

Не будет преувеличением сказать, что поршень – наиболее ответственная и специфичная деталь в современном двигателе. Он должен быть легким и прочным, способным выдерживать значительные механические нагрузки и тепловые удары, а кроме того, обладать высокой износостойкостью рабочих поверхностей, низким трением при минимально возможном зазоре в цилиндре. Последнее требование особенно важно для хорошей герметичности, возможности избежать прорыва газов из камеры сгорания в картер и поступления масла в обратном направлении. Иными словами – для минимального расхода масла с одновременным отсутствием шума (стука) поршня о стенки.

И это только часть проблем, которые приходится решать при конструировании и производстве поршней для конкретных двигателей. В целом получается, что поршень как бы концентрирует технические новшества, заложенные в конструкцию мотора. Тут можно перефразировать известное выражение древних: «Покажи мне только поршень, и я скажу, что это за двигатель».

Словом, разработка и изготовление современных поршней – задача особая. На Западе их производством давно занимаются не изготовители автомобилей, а специализированные фирмы. У них накоплен необходимый опыт и создана соответствующая техническая база, без чего невозможно получить надежный результат. В мире существует несколько фирм такого рода, но наибольшую известность по праву получила немецкая марка «Мале» (Mahle).

Фирма Mahle существует с 1920 года. Название она получила по фамилии своих основателей – братьев Мале. Затем последовали десятилетия непрерывного совершенствования, развития и роста. Сегодня Mahle – это целая группа специализированных компаний, которая так и именуется – Mahle Group. Так, производством поршней, цилиндров и блоков цилиндров занимается концерн Mahle GmbH, привлекая дочерние и долевыми фирмами США, Мексики, Бразилии, Испании, Франции и Южной Кореи. Туда же входят известные фирмы Mondial Piston (Испания) и Konig KG GmbH (Австрия). Помимо этого, в группу Mahle вхо-

**Поршни Mahle – от мопедов до дизелей океанских лайнеров**



## СОВРЕМЕННЫЕ ПОРШНИ

Александр ХРУЛЕВ

дят компании, производящие детали двигателей, включая поршневые пальцы, клапаны и др., а также фильтры (в том числе известная фирма Knecht).

Фирма Mahle приобрела свою мировую известность в основном успехами в разработке и производстве поршней для двигателей всех типов – от маленьких мотоциклетных до мощных, в десятки тысяч киловатт, судовых дизелей. Особенности конструкции и технологии изготовления поршней, выпускавшихся фирмой Mahle, – это этапы развития не только самой фирмы, но и всего мирового моторостроения. Они интересны для всех любителей техники, но особенно для тех, кто так или иначе связан с ремонтом автомобильных двигателей.

Известно, что поршни автомобильных двигателей изготавливаются из легких алюминиевых сплавов. Однако не все знают, что именно Mahle первой в Европе освоила серийное производство поршней из сплава алюминия с кремнием (1926 г.). При этом специальные поршневые сплавы «Mahle 124» с 11 – 13% кремния (1933 г.) и «Mahle 138» с 17 – 19% кремния (1937 г.) стали классическими для производителей поршней и сегодня применяются не менее широко.

В 1935 году Mahle впервые начала выпуск поршней со специальным профилем наружной поверхности: вместо цилиндрической формы поршень приобрел овальную и бочкообразную. Такая конфигурация оптимальна, поскольку в реальных условиях овальный и бочкообразный поршень, нагреваемый неравномерно (температура днища, омываемого горячими газами, существенно больше температуры юбки, охлаждаемой при контакте со стенками цилиндра), принимает форму, близкую к цилиндрической. В то же время небольшое заужение нижней части юбки создает гидродинамический эффект (своего рода подъемную силу) при движении поршня вниз – он как бы всплывает на масляной пленке. Найденные формы позволили уменьшить зазор в цилиндре без опасно-

сти заклинивания, снизить шум двигателя и повысить долговечность цилиндропоршневой группы. Они сохранились и у поршней самых современных двигателей. Правда, у них вдобавок появились еще и микрорельеф (микрорельеф на наружной поверхности глубиной порядка 5 мкм), создающий дополнительную подъемную силу при движении в цилиндре.

