
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВКИ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ДВС НА ПОРШЕНЬ

О.В. Жедь, А.А. Казакова,
А.С. Кошеленко

Кафедра технологии машиностроения,
металлорежущих станков и инструментов
Российский университет дружбы народов
Ул. Миклухо-Маклая, 10а, Москва, Россия, 117198

Статья посвящена исследованию ресурса поршневых колец и влиянию на него способа их деформации при установке на поршень. Напряженно-деформированное состояние поршневого кольца исследовалось методом фотомеханики на моделях из оптически чувствительного материала.

Ключевые слова: двигатель, поршень, поршневое кольцо, деформация, напряжения.

Моторресурс двигателя во многом зависит от долговечности поршневых колец. При проектировании поршневых колец из чугунов и организации их производства необходим учет особенностей механических свойств этого материала. Между пределами прочности при различных видах деформаций для чугунов существуют следующие зависимости: $\sigma_{сж}/\sigma_{в} \approx 3,4$; $\sigma_{ви}/\sigma_{в} = 1,6$, где $\sigma_{сж}$, $\sigma_{в}$, $\sigma_{ви}$ — пределы прочности соответственно при сжатии, растяжении и изгибе [4].

Запас прочности поршневого кольца можно установить, определив коэффициенты, учитывающие особенности материала, специфику производства, методы установки кольца на поршень, а также условия эксплуатации поршневых колец. При некоторых постоянных значениях геометрии кольца величины напряжений можно сопоставлять по способу его деформации. В зависимости от направления деформирующих усилий при установке колец на поршень изменяются напряжения в опасном сечении (расположенном напротив замка), а это, в свою очередь, может повлиять на форму кольца, эпюру его давлений, а в некоторых случаях повлечь за собой и поломку кольца.

Для анализа напряженного состояния поршневого кольца и оценки влияния на него способа нагружения при раскрытии замка перед установкой на поршень выполнено экспериментальное исследование с применением метода фотомеханики на моделях из оптически чувствительного материала.

Цель исследования состояла в определении методом фотомеханики величины коэффициента, входящего в расчетную формулу допустимых напряжений в кольце при его раскрытии перед установкой на поршень. Для реализации этой задачи разработаны методика и техника эксперимента, изготовлены модели, нагрузочные приспособления. На основании выполненных экспериментов установлено напряженно-деформированное состояние кольца, что позволило выявить схему более предпочтительного варианта раскрытия замка.

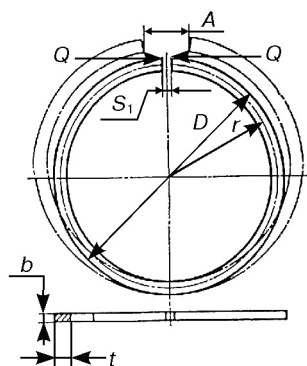


Рис. 1. Параметры поршневых колец и их обозначения

Упругость поршневых колец любых профилей сечения определяется [1, 4]:

$$Q = 0,5 \frac{pb_1}{b} bD = 0,5 pb_1 D,$$

где b_1 — суммарная высота рабочих поясков рассчