

Неочевидное и невероятное



АЛЕКСАНДР ХРУЛЕВ,
канд. техн. наук, директор
фирмы «АБ-Инжиниринг»



СЕРГЕЙ САМОХИН

Отказ двигателя в период гарантии по вине автозавода — случай довольно редкий. Даже в чем-то экзотический. Но если при изготовлении мотора все же был допущен брачок, он не заставит себя долго ждать. Обычно скрытые дефекты «вылезают» на начальной стадии эксплуатации автомобиля. Поэтому если двигатель отказал при пробеге, превышающем 15–20 000 км, искать в этом вину производителя бесперспективно. А уж если до поломки мотора машина пробежала все 50 000 км, вероятность, что она произошла из-за заводского брака, — величина, как говорят математики, бесконечно малая. Это проверенное практикой правило. Но у каждого правила, как известно, бывают исключения...



Этот исключительный случай произошел с легковым автомобилем, продуктом уважаемого японского автопрома. Именно тогда, когда пробег машины только перевалил за 50 000 км, ее современный 2,3-литровый мотор с турбонаддувом и непосредственным впрыском бензина забарахлил: начал расточительно расходовать масло (более 1,5 л/1000 км), а затем и вовсе «захромал» на один цилиндр.

Представьте — машина на гарантии, инструкции по эксплуатации выполнялись, замена масла проводилась в рекомендованные сроки (через 15 000 км). Да и водитель,

как позже выяснилось, был необычайно аккуратный (что сыграло немаловажную роль в этой истории). Но двигатель вдруг сломался. Казалось бы, чего проще: вскрыть, установить причину, устранить, собрать и ездить дальше. В действительности все вышло не так гладко, как могло бы. И хотя в итоге виновного в отказе двигателя удалось таки установить, это потребовало привлечения нескольких экспертных организаций и колоссальных затрат времени, исчислявшихся несколькими месяцами. Вот как было дело.

По ложному пути

Вначале за расследование происшествия взялись дилеры. Пригласили эксперта, разобрали мотор. Эксперт установил, что во втором цилиндре прогорел поршень, и, не мудрствуя лукаво, заключил, что это произошло из-за использования некачественного топлива. Таким образом, виновным был объявлен автовладелец. Однако тот оказался не слишком покладистым и не согласился с выводами экспертизы. Кстати, не без оснований. Во-первых, этот мотор на российский рынок поступает в деформированной версии, которая на двадцать с лишним «лошадей» слабее стандартной. Недостающие до стандарта «лошади» — это и есть поправка на хреновый бензин и про-

чие отягчающие обстоятельства российской действительности. Во-вторых, в системе управления двигателем, как это и положено, предусмотрена коррекция зажигания по сигналу датчика детонации. Двигатель, оснащенный такой системой, должен без серьезных последствий пережаривать бензин с колебаниями октанового числа в пределах нескольких (до 4–5) единиц. И в-третьих, владелец настаивал, что ездил неспешно и на газ вообще не давил...

Так разбирательство плавно перешло в судебную фазу. Суд, в свою очередь, назначил следующую, уже судебную экспертизу. Она в общем и целом согласилась с заключением



□ **Предыдущие эксперты единодушны: поршень прогорел из-за использования некачественного бензина**



□ **Верхнее компрессионное кольцо сломано посередине. Сравнение с целым кольцом показывает, что у него не хватает двух кончиков**



Авторитеты «моторных дел» не отмечают случаев, чтобы прогар поршня (слева и в центре) или детонация (справа) вызвали поломку верхнего компрессионного кольца

первого эксперта: прогар поршня по вине некачественного топлива.

Единодушное мнение экспертов можно было бы принять за истину, но... Если взглянуть на поврежденный поршень, видно, что у него не только разрушена часть днища и огневого пояса, но есть еще один серьезный дефект — сломано верхнее компрессионное кольцо. Причем оно оказалось сломано в трех местах: примерно посередине, напротив замка, и с двух сторон от него, так что кольцо лишилось двух «кончиков». На этот счет эксперты предположили, что после того как поршень прогорел, температурный режим кольца в этом месте резко изменился, кольцо перегрелось, потеряло прочность — и вот вам результат... Этот вывод и вызвал наибольшие сомнения очередной, третьей команды экспертов. Она была привлечена судом для раскрытия тайны мотора по ходатайству уже порядком измученного, но все еще не сдающегося автовладельца.

Вопросы, вопросы...

После внимательного изучения останков того, что еще недавно было двигателем, вновь назначенные эксперты засомневались: а может ли прогорание поршня вызвать поломку верхнего компрессионного кольца? Покопавшись в своем достаточно богатом опыте по ремонту моторов и изучив техническую информацию

от авторитетных производителей моторных комплектующих, они пришли к выводу, что в мировой практике моторного ремонта такое явление не просматривается. Да, поршни прогорают, огневого пояса и перемычки между кольцами оплавляются, но верхнее кольцо в подавляющем большинстве случаев остается целым. Даже при сильной детонации в цилиндре повреждается, как правило, только среднее кольцо, а верхнее — нет. Дело в том, что верхнее кольцо воспринимает основную часть нагрузки от давления расширяющихся в камере сгорания газов. Поскольку нагрузка имеет ударный характер, в современных моторах верхние кольца изготавливаются из достаточно пластичных материалов, например, из высокопрочного чугуна. Такое кольцо можно разогнуть руками, и оно не сломается. В двигателях с наддувом верхние кольца обычно делают из очень прочных материалов — к примеру, из теплостойкой стали. Такое кольцо можно сломать, но усилие «на слом» значительно превышает прочность самого поршня — если поршень и сломается, то верхнее кольцо, скорее всего, устоит.

В отличие от верхнего кольца среднее не испытывает больших нагрузок и его обычно изготавливают из серого чугуна. Оно действительно очень хрупкое и порой буквально рассыпается на мелкие кусочки даже при умеренных

усилиях. Но в исследуемом моторе все средние кольца почему-то остались целыми...

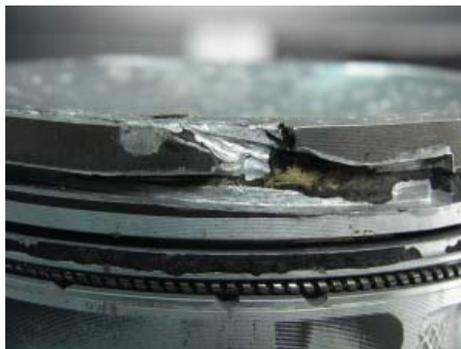
Если прогорание поршня не могло стать причиной поломки кольца, может, все происходило наоборот: вначале сломалось кольцо, а уже потом прогорел поршень? Внимание экспертов привлекла канавка верхнего кольца, вернее, характер ее повреждения. В технике его принято называть размытием. Размытие — это довольно длительный процесс постепенной выработки материала вокруг детали, получившей свободу перемещения и колеблющейся с большой частотой. Возникло предположение, что вначале все-таки сломалось кольцо, обломки кольца размыли канавку, теплоотвод от поршня в зоне повреждения нарушился и поршень прогорел. Что ж, сценарий вполне логичный и правдоподобный.

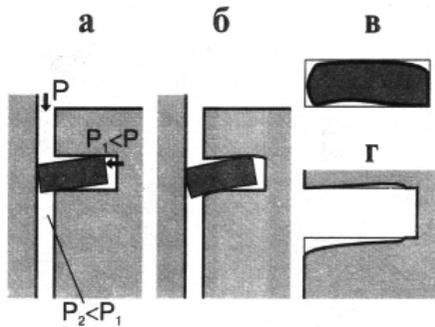
Оставалось непонятным, почему сломалось кольцо, и когда это случилось? Ответы были найдены только после двух месяцев тщательных исследований, анализов и жарких споров. Вначале было решено как следует отмыть место повреждения поршня. Сделать это было непросто, поскольку нужно было очистить твердый нагар, не повредив саму поверхность. Но результат очистки превзошел ожидания — «прогар» исчез! После удаления слоя нагара стало абсолютно очевидным, что поврежденные поверхности не оплавлены. На них были отчетливо видны следы механического износа и излома. Это убедительно доказывало, что повреждение поршня имеет не термическую, а чисто механическую причину.

Здесь стоит обратить внимание еще на одну интересную деталь. На первый взгляд кажется, что размытие канавки поршня должно распространяться вниз, в направлении действия давления продуктов сгорания. На самом деле процесс идет преимущественно в противоположном направлении, вверх. Дело в том, что при вспышке смеси в камере сгорания сломанное кольцо не воспринимает давление, а



После очистки поршня взору открылось днище, бомбардированное посторонними предметами. А «прогар» ...исчез!





□ Под действием давления газов и трения о цилиндр верхнее компрессионное кольцо закручивается в канавке поршня: а — закручивание в канавке нового кольца; б — то же для изношенного кольца; в — изменение профиля поперечного сечения кольца по мере износа; г — характер износа канавки поршня

поршень в этот момент подвергается воздействию, сравнимому с ударом хорошей кувалды. Он резко устремляется вниз и буквально наталкивается на свободно болтающийся в канавке обломок кольца. Сила удара осколка о верхнюю стенку канавки незначительна, но частота воздействия равна частоте вращения двигателя. И каждое соприкосновение обломка с поверхностью канавки отбивает мизерную, но конечную частицу материала...

Картина произошедшего начала проясняться. По какой-то причине (скорее всего, не имеющей ничего общего с заправкой некачественным топливом) верхнее кольцо сломалось. Обломок кольца постепенно промыл огневой пояс со стороны канавки почти насквозь. Когда толщина пояса уменьшилась до критической величины, кусок поршня отломился и улетел в



□ Сравнение характера износа нижних торцов нормального (слева) и сломанного (справа) колец показывает, что поврежденное кольцо не работало как должно

цилиндр вместе с обломком кольца. Обломки какое-то время болтались в надпоршневом пространстве, дробясь на более мелкие части и нанося поверхностям камеры сгорания множественные повреждения различной степени тяжести. В том числе они успели заметно «наследить» на стенках цилиндра, что вполне могло явиться причиной резкого повышения расхода масла. Со временем обломки унесло дальше в выпускную систему, а место излома поршня замаскировалось нагаром так, что приобрело вид прогара.

Немое свидетельство колец

Разобравшись с судьбой поршня, эксперты сосредоточили внимание на сломанном поршневом кольце. Рабочая поверхность и нижний торец обеих его половинок, за исключением самых кончиков, были густо покрыты нагаром, в то время как на верхнем торце его почти не было. Это свидетельство того, что кольцо длительное время не работало. У рабочего кольца, которое скользит по стенке цилиндра и одновременно давлением газов прижимается к нижней стенке канавки поршня, на контактных поверхностях нагара быть не должно. Половинки кольца также решили отмыть. Оказалось, не зря — и здесь обнаружилось много любопытного для внимательного исследователя.

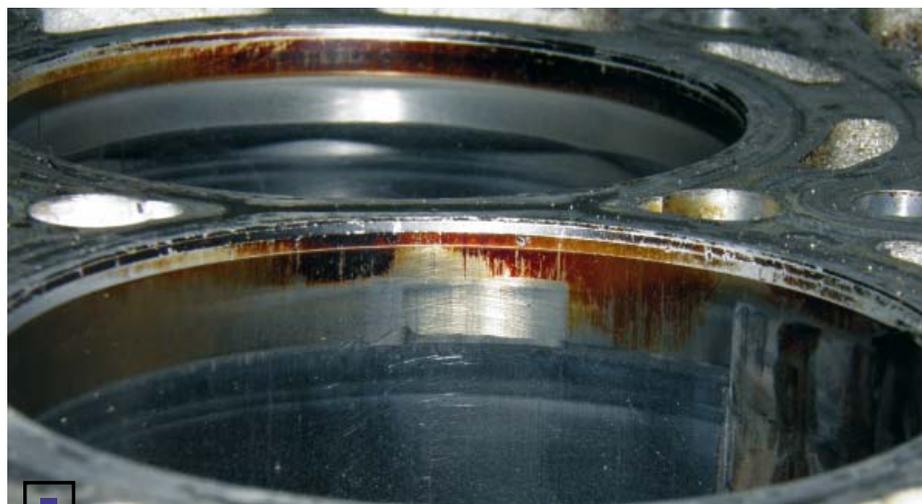
Внимание экспертов привлекли два момента. На рабочей поверхности сломанного кольца характерный пояс приработки оказался заметно уже, чем у нормальных колец в других цилиндрах. Так же необычно выглядела картина приработки на нижнем торце кольца: узенькая контактная полоска, смещенная в сторону днища канавки. Оставшаяся часть торца — девственно матовая, без каких-либо следов контакта с канавкой. Нормально работающие компрессионные кольца изнашиваются прямо противоположным образом — приработка идет



