

## ТЕРМОНАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРОВ ФОРСИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ КАМАЗ

В работе представлены результаты исследования термонапряжённого состояния деталей сопряжения «верхние посадочные пояса гильзы цилиндра – блок цилиндров» у форсированных дизелей КАМАЗ. Актуальность исследования обусловлена выявлением причин высокого давления картерных газов, выброса масла через систему вентиляции картера в атмосферу при эксплуатации двигателей.

Гильзы форсированных дизелей характеризуются высокой тепловой и механической напряжённостью. На основании стендовых испытаний двигателя с экспериментальными гильзами по температуре плавления установленных на них свидетелей из припоя ПОС 61 определено температурное состояние верхнего посадочного пояса гильзы цилиндра и проведён расчётный анализ термонапряжённого состояния деталей исследуемого сопряжения. В результате расчёта установлено, что при работе двигателя на номинальном режиме в рассматриваемом сопряжении вместо зазора имеет место натяг, что вызывает увеличение деформации гильзы цилиндра в дополнение к её монтажным. Это впоследствии может стать причиной прорывов газов из камеры сгорания в картер двигателя с выбросом масла через систему вентиляции картерных газов в атмосферу.

Предложенные в работе конструктивные изменения для установки гильзы цилиндра в блоке цилиндров позволяют организовать интенсивное принудительное охлаждение верхней зоны гильзы цилиндра, снизить её температуру, тем самым уменьшить деформации.

**Ключевые слова:** гильзы цилиндров, термонапряжённое состояние, верхний посадочный пояс, форсированные двигатели.

Гильза цилиндров занимает среди термонапряжённых деталей двигателя особое место, как по выполняемым функциям, так и по предъявляемым к ней требованиям. Обеспечение только одной прочности гильзы, несмотря на всю важность этого требования, недостаточно для длительной и надёжной работы двигателя.

Сохранение правильной формы гильзы, обеспечение износостойкости её рабочей поверхности, а также кавитационно-коррозионной стойкости охлаждаемой поверхности при надёжном уплотнении газового стыка и полости охлаждения являются определяющими условиями надёжной эксплуатации двигателя в пределах заданного ресурса [4], [5].

Износ рабочей поверхности гильзы цилиндра при устранении причин возникновения других неисправностей (трещины, задиры, течь, коррозионно-кавитационные разрушения) определяет совместно с состоянием поршневых колец ресурс дизеля до его разборки [6], [7]. К сожалению, фактический ресурс гильз цилиндров по износу при существующем крупноагрегатном методе ремонта дизелей оценить трудно, так как при среднем ремонте гильзы могут быть заменены [1], [8], [9], [10].

Гильзы форсированных дизелей характеризуются высокой тепловой и механической на-

пряжённостью. Для гильз таких двигателей ещё большее значение приобретают интенсификация охлаждения и повышение износостойкости рабочей поверхности цилиндров. Существенное влияние на долговечность и надёжность двигателей внутреннего сгорания, их предельно допустимое форсирование и экономические показатели оказывает и монтажная (образовавшаяся после сборки двигателя) макрогеометрия основных несущих деталей. Это, в первую очередь, детали цилиндропоршневой группы, и в том числе, собственно, гильза цилиндра [11], [12], [13].

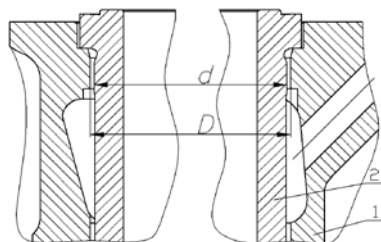
Наличие высокого давления картерных газов, выброс масла через систему вентиляции картера в атмосферу стали причинами исследования термонапряжённого состояния деталей сопряжения «верхние посадочные пояса гильзы цилиндра – блок цилиндров» у форсированных дизелей КАМАЗ (рисунок 1).

