

УДК 62-242.3

Матвеев Юрий Иванович¹, д.т.н, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации судовых энергетических установок,

e-mail: matveeveseu@mail.ru

Курицын Сергей Юрьевич¹, аспирант,

e-mail: kuritsyn@gckb.ru

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭПЮРЫ ДАВЛЕНИЙ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССИОННЫХ КОЛЕЦ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Аннотация. Поршневые кольца являются очень значимыми и ответственными деталями в цилиндропоршневой группе, благодаря своей многофункциональности. Главное назначение колец — это обеспечение герметичности камеры сгорания, необходимой для получения максимально возможной мощности двигателя. Во время работы поршневые кольца испытывают колоссальные нагрузки: от давления, создаваемого при сгорании рабочей смеси в камере сгорания во время рабочего хода поршня, от высоких температур, от силы трения, возникающей на рабочей поверхности кольца, от возможной вибрации, причины возникновения которой может быть не только механической, когда возникает зазор между радиальной поверхностью кольца и стенкой цилиндра, но и гидромеханической, зависящий от толщины масляной плёнки. Соответственно при изготовлении поршневых колец необходимо учитывать все условия работы. Для изготовления качественного поршневого кольца принимается во внимание не только материал, но и метод изготовления. В силу своей конструкции кольцо должно обладать упругими свойствами и для их достижения существует несколько методов изготовления поршневого кольца. Рассмотрев несколько вариантов образцов поршневых колец, изготовленными разными способами, провели замеры радиального давления при помощи устройства, изготовленного согласно патента 94003349(RU). По результатам замеров выяснилось, что кольца, изготовленные центробежным способом, имеют более равномерную характеристику давлений, что в целом отразится на долговечности кольца в лучшую сторону.

Ключевые слова: Поршневые кольца, долговечность, ресурс, камера сгорания, цилиндропоршневая группа, эпюра давлений.

Несмотря на свой простой вид поршневые кольца берут на себя огромный объём функций, необходимых для эффективной работы двигателя. К основным функциям поршневых колец можно отнести:

1. Поршневое кольцо работает в качестве уплотнения. Со стороны камеры сгорания блокирует проход отработавших газов, тем самым сохраняя давление сжатия, которое напрямую влияет на мощность двигателя. С другой стороны, является преградой для прохождения масла, уменьшая его расход на горение, что, в свою очередь, делает двигатель экономичным и экологичным;
2. Осуществляется контроль за нанесением масляной плёнки на зеркале цилиндра, необходимой для снижения сил трения, так же влияющих на мощность двигателя;

3. Стабилизация движения поршня при перекладке шатуна;
4. Охлаждение поршня.

Все перечисленные функции напрямую зависят от плотного прилегания поршневого кольца к стенке цилиндра. Основное прилегание поршневого кольца к стенке цилиндра происходит за счёт силы собственной упругости кольца и увеличивается под воздействием давления газов. На рисунке 1 показано направление сил, действующих на поверхность кольца в цилиндре двигателя.

