

УДК 621.43

## **Анализ конструкций и тенденций проектирования поршневых колец современных быстроходных ДВС**

*Павлычев Р.А., студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Поршневые двигатели»*

*Научный руководитель: Путинцев С.В., д.т.н, профессор*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*[bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)*

Теоретико-расчетные результаты и опыт эксплуатации поршневых быстроходных ДВС показывают, что сопряжение «поршневое кольцо-цилиндр» остается проблемным узлом трения, в значительной мере лимитирующим усилия конструкторов и технологов снизить механические потери, износ и расход масла на угар в двигателе. Это обусловлено высокой динамической и термической напряженностью деталей указанного сопряжения, несовершенными условиями смазки, сложностью и неоднозначностью протекающих в нем физико-химических процессов.

Анализ выполненных конструкций поршневых колец для быстроходных ДВС указывает на основные тенденции, проявляющиеся в сокращении общего числа колец, снижении их осевой высоты, применении профилирования рабочей поверхности, нанесения на нее покрытий, согласования формы поперечного сечения с формой колечной канавки поршня и др. Однако, часто та или иная модернизация проводится вне учета особенностей движения колец в пределах зазора в цилиндре и колечной канавке, не проводится увязывание профиля кольца с макро- и микрогеометрией цилиндра, свойствами смазочного материала. Это снижает эффективность проектирования или даже вызывает ряд побочных отрицательных явлений, таких как повышенный износ колец и рост расхода масла на угар. Решение может быть получено на основе совместного рассмотрения влияния конструктивных особенностей колец и цилиндров на указанные контрольные показатели.

На данный момент можно наблюдать тенденцию к уменьшению общего числа поршневых колец, снижению их высоты и тщательной проработкой профиля поверхности

колец. Профилирование колец является, по сути, главным вопросом, встающим при попытке снижения механических потерь в связке поршень – поршневое кольцо – цилиндр.

### Выбор профиля и числа колец

Компрессионные кольца. При определении числа компрессионных (уплотнительных) колец следует учитывать диаметр цилиндра, длину и направляющие устройства поршня, а также зазор между поршнем и цилиндром. На него оказывают влияние также величина максимального давления в уплотняемом надпоршневом пространстве, а также относительная и абсолютная продолжительность действия этого давления, т.е. число оборотов двигателя, затем скорость возрастания давления и, наконец, также количество тепла, которое следует отвести от поршня; определяющее значение имеет также тип и расположение самих колец.

Более высокие числа оборотов, вообще говоря, позволяют применять меньшее число колец. В ДВС после длительной эксплуатации может постепенно начаться застревание в канавке («пригорание») верхнего кольца, или нескольких верхних колец, поэтому при назначении числа колец необходимо учитывать возможную передачу нагрузки с верхних колец, перестающих нормально работать, на кольца, расположенные ниже.

При выборе числа колец известную роль играют также сорт применяемого топлива и масла, степень совершенства процесса сгорания и то, насколько обильна смазка. Наконец, любое уплотнение из поршневых колец должно обеспечивать эффективную работу также и после известной степени износа; чем более строгие требования предъявляются в этом направлении, тем большим должно быть число колец.

Чем меньшим будет число колец, тем больше будет перепад давлений для каждого из колец, и тем сильнее будет прижиматься отдельное кольцо своей торцевой поверхностью под воздействием давления газов, и тем меньшую подвижность будет иметь кольцо в своей канавке; по этой причине слишком малое число колец может вызывать определенные трудности.

При выборе формы кольца нужно также учитывать и следующее [1]:

1. Следует предпочитать простые формы колец; более сложные формы должны применяться лишь в тех случаях, когда это абсолютно необходимо и обеспечивает, по видимому, заметный эффект. Во многих случаях, как например для судовых двигателей, желательно также применять в данном комплекте по возможности небольшое количество

разных типов колец, для того чтобы максимально упростить снабжение запасными деталями и хранение их.