Предварительная оценка температурного состояния верхнего посадочного пояса гильзы цилиндра двигателя КАМАЗ была проведена с использованием свидетелей из оловянно-свинцовых припоев, конкретно из припоя ПОС 61 по ГОСТ 21930-76 [2]. Минимальная температура плавления указанного припоя составляет 183,3 °С, и достигается при содержании олова 61,9%.

Для проведения стендовых испытаний на двигателе были изготовлены две экспериментальные гильзы цилиндров с установкой на них свидетелей из припоя ПОС 61. На рисунке 2 показаны места установки свидетелей. Плавкие свидетели диаметром 2 мм были установлены по 8 штук в два яруса. На верхнем посадочном поясе гильзы цилиндра в каждом ярусе дополнительно выполнены канавки шириной 2 мм и глубиной 1 мм в качестве карманов для вытекания припоев из гнезд. Таким образом, критериями оценки температурного состояния верхнего посадочного пояса у гильзы цилиндра являются температуры начала плавления и полного выплавления оловянно-свинцовых свидетелей из запрессованных гнезд.

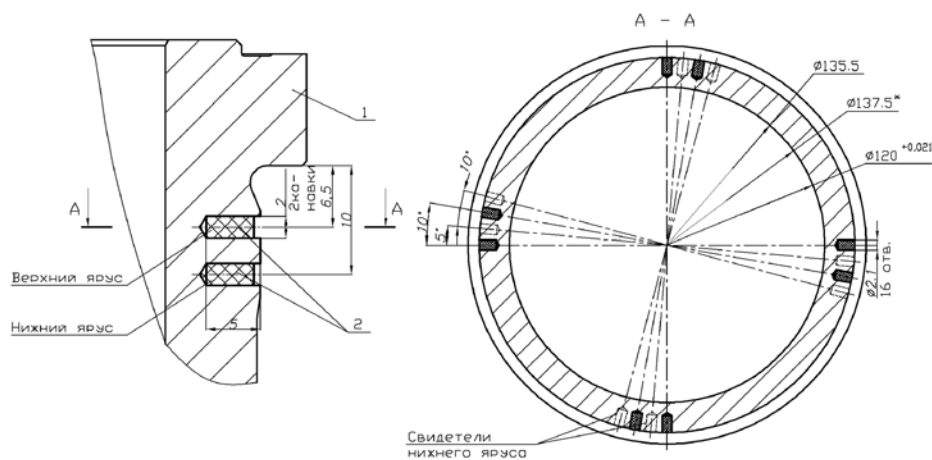
Моторные испытания с экспериментальными гильзами проводились на форсированном двигателе КАМАЗ в лаборатории испытаний двигателей на заводе двигателей ОАО «КАМАЗ». При этом двигатель работал на номинальном режиме три цикла продолжительностью по 2 минуты.

После испытаний был проведён визуальный осмотр обеих экспериментальных гильз



1 – блок цилиндров (звено); 2 – гильза цилиндра (звено)

Рисунок 1. Конструкция установки «гильза цилиндра – блок цилиндров»



1 – гильза цилиндра; 2 – свидетели из оловянно – свинцового припоя

Рисунок 2. Эскиз установки свидетелей из припоя ПОС 61 на верхнем посадочном поясе гильзы цилиндра

цилиндров, в результате которого обнаружилось оплавление двух плавких свидетелей на гильзе четвёртого цилиндра (рисунок 3). Из этого следует, что на верхнем посадочном поясе гильз цилиндров форсированного двигателя КАМАЗ в процессе испытаний была зафиксирована температура не ниже 183 °С – температура начала плавления припоя ПОС 61.

С учётом данного обстоятельства был проведён расчётный анализ теплонапряжённого состояния деталей сопряжения «верхние посадочные пояса гильзы цилиндра – блок цилиндров». Для расчётов были взяты следующие исходные размеры и параметры:

– диаметр верхнего посадочного пояса гильзы цилиндра  $d = 137,5_{-0,09}^{+0,05}$  мм;

– диаметр верхнего посадочного пояса блока цилиндров  $D = 137,5 + 0,04$  мм;

– температура верхнего посадочного пояса гильзы цилиндра при работе двигателя на номинальном режиме, определённая экспериментально с применением плавких оловянно-свинцовых свидетелей,  $t_r = 183$  °С;

– температура верхнего посадочного пояса блока цилиндров при работе двигателя на номинальном режиме по данным научно-технического центра ОАО «КАМАЗ»  $t_{от} = 80$  °С;

– температура окружающей среды  $t_0 = 20$  °С.

