



ЗАКЛЮЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТА

21 сентября 2007 г. в ООО "СМЦ "АБ-Инжиниринг" обратился З. с просьбой провести исследование комплекта новой поршневой группы фирмы Kolbenschmidt 94 420 620 для ремонта двигателя модели М104 автомобиля Mercedes-Benz. В соответствии с этим обращением в ООО "СМЦ "АБ-Инжиниринг" был открыт заказ/наряд № 1743, осмотр деталей был назначен на 11.00 02 октября 2007 г.

Исследование комплекта новой поршневой группы фирмы Kolbenschmidt 94 420 620 двигателя модели М104 автомобиля Mercedes-Benz и составление настоящего заключения проводил **Хрулев Александр Эдуардович** – специалист, начальник Бюро моторной экспертизы СМЦ "АБ-Инжиниринг", эксперт-автотехник 1-й категории (сертификат эксперта-автотехника № 001.00064.К1 от 04.07.2006 г.), образование высшее, кандидат технических наук, Генеральный директор ООО "СМЦ "АБ-Инжиниринг", стаж работы по специальности (ремонт, конструкция, эксплуатация двигателей внутреннего сгорания) – 22 года, из них экспертом-автотехником – 4 года.

Объект экспертизы

Комплект новой поршневой группы фирмы Kolbenschmidt 94 420 620 для ремонта двигателя модели М104 автомобиля Mercedes-Benz и поршень с поршневым пальцем, снятый с этого двигателя.

Заказчик экспертизы – З., заказ-наряд № 1743т от 21.09.07.

Вопросы, поставленные перед экспертом:

1. Имеются ли дефекты, отклонения от допусков на параметры у представленных поршней, зазоры в сочленении палец (входят в комплект) - отверстия в бобышках поршней, допустимы ли они, и как они влияют на их потребительские свойства.
2. Для сравнения представлен поршень, снятый с двигателя, подлежащего ремонту, допустимо ли заменить его поршнями, представленными для экспертизы?



3. Допустимо ли применение представленных поршней при ремонте двигателя, при условии обеспечения нормального ресурса, отсутствия посторонних шумов при работе двигателя? Вызовет ли применение данных поршней шумность при работе двигателя?
4. Допустима ли установка данных поршней с тепловым зазором, указанным производителем на днище поршня?
5. Можно ли достоверно установить, не являются ли представленные поршни подделкой под торговую марку "Kolbenschmidt"?

Задачи, поставленные перед экспертом:

Провести необходимые исследования и ответить на поставленные вопросы.

Исходная информация

Эксперту для изучения предоставлен комплект новой поршневой группы фирмы **Kolbenschmidt** 94 420 620 (6 поршней с поршневыми пальцами и поршневыми кольцами), предназначенные для ремонта двигателя модели M104 автомобиля Mercedes-Benz, и поршень с поршневым пальцем, снятый с этого двигателя.

Согласно информации, полученной от заказчика, при проверке указанного комплекта поршневой группы, проведенной перед сборкой двигателя, были обнаружены отклонения в размерах новых поршней в сравнении с образцами поршней, ранее работавших в двигателе, вследствие чего указанный комплект не был использован при ремонте данного двигателя, а передан на экспертизу для определения его пригодности к использованию на данном двигателе.

Использованная литература

1. Хрулев А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей. Изд-во "За Рулем", М.: 1998.- 480с.
2. Поршни/Цилиндры/Сборочные комплекты. Каталог - MSI Motor Service International GmbH, Neckarsulm, Германия, 2007.- 1135с.
3. Pistons and Assemblies. Catalogue. – European Aftermarket, 2004. – 842с.
4. Двигатели внутреннего сгорания. Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Под ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова. – М.: Машиностроение, 1984. – 384с.



5. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей. Под ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова. – М.: Машиностроение, 1983. – 372с.
6. Хрулев А. «Если двигатель стучит», ч. 1, "Автомобиль и сервис", №8/2000.
7. Хрулев А. «Если двигатель стучит», ч. 2, "Автомобиль и сервис", №9/2000.
8. Хрулев А. «Почему прогорел поршень», "Автомобиль и сервис", №10/2000.
9. Хрулев А. «Поршень в общем и в частности», "Автомобиль и сервис", №12/2004.
10. Piston Damage – Causes and Remedies. – MANHLE GmbH, Stuttgart, 1999.- 66с.

Место и время проведения осмотра

Москва, Балтийская ул., д. 13, корп.30, Технический центр "Сокол" ООО "СМЦ "АБ-Инжиниринг", моторный цех, 11.00 02 ноября 2007 г.

При осмотре присутствовали:

1. Эксперт-автотехник, Генеральный директор ООО "СМЦ "АБ-Инжиниринг" Хрулев Александр Эдуардович.
2. Мастер механического цеха ООО "СМЦ "АБ-Инжиниринг" Бондаренко Марат Александрович.
3. Конструктор ООО "СМЦ "АБ-Инжиниринг" Грузинский Семен Вячеславович.

При осмотре деталей установлено:

Поршневая группа, включая поршни (6 шт.), поршневые пальцы (6 шт.) и поршневые кольца (6 комплектов по 3 шт. каждый, установлены в канавки поршней) являются новыми деталями, в двигателе не работавшими. Детали упакованы в коробку с логотипами, маркировкой и оформлением, обычно используемыми фирмой Kolbenschmidt. Отдельно предоставлен поршень с пальцем, ранее работавшие в двигателе, детали предоставлены в чистом виде (рис. 1).

При осмотре образца поршня, ранее работавшего в двигателе (рис. 2), установлено, что производителем данного образца не является непосредственно производитель автомобиля – компания Mercedes-Benz, однако согласно общепринятой терминологии указанный образец поршня представляет собой так называемую "оригинальную" деталь компании Mercedes-Benz. Наличие эмблемы компании Mercedes-Benz на этом поршне



(рис. 3), расположенной на наружной поверхности вблизи отверстия под палец, говорит о том, что данное изделие, произведенное другой компанией, предназначено для эксклюзивного использования компанией Mercedes-Benz для конвейерной сборки двигателей и/или для поставки запчастей дилерским центрам компании Mercedes-Benz.

При осмотре предоставленного нового комплекта поршней фирмы Kolbenschmidt (далее по тексту – "**поршни Kolbenschmidt**") установлено, что на данных изделиях на наружной поверхности вблизи отверстия под палец также присутствует маркировка производителя – фирмы Kolbenschmidt (рис. 4). Кроме того, на противоположной от отверстия поршневого пальца стороне имеется характерное зашлифованное место (рис. 5). По опыту эксперта, это косвенно свидетельствует о том, что изделие данного типа ранее поставлялось только в компанию Mercedes-Benz, то есть являлось такой же "оригинальной" деталью, однако затем, в силу ряда причин, компания Kolbenschmidt начала поставлять эти изделия независимым потребителям, при этом маркировка производителя автомобиля (Mercedes-Benz) была зашлифована, чтобы не менять технологию производства (не переделывать оснастку для отливки заготовки поршней).

