

В ОБЩЕМ И В ЧАСТНОСТИ

годовую программу производства поршней (обычно это несколько миллионов изделий) и получим несколько «лишних» вагонов стратегического металла. Кстати, металла недешевого. Ведь это только у нас некоторые производители изготавливают поршни из вторсырья. На Западе для этой цели используют только первичные алюминиевые сплавы, иначе невозможно гарантировать качество продукции. К сожалению, это наименьшее из последствий просчетов конструкторов и технологов.

Припомним, что поршень совершает колебательные движения в цилиндре с частотой до 100 раз в секунду. При этом максимальная скорость его перемещения на отрезке пути длиной 70–80 мм достигает 25 м/с, а возникающие тысячекратные перегрузки превращают каждый лишний грамм в несколько килограммов избыточной нагрузки. Нагрузка передается на поршневой палец, шатун, коленчатый вал и, наконец, воспринимается блоком двигателя.

Увеличение массы поршня однозначно отражается на массе каждой из этих деталей, тем более что они работают в циклическом режиме, провоцирующем усталостные явления. В результате исходные граммы «на выходе» превращаются в десятки килограммов качественного металла. Еще раз множим на объем производства двигателей, приплюсуем сюда повышение расхода топлива за счет больших потерь на трение и массы мотора, увеличение вредных выбросов в атмосферу, прочие неучтенные последствия. Удручающее «итога» убедительно доказывает, что поршень — действительно наиболее важная деталь двигателя, во многом определяющая его конструкцию, производственные затраты, экономичность и экологичность.

Каков же он, поршень?

Геометрия искривленного пространства

На первый взгляд поршень имеет правильную геометрическую форму цилиндра. Однако, если «пройтись по нему» с точным измерительным инструментом, окажется, что это вовсе не так. Практически все «формы» поршня — неправильные. Их «неправильность» обусловлена желанием обеспечить равномерный, минимально возможный зазор между стенкой цилиндра и поршнем по всей его высоте.

Трудность этой задачи состоит в том, что различные части поршня при работе нагреваются



«Юбка с разрезом», толстые кольца и огромная компрессионная высота — характерные приметы старых поршней.

крайне неравномерно, а, значит, неодинаково изменяются в размерах. Ситуация еще более усложняется тем, что поршень имеет неравножесткую конструкцию, что также влияет на последствия теплового расширения.

Днище поршня — наиболее термически нагруженная его часть. При работе двигателя его температура может достигать 300–350 °С. Поэтому диаметр поршня в области огневого пояса уменьшают на 0,4–0,6 мм относительно диаметра цилиндра.



Поршень мотора Audi разработки 70-х годов. Термокомпенсирующий паз стал уже и переместился в канавку маслосъемного кольца. В конструкции также используются стальные термокомпенсирующие пластины. Заметна тенденция уменьшения высоты поршня.

Температура поршня в зоне уплотнительного пояса ниже. К тому же тепловые потоки, проходящие через первое и второе компрессионные кольца, отличаются в несколько раз. Как следствие, перемычки между кольцами будут иметь разную температуру. Верхняя — более горячая, нижняя — менее. Чтобы компенсировать их неодинаковое тепловое расширение на работающем моторе, диаметр поршня от днища к юбке постепенно увеличивают.

Температура юбки плавно спадает в направлении от ее верхней части (в районе маслосъемного кольца) книзу. Этим обуславливается конический характер ее поверхности. В нижней части юбки обычно устраивают обратный конус. Он позволяет поршню при переключке в нижней и верхней мертвых точках работать более мягко, без резких ударов. В дополнение к этому при движении поршня вниз обратный конус способствует возникновению гидродинамического эффекта, благодаря которому поршень как бы «всплывает» на масляной пленке.

Плавное увеличение диаметра поршня от днища к нижней части юбки, а также наличие на ней обратного конуса придает ему бочкообразную форму в продольном сечении.