Значения коэффициентов теплового линейного расширения материалов были назначены согласно работе [3]:

$\alpha = 1 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$  – коэффициент теплового линейного расширения чугуна, для блока цилиндров в интервале от 20 °С до 100 °С;

$\alpha=1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$  – коэффициент теплового линейного расширения чугуна, для гильзы цилиндра при температуре выше  $100 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ .

Наименьший  $S^{\text{наим}}$  и наибольший  $S^{\text{наиб}}$  зазоры в сопряжении «верхние посадочные пояса гильзы цилиндра – блока цилиндров» без учёта факторов, влияющих на изменение звеньев размерной цепи во времени, то есть на «холодном» двигателе:

$$S^{\text{наим}}=D^{\text{наим}}-d^{\text{наиб}}=0,05 \text{ мм},$$

$$S^{\text{наиб}}=D^{\text{наиб}}-d^{\text{наим}}=0,13 \text{ мм}.$$

Для определения зазоров в рассматриваемом сопряжении с учётом факторов, влияющих на изменение звеньев размерной цепи во времени, то есть на «горячем» двигателе, предварительно определим диаметры посадочного пояса блока и гильзы цилиндров.

Диаметр верхнего посадочного пояса блока цилиндров при температурном расширении:

$$D_{80^{\circ}\text{C}}^{\text{наим}} = D^{\text{наим}} + D^{\text{наим}} \alpha (t_{\text{бл}} - t_0) = 137,583 \text{ мм};$$

$$D_{80^{\circ}\text{C}}^{\text{наиб}} = D^{\text{наиб}} + D^{\text{наиб}} \alpha (t_{\text{бл}} - t_0) = 137,622 \text{ мм}.$$

Диаметр верхнего посадочного пояса гильзы цилиндра при температурном расширении:

$$d_{183^{\circ}\text{C}}^{\text{наим}} = d^{\text{наим}} + d^{\text{наим}} \alpha (t_{\text{г}} - t_0) = 137,678 \text{ мм};$$

$$d_{183^{\circ}\text{C}}^{\text{наиб}} = d^{\text{наиб}} + d^{\text{наиб}} \alpha (t_{\text{г}} - t_0) = 137,72 \text{ мм}.$$

Тогда зазоры в сопряжении «верхние посадочные пояса гильзы цилиндра-блока цилиндров» у «горячего» двигателя составят:

$$S_{t^{\circ}}^{\text{наим}} = D_{80^{\circ}\text{C}}^{\text{наим}} - d_{183^{\circ}\text{C}}^{\text{наиб}} = -0,137 \text{ мм};$$

$$S_{t^{\circ}}^{\text{наиб}} = D_{80^{\circ}\text{C}}^{\text{наиб}} - d_{183^{\circ}\text{C}}^{\text{наим}} = -0,056 \text{ мм}.$$

Из приведённого расчёта следует, что в сопряжении «верхние посадочные пояса гильзы цилиндра – блока цилиндров» при работе двигателя на номинальном режиме вместо зазора имеет место натяг. Величина наибольшего натяга составляет  $\delta=0,137 \text{ мм}$ .

Таким образом, если у «холодного» двигателя наименьший расчётный зазор в рассматриваемом сопряжении составляет  $S^{\text{наим}}=0,05 \text{ мм}$ , то у «горячего» двигателя получаются натяги:  $N^{\text{наим}}=0,056 \text{ мм}$  и  $N^{\text{наиб}}=0,137 \text{ мм}$ . Относительное значение натяга, определяемое как отношение величины натяга к номинальному диаметру, в нашем случае к номинальному диаметру верхнего посадочного пояса сопряжения «гильза цилиндра – блок цилиндров», составляет:  $0,137 \text{ мм} / 137,5 \text{ мм}=0,001$ . Такие посадки называются прессовыми тяжёлыми. В качестве примера таких соединений можно привести посадку втулки в головку шатуна тракторного двигателя.