Оба варианта поршней имеют практически идентичный внешний вид (рис. 1), в том числе, форму и расположение цековок (выборок) под клапаны на днище, внутреннюю конфигурацию (рис. 6а и в), покрытие юбки антифрикционным слоем и пр. Единственная разница обнаружена в отверстии поршневого пальца – работавший поршень имеет характерные смазочные канавки (рис. 7), в то время как поверхность отверстия поршней Kolbenschmidt гладкая (рис. 8).

Согласно маркировке поршней и двигателя, для которого они предназначены, по каталогам производителя – фирмы Kolbenschmidt, установлено, что каталожному номеру поршнекомплекта Kolbenschmidt 94 420 620 соответствует каталожный номер производителя работавшего образца поршня. Оба эти варианта применяются на одних и тех же типах двигателей Mercedes-Benz модели M104 модификаций 941-945 и представляют собой поршни одного и того же двигателя, но разных производителей.

Для экспертизы предоставлены поршни Kolbenschmidt 94 420 620 ремонтного, то есть увеличенного на 0,5 мм по юбке размера, в то время как предоставленный заказчиком образец поршня имеет стандартный размер. Этот факт имеет существенное значение, поскольку некоторые размеры поршней, в частности, высота, меняются производителями в зависимости от их диаметра для компенсации изменения степени сжатия. Вследствие этого



при последующем сравнении поршней разных производителей размеры образца поршня анализировались в 2-х вариантах – для стандартного и ремонтного размера.

Для ответа на первый вопрос, поставленный перед экспертом, и определения возможных отклонений в размерах деталей поршневые кольца были сняты с поршней.

Для количественной оценки степени повреждения и/или износа деталей использовались следующие измерительные приборы:

1. Нутромер 18-50 мм № 617079
2. Микрометр МК25 0-25 мм № 6217
3. Микрометр МК50 25-50 мм № 060879325
4. Микрометр МК75 50-75 мм № E29165
5. Микрометр МК100 75-100 мм № 5574
6. Набор плоскопараллельных мер длины № 017899
7. Штангенциркуль ШЦ-1 №326937

При измерениях наружных размеров микрометры поверялись с помощью плоскопараллельных мер длины, а настройка нутромера на размер отверстия под палец осуществлялась по микрометру, настроенному на заданный размер.

При выполнении измерений осуществлялась проверка следующих основных размеров поршней:

1. Размер юбки поршня – с помощью микрометра (рис. 9).
2. Высота поршня – с помощью штангенциркуля (рис. 10).
3. Компрессионная высота – расстояние от оси отверстия под поршневой палец до верхнего края днища поршня – с помощью микрометра. Эта высота определялась путем измерения расстояния между нижним краем пальца, установленного в отверстие поршня, и верхним краем днища (рис. 11), и последующим вычитанием половины диаметра пальца из измеренной длины.
4. Диаметр поршневого пальца – микрометром (рис. 12).
5. Диаметр отверстия под палец в поршне - нутромером (рис. 13).
6. Ширина канавок для колец на поршне – плоскопараллельными мерами длины (рис. 14).



Измерениям были подвергнуты все поршни и поршневые пальцы комплекта Kolbenschmidt, а также работавший поршень с пальцем. Результаты измерения сведены в таблицу, при этом в таблицу занесены также данные с каталогов фирм-производителей, как справочные:

ПАРАМЕТР	Поршнекомплект Kolbenschmidt 94 420 620, ремонт 0,5 мм						Поршень			
	Измерено						Каталог	Измерено на образце	Каталог	
	1	2	3	4	5	6			стандарт	ремонт 0,5мм
Размер юбки поршня	90,39	90,39	90,39	90,39	90,39	90,39	90,40*	89,79	89,90*	90,40*
Высота поршня	56,1	56,1	56,2	56,2	56,2	56,2	56,1	57,5	58,5	58,075
Компрессионная высота	32,05	32,06	32,07	32,06	32,06	32,07	32,1	32,29	32,375	32,075
Диаметр поршневого пальца	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Диаметр отверстия под палец в поршне	22,01-22,06	22,01-22,06	22,01-22,06	22,01-22,06	22,01-22,06	22,01-22,06	-	22,01	-	-
Ширина канавки поршня под верхнее кольцо	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	-	1,54	-	-
Ширина канавки поршня под верхнее кольцо	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	-	1,76	-	-
Ширина канавки поршня под верхнее кольцо	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	3,01	-	3,01	-	-

* - размер цилиндра

Анализ результатов измерений показывает, что есть расхождение размеров поршней по высоте и размеру отверстия под палец. При этом, как это следует из таблицы, высота поршней Kolbenschmidt практически совпадает с указанной в каталоге этой фирмы (рис. 15). Высота образца поршня не соответствует указанной в каталоге этой фирмы (рис. 16).

Кроме этого, существенное расхождение выявлено в размере отверстия под поршневой палец – у образца работавшего поршня отверстие цилиндрическое в пределах погрешности измерения, в то время как у поршней Kolbenschmidt обнаружена существенная овальность отверстия. При этом в вертикальном направлении размер отверстия минимален, и составляет 22,01 мм у наружного края бобышки поршня и 22,02 мм у внутреннего края. В горизонтальной плоскости размер существенно больше и составляет 22,06 мм (рис. 17). В соответствие с этим зазор между пальцем и отверстием у образца поршня приблизительно стабилен и составляет около 0,01 мм, в то время как аналогичный зазор у поршней



Kolbenschmidt меняется по окружности в пределах 0,01-0,06 мм. Помимо этого, у поршней Kolbenschmidt, в отличие от образца работавших поршней, в отверстии для поршневого пальца отсутствуют смазочные отверстия или канавки для смазки пальца.

Таким образом, налицо явные расхождения в конструкции и размерах предоставленных поршней. Выявленные расхождения могут быть существенны для потребительских свойств поршней Kolbenschmidt, в отличие от образца ранее работавших в двигателе поршней, что требует дополнительных исследований.

Исследовательская часть

Согласно литературе [4], при работе двигателя поршень испытывает большие нагрузки от сил инерции при возвратно-поступательном движении и от сил давления газов. Чем выше мощность и частота вращения коленчатого вала, тем эти силы больше, и для данного двигателя они могут достигать максимальных значений в 5000-7000 кг.