Не менее важное условие работоспособности поршня — особая форма в поперечном сечении, отличная от формы круга. Необходимость такой меры обусловлена наличием бобышек, усиленных в месте соединения поршня с поршневым пальцем. Составляющие единое целое с днищем поршня, массивные бобышки нагреваются в





Начало 80-х, поршень двигателя Mercedes. Термокомпенсирующие прорези исчезли, уменьшилось расстояние между бобышками для крепления к шатуну с узкой верхней головкой.

большей степени, чем соединяющие их части юбки. Как следствие — диаметр поршня «растет» преимущественно в направлении, совпадающем с осью поршневого пальца. Чтобы компенсировать этот эффект, поршень в поперечном сечении делают овальным. Меньшая ось овала совпадает с осью пальца, а овальность обычно составляет 0,4–0,5 мм. Величина небольшая, но очень важная. Именно она позволяет поршню работать в цилиндре с минимальными зазорами.

Таким образом, форма поршня в холодном состоянии характеризуется бочкообразностью и овальностью. Закономерности «искривленной геометрии» поршней были выявлены достаточно давно. Примерно с 30-х годов их учитывают при конструировании поршней, вначале авиационных, а затем и автомобильных.

«Материальная» часть

Большинство рецептур материалов, применяющихся для изготовления поршней, было разработано еще в 20-х годах. В этом отношении современные поршни недалеко ушли за прошедшие 80 лет. До сих пор они в основном изготавливаются из силумина с процентным содержанием кремния около 12%. Этот сплав был впервые предложен фирмой Mahle, которая внедрила его в массовое производство поршней. В ряде случаев (например, для некоторых дизельных моторов) применяются заэвтектические сплавы алюминия, в которых содержание кремния может достигать 18%. Такие силумины менее пластичны, более капризны в обработке и дороги. В «доалюминиевый» период поршни изготавливались из чугуна.

Силумин оказался очень удачным материалом, сочетающим достаточную прочность с легкостью. Подбор концентрации кремния позволил добиться приемлемого коэффициента теплового расширения, существенно меньшего, чем у чистого алюминия. Основной способ получения заготовок поршней (практически 99%) — литье, большей частью кокильное. Эта технология отработана буквально до совершенства. Незначительное количество составляют поршни, заготовки для которых изготавливают методомковки. Это сво-



К концу 80-х в облике поршней становятся заметны «холодильники» (1) и вертикальные ребра (2), придающие юбке поршня жесткость.

его рода эксклюзив, который не применяется на серийных изделиях. Кованые заготовки в силу особой структуры, которую приобретает металл, обладают несколько большей прочностью. Однако это преимущество обычно нивелируется ограничениями по возможной форме заготовки и может быть вовсе сведено к нулю из-за отдельных конструктивных недочетов.



Поршень пока еще сравнительно высок и снабжен термокомпенсационными пластинами, но юбку уже подкрепляют ярко выраженные ребра.

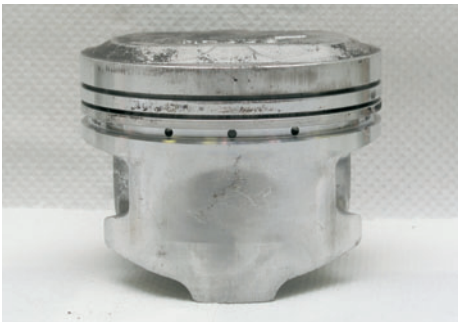
Уважающие себя производители наносят на поверхность поршней различные покрытия. Один из распространенных способов — покрытие поршня оловом (лужение). Реже применяется покрытие свинцом. Слой мягкого металла, толщина которого составляет 5–10 мкм, уменьшает трение и вероятность «прихвата» поршня с образованием задиров в период обкатки двигателя. Ту же функцию он выполняет и на приработанном двигателе в момент пуска, сопровождающегося «масляным голоданием», и при пиковых нагрузках. Убедительное доказательство действенности этой меры — сравнение состояния поршней двигателей классических моделей ВАЗ первых поколений и ВАЗ 2108–21083. У последних даже при незначительном пробеге на юбке поршней, не имеющих покрытия, обязательно присутствуют задиры. На луженых поршнях «классики» такого явления, как правило, не наблюдалось.