В рассматриваемом сопряжении натяг получился из-за неблагоприятного сочетания допусков у диаметров верхних посадочных поясов блока цилиндров и гильзы цилиндра. К сожалению, при их назначении не до конца были учтены возможные температурные расширения деталей сопряжения.

Появление натяга в исследуемом сопряжении деталей вызывает увеличение деформации гильзы цилиндра в дополнение к её монтажным деформациям. Это впоследствии может стать причиной задиров деталей цилиндропоршневой группы, изломов бурта гильзы, чрезмерных прорывов газов из камеры сгорания двигателя между гильзой цилиндра и поршневыми кольцами в картер двигателя с выбросом масла через систему вентиляции картерных газов в атмосферу.

Следует заметить, что при форсировании двигателей перспективными признаются такие конструкции гильз, которые имеют систему каналов, по которым охлаждающая жидкость близко подводится к горячей поверхности гильзы [1]. Более детальное рассмотрение и изучение конструкции у серийной установки верхней части гильзы цилиндра двигателей КАМАЗ показало, что в этом случае исключается возможность интенсивного подвода охлаждающей жидкости в зону центрирующего пояса гильзы цилиндра и выше. Поэтому в этих зонах у гильзы цилиндра температура высокая, что, в свою очередь, затрудняет теплоотдачу от поршневых колец к гильзе цилиндра.

Для снижения температуры рабочей поверхности гильзы цилиндра, а она оказалась по экспериментальным данным выше  $183 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ , и в целях повышения теплоотдачи от верхнего компрессионного поршневого кольца у двигателя с высоко-

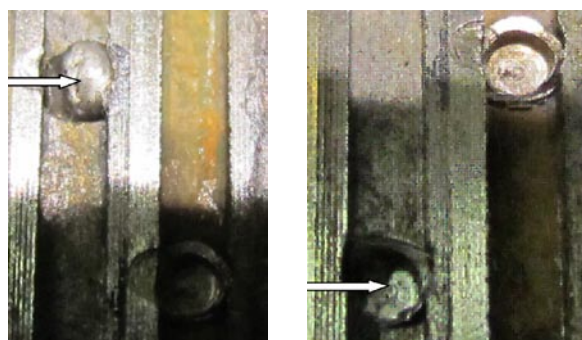


Рисунок 3. Участок верхнего установочного пояса гильзы цилиндров с вмонтированными втулками (свидетелями) после моторных испытаний (на свидетели со следами начала оплавления указано стрелками)



1 – блок цилиндров; 2 – гильза цилиндра; 3 – уплотнительное кольцо; 4 – канал для охлаждающей жидкости

Рисунок 4. Установка верхней части гильзы цилиндра двигателей КАМАЗ: а – серийная; б – предлагаемая конструкция

форсированным тепловым процессом необходимо организовать интенсивное принудительное охлаждение той зоны гильзы цилиндра, в которой оказывается верхнее компрессионное кольцо при нахождении поршня около верхней мертвой точки. С учётом этого предлагается внести некоторые конструктивные изменения в установку гильзы цилиндра в блоке цилиндров (рисунок 4). При этом верхнее уплотнительное кольцо из верхней

части гильзы цилиндра переносится, так как оно в данном месте установки затрудняет теплоотвод от гильзы цилиндра в охлаждающую жидкость.

Таким образом, правильная организация охлаждения является одной из наиболее важных проблем, которую приходится решать при проектировании гильз, особенно при высоком уровне форсирования двигателей.