С 1926 года Mahle для компенсации теплового расширения поршней использует биметаллический эффект: стальные терморегулирующие вставки внутри поршня при нагревании препятствуют температурному расширению, позволяя держать малый зазор между поршнем и цилиндром. Эту же задачу решают и пазы в верхней части юбки поршня (в канавке маслосъемного кольца или под ней), которые препятствуют распространению тепла от верхней части поршня, нагретой горячими газами, в юбку. Из-за этого температура стенок юбки уменьшается, что также препятствует тепловому расширению поршня. Описанная комбинированная конструкция – со вставками и пазами – получила название Autothermik и успешно применялась фирмой Mahle с 1930 года для поршней многих автомобильных двигателей.

Схема только с пазами (без стальных вставок) хотя и позволяет несколько уменьшить массу поршня, но заметно уступает схеме Autothermik по тепловому расширению. В настоящее время она применяется редко, в основном на двигателях малого рабочего объема.

С ростом мощности и соответственно нагрузок на поршень от пазов на юбке вообще пришлось отказаться, поскольку они ощутимо ослабляют деталь. Поэтому с 1955 года как на бензиновых, так и на дизельных двигателях широко используется конструкция со стальными вставками без пазов, получившая название Autothermatik. Кстати, поршни такого типа имеют все вазовские двигатели.



**Поршень Mahle для авиационного двигателя 30-х годов уже приобрел вполне современную форму, включая профиль наружной поверхности (справа)**

Дальнейшее развитие поршней – конструкция Duotherm, применяемая в основном на бензиновых двигателях с 1970 года. Здесь «управление» тепловым расширением юбки осуществляется как с помощью биметаллического эффекта, так и расширением верхней части поршня. Вследствие этого схема Duotherm по тепловому расширению лучше предыдущих схем, но несколько уступает по прочности схеме Autothermatik.

В последние годы поршни без стальных вставок и пазов (с «жесткой» юбкой) снова оказались в центре внимания. Автомобильные двигатели последнего поколения, многие из которых имеют алюминиевый блок цилиндров, потребовали облегчения поршней без ухудшения их тепловых, прочностных и других эксплуатационных характеристик. Это оказалось возможным, если перейти на материалы с повышенным содержанием кремния (включая сплав «Mahle 244» с 23 – 26% кремния). Одновременно были разработаны более эффективные методы получения заготовок поршней, в частности вместо литья под давлением – штамповкой (ковкой) и «жидкой» штамповкой. В результате поршни двигателей последних моделей имеют достаточно простую форму, низкую массу, высокую прочность и износостойкость, обеспечивая при этом минимальный шум двигателя.

Особо следует остановиться на конструкции поршней для дизельных двигателей. Как известно, дизель характеризуется очень высокой степенью сжатия (до 22 – 24 против 9 – 10 у бензинового двигателя) и соответственно большими силовыми и тепловыми нагрузками

на детали, включая поршень. Его совершенствование опять-таки хорошо иллюстрируется цепочкой разработок фирмы Mahle.

Еще в 1931 году Mahle впервые применила чугунную вставку канавки для верхнего кольца, что позволило заметно увеличить ресурс дизельного двигателя. Эта конструкция с успехом применяется и по сей день, хотя с 1974 года (а особенно в последнее время) для упрочнения верхней канавки все чаще применяются износостойкие покрытия.

Обычно такое покрытие имеет толщину 40 – 120 мкм и делается по всему днищу поршня с «заходом» в канавку верхнего кольца, одновременно защищая края днища поршня от перегрева. Покрытие представляет собой так называемое твердое анодирование, то есть термохимическое преобразование верхнего слоя алюминиевого сплава в твердую керамику (окись алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Кстати, подобное покрытие, но меньшей толщины (обычно 10 – 15 мкм), используют и на поршнях высокофорсированных бензиновых двигателей с наддувом. Здесь помимо уменьшения износа верхней канавки ставится цель защиты днища поршня от разрушения детонацией.

В поршнях современных дизелей с наддувом нередко применяют так называемое внутреннее охлаждение, которое уменьшает температуру днища на 30 – 80°С. Оно состоит в подаче масла из системы смазки через форсунку во внутреннюю кольцевую полость поршня, расположенную около пояса поршневых колец. Очевидно, что изготовление поршня с подобным кольцевым отверстием требует специальной технологии.

Кроме этих особенностей, в последних конструкциях автомобильных дизелей с непосредственным впрыском топлива в цилиндр, отличающихся очень высокой нагрузкой на поршень, появилась и другая особенность. В бобышках поршня здесь устанавливают бронзовые втулки в отверстия для поршневого пальца, а сам палец делают волнистым с плавным уменьшением диаметра на 10 – 40 мкм вблизи краев отверстий поршня и шатуна. Такие решения обеспечивают долговечность соединения поршня с пальцем там, где традиционные конструкции и материалы уже не работают.

Среди достижений фирмы, касающихся дизелей, нельзя не отметить поршни с армированием керамическими волокнами типа Liquostatik, а также поршни типа Ferrotherm, состоящие из двух частей – уплотняющей и направляющей. На подходе и другие новинки.

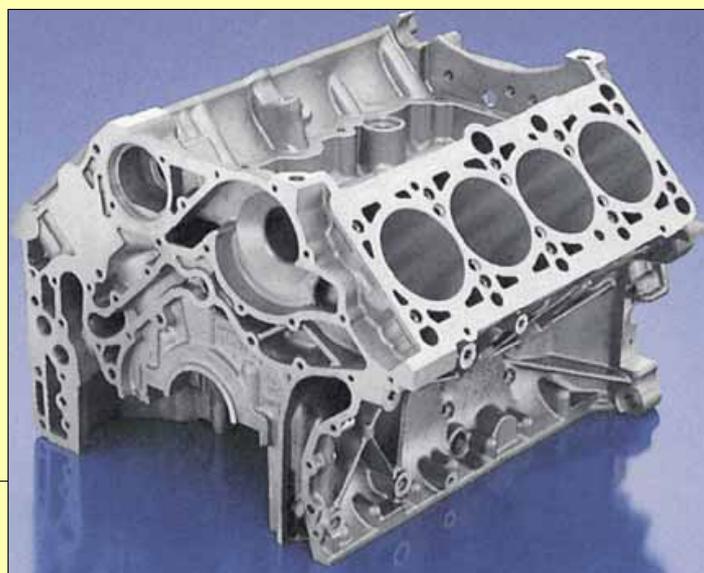
Большинство поршней традиционно покрывается тонким (порядка 5 мкм) слоем свинца, олова или цинка. Покрытие препятствует задиру юбки на нерасчетных режимах, например при запуске и прогреве, когда условия смазки ухудшены. В последние годы на юбку поршней стали наносить покрытие типа Grafal, которое представляет собой графит со специальным наполнителем, обеспечивающим прочное сцепление со стенкой юбки. Покрытие имеет толщину 15 – 30 мкм и существенно влияет на износостойкость поршня.

Для V-образных двигателей с алюминиевыми блоками цилиндров

и их поршней фирма разработала специальные технологии и материалы. Так, поршни имеют покрытие типа Ferrostan (1975 г.), представляющее собой слой железа толщиной 12 – 20 мкм, покрытый сверху тонким (1 – 2 мкм) слоем олова. Блок цилиндров отливают по специальной технологии Silumal из алюминиевого сплава «Mahle 147» (17% кремния, 4% меди) с осаждением повышенного количества кремния вблизи цилиндров. После обработки поверхность цилиндров травят соляной кислотой, при этом алюминий «уходит» с поверхности и там остается чистый кремний. Таким образом, пара материалов в двигателях с такими блоками цилиндров как бы обратна привычной: «железный» поршень работает в «алюминиевом» цилиндре. Этим достигается исключительная износостойкость пары (в комплекте с хромированными поршневыми кольцами), а также низкий уровень шума из-за очень малого зазора в цилиндре (порядка 0,01 мм). Такие блоки теперь применяют самые именитые фирмы (V8 – «Мерседес», «Ауди», «Порше»; V12 – «Мерседес» и БМВ).