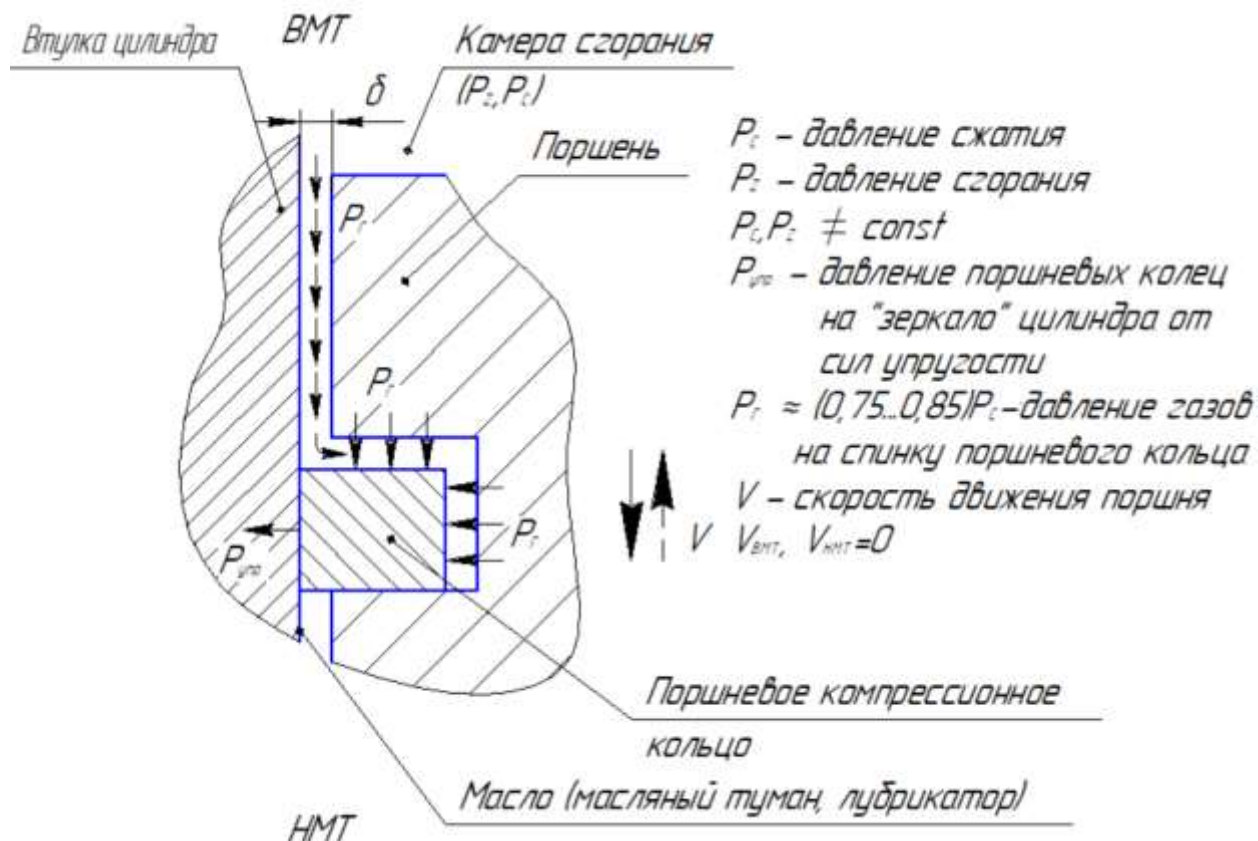


Рисунок 1 – Направление сил, действующих на кольцо

В свободном состоянии (перед монтажом) диаметр поршневого кольца больше, чем в установленном положении. Данное конструктивное решение вызвано необходимостью обеспечения давления прижатия к стенке цилиндра по всему периметру. Также на давление прижима влияет размер «замка» в свободном состоянии, размер кольца (см. рисунок 2), и модуль упругости материала.

Радиальное давление на рабочей поверхности поршневого кольца может быть двух видов: постоянным при котором давление в любой точке на рабочей поверхности кольца будет одинаковым $P = \text{const}$ (см. рисунок 3, а) и переменным с неравномерным распределением давления по окружности (см. рисунок 3, б) и является при этом функцией окружности, т.е. $P = f(\varphi)$.

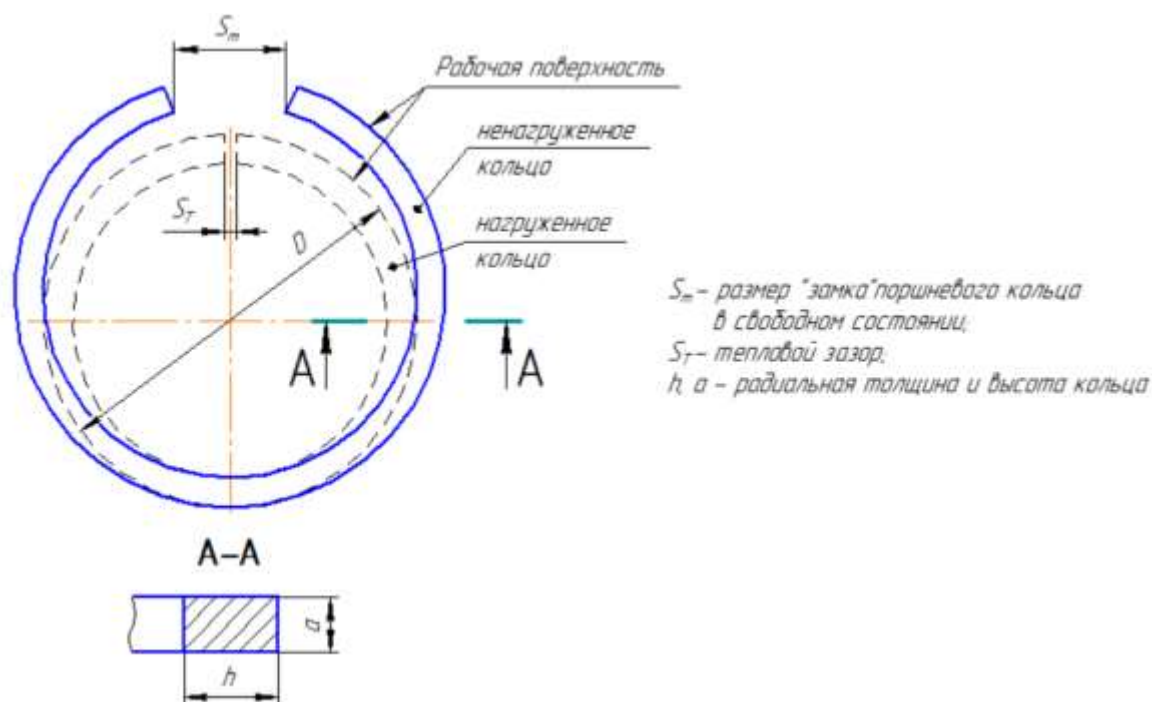


Рисунок 2 – Поршневое кольцо

Первый вид с симметричным распределением давления по окружности кольца (см. рисунок 3а) является самым простым. Такое распределение встречается как правило в маслосъёмных кольцах, где фактический прижим кольца осуществляется за счёт пружины, установленной внутри и в следствие чего в процессе работы пружина не теряет своих упругих свойств. Соответственно даже при износе рабочей поверхности, давление прижима маслосъёмного кольца остаётся постоянным. При износе же компрессионных колец равномерное давление по окружности становится неравномерным. В процессе работы форма кольца подстраивается под поверхность цилиндра, при этом радиальная толщина кольца уменьшается, что влияет на упругие свойства. В районе «замка» износ колец происходит намного быстрее, чем в соседних зонах, особенно это касается верхнего компрессионного кольца. Это связано с работой при высоких температурах и неизбежным прорывом выхлопных газов через тепловой зазор, которые сдувают масляную плёнку, заставляя кольцо работать в условиях граничной смазки. Поэтому просто необходимо при изготовлении поршневых колец учитывать их условия работы с введением необходимой поправки давления на рабочей поверхности кольца, т.е. учитывать наиболее вероятные участки уменьшения давления в связи увеличенной скоростью износа и места, где давление остаётся практически без изменения.

Таким образом, увеличить ресурс поршневых колец можно путём искусственного повышения давления в районе «замка», которое не только улучшит приспособляемость к поверхности стенки цилиндра, изменяемой в процессе работы в следствие тепловой деформации, но и уменьшит вероятность возникновения вибрации, которая чаще всего образуется на концах кольца в «замке» передавая её по всему периметру.

Показанные эпюры радиальных давлений на рисунке 3 имеют две особенности, которые влияют на плотность прилегания поршневых колец к стенке цилиндра. Первая состоит в том, чтобы был обеспечен необходимый запас давления вне «замка». Вторая, заключается в обеспечении повышенного давления в районе «замка». В дополнение ко всему, независимо от распределения давления по окружности (формы эпюр), должна соблюдаться симметричность радиальных сил по поверхности кольца относительно диаметра, проходящего через «замок». Выполнение данных особенностей увеличит работоспособность поршневого кольца, уменьшая его неравномерный износ и как

следствие выхода из строя самих колец, но и цилиндрических втулок. Поэтому как распределяется давление на поверхности кольца за счёт его упругих сил, необходимо знать на этапе изготовления поршневых колец, как правило достигая оптимальности путём выбора соответствующей технологии.

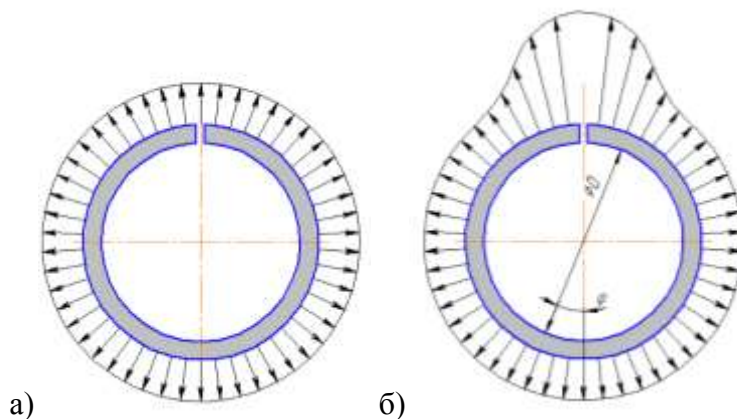


Рисунок 3 -Эпюры давлений: а) $P=\text{const}$, б) $P = f(\varphi)$

Существует несколько методов замера давлений на поверхности кольца. Один из самых распространённых методов определяется математически, исходя из тангенциальной силы. Тангенциальную силу получают путём замера усилия сжатия кольца до необходимого теплового зазора в «замке» стальной лентой, как показано на рисунке 4.

