

УДК 621.43

Анализ естественного износа и совершенствование конструкции цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания

Авдеева Е. А., Коченов В. А.

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

Аннотация: На базе эмпирических данных, определены закономерности износа деталей цилиндропоршневой группы. На основании естественного изменения формы трущихся поверхностей и моделей перераспределения нагрузок в процессе эксплуатационного изнашивания сопряжений, разработаны конструкторские решения повышения долговечности и износостойкости двигателей внутреннего сгорания. Новизна разработок подтверждается патентами РФ на изобретения и полезные модели.

Ключевые слова: герметичность, износостойкость, цикл, нагрузка, износ.

1. Введение

Повышение герметичности и износостойкости цилиндропоршневой группы является актуальной научной и практически значимой задачей [1]. Наибольший износ двигателей внутреннего сгорания (ДВС) происходит в верхней мертвой точке и определяется максимальным давлением газов и его производными силами и моментами (рис. 1 а).

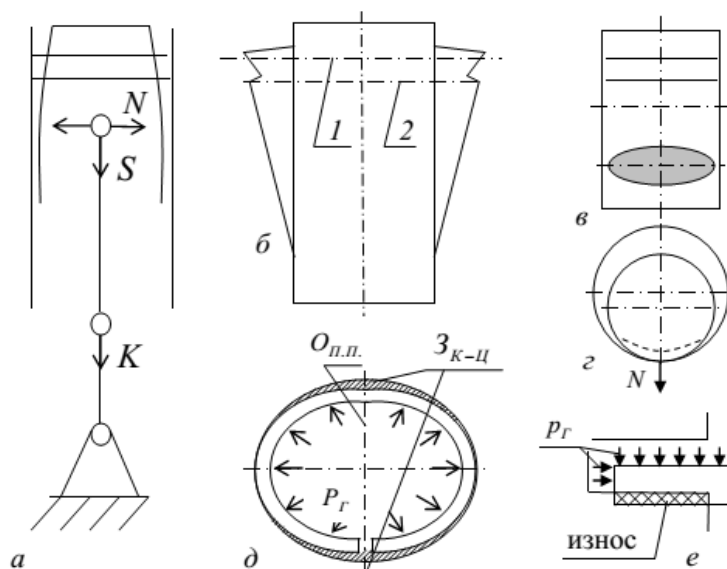


Рис. 1. Естественный износ ДВС: а – положение кривошипно-шатунного механизма в верхней мертвой точке; б – износ цилиндра; в – износ поршня; г – приращение площади контакта сопряжения поршень–цилиндр; д – образование зон повышенных зазоров в сопряжении кольцо–цилиндр; е – износ сопряжения кольцо–поршень; 1, 2 положение первого и второго компрессионного кольца.

Износ цилиндра характеризуется (рис. 1, б):

– конусообразностью с основанием конуса в верхней мертвой точке;

- овальностью, с большей осью перпендикулярной поршневому пальцу и оси двигателя (в плоскости качания шатуна);

- ступенчатостью и неравномерным износом ступеней в эксплуатации.

Основной износ цилиндра образуется в сопряжении с компрессионными кольцами. Коэффициент объясняется трением колец с цилиндром, зависимым от давления газов, а также разным смазыванием и температурой – неблагоприятными в верхней мертвой точке. Овальность объясняется дополнительным давлением кольца на цилиндр при изменении положения (перекладке, перекосе) поршня в цилиндре. Во вновь изготовленном сопряжении дополнительное давление пропорционально трению между кольцом и поршневой канавкой. В процессе эксплуатационного износа кольцо и канавка приобретают ступенчатую форму, что увеличивает давление на цилиндр, увеличивая овальность (Рис. 1).

2. Анализ и методы решения задачи

Естественный износ ДВС обуславливается следующими причинами:

- а – положение кривошипно-шатунного механизма в верхней мертвой точке;

- б – износ цилиндра;

- в – износ поршня;

- г – приращение площади контакта сопряжения поршень–цилиндр;

- д – образование зон повышенных зазоров в сопряжении кольцо–цилиндр;

- е – износ сопряжения кольцо–поршень.

Ступенчатость износа цилиндра зависит от компрессионных колец – число ступеней равно числу колец, ступени находятся в верхней мертвой точке и обуславливаются максимальным давлением газов. Переменная интенсивность износа ступеней объясняется тем, что верхнее кольцо работает в более тяжелых условиях и быстрее теряет герметичность, что приводит к перераспределению давления газов на другие кольца, увеличивая интенсивность износа их и сопрягаемых с ними деталей.