11.03.2015

#### Список литературы:

1. Дизели: справочник / В.А. Ваншейдта, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллерова. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 480 с.
2. ГОСТ 21930-76. Припои оловянно-свинцовые в чушках. Технические условия. – М.: СТАНДАРТИНФОРМ, 2008. – 10 с.
3. Справочник машиностроителя. Т. 3. – М.: Издательство «Машиностроение», 1964. – 540 с.
4. Кулаков, А.Т. Износ деталей цилиндропоршневой группы двигателей КамАЗ-740 в эксплуатации / А.Т. Кулаков, А.П. Филатов, В.А. Сафонов // Повышение эффективности использования автомобильного транспорта: Межвуз. науч. сб. – Саратов: Сарат. политехн. ин-т, 1980. – С. 27-30.
5. Кулаков, А.Т. Резервы повышения ресурса цилиндропоршневой группы дизельного двигателя / А.Т. Кулаков, Р.Х. Маннанов // Пути интенсификации работы автомобильного транспорта: Межвуз. науч. сб. – Саратов: Сарат. политехн. ин-т, 1988. – С. 21-29.
6. Кулаков, А.Т. Ремонт поршней двигателей КамАЗ / А.Т. Кулаков // Автомобильный транспорт. – 1989. – № 9. – С. 37-39.
7. Кулаков, А.Т. Ремонт трещин блоков цилиндров двигателей КамАЗ / А.Т. Кулаков // Автомобильный транспорт. – 1989. – № 11. – С.17-21.
8. Кулаков, А.Т. Фрикционное латунирование гильз / А. Кулаков, А. Чепелевский, В. Кисель, М.И. Мистриков // Автомобильный транспорт. – 1990. – № 3. – С. 25-27.
9. Кулаков, А.Т. Безмоторные стендовые испытания сопряжений гильза-кольцо двигателя КамАЗ-740 / А.Т. Кулаков, Х.Ф. Бурумкулов, А.Г. Андреева, М.И. Мистриков, И.В. Глазова, А.А. Хотенко // Вестник машиностроения. – 1992. – № 3. – С. 13-16.
10. Кулаков, А.Т. Оценка работоспособности и остаточного ресурса поршневых колец двигателей КамАЗ, бывших в эксплуатации / А.Т. Кулаков, М.И. Мистриков // Автомобильная промышленность. – 1995. – № 12 – С. 16-20.
11. Денисов, А.С. Анализ дефектов двигателей КамАЗ-740 при капитальном ремонте / А.С. Денисов, А.А. Виденеев, В.М. Юдин, А.Т. Кулаков, Л.Б. Баланцов // Матер. Междунар. науч.-практ. конфер., посвященной 70 летию со дня рождения профессора А.Г. Рыбалко. – Саратов: Сарат. гос. агр. ун-т им. Н.И. Вавилова, 2006. ч. III. – С. 19-25.
12. Денисов, А.С. Влияние овальности гильз цилиндров на интенсивность изнашивания деталей цилиндропоршневой группы / А.С. Денисов, С.С. Григорьев // Повышение эффективности использования автомобильного транспорта: Межвуз. науч. сб. – Саратов: Сарат. политехн. ин-т, 1979. – С. 48-50.
13. Денисов А.С. Изменение макрогеометрии гильз цилиндров в процессе эксплуатации двигателя / А.С. Денисов, С.С. Григорьев // Повышение эффективности использования автомобильного транспорта: Межвуз. науч. сб. – Саратов: Сарат. политехн. ин-т, 1978. – С. 32-37.

Сведения об авторах:

**Кулаков Александр Тихонович**, заведующий кафедрой эксплуатации автомобильного транспорта Набережночелнинского института (филиала) Казанского федерального университета, доктор технических наук  
**Гаффаров Гаптельхак Габдрахманович**, главный специалист по исследованию двигателей завода двигателей ОАО «КАМАЗ»

**Ахметов Марат Наилович**, аспирант Набережночелнинского института (филиала)

Казанского федерального университета

423810, Республика Татарстан, г. Набережные Челны, пр. Мира, 68/19, кафедра ЭАТ, тел. (8552) 589578, e-mail: alttrak09@mail.ru