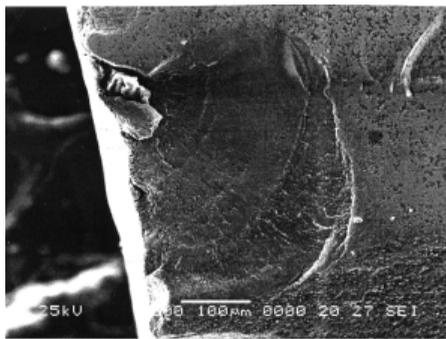
□ Поясок приработки на рабочей поверхности сломанного кольца (справа) заметно уже, чем у целого

почти по всему нижнему торцу, и чем дальше к периферии, тем она больше. Причина в том, что верхнее кольцо за счет фаски на внутренней кромке изначально располагается в канавке поршня с небольшим «закручиванием». На работающем двигателе под действием давления газов и трения о цилиндр кольцо выпрямляется и даже слегка заваливается в обратную сторону. Так достигается более равномерный износ кольца и канавки. В данном же случае все признаки указывали на то, что кольцо не работало как должно — не распрямлялось, а значит, не держало давления в цилиндре. Но когда и как оно сломалось?

Найти ответ на эти вопросы помогло металлографическое исследование сломанного кольца. Установили, что оно изготовлено из материала, аналогичного нашей хирургической стали: прочного, теплостойкого и нержавеющей. Значит, от перегрева кольцо сломаться не могло. Осмотр изломов при большом увеличении показал, что обломки кольца долго терлись друг о друга и поверхности изломов



□ Еще одно подтверждение бездействия верхнего кольца: зона износа стенок дефектного (ближнего) цилиндра на большей части окружности заканчивается на уровне, куда доходило среднее компрессионное кольцо



Изломы кольца частично заполированы, но в среднем удалось обнаружить признаки усталостного разрушения

частично заполировались. Тем не менее на изломе, расположенном посередине кольца, удалось обнаружить признаки усталости материала, а на изломах по краям — следы хрупкого разрушения.

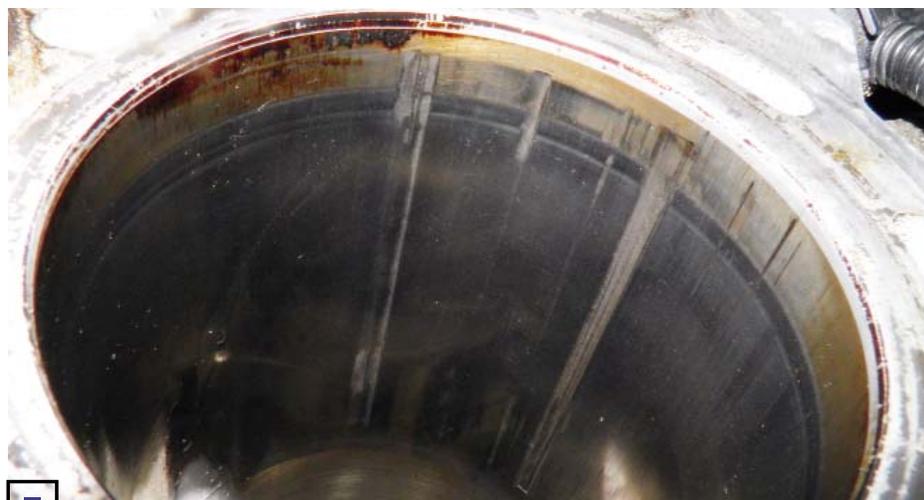
Начала складываться следующая картина. Практически с самого начала эксплуатации мотора у кольца были сломаны кончики (один или, что более вероятно, оба). Эпюра давления кольца на стенку цилиндра изменилась — вместо равномерного распределения давления по окружности возникли пики у отломанных концов и посередине кольца. Этот вывод подтверждают вертикальные следы задиры на стенке цилиндра, примерно совпадающие с положением изломов кольца. На то, что кольцо было повреждено изначально, указывает еще один явный признак. На стенках нормально работающих цилиндров следы выработки, как и положено, наблюдаются до высоты, на которой при положении поршня в ВМТ останавливается верхнее компрессионное кольцо. В дефектном же цилиндре выработка заканчивается заметно ниже, на уровне среднего кольца.