2. Замок кольца также должен быть по возможности простым. Вообще, для средних и высоких чисел оборотов, по крайней мере в новых или мало изношенных цилиндрах и для низких колец, следует предпочитать прямой замок. Для малых чисел оборотов могут применяться кольца со ступенчатым замком, в том числе и в верхней канавке; однако заметный эффект от их применения обнаруживается лишь при значительном износе цилиндров.

3. Часто оказывается полезной установка двух отдельных компрессионных колец небольшой высоты в 1 канавку; применение несамопружинающихся колец, которые в силу своего инерционного действия должны разбивать отложения масляного кокса на самопружинающем кольце, установленном в той же канавке (так называемые инерционные кольца), оправдало себя лишь в отдельных случаях.

4. Кольца с коническими торцевыми поверхностями (трапецеидальные кольца) оказываются эффективными там, где очень велика склонность колец к пригоранию, и все другие меры, препятствующие этому пригоранию, уже исчерпаны. По сравнению с кольцами прямоугольного сечения конические кольца имеют большую склонность к поломкам; поэтому они часто изготавливаются из специальных материалов.

5. Биметаллические кольца находят успешное применение там, где приработка затрудняется из-за коробления цилиндров или в случае неблагоприятных свойств их материалов.

6. Составные кольца, используемые в качестве герметичных, не следует применять в самых верхних канавках, но лучше всего ставить их, начиная с третьей канавки. Они хорошо оправдывают себя прежде всего при низких числах оборотов и больших диаметрах цилиндров, однако и здесь лишь при таком условии, если как сами кольца, так и соответствующие канавки обработаны с максимальной точностью и тщательностью. Монтировать их труднее, чем простые кольца, опасность же поломки больше, если сечения сделаны слабыми.

7. Хромированные кольца, устанавливаемые в верхних канавках (в дизелях - в верхних двух, а при больших диаметрах - в трех верхних канавках), зарекомендовали себя как уменьшающие износ цилиндров и в большинстве случаев также износ остальных колец; однако в хромированных цилиндрах их нельзя применять. Постановка их не допускается также там, где износ цилиндров превышает 0,15% диаметра.

8. Хорошо приспособляющиеся кольца целесообразно ставить там, где в овально изношенном или покоробившемся цилиндре нужно получить достаточное уплотнение или хорошее маслосъемное действие.

Основные типы профилей колец, материалов и возможных покрытий представлены в следующей таблице [2]:

Таблица 1

Типы профилей компрессионных колец

| 1                                                                                                              | 2                     | 3                                                                                   | 4                                                    | 5                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Наименование поршневых колец                                                                                   | Индекс по ГОСТ 621-87 | Исполнение рабочей поверхности                                                      | Материал                                             | Покрытие                            |
| С плоскопараллельными торцами, с симметричной бочкообразной рабочей поверхностью                               | 010.2                 |    | Высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧ)       | Твёрдый или пористый хром, молибден |
| С плоскопараллельными торцами и конической рабочей поверхностью                                                | 010.3                 |  | Специальный серый чугун с пластинчатым графитом (СЧ) | Феррооксидирование                  |
| С плоскопараллельными торцами, конической рабочей поверхностью и износостойким покрытием                       | 010.3                 |  | (ВЧ) (СЧ)                                            | Твёрдый хром                        |
| С плоскопараллельными торцами прямоугольного сечения с внутренней выточкой                                     | 010.4                 |  | (ВЧ) (СЧ)                                            | Твёрдый хром                        |
| С односторонним трапециевидальным сечением и симметричной или асимметричной бочкообразной рабочей поверхностью | 020.2<br>020А.2       |  | (ВЧ)                                                 | Твёрдый или пористый хром, молибден |

|                                                                            |                  |                                                                                   |      |                           |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------|
| верхностью                                                                 |                  |                                                                                   |      |                           |
| С односторонним трапецеидальным сечением и конической рабочей поверхностью | 020.3<br>020 А.3 |  | (СЧ) | Феррооксидирование        |
| С односторонним трапецеидальным сечением и конической рабочей поверхностью | 030.2            |  | (ВЧ) | Твёрдый или пористый хром |
| С прямоугольного сечения с проточкой по наружному диаметру                 | 040.2            |  | (СЧ) | Феррооксидирование        |