Естественный износ поршня (рис. 1, в, г) характеризуется:

- износом юбки в плоскости качания шатуна;

- нагаром и подгоранием масла на поверхностях расположенных по оси поршневого пальца – параллельно оси двигателя;

- большим износом верхней канавки под кольцо.

Износ юбки происходит по направлению действия боковой силы N . По оси поршневого пальца (где нет нормальной силы) износ отсутствует.

Нагар и подгорание масла объясняется перекосами поршня и износом цилиндра, образующими овальный контакт компрессионного кольца с цилиндром (рис. 1, д). При установке замка по оси поршневого пальца, под давлением газов кольцо разгибается, образуя зоны повышенных зазоров $Z_{K-Ц}$. Герметичность пары кольцо–цилиндр нарушается, прорвавшиеся газы повышают температуру, образуя нагар на поршне. Свобода вращения колец предполагает их установку как в оптимальном – замки разведены на 180° и находятся перпендикулярно поршневому пальцу, так и в наихудшем положении – замки сведены (0°) и находятся по оси поршневого пальца.

Увеличенный износ верхней канавки объясняется близостью к камере сгорания и действием больших температур и давлений.

Износ компрессионных поршневых колец характеризуется (рис. 1, е):

- более интенсивным износом верхнего кольца;

- односторонним износом колец по высоте;

- большим износом кольца относительно канавки.

В процессе работы поршневое кольцо воспринимает давление газов, направленное большую часть времени рабочего цикла со стороны камеры сгорания. Упругость кольца и давле-

ние газов определяют изнашивающиеся поверхности. Это поверхности, составляющие пару трения с цилиндром и нижней стенкой поршневой канавки. В процессе эксплуатации на нижней стенке канавки образуется нагар, который компенсирует износ канавки и защищает ее от изнашивания. Нагар ухудшает триботехнические свойства канавки и увеличивает односторонний износ кольца по высоте. Естественный износ деталей цилиндропоршневой группы определяется давлением в трибосопряжениях [2]. Давление изменяется: в течение цикла, от режима работы ДВС, и при эксплуатационном износе. Например, в процессе приработки площадь скольжения увеличивается (см. рис. 1, г) – давление, интенсивность износа уменьшается. С целью снижения износа и времени приработки юбку поршня надо изготавливать с геометрией соответствующей приработанной $R_{\Pi} = R_{\text{Ц}}$, где R_{Π} и $R_{\text{Ц}}$ – соответственно радиус рабочей (трущейся) поверхности поршня и цилиндра (рис. 2, а). Такая форма обеспечит наибольшую площадь скольжения и минимальное давление от силы N [3].

Для уменьшения овального износа цилиндра поршневую канавку и компрессионное кольцо нужно изготавливать со ступенчатостью обратной изношенной (рис. 2, б). При износе кольца и канавки по высоте давление кольца на цилиндр при переключке поршня не будет расти [4].

Исключить образование зон повышенных зазоров между кольцом и цилиндром (см. рис. 1 д) можно за счет кольца переменной толщины (рис. 2, в). Решение увеличивает жесткость кольца [5].

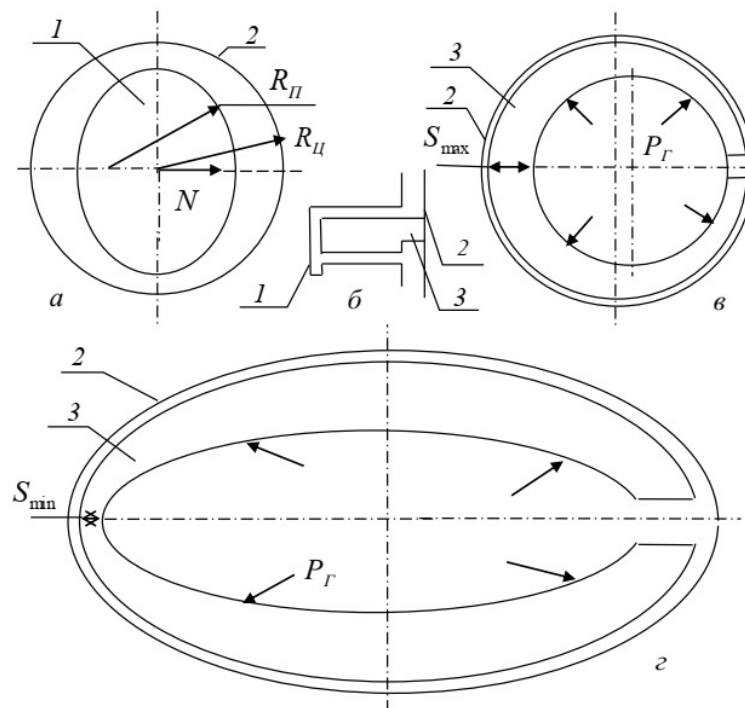


Рис. 2. Совершенствование цилиндропоршневой группы ДВС: 1 – поршень; 2 – цилиндр; 3 – кольцо.