Силы, действующие на поршень, через поршневой палец и шатун передаются на коленчатый вал двигателя, создавая крутящий момент и мощность (рис. 18). При этом передача усилий на поршневой палец вызывает упругий изгиб пальца, тем больший, чем больше нагрузка на него.

Поскольку палец полый, и имеет внутреннее отверстие, изгибающая нагрузка не только приводит к его изгибной деформации, но, согласно [4], к изменению формы его поперечного сечения (рис. 19). В результате поперечное сечение пальца ближе к его середине становится овальным – "овализируется" под нагрузкой. Значение овальности – разницы между максимальным и минимальным размером пальца в поперечном сечении, зависит от толщины стенок пальца, его длины, мощности и частоты вращения двигателя, массы поршня и может достигать 0,02-0,05 мм [4].

Поскольку нагрузка на палец действует приблизительно в вертикальном направлении, при деформации палец овализируется так, что большая ось эллипса располагается горизонтально, а малая – вертикально. При этом размер пальца в поперечном сечении уменьшается по вертикали и увеличивается по горизонтали.

При установке пальца в круглое отверстие поршня с малым зазором деформация пальца под нагрузкой приводит к деформации бобышек поршня. Это может потребовать усиления бобышек и утяжеления поршня, либо ограничения максимальной мощности двигателя, скомплектованного поршнями данной конструкции. С другой стороны, при



деформации пальца происходит уменьшение зазора в соединении до нуля и значительный рост сил трения, препятствующих вращению пальца в отверстии поршня. Поскольку максимальные нагрузки на поршень и палец возникают вблизи расположения поршня в верхней и нижней "мертвых точках" (ВМТ и НМТ), именно в этом положении поршня происходит быстрый поворот шатуна на пальце относительно поршня (рис. 20). Тогда значительная деформация пальца будет препятствовать этому повороту, поскольку соединение пальца с поршнем не будет свободным.

В результате поршень будет испытывать значительные усилия на юбку, поскольку он будет стремиться повернуться в цилиндре вместе с поворотом шатуна (так называемая "перекладка" поршня в мертвых точках). Это также вызовет значительные силы трения поршня в цилиндре. В сумме силы трения в соединении пальца с поршнем и поршня с цилиндром будут весьма значительны и приведут к значительному росту механических потерь в двигателе, снижению его максимальной мощности и максимальной частоты вращения, а также к повышенному износу юбки поршня и цилиндра в зоне "перекладки" поршня.

В то же время, если отверстие под палец в поршне сделать профилированным, повторяющим деформации пальца, зазоры в этом сопряжении будут сохранены даже при самых больших нагрузках, соответствующих режимам максимальной частоты вращения и мощности. При этом форма отверстия для пальца в поршне должна быть не только овальной, но и слабokonической с незначительным расширением в сторону центра поршня, поскольку такая форма отверстия будет повторять форму продольного сечения пальца при его изгибе под нагрузкой. В этом случае мощность двигателя будет выше, чем с поршнями с цилиндрическим отверстием для пальца, а износ юбки поршней будет меньше за счет значительного снижения трения во всех сопряжениях деталей. Кроме того, улучшатся и другие параметры двигателя, в том числе, уменьшится расход топлива, а также токсичность выхлопных газов [5].

За подтверждением этого предположения эксперт обратился к производителю поршней – фирме **Kolbenschmidt**, с вопросом о причинах выполнения отверстия под палец в поршне овальным и предоставлении дополнительных данных по такой конструкции.

В ответе, полученном от фирмы Kolbenschmidt, сказано следующее:



"Этот тип поршня имеет так называемое "профилированное отверстие под палец", которое используется на всех современных двигателях с высокой выходной мощностью.

Отверстие не только овально, но также сформировано как цилиндр в направлении шатуна.

Отверстие позволяет учитывать овальную деформацию и изгиб пальца под нагрузкой. Преимущество такого профилированного отверстия пальца состоит в том, что оно в состоянии нести более высокие нагрузки по сравнению с нормальным цилиндрическим отверстием пальца."

Помимо этого, к письму был приложен чертеж с размерами отверстия под палец. Согласно этой информации, **отверстие для пальца не является строго овальным** – оно имеет **опорную цилиндрическую часть** для пальца по вертикали в направлении действия нагрузки на палец и боковое расширение (овальность) примерно на 0,05 мм только по горизонтали, в ту сторону, куда нагрузки на палец практически нет.

Небольшое расширение части отверстия под палец к центру поршня, согласно чертежу, составляет 0,01-0,02 мм и представляет собой компенсацию изгиба пальца под нагрузкой.

Таким образом, указанная форма отверстия в поршне под поршневой палец – овально-коническая, выполнена производителем не вследствие ошибки производства, а намеренно, в рамках специальной (запатентованной) технологии, с целью уменьшения потерь на трение и снижения износа поршней и цилиндров при высокой мощности, характерной для современных двигателей вообще и, в частности, для двигателя M104 компании Mercedes-Benz, для которого предназначены исследуемые детали.

Напротив, образец работавшего поршня выполнен по традиционной технологии с цилиндрическим отверстием под палец в поршне. Поскольку двигатель модели M104 модификаций 941-945 выпускался только с 1992 по 1995 года (рис. 15), на сборочный конвейер в какие-то годы, возможно, поставлялись поршни традиционной конструкции, которые затем были заменены поршнями Kolbenschmidt с профилированным отверстием для пальца (о том, что поршни Kolbenschmidt поставлялись в компанию Mercedes-Benz, косвенно свидетельствует уже упомянутая выше зашлифованная площадка на боковой поверхности поршней).



Помимо разницы в размере отверстия под палец, выше было отмечено отсутствие смазочных канавок или аналогичных элементов в отверстии под палец у поршней Kolbenschmidt. По мнению эксперта, роль смазочных канавок, которые имеет традиционный поршень, у поршня Kolbenschmidt выполняет овальное расширение отверстия по горизонтали. Поскольку нижняя часть поршня работает в "масляном тумане", возникающем в поддоне картера в результате разбрызгивания масла, вытекающего из сопряженных пар деталей и попадающего на вращающиеся детали, на боковую поверхность поршня около отверстия поршневого пальца также поступают капли масла. Кроме того, масло к этой области поршня поступает и от маслосъемного кольца при движении поршня вниз. При этом бокового зазора 0,03 мм между пальцем и отверстием вполне достаточно, чтобы масло смазывало это соединение. Все это позволило фирме Kolbenschmidt упростить технологию производства поршня и убрать из технологического процесса операции по формированию дополнительных смазочных элементов на поршне.

