максимальный отвод тепла из области трения и увеличивает жесткость гнезда. Поэтому наружный диаметр подшипника и его периметр всегда больше диаметра гнезда и его периметра.

Поскольку прямое измерение наружного периметра подшипника — трудная задача, обычно измеряется другой параметр: высота выступа стька (выступание). Высота выступа стька равна разнице между наружным периметром половины подшипника и периметром половины гнезда.

Проверяемый вкладыш устанавливают в измерительный блок и прижимают с определенным усилием **F**, величина которого пропорциональна площади сечения стенки подшипника. Оптимальная величина высоты выступа стька зависит от диаметра подшипника, жесткости и теплового расширения гнезда и температуры. Типичные значения высоты выступа стька для подшипников диаметром 40–65 мм: для пассажирских автомобилей 25–50 мкм, для гоночных автомобилей 50–100 мкм.

Несмотря на самые совершенные конструкцию, материалы и технологии, в эксплуатации ДВС встречаются случаи износов и поврежденных подшипников. Чтобы найти и устранить их причины, знание конструкции подшипников необходимо, но недостаточно. Об этом — в следующей статье. **АБС**

*Получить консультацию по вопросам приобретения и применения подшипников можно в компании King Engine Bearings Ltd. [www.king-bearings.com](http://www.king-bearings.com), e-mail: [leonidl@king-bearings.com](mailto:leonidl@king-bearings.com), тел. + 972 523 222 992*