Следует упомянуть также успехи Mahle в создании специальных износостойких покрытий цилиндров, в частности Chromal (1951) и Nikasil (1967). Chromal – это хромовое покрытие толщиной 0,06 – 0,08 мм, осаждаемое электрохимическим способом на алюминиевый цилиндр. Nikasil состоит из никеля с включением мелких (размером около 3 мкм) частиц карбида кремния; такое покрытие имеет наивысшую износостой-

#### **Блок цилиндров из специального алюминиевого сплава Silumal**





**а**



**б**



**в**



**г**

кость. Это определило использование алюминиевых гильз цилиндров с покрытием Nikasil для двигателей гоночных автомобилей.

Здесь уместно заметить, что Mahle – основной производитель поршней и гильз цилиндров для автомобилей «Формулы 1» (F1). Подавляющее большинство команд, включая Феррари, Вильямс – Рено, Бенеттон-Рено, МакЛарен – Мерседес и другие, использует именно эти комплектующие. Поршень двигателя F1 должен оставаться работоспособным при частоте вращения до 17000 мин<sup>-1</sup>, поэтому он отличается предельно низкой массой и малой высотой, изготавливается «жидкой» штамповкой и имеет, как правило, внутреннее охлаждение, причем на последних модификациях используют только два поршневых кольца.

Сегодня фирма Mahle выпускает поршневые группы (комплекты «поршень – поршневые кольца – поршневой палец») для подавляющего большинства моделей и модификаций автомобилей европейского производства. Перечень марок впечатляет: «Мерседес», БМВ, «Фольксваген», «Ауди», «Опель», «Рено», «Пежо», «Ситроен», «Фиат» и многие другие. Эта продукция Mahle идет как для конвейерной сборки, так и в запасные части. Достаточно

велика номенклатура поршней и для двигателей японских машин. Не забыты российские потребители: фирмой Mahle освоены и уже продаются на нашем рынке поршневые группы и кольца для двигателей ВАЗ и ГАЗ.

Несмотря на огромную массу выпускаемых деталей (в последние годы к ним прибавились поршневые кольца и подшипники коленчатых валов), фирма выполняет и индивидуальные заказы. Например, здесь могут изготовить поршни для новых двигателей в единичных количествах. Имея серьезную исследовательскую, конструкторскую и производственную базу, Mahle может спроектировать и сделать поршень для любого двигателя, удовлетворяющий всем необходимым требованиям, будь то низкий расход топлива и масла, малый выброс токсичных веществ с выхлопными газами, невысокий шум, максимально возможная мощность и долговечность двигателя. При этом будут выбраны оптимальные сочетания материала, конструкции, геометрии и покрытий поршня, необходимые для выполнения поставленных условий.

Интересно, что у фирмы можно заказать и любые поршни, которые когда-либо изготавливались фирмой Mahle: со времени ее основания сохраняются все формы для отливки.

**В верхнем ряду основные конструкции поршней фирмы Mahle:**  
**а) Autothermik,**  
**б) Autothermatik,**  
**в) Duotherm,**  
**г) с «жесткой» юбкой штампованный**



**а**

**На двух правых рисунках особенности конструкции поршней Mahle для дизельных двигателей:**  
**а) кольцевая полость внутреннего охлаждения и вставка канавки верхнего кольца,**  
**б) бронзовая втулка в отверстиях для пальца**



**б**

**СПРАВКА «АБС».** Фирму Mahle и ее продукцию на отечественном рынке представляет официальный дистрибьютер – компания «ВолдАвтоТрейд». На ее московских складах имеется большая номенклатура фирменных запчастей, в том числе для отечественных автомобилей, целый ряд изделий от компаний, входящих в группу Mahle (например, фильтры Knecht), а также продукция других известных немецких фирм, в том числе прокладки и уплотнения Elring, детали систем зажигания Veru и др. Специалисты «ВолдАвтоТрейд» могут проконсультировать по любым вопросам, связанным с приобретением указанных запчастей и их использованием при ремонте двигателей. Телефоны компании «ВолдАвтоТрейд»: (095) 366-9647, 366-9022.



**Поршни двигателей F1 – предельно высокие нагрузки и частоты вращения**