Некоторые производители для уменьшения трения наносят на юбку поршней антифрикционные покрытия, композиции на основе графита, реже — дисульфида молибдена. Толщина слоя покрытия может достигать 15–20 мкм. Обычно поршни с таким покрытием устанавливаются в цилиндр с минимальным зазором. В результате первоначальной приработки покрытие частично стирается и поверхность поршня приобретает форму, максимально соответствующую цилиндру. Поршни с приработываемым покрытием применяются, например, на современных двигателях VAG, Mercedes, BMW, Opel и других. Выпуск таких поршней недавно освоен некоторыми российскими предприятиями для моторов отечественного производства.

Короче, еще короче...

В последние 20–30 лет все разработчики двигателей вслед за первопроходцами, японскими конструкторами, двигались примерно в одном направлении и достигли сходных результатов. Поэтому сейчас, взяв в руки поршень, непросто определить, где и для какого мотора он произведен. В то время как десяток-другой лет тому назад отличить, например, японское изделие от

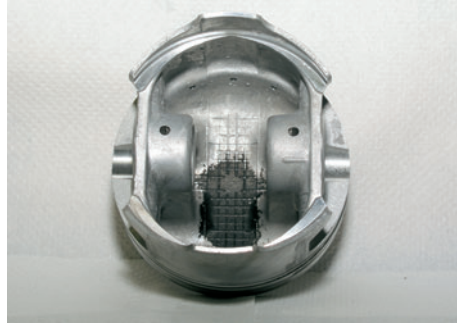




Изделие начала 90-х. Канавки поршневых колец становятся уже, высота поршня уменьшается.

американского было проще простого. Отметим некоторые этапы эволюции поршней.

Одна из основных геометрических характеристик поршня — компрессионная высота. Она определяется расстоянием от его днища до оси поршневого пальца. С начала 80-х годов наметилась устойчивая тенденция к уменьшению компрессионной высоты поршня. Это позволяет снизить его массу за счет уменьшения размеров бобышек и высоты уплотнительного пояса. Известны примеры, когда компрессионную высоту поршня удавалось уменьшить до 24 мм. И это



при наличии трех колец. Для сравнения: данный параметр у VAZовских поршней составляет 38 мм, а у поршней автомобилей ГАЗ выпуска прошлых лет — аж 52 мм!

Уменьшение компрессионной высоты поршней стало возможным во многом благодаря переходу на более тонкие кольца. Процесс наблюдался повсеместно на протяжении 90-х годов. Если ранее в порядке вещей считался комплект колец размером 2–2–4 мм, то сейчас обычным делом становятся наборы порядка 1,2–1,5–2 мм. Это ре-



В 90-х годах поршни форсированных моторов обрабатывали гальваническим способом. Поверхности огневого пояса этого поршня анодированы.



В сравнении с современными зарубежными изделиями поршни 402-го мотора выглядят анахронизмом.

Взгляд со стороны

Опуская подробности внутреннего устройства поршня, взглянем на него снаружи.

Верхняя часть поршня, представляющего собой «стакан наоборот», называется днищем. Вместе с прилегающей к нему боковой поверхностью, ограниченной канавкой верхнего компрессионного кольца, оно составляет так называемый огневой пояс. Огневого пояса принимает на себя механическую и тепловую нагрузки, возникающие при сгорании смеси.

Область, в которой расположены поршневые кольца, принято называть уплотнительным поясом. Как следует из названия, его задача — уплотнение подвижного места контакта поршня со стенками цилиндра. Уплотнительный пояс должен препятствовать прорыву продуктов сгорания в картер двигателя и попаданию масла в камеру сгорания. Но не только.