Необходимо также отметить причины, по которым поршень Kolbenschmidt имеет более низкую (короткую) юбку, чем у традиционного поршня. По мнению эксперта, традиционная конструкция поршня с круглым отверстием под палец, характеризуемая повышенным трением поршня в цилиндре, требует более длинной юбки и большей площади ее опорной поверхности, чтобы противодействовать повышенным силам трения на поворот поршня на поршневом пальце. Снижение трения в этом соединении путем профилирования отверстия под палец, характерного для поршня Kolbenschmidt, позволяет уменьшить опорную поверхность юбки, в том числе с помощью ее укорочения. Одновременно с этим, более короткая юбка поршня Kolbenschmidt с уменьшенной опорной поверхностью позволяет дополнительно снизить трение поршня в цилиндре уменьшением площади ее опорной поверхности без снижения долговечности поршневой группы [9].

Таким образом, **различие в длине юбки является следствием более прогрессивной конструкции поршней Kolbenschmidt и не свидетельствует о его недостатках** или, тем более, об ошибках в производстве.

В соответствии с этим, **ответ на второй вопрос** экспертизы является утвердительным – **поршни Kolbenschmidt являются полноценной заменой традиционных поршней**, более того, позволяют получить более высокие характеристики



двигателя после ремонта, в том числе, более высокую мощность, лучшую экономичность и пониженную токсичность выхлопных газов.

Для ответа **на третий вопрос** необходимо дополнительно рассмотреть условия работы поршня в условиях воздействия различных нагрузок в двигателе. Выше было отмечено, что у поршней Kolbenschmidt за счет снижения трения юбки будет достигнута более высокая долговечность самой юбки и цилиндра. Однако опорная поверхность отверстия поршневого пальца в поршне уменьшена, а зазор между пальцем и отверстием на большей части отверстия увеличен, что, на первый взгляд, выглядит как недостаток данного поршня.

Как известно, двигатель эксплуатируется в широком диапазоне режимов по частоте вращения и нагрузке. В соответствии с этим, нагрузки на поршень и поршневой палец также изменяются в очень широких пределах. Если рассматривать опорную поверхность отверстия для поршневого пальца в поршне, то чем она больше, тем ниже износ поверхности отверстия и самого пальца. Однако, как показано выше, традиционное круглое отверстие для пальца приводит к повышенному трению в этом соединении и к росту сил трения юбки поршня в цилиндре. Очевидно, повышенное трение означает и повышенный износ, что подтверждается измерениями размера юбки образца поршня, у которого износ за время эксплуатации двигателя составил около 0,1 мм, что явно выходит за допустимые пределы.

В то же время у этого поршня видимый износ в отверстии пальца и самого пальца практически отсутствует. По мнению эксперта, это связано с избыточной долговечностью отверстия и самого пальца в традиционной конструкции, при которой деталь изнашивалась неравномерно и практически пришла в негодность на одной рабочей поверхности (юбка), в то время как на другой (отверстие) износа практически не оказалось.

Более того, поршень традиционной конструкции более склонен к шумности работы, поскольку при затрудненном вращении на пальце возникающие дополнительные нагрузки на юбку при перекладке в цилиндре являются источником стуков, особенно, на непрогретом двигателе при повышении оборотов. В дальнейшем при прогреве двигателя, за счет более высокого теплового расширения материала поршня (алюминиевый сплав) по сравнению с материалом пальца (сталь) зазор в соединении пальца с отверстием поршня увеличивается, и стуки несколько уменьшаются, однако дополнительный тепловой зазор (около 0,02 мм) не может полностью компенсировать деформацию пальца под нагрузкой.



С другой стороны, уменьшение опорной поверхности сопряженных деталей не обязательно приводит к увеличению износа и снижению их долговечности [8]. Очевидно, при работе на малых оборотах и нагрузках большие площади опорных поверхностей, в частности, пальца и отверстия поршня, не требуются вследствие небольших нагрузок на палец. В соответствие с этим у поршней Kolbenschmidt опора пальца на отверстие на этих режимах осуществляется на небольшую по площади цилиндрическую часть поверхности отверстия, расположенную ближе к его наружному краю. Как это следует из чертежа (рис. 21), зазор между пальцем и отверстием в этом месте в направлении действия нагрузки (вертикально) составляет около 0,01 мм, что строго соответствует аналогичному зазору в традиционной конструкции поршней. Таким образом, никаких посторонних шумов, стуков и связанных с этим износов у поршней Kolbenschmidt не возникнет.

С ростом нагрузки на палец при росте оборотов и открытии дроссельной заслонки двигателя палец начнет изгибаться, а его сечение ближе к его середине будет становиться все более овальным, в то время как края останутся почти не деформированными. У поршня традиционной конструкции это вызовет значительное увеличение трения пальца в отверстии поршня и даже, возможно, деформацию его бобышек. У поршня Kolbenschmidt деформированный палец с ростом нагрузки будет ложиться на все большую поверхность профилированного отверстия, что также не приведет к возрастанию удельной (на единицу площади) нагрузки в сопряжении и, соответственно, не вызовет дополнительного износа. При этом также не возникнет никаких шумов и стуков, поскольку начальный зазор между пальцем и отверстием сохранится на прежнем уровне (0,01 мм) и будет определяться на краях отверстия для пальца (рис. 21).

Таким образом, поршень Kolbenschmidt, в отличие от традиционного поршня, в отверстии для пальца обладает **свойством саморегулирования площади опорной поверхности в зависимости от нагрузки на палец** в направлении действия этой нагрузки, что обеспечивает сохранение удельной (отнесенной к единице площади поверхности) нагрузки на невысоком уровне. При этом зазор в отверстии сохраняется, не уменьшается до нуля и не препятствует, в отличие от традиционного поршня, повороту поршня на пальце. В соответствии с этим, у поршней Kolbenschmidt не возникает больших усилий на юбку поршня на переключке в верхних мертвых точках, и **шумность работы двигателя на поршнях Kolbenschmidt будет в целом ниже, чем на поршнях традиционной конструкции**, а долговечность примерно соответствует или даже выше, чем у традиционных поршней.



Для ответа на четвертый вопрос необходимо рассмотреть характер расширения поршня в цилиндре. Как известно [5], поршень при работе двигателя нагревается сверху горячими продуктами сгорания топлива, имеющими температуру до 2500⁰С. Однако такая высокая температура не приводит в нормальных условиях работы к повреждению поршня, поскольку тепло, поступающее в днище поршня сверху, отводится в стенки цилиндра через поршневые кольца и юбку [8, 9]. В результате температура поршня при работе двигателя переменна по высоте и меняется от 250-300⁰С на днище до 100-120⁰С на нижнем крае юбки.