Получается, что отломанные кончики кольца начали свою «черную» работу по размыванию канавки поршня задолго до того, как владелец обнаружил признаки неисправности. По мере износа канавки амплитуда колебаний свободных концов кольца увеличивалась и, наконец,

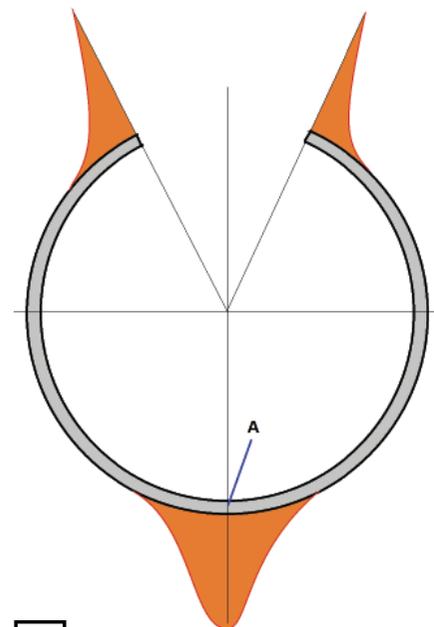
кольцо развалилось пополам от знакопеременных нагрузок и усталости. После этого половинки кольца просто «залегли» в канавку и постепенно заросли нагаром.

Но если кольцо было сломано, как же мотор работал вообще, тем более, так долго? Ответ на этот вопрос дало второе компрессионное кольцо. Обычно оно играет вспомогательную, «компрессионно-маслосъемную» роль — дополнительно уплотняет цилиндр и снимает со стенок остатки масла. Такие «мягкие» условия работы обуславливают его незначительный износ при нормальной эксплуатации. Но в нашем случае кольцо оказалось изношенным чрезвычайно сильно — зазор в замке увеличился до 2 мм, рабочая поверхность приобрела ярко выраженную бочкообразность, нижний торец стал вогнутым. Выходит, что среднее кольцо работало несвойственным ему образом, воспринимая большое давление и сильно закручиваясь в канавке. Фактически оно взяло на себя основную «компрессионную» функцию, а потому и износилось примерно так же, как износилось бы верхнее компрессионное кольцо, но за гораздо большее время.

Значит, мотор с самого начала работал с одним компрессионным кольцом во втором цилиндре. Скорее всего, верхнее кольцо было повреждено при сборке. Эта версия подтверждается сведениями от производителей мотор-



Задиры на стенках 2-го цилиндра примерно совпадают с положением изломов кольца



Если у кольца отламываются кончики, эпюра давлений на стенку цилиндра трансформируется. В сечении А напряжения внутри кольца максимальны

ных компонентов. Они отмечают, что такое случается из-за погрешностей в процессе монтажа поршней в цилиндры. В данном случае причиной мог стать сбой в технологическом процессе сборки — оснастка, которой обжимаются кольца на поршне, встала неплотно или с перекосом.

В том, что заводской дефект проявился так поздно, «виноват» сам владелец автомобиля. Вернее, его упоминавшийся аккуратный стиль вождения, подтвержденный тем, что тормозные диски автомобиля оказались практически не изношены. Попади машина к «гонщику», он развалил бы дефектный мотор, не проехав и тысячи километров. Или, по крайней мере, быстро бы выявил повышенный расход масла. У среднестатистического водителя двигатель мог продержаться раз в пять или даже десять дольше, что чаще всего и происходит. Но чтобы такое «жило» внутри двигателя на протяжении 50 000 км пробега — с этим пришлось столкнуться впервые.

Финальная экспертиза ответила практически на все вопросы, поставленные судом. Непонятным осталось только одно: куда подевались отвалившиеся куски поршня и колец, следы которых остались на днище поршня, в головке блока и на поверхности цилиндра? Вероятно, их остатки застряли где-то в выпускном коллекторе, откуда просто высыпались при разборке мотора предыдущими экспертами. Судя по рабочему состоянию крыльчатки турбины, до турбокомпрессора они не добрались. А если и добрались, то в сильно измельченном, неопасном виде.

АБС