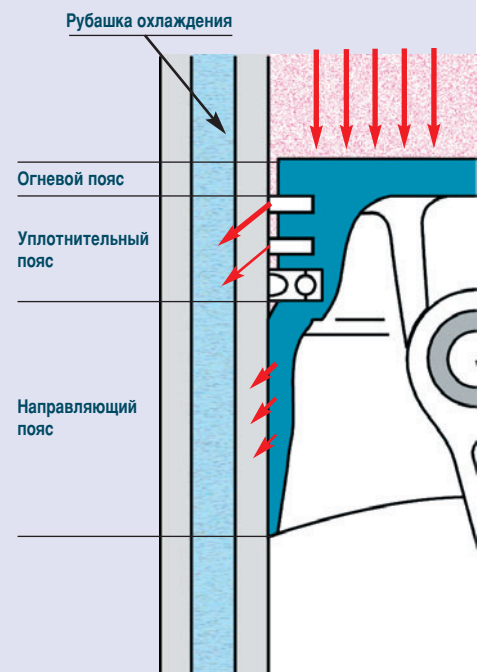
Не менее важная функция уплотнительного пояса — отвод тепла, проникающего в тело поршня через поверхности огневого пояса. Трудно поверить, но именно через поршневые кольца в стенку цилиндра и далее — в рубашку охлаждения блока сбрасывается более 80% теплового потока. При этом на долю верхнего компрессионного кольца приходится примерно 60%, второе отводит около 20%. Процессы уплотнения и охлаждения тесно взаимосвязаны. Хорошее уплотнение означает эффективный теплоотвод. Напротив, нарушение уплотнения (износ и поломка колец или перемычек между ними) приводит к ухудшению охлаждения поршня и, в конечном счете, к его прогару.

зультат достижений в области технологии. Тонкие кольца обеспечивают меньшие потери на трение, более податливы, быстрее и точнее прирабатываются, а потому обладают лучшими уплотнительными свойствами и, как ни странно, лучше отводят тепло.

Снижение компрессионной высоты повлекло за собой уменьшение размеров юбки поршня. Для центрирования укороченного поршня высокая юбка стала просто излишней. В результате общая высота поршня по отношению к моторам разработки 70-х годов сократилась почти вдвое: с 80–90 мм до 50–55 мм. Уменьшение размеров поршня повлекло снижение его массы, которое составило 30–40%. К каким последствиям это приводит, мы уже упоминали. В частности, это позволило облегчить поршневой палец, уменьшив его диаметр. На современных двигателях применяются пальцы диаметром 17–20 мм, в то время как еще недавно нормой считалось 22–26 мм.

Внедрение многоклапанных моторов также наложило свой отпечаток на конструкцию со-

Ниже уплотнительного расположен направляющий пояс поршня, образованный, в основном, внешней поверхностью юбки. Он служит для центровки поршня при его перемещении в цилиндре. При нарушении формы или износе уплотнительного пояса центровка нарушается. Если зазоры велики, во время перекадки поршня в мертвых точках его верхняя часть может соударяться со стенкой цилиндра, что сопровождается характерными стуками в двигателе и грозит серьезными последствиями: ускоренным износом стенки цилиндра, нарушением работы колец и поломкой поршня.





Топ-версия современного спортивного поршня. Ярко выраженная Т-образная форма, два поршневых кольца, предельно жесткая юбка с отверстиями для подачи масла.

временного поршня. Повышение их литровой мощности и быстроходности привело к росту тепловых и механических нагрузок на поршень. Поскольку давление на поршень в конечном итоге воспринимается юбкой, возникла задача ее упрочнения. Эффективным способом стало устройство вертикальных ребер жесткости, соединяющих юбку с бобышками. Ребра образуются в результате удаления излишка материала снаружи поршня в районе бобышек. Боковые выборки получили несколько странное название «холодильники». У многих поршней современных моторов они очень большие и глубокие. Глубокие холодильники предполагают уменьшение расстояния между бобышками, а значит, применение короткого пальца и легкого шатуна с узкой верхней головкой.

Достигнутое этим радикальное повышение жесткости юбки позволило постепенно отказаться от прочих способов, применявшихся ранее для компенсации ее теплового расширения. Из конструкции поршня исчезли термокомпенсирующие пазы и стальные пластины. Последние вставлялись в поршень при отливке и работали совместно с юбкой как биметалл, сдерживая ее расширение при нагреве.