Помимо этого, главной особенностью работы любого поршня в цилиндре является неравномерное расширение по оси поршневого пальца и в перпендикулярном направлении. Поскольку бобышки поршня отлиты за одно целое с днищем, а днище нагрето наиболее сильно, расширение поршня в цилиндре происходит главным образом по оси поршневого пальца – до 0,3-0,4 мм. В то же время охлаждение юбки о стенки цилиндра препятствует расширению юбки поршня в направлении, перпендикулярном оси поршневого пальца, вследствие чего размер юбки в этом направлении при работе двигателя практически не меняется, сохраняя заданный рабочий зазор в цилиндре (у рассматриваемых поршней этот зазор должен составлять не менее 0,02 мм).

Описанный характер работы поршня в цилиндре (рис. 22) **коренным образом отличается**, например, от того, что будет с поршнем при его нагреве в свободном состоянии вне цилиндра. В случае свободного нагрева поршень будет нагреваться и расширяться равномерно и одинаково во всех сечениях, и уже при небольшом нагреве в 20-30⁰С размер по юбке станет больше диаметра цилиндра. Это справедливо для всех алюминиевых сплавов, применяемых для изготовления поршней, поскольку их коэффициент линейного расширения близок и лежит в пределах 19-22 · 10⁻⁶ 1/град.

В соответствии с этим, проверка степени расширения поршня его нагревом в свободном состоянии не имеет практического смысла и не дает никакой информации о свойствах поршня и/или его материала, а также о допустимом для него рабочем зазоре. В связи с этим на практике при монтаже поршней не только допустимо, но и **строго необходимо следовать инструкциям производителя, указывающим минимальный рабочий зазор для каждого изделия**. Такая информация указана на днище поршня Kolbenschmidt (рис. 23а и в).

Ответ на пятый вопрос, по мнению эксперта, заключен в измеренном профиле отверстия для пальца на поршнях Kolbenschmidt и полным совпадением его с данными,



полученными от производителя. Поскольку повторение подобного профиля в условиях стороннего производства требует значительных капиталовложений и технологических трудностей, а также не оказывает никакого влияния на внешний вид поршней, намного проще осуществить подделку, выполнив просто традиционное круглое отверстие. Таким образом, указанный профиль отверстия можно считать фирменным знаком фирмы Kolbenschmidt, отличающим продукцию этой фирмы от изделий других производителей. Поэтому предположение о том, что предоставленные на экспертизу поршни изготовлены неизвестной фирмой и представляют собой подделку под изделия фирмы Kolbenschmidt, представляется эксперту **необоснованным и не имеющим никакого фактического подтверждения.**



ВЫВОДЫ

1. В исследуемом комплекте поршней фирмы Kolbenschmidt, предназначенных для установки на двигатель модели M104 компании Mercedes-Benz, обнаружены отличия в отверстии под поршневой палец и в длине юбки поршня по сравнению с образцом, ранее установленным в двигателе, – поршнем традиционной конструкции.
2. Найденная форма отверстия под поршневой палец в поршнях Kolbenschmidt – овално-коническая, действительно, отличается от традиционного круглого отверстия на образце ранее стоявших в двигателе традиционных поршней. Специальная форма отверстия выполнена производителем не вследствие ошибки производства, а намеренно, в рамках специальной (запатентованной) технологии, с целью уменьшения потерь на трение и снижения износа поршней и цилиндров при высокой мощности, характерной для современных двигателей вообще и, в частности, для двигателя M104 компании Mercedes-Benz, для которого предназначены исследуемые детали. Это подтверждено данными, полученными от производителя – фирмы Kolbenschmidt.
3. Обнаруженное различие в длине юбки поршней Kolbenschmidt и традиционной конструкции является следствием более прогрессивной конструкции поршней Kolbenschmidt и не свидетельствует об их недостатках или, тем более, об ошибках в производстве.
4. Отсутствие смазочных канавок в отверстии пальца у поршней Kolbenschmidt не является недостатком его конструкции, поскольку овальное расширение отверстия в горизонтальной плоскости обеспечивает поступление масла в зазор между пальцем и отверстием и смазку пальца без специальных смазочных элементов.
5. В соответствии с вышесказанным поршни Kolbenschmidt являются полноценной заменой традиционных поршней с сохранением всех



потребительских свойств двигателя, и, кроме того, обеспечивают даже более высокие характеристики двигателя, в том числе, повышенную мощность, снижение расхода топлива и токсичности выхлопных газов.

6. Вследствие более низкого трения в соединении пальца с профилированным отверстием на поршне и более короткой юбки поршня с цилиндром шумность работы двигателя на поршнях Kolbenschmidt будет в целом ниже, чем на поршнях с круглым отверстием традиционной конструкции. При этом долговечность поршней Kolbenschmidt находится на уровне традиционных поршней или даже превышает ее, в частности, по долговечности юбок поршней и цилиндров.
7. При монтаже поршней Kolbenschmidt необходимо строго придерживаться инструкции производителя – фирмы Kolbenschmidt, по рабочему зазору поршня в цилиндре. Не обнаружено никаких данных, свидетельствующих о несоответствующем качестве материала поршней Kolbenschmidt, а определение степени расширения поршня путем его равномерного нагрева не имеет никакого практического смысла.
8. Вследствие обнаруженных особенностей конструкции поршней Kolbenschmidt предположение о том, что предоставленные на экспертизу поршни изготовлены неизвестной фирмой и представляют собой подделку под изделия фирмы Kolbenschmidt, является, по мнению эксперта, необоснованным и не имеющим никакого фактического подтверждения.

Эксперт-автотехник 1-й категории,

кандидат технических наук,

Ген.директор ООО "СМЦ "АБ-Инжиниринг"

А.Э.Хрулев



ПРИЛОЖЕНИЕ



Рис. 1. Образцы поршней – справа Kolbenschmidt, слева – работавший образец.



Рис. 2. Маркировка ранее стоявшего в двигателе поршня.



Рис. 3. Значок-эмблема компании Mercedes-Benz указывает на то, что поршень был использован для конвейерной сборки как "оригинальная" деталь компании Mercedes-Benz.



Рис. 4. Значок-эмблема на поршне фирмы Kolbenschmidt (слева).



Рис. 5. Зашлифованное место на поршне Kolbenschmidt предположительно свидетельствует о том, что ранее такие поршни поставлялись компании Mercedes-Benz в качестве "оригинальных" деталей.



Рис. 6а. Внутренняя конфигурация работавшего поршня.



Рис. 6в. Внутренняя конфигурация поршня Kolbenschmidt.



Рис. 7. Смазочная канавка в отверстии для пальца работавшего поршня.