#### Маслосъемные кольца

Как указано в [3], маслосъемные поршневые кольца были сконструированы только для того, чтобы распределять масло на стенке цилиндра и снимать его излишки. Для улучшения уплотняющей и маслосъемной функции маслосъемные кольца имеют обычно два рабочих пояска. Каждый из этих поясков снимает лишнее масло со стенки цилиндра. Таким образом, как на нижней кромке маслосъемного поршневого кольца, так и между поясками появляется определенное количество масла, которое должно быть устранено из области кольца. При перекосе поршня в пределах внутреннего отверстия цилиндра, уплотнение функционирует тем лучше, чем ближе друг к другу находятся оба кольцевых рабочих пояска.

Прежде всего то масло, которое снимается с верхнего маслосъемного пояска и появляется между кольцевыми рабочими поясками, должно быть устранено из этой области, так как иначе оно попадет за пределы маслосъемного поршневого кольца и тогда должно будет быть устранено вторым компрессионным поршневым кольцом. С этой целью маслосъемные поршневые кольца, неразъемные или состоящие из двух частей, имеют либо продолговатые прорезы, либо отверстия между кольцевыми рабочими поясками. Через эти отверстия в самом кольце снятое с верхнего рабочего пояска масло выводится на его обратную сторону.

Теперь дальнейший отвод снятого масла может происходить различными способами. Одним из методов является доставка масла через отверстия в маслосъемной канавке на внутреннюю сторону поршня, чтобы оно могло оттуда капать в масляный поддон. При

так называемых прорезях в оболочке «Coverslots» снятое масло доставляется через выемку вокруг бобышки на внешнюю сторону поршня. Комбинация обеих конструкций также находит своё применение.

Для отвода снятого масла оказались пригодными обе конструкции. В зависимости от формы поршня, способа сгорания или цели применения используется как одно, так и другое исполнение кольца. Теоретически нельзя отдать предпочтение одной из этих конструкций. Решение, какой метод подходит лучше для определенного поршня, устанавливается, поэтому, в процессе различных проверок на практике.

Важное указание: у двухтактных двигателей смазывание поршня осуществляется топливной смесью. Поэтому из-за конструкции можно отказаться от использования маслосъемного поршневого кольца.



Рис. 1. Маслосъемное коробчатое поршневое кольцо с прорезями

На рис. 1 представлена самая простая конструкция с маслосъемными рабочими поясками прямоугольного сечения и с прорезями для отвода масла.

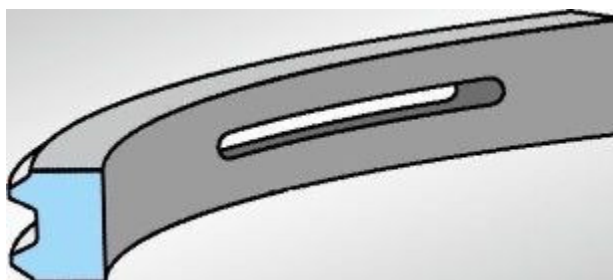


Рис. 2. Маслосъемное коробчатое поршневое кольцо со сходящимися фасками

По сравнению с маслосъемным коробчатым поршневым кольцом с прорезями, кромки рабочих поясков кольца на рис. 2 имеют фаски. Это сделано для того, чтобы достичь улучшенного давления на поверхность.