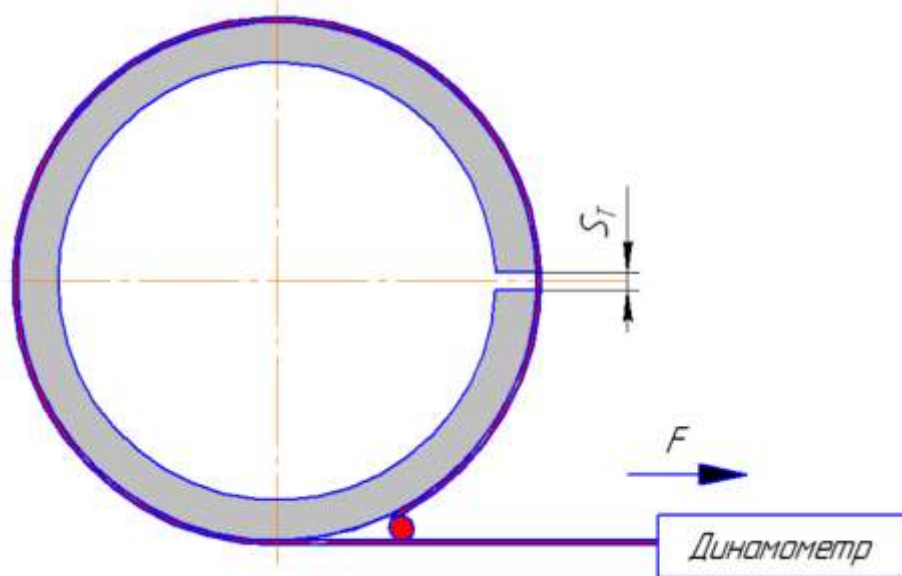


Рисунок 4 – Замер усилия сжатия

К сожалению, данный метод не даёт нам полного представления о распределении давления. По данному способу мы не сможем определить «слабых» мест и соответственно сделать правильно выводы.

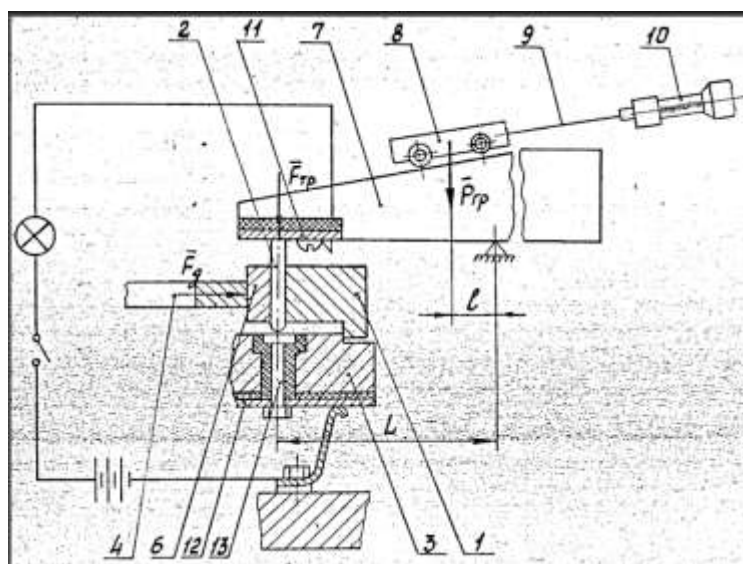
Второй способ определения распределения давления на поверхности кольца с помощью прибора, изготовленного согласно патенту 94003349(RU). (см. рисунок 5). Прибор позволяет провести замеры давления на рабочей поверхности поршневого кольца в 24 точках, равноудалённых друг от друга и расположенных приблизительно через 15° по периметру кольца, что позволяет построить более точную эпюру давлений. Принцип работы данного прибора заключается в следующем: поршневое кольцо в рабочем состоянии устанавливается на опорный диск, где рабочей поверхностью опирается на расположенные через 15° внутри кольца калибра сухари. Ролики в свободном состоянии (без нагружения), расположенные между сухарями и кольцом калибром, устанавливаются