Рис. 8. В отверстии поршня Kolbenschmidt смазочные элементы отсутствуют, поскольку смазка осуществляется за счет расширения (овальности) отверстия в горизонтальной плоскости



Рис. 9. Измерение размера (диаметра) поршня микрометром.



Рис. 10. Измерение высоты поршня штангенциркулем.



Рис. 11. Измерение компрессионной высоты поршня микрометром.



Рис. 12. Измерение диаметра поршневого пальца микрометром.



Рис. 13. Измерение размера отверстия для пальца нутромером.

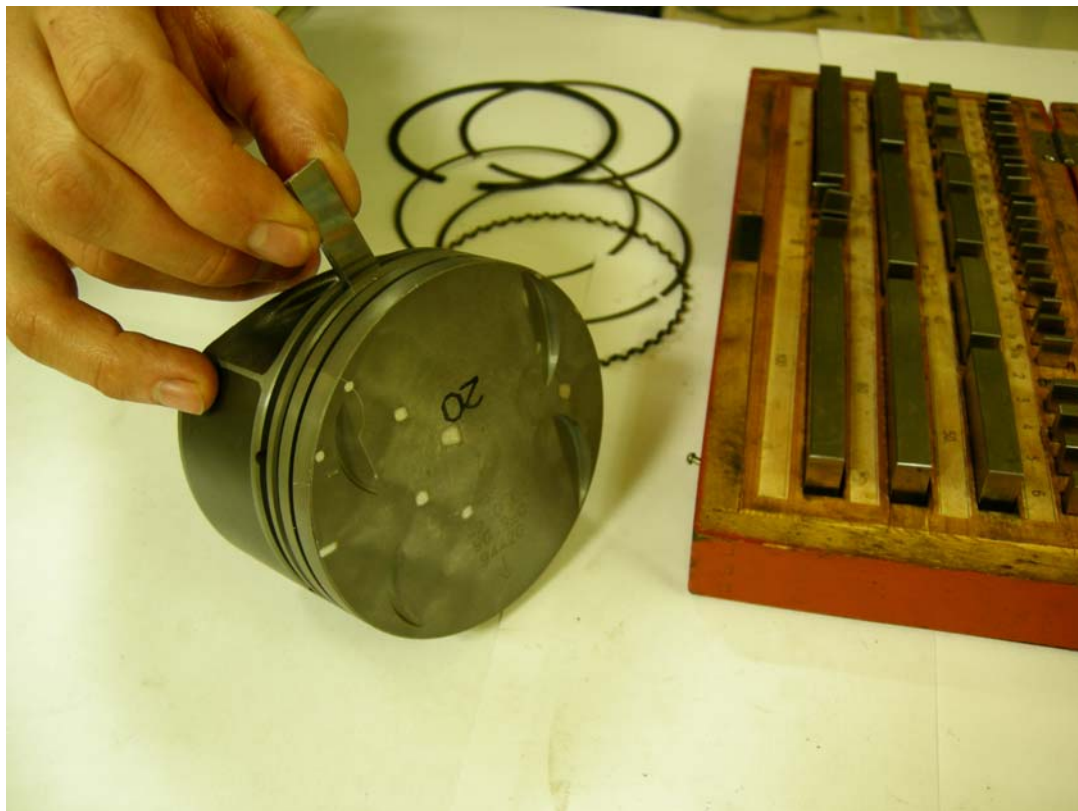



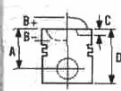




Рис. 14. Измерение ширины канавки под кольца с помощью плоскопараллельных мер длины.

45		89,9								
M 104		941 - 945								
		09.1992→09.1998	B	6	2799 cm ³	4V	142-150 kW (193-204 PS)	10:1	73,5 mm	
	6	KH 32,4 BÜ +1,2 GL 57,1	HKÜ	22 56	1 R 1,5 NT ST 1 NM 1,75 G3 1 SLF 3 NT ST			89,91	94 420 600	
	089 144	KH 32,1 BÜ +1,2 GL 57,1						90,41	94 420 620	
46		89,9								
M 104		990 - 992, 994 - 996								
		03.1991→09.1998	B	6	3199 cm ³	4V	155-170 kW (211-231 PS)		84 mm	
	6	KH 31,1 MT -1,2 GL 54,6	HKÜ	22 56	1 R 1,5 NT ST 1 NM 1,75 G3 1 SLF 3 NT ST			89,91	94 301 600	
	089 146	KH 30,8 MT -1,2 GL 54,6						90,16 90,41	94 301 610 94 301 620 (92 241, 94 420, 94 508, 94 549)	

Рис. 15. Данные поршня Kolbenschmidt 94 420 620, указанные в каталоге фирмы [2].

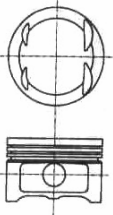


MERCEDES BENZ PKW









C280, C280 S, S280, S280 SL, SL280 E280 (W124)	1992 → 1993 → 95	M104.941-945	6cyl. 2799cc 142/145kW (193/197PS)
---	-------------------------	---------------------	---

89.90 x 73.50	A 32.375 B- 2.545 C 1.200 D 58.575	7500-20 STD 7507-20 0.50mm I [09029-109408990]	7500-00 STD 7505-00 0.25mm I 7507-00 0.50mm	
----------------------------	---	--	--	--



09029-



22x56

1.500		NT	STD
1.750		P	STD
3.000		CR P	STD

I A=32.075, D=58.075

Рис. 16. Данные образца работавшего поршня, указанные в каталоге фирмы [3].

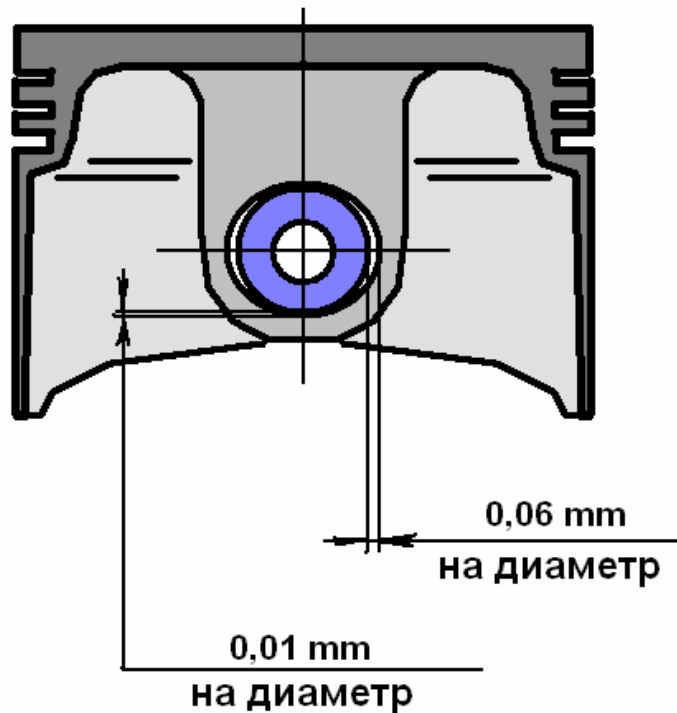


Рис. 17. Характер овальности отверстия пальца в поршне Kolbenschmidt.