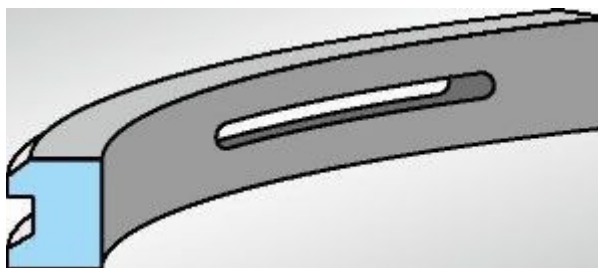


Рис. 3. Маслосъёмное коромысловое поршневое кольцо с параллельными фасками

У кольца на рис. 3 рабочие пояски имеют фаску только со стороны камеры сгорания. Вследствие этого, при движении поршня вниз снятие масла со стенок цилиндра более эффективно.



Рис. 4. Маслосъёмные поршневые кольца, состоящие из частей: кольца и расширителя

Само кольцо согласно рис. 4 имеет по сравнению с неразъёмным маслосъёмным поршневым кольцом значительно меньшее поперечное сечение. Вследствие чего эти кольца обладают относительной гибкостью и могут очень хорошо прилегать к поверхности цилиндра по всему периметру. Канавка для витого пружинного расширителя во внутренней стороне самого кольца либо полукруглая, либо V-образная.

Само напряжение происходит от спиральной нажимной пружины из теплостойкой пружинной стали. Она лежит за кольцом и прижимает его к стенке цилиндра. При эксплуатации пружины плотно прилегают к обратной стороне самого кольца и вместе образуют одно целое. Хотя пружина в кольце не прокручивается, весь кольцевой блок, как и другие кольца тоже, свободно вращается в кольцевой канавке. Распределение радиального давления у маслосъёмных поршневых колец, состоящих из двух частей, всегда симметрично, так как давление прижима равномерно распределено по всему объёму спиральной пружины.

Для увеличения срока службы наружные диаметры пружин шлифуются и наматываются более плотно на замке поршневого кольца, или на них натягивается тефлоновая

трубка. Благодаря принятию этих мер уменьшается износ от трения между кольцом и спиральной пружиной.

Кольца из двух частей сделаны либо из серого чугуна, либо из стали. Зазор в замке ненапряжённого поршневого кольца, т.е., расстояние стыковых концов кольца в демонтированном состоянии без за ним находящейся пружины-расширителя, у составных маслосъёмных поршневых колец, состоящих из нескольких частей, незначителен. Особенно у стальных колец этот зазор может быть почти равен нулю. Это не является недостатком или причиной для рекламации.

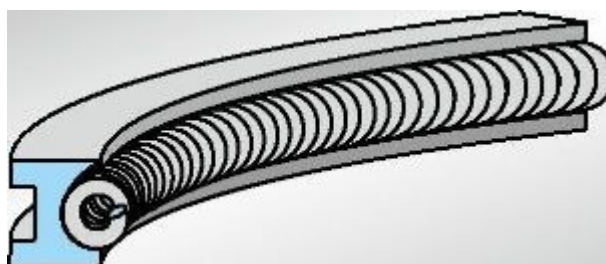


Рис. 5. Маслосъёмное коробчатое поршневое кольцо с прорезями и со спиральным витым пружинным расширителем

На рис. 5 показан самый простой тип конструкции с более лучшим уплотнением чем у неразъёмного маслосъёмного поршневого коробчатого кольца с прорезями.

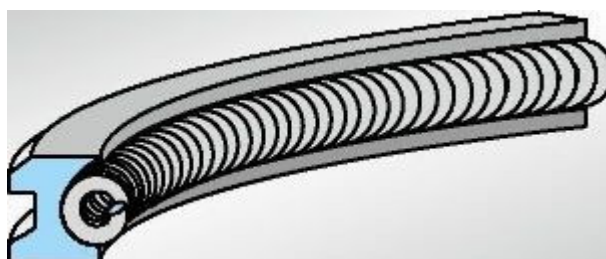


Рис. 6. Маслосъёмное коробчатое поршневое кольцо с параллельными фасками и с витым пружинным расширителем

У кольца на рис. 6 такая же форма поверхности как у маслосъёмного коробчатого поршневого кольца с параллельными фасками, однако, с лучшим уплотнением.