Глубокие холодильники и отсутствие термокомпенсации радикально изменили картину теплового расширения поршня. Узкая и более жесткая юбка стала более чувствительной к температурным воздействиям. Для обеспечения работоспособности поршня потребовалось увеличить диаметральные зазоры и ужесточить требования к технологии его производства.

Большие зазоры приводят к повышению шумности работы двигателя, что критично для серийного автомобиля. Приходится очень точно подбирать профиль юбки и материал поршня. Добавлением легирующих элементов и подбором технологических режимов литья удается получить материалы с минимальным коэффициентом теплового расширения.

Но это тот случай, когда «игра стоит свеч». Благодаря уменьшению размеров и массы

поршней удалось значительно снизить механические потери в ЦПГ, которые, как известно, составляют около половины всех потерь в двигателе. Применение легких поршней с короткой и узкой юбкой существенно сокращает потери на трение, значит, способствует повышению мощности при уменьшении расхода топлива и токсичности.

Очень важный момент — обеспечение эффективной смазки. Раньше основной задачей считался сьем масла маслосъемным кольцом. Для его удаления в канавке маслосъемного кольца устраивались отверстия. На нагруженных моторах возникает обратная задача — обеспечения смазки мест контакта юбки с цилиндром при движении поршня вверх. Если этого не делать, не избежать повышенного трения и задиrow на юбке, особенно на ее ненагруженной стороне. Проблема решалась разными способами: устройством отверстий для смазки в зоне маслосъемного кольца, профилированных канавок под маслосъемным кольцом для сохранения в них нужного количества масла.

Потребовалось принять дополнительные меры по отводу тепла от поршня. Один из часто применяемых способов — использование форсунок, разбрызгивающих масло на днище поршня. Кстати, такая конструкция применяется в 16-клапанных моторах ВАЗ. На дизельных моторах с наддувом иногда применяют еще более слож-

ные способы борьбы с перегревом поршней. Точно настроенная форсунка подает масло в кольцевую полость, выполненную в теле поршня в районе уплотнительного пояса.

Поршни спортивных моторов несут в себе аналогичные черты, но они выражены еще ярче. Ведь большая мощность означает большие тепловые и механические нагрузки. Методы обеспечения работоспособности поршней те же, а потому и конструктив сегодня практически идентичен. Небольшое отличие — одно компрессионное кольцо вместо двух и еще более короткая юбка. Так удается достичь существенного уменьшения потерь на трение, особенно на высоких оборотах. Известны и некоторые серийные моторы с поршнями подобной конструкции.

Таким образом, поршень современного автомобильного двигателя — сложное техническое изделие, аккумулирующее в себе большое количество знаний из различных областей науки и техники. Конструкция поршня жестко связана с особенностями двигателя, в котором он работает. Бездумный, необоснованный выбор поршня может оказаться не просто неоправданным, например, с технологической или экономической точек зрения, но и нанести серьезный вред работоспособности мотора. И такие примеры, к сожалению, известны. Вследствие предельно оптимизированной конструкции современные поршни обладают меньшим запасом прочности (во многих смыслах), а потому более требовательны к соблюдению расчетных условий эксплуатации. Повышенные нагрузки, ухудшение условий теплосъема, некачественная смазка могут резко сократить их ресурс. **AEC**

Отремонтировать любой двигатель и его детали (в том числе, заменить вышедший из строя поршень) можно в Специализированном моторном центре «АБ-Инжиниринг».
Тел.: 158-81-53, 158-74-43,
www.ab-engine.ru



Поршень одной из уважаемых зарубежных фирм. Несмотря на антифрикционное покрытие, после 120 000 км пробега произошел сильный износ поверхности юбки на ненагруженной стороне (слева). Причина — отсутствие конструктивных мер для подачи смазки в зону трения при движении поршня вверх. Как говорится, «и на старуху бывает проруха».