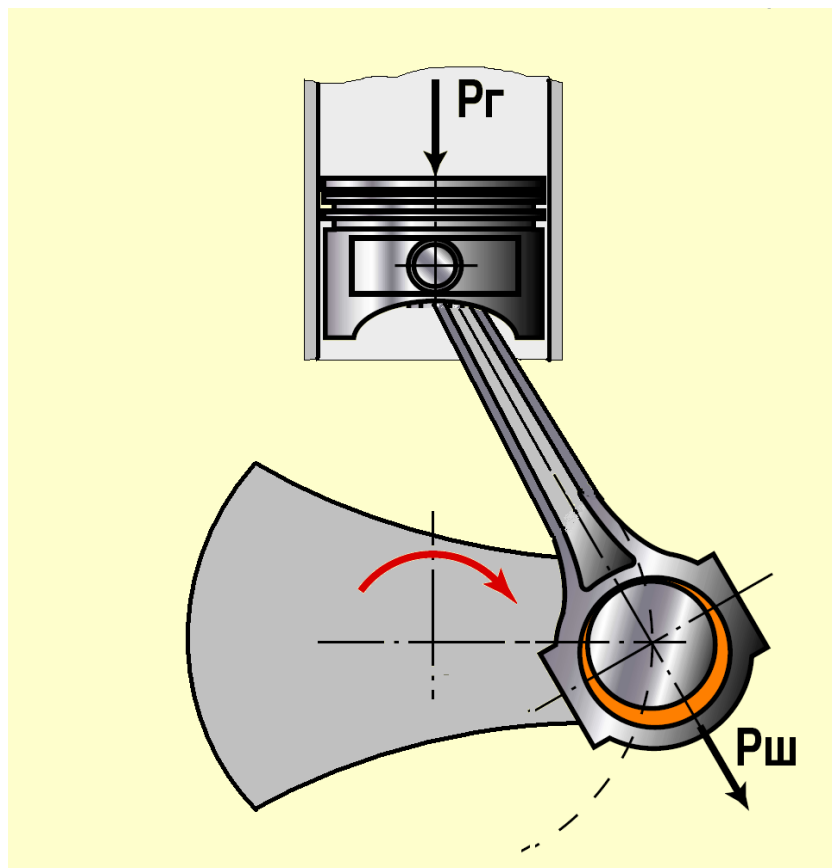


Рис. 18. Схема работы кривошипно-шатунного механизма двигателя.

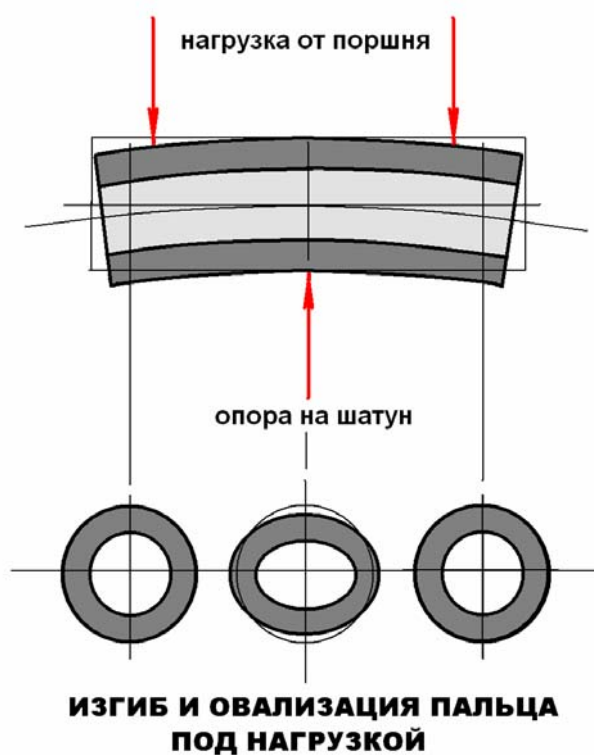


Рис. 19. Изгиб и оваллизация поршневого пальца.

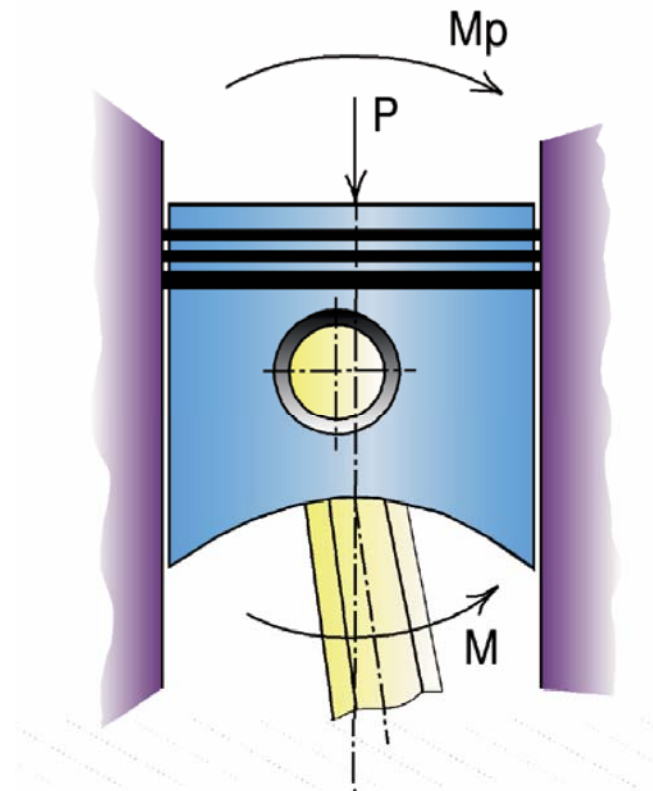


Рис. 20. "Перекладка" поршня в "мертвых точках" сопровождается поворотом шатуна при почти неподвижном поршне.