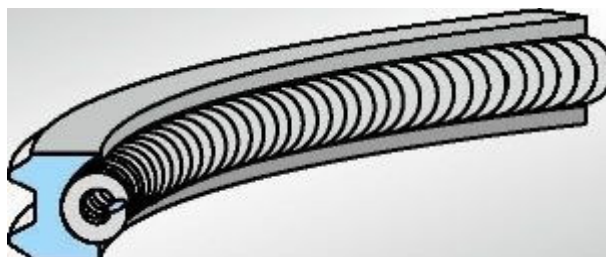


Рис. 7. Маслосъёмное коробчатое поршневое кольцо со сходящимися фасками

Кольцо на рис. 7 имеет аналогичную кольцу на рис. 6 форму поверхности, но обладает лучшим уплотнением.

Ниже речь идёт о самом распространённом маслосъёмном поршневом кольце. Оно может быть встроено в каждую модель двигателя.

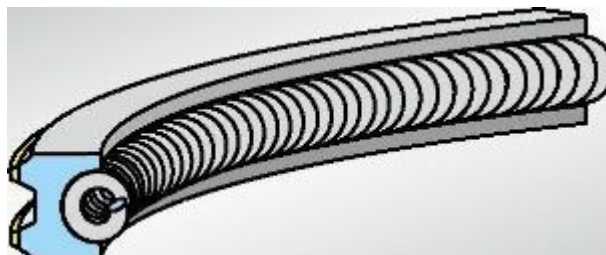


Рис. 8. Маслосъёмное коробчатое поршневое кольцо со сходящимися фасками, с витым пружинным расширителем и с хромированными рабочими поясками

У кольца на рис. 8 такие же свойства как и у маслосъёмного коробчатого поршневого кольца со сходящимися фасками и с витым пружинным расширителем, однако, с повышенной износостойкостью и, вместе с тем, с более долгим сроком службы. Поэтому это кольцо подходит особенно для дизельных двигателей.

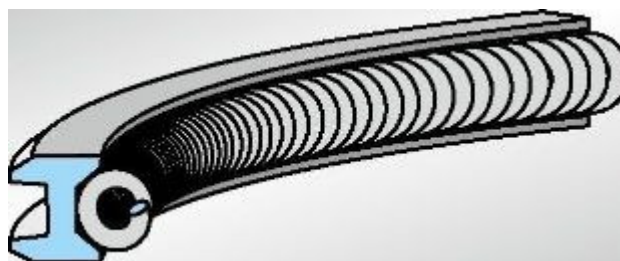


Рис. 9. Маслосъёмное коробчатое поршневое кольцо со сходящимися фасками и с витым пружинным расширителем из азотированной стали

Кольцо согласно рис. 9 наматывается из ленты профильной стали и покрывается со всех сторон защитным слоем. Оно очень гибкое и ломается реже, чем вышеназванные кольца из серого чугуна. Отвод масла между планками происходит через вырубленные круглые отверстия. Этот вид маслосъёмного поршневого кольца находит применение главным образом в дизельных двигателях.

#### Выводы

1. В настоящее время наблюдается тенденция к уменьшению числа поршневых колец, что позволяет создавать более компактные, и, как следствие, легкие поршни.

2. Выбор профиля является важнейшим фактором при разработке нового комплекта колец, так как от профиля кольца напрямую зависят механические потери в сопряжении кольцо-цилиндр-канавка поршня.

3. Выбор покрытия колец так же является важным вопросом, так как покрытие кольца на прямую влияет на характер трения кольца о зеркало цилиндра.

### **Список литературы**

1. Энглиш К. Поршневые кольца. / под ред. В.К. Житомирского. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1962. Т. 1. Теория, изготовление, конструкция и расчет. 576 с.
2. Поршневые кольца: Каталог // Buzuluk. 2010. 24 с.
3. Путинцев, С.В. Снижение механических потерь в автотракторных двигателях внутреннего сгорания: дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.02 . М., 1998. 319 с.