строго перпендикулярно плоскости опорного диска. При помощи нагрузочного механизма устанавливается зазор между роликами и контактом опорного диска. При этом предварительно устанавливается напротив рычага нагрузочного устройства соответствующий ролик, за счет перемещения опорного диска на соответствующий угол. Между контактными пластинами включается электрическая схема и осуществляется нагружение на соответствующий ролик вращением микрометрического винта. При этом нагрузочная тележка перемещается вдоль рычага. Процесс нагружения прекращается после замыкания электрической схемы в результате вертикального перемещения ролика до контакта, о чем свидетельствует включение светового сигнала. Радиальное давление F_d кольца в соответствующем сечении определяется по тарировочному графику и формулам:

$$F_d = f \cdot F_{TP}$$

$$F_{TP} = P \cdot l/L$$

где: F_{TP} – сила воздействия рычага нагрузочного устройства на ролик;
 f – коэффициент трения сопрягаемых материалов;
 P – масса нагружающей тележки;
 l – расстояние от опоры до центра тяжести тележки при её перемещении до замыкания контакта;
 L – длина рычага нагружающего механизма;
 Перемещение тележки после нагружения определяется по шкале микрометрического винта. При этом между роликом, диском и сухарем наличие смазки не допускается.



Вид А

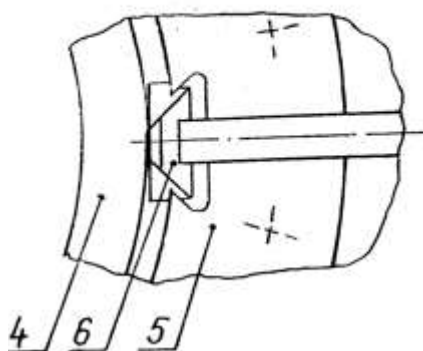


Рисунок 5 - Конструкция прибора эпоромера для замера радиальных давлений поршневых колец: 1)кольцо-калибр; 2) ролик; 3) опорный диск; 4) поршневое кольцо; 5) направляющая; 6) сухарик; 7) рычаг нагрузочного механизма; 8) тележка с грузом,

9) тросик; 10) микрометрический винт 11,12) пластины; 13) контакт; 14) механизм подъёма и поворота опорного диска

В качестве образцов исследований были выбраны два варианта поршневых колец для двигателя 6 ЧРН 36/45. Образец для первого варианта был выбран из ранее существующего серийного производства ОАО «Завод Нижегородский Теплоход» (на сегодняшний день производством колец занимается «Метмаш»). Второй вариант был разработан в качестве экспериментального образца заводом ОАО «РУМО».

Методика изготовления поршневого кольца, изготовленного ОАО «Завод Нижегородский Теплоход», заключается в отливке в земляные формы. Завод ОАО «РУМО» отливал кольца центробежным способом, с последующей механической обработкой по копиру, для получения наиболее плотного мелкозернистого и однородного металла.

После проведения замеров получили следующие эпюры (см. рисунок 6)

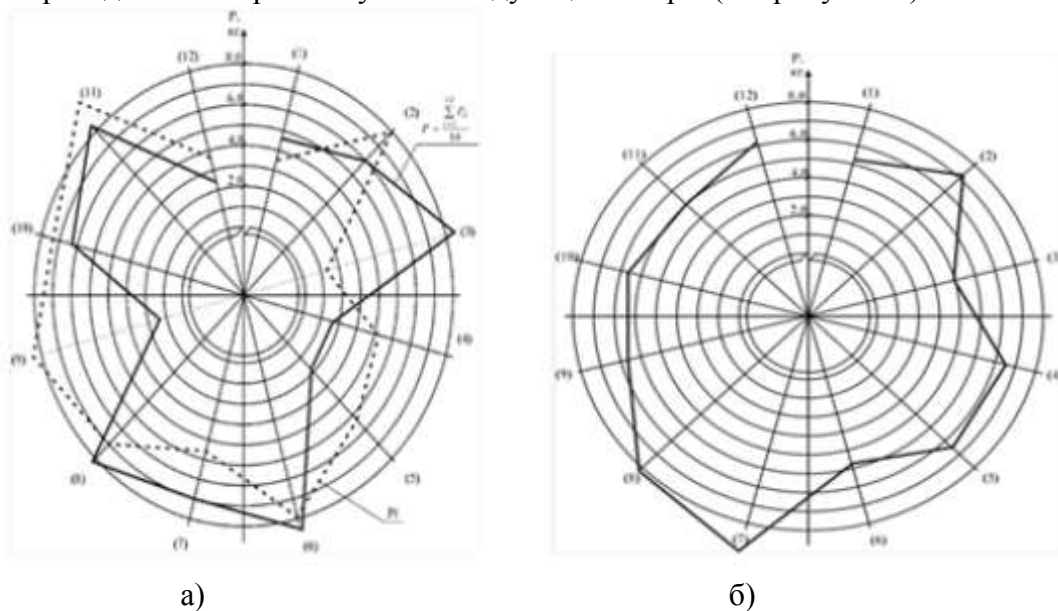


Рисунок 6 – эпюры давлений: а) Распределение эпюры давлений поршневых колец 6ЧРН36/45 (серийные кольца, ОАО «Завод Нижегородский Теплоход»); б) Распределение эпюры давлений поршневых колец 6ЧРН 36/45 (экспериментальные хромированные кольца после копирной обточки, отлитые центробежным способом, ОАО «РУМО»)

Как видно из графиков, поршневые кольца, заготовки которых отлиты центробежным способом, имеют более равномерную эпюру давлений по сравнению с кольцами, полученными литьём в землю. Тем не менее, наблюдается несимметричность давлений относительно диаметральной оси поршневого кольца. Это в большей мере объясняется неточностью механической обработки т.к. требуются в этом случае сложные приспособления и копиры.

Таким образом, о работоспособности поршневого кольца следует судить не только по упрочняющему методу, но и по характеру эпюры давлений, которая в большей степени зависит от разработанной технологии изготовления и точности обработки.

Список литературы:

1. Сомов, В.А. Повышение долговечности судовых дизелей / В.А. Сомов, Б.С. Агеев, В.В. Чурсин, Ю.Л. Шепельский / М. «Транспорт», 1983. — 167 с.
2. Владимиров, В.А. Некоторые вопросы теории приработки цилиндропоршневой группы дизеля. – Л.: ЦНИИМФ. – вып. 227. – 1977. – 34–44 с.
3. Воинов, Н.П. Выбор оптимальных условий обкатки ДВС. – Вестник машиностроения. №2. – 1955. –22 – 26с.

4. Пат. 94003349, Рос. Федерация, G01L 1/02. Устройство для определения радиального давления в поршневых кольцах / Ю.И. Матвеев, Т.В. Молочная, Е.И. Андрусенко; заяв. и патентообл. ФГБОУ ВО «Волжск. гос. академия водного транспорта», № 94003349/28; Заявл. 28.01.1994; Опубл. 20.09.1995.

5. Владимиров, В.А. Исследования и оптимизация процесса приработки цилиндропоршневой группы судовых дизелей. – диссертация ... кандидата технических наук: 05.08.05. - Ленинград; Одесса, 1978. - 185 с.

METHODS FOR DETERMINING THE PRESSURE DIAGRAM OF PISTON COMPRESSION RINGS OF MARINE DIESEL ENGINES

Yuri I. Matveev, Sergey Y. Kuritsyn

Abstract. Piston rings are very important and responsible parts in the cylinder piston group, due to their versatility. The main purpose of the rings is to ensure the tightness of the combustion chamber, which is necessary to obtain the maximum possible engine power. During operation, piston rings experience enormous loads: from the pressure created by the combustion of the working mixture in the combustion chamber during the working stroke of the piston, from high temperatures, from the friction force arising on the working surface of the ring, from possible vibration, the causes of which may be not only mechanical, when there is a gap between the radial surface of the ring and the cylinder wall, but also hydro-mechanical, depending on the thickness of the oil film. Accordingly, in the manufacture of piston rings, it is necessary to take into account all working conditions. For the manufacture of a high-quality piston ring, not only the material is taken into account, but also the manufacturing method. Due to its design, the ring must have elastic properties and to achieve them there are several methods of manufacturing a piston ring. Having considered several variants of piston ring samples made by different methods, radial pressure measurements were carried out using a device manufactured according to Patent 94003349 (RU). According to the results of measurements, it turned out that the rings made by the centrifugal method have a more uniform pressure characteristic, which in general will affect the durability of the ring for the better.

Keywords: Piston rings, durability, resource, combustion chamber, cylinder piston group, pressure diagram.