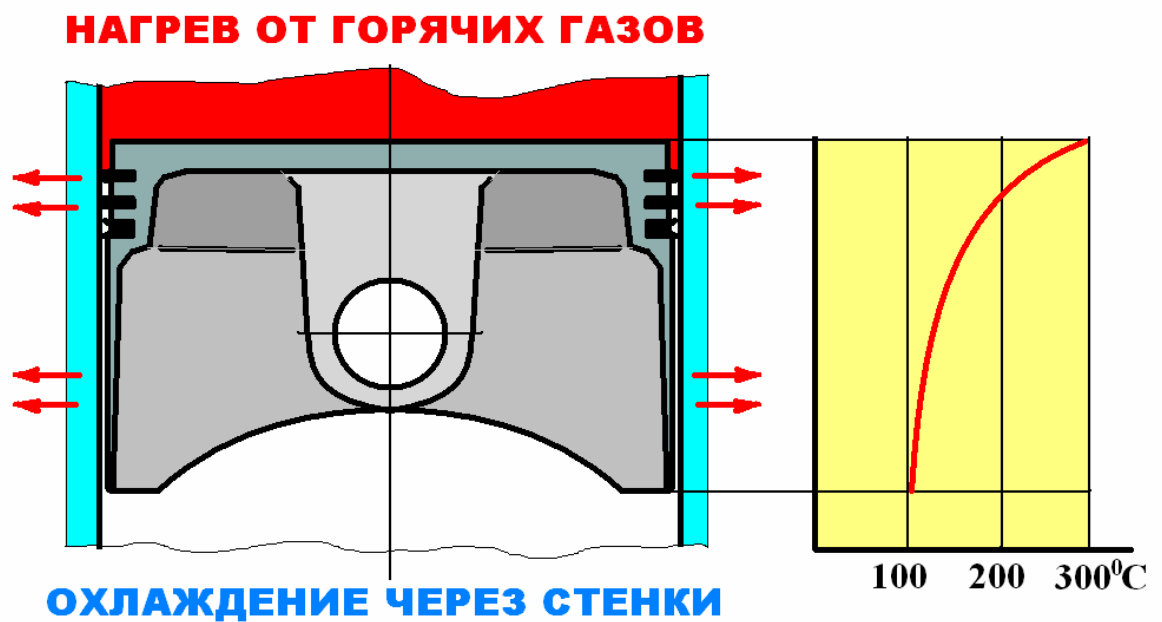


Рис. 22а. Характер изменения температуры поршня по высоте при работе двигателя.

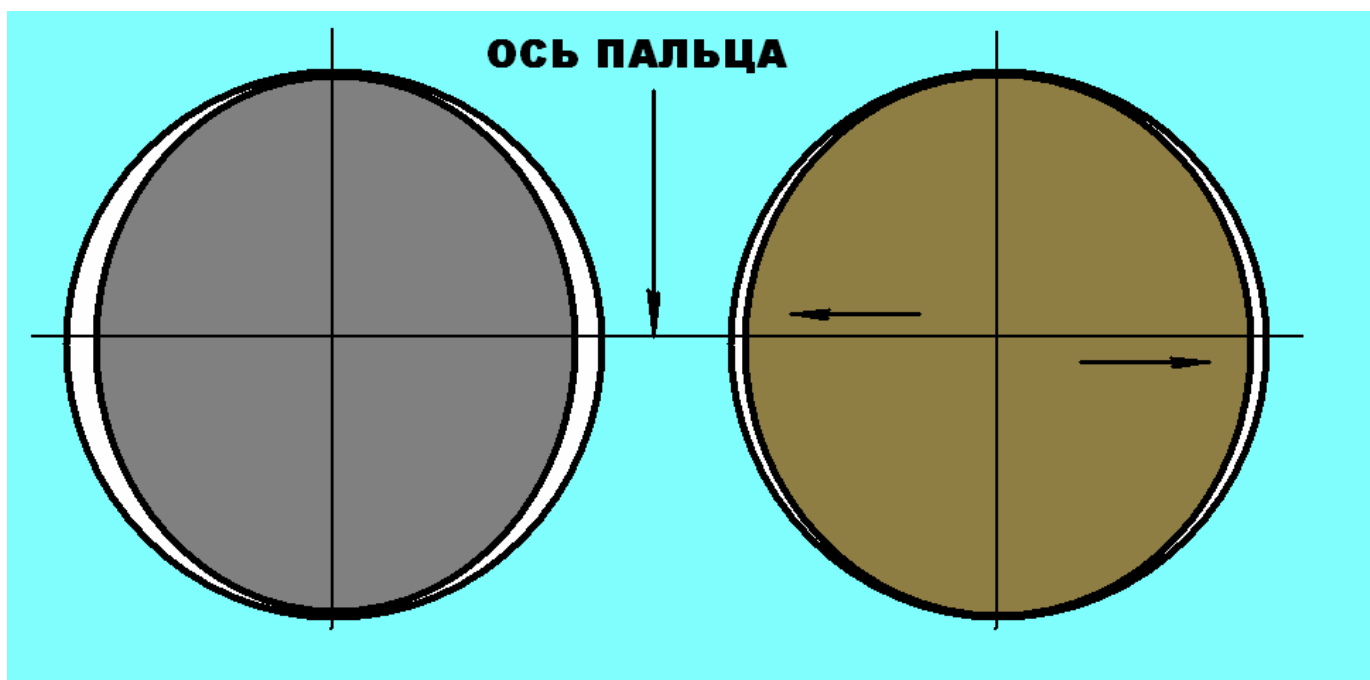


Рис. 22а. Характер изменения формы юбки поршня при работе двигателя. Холодный поршень (слева) имеет овальную форму юбки с большой осью овала перпендикулярно оси пальца. При нагреве до рабочей температуры за счет неравномерности распределения температуры по высоте поршень расширяется по оси пальца (справа), сохраняя зазор в цилиндре в перпендикулярном направлении.



Рис. 23а. Маркировка поршня Kolbenschmidt с информацией о его размере и минимальном зазоре в цилиндре.



На днище поршня указаны данные о максимальном размере юбки и идеальном зазоре. Эти данные

вместе дают номинальный размер внутреннего диаметра цилиндра.



Пример:
Поршень \varnothing 84,00 мм
Зазор 0,04 мм
Цилиндр \varnothing 84,04 мм

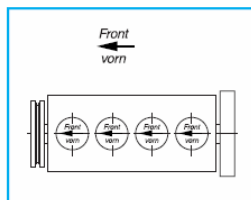
монтажный зазор / направление установки

размер поршня

товарный знак / дата изготовления



Двигатель, установленный в передней части автомобиля



Двигатель, установленный в задней части автомобиля

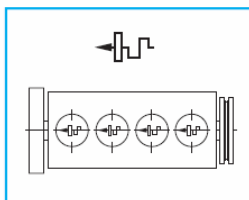


Рис. 23в. Расшифровка маркировки поршня из каталога фирмы Kolbenschmidt [2].