Разрезное поршневое кольцо (рис. 2 г) содержит внутреннюю поверхность и наружную поверхность, контактирующую с цилиндром по овалу. Упругость кольца и давление газов P_{Γ} прижимают кольцо к цилиндру. Минимальный радиус наружной поверхности кольца образован с одной стороны замком, а с другой пазом с минимальной толщиной кольца S_{\min} . Максимальный радиус контакта обеспечен большей толщиной кольца.

3. Заключение

Ориентированное расположение замка и паза разрезного поршневого кольца в цилиндре, минимизирует вращение и износ кольца по высоте, улучшает прирабатывание, герметичность и износостойкость цилиндропоршневой группы [6].

Литература

1. Коченов В.А. Естественный износ и проектирование приработанных трибосопряжений поршневых ДВС // Вестник машиностроения. 2013. вып. 1. С. 34-38.
2. Коченов В.А. Повышение износостойкости и долговечности ДВС автомобилей // Вестник машиностроения. 2013. вып. 6. С. 26-28.
3. Пат. 141165 Российская федерация, МПК F02F 5/00 Цилиндропоршневая группа деталей / Коченов В.А., ФГБОУ ВПО НГСХА – № 2014120843; заявл. 2013.03.12; опубл. 2014.05.27, Бюл. № 6. 3 с.
4. Пат. 151610 Российская федерация, МПК F02F 5/00 Компрессионное кольцо / Коченов В.А., ФГБОУ ВПО НГСХА – № 2013111137; заявл. 2014.05.22; опубл. 2015.04.10, Бюл. № 10. 3 с.
5. Пат. 183275 Российская федерация, МПК F02F 5/00 Уплотняющее сопряжение деталей / Коченов В.А., ФГБОУ ВПО НГСХА – № 2017106465; заявл. 2017.02.27; опубл. 2018.09.17, Бюл. № 26. 3 с.
6. Пат. 2691701 Российская федерация, МПК F02F 5/00 Кольцо / Коченов В.А.; Коченов В.А. – № 2018102070; заявл. 2018.01.18; опубл. 2019.06.17, Бюл. № 17. 3 с.

MSC2020 74M10, 74M15

Natural wear and improvement of cylindro-piston group internal combustion engines

E. A. Avdeeva, V. A. Kochenov

Nizhny Novgorod state agricultural academy

Abstract: On the basis of empirical data, patterns of wear of cylinder-piston parts are determined. Based on the natural change in the shape of rubbing surfaces and load redistribution models during operational wear of mates, design solutions have been developed to increase the durability and wear resistance of internal combustion engines. The novelty of the development is confirmed by RF patents for inventions and utility models.

Keywords: Tightness, wear resistance, cycle, load, wear.

References

1. Kochenov V.A. Natural wear and design of running-in tribological conjugations of piston ICEs. Vestnik mashinostroeniya. 2013. No. 1. pp. 34-38. (In Russian).

2. Kochenov V.A. Improving the wear resistance and durability of ICE cars. Vestnik mashinostroeniya. 2013. No. 6. pp. 26-28. (In Russian).
3. Pat. 141165 Russian Federation, MPK F02F 5/00 Cylinder-piston group of parts / Kochenov V.A.; Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. - № 2014120843; appl. 2013.03.12; publ. 2014.05.27, Bul. No. 6. 3 p. (In Russian).
4. Pat. 151610 Russian Federation, MPK F02F 5/00 Compression ring / Kochenov V.A.; Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. - № 2013111137; appl. 2014.05.22; publ. 2015.04.10, Bul. No. 10. 3 p. (In Russian).
5. Pat. 183275 Russian Federation, MPK F02F 5/00 Sealing pairing of parts / Kochenov V.A.; Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. - № 2017106465; appl. 2017.02.27; publ. 2018.09.17, Bul. No. 26. 3 p. (In Russian).
6. Pat. 2691701 Russian Federation, MPK F02F 5/00 Ring / Kochenov V.A.; Kochenov V.A. - № 2018102070; appl. 2018.01.18; publ. 2019.06.17, Bul. No. 17. 3 p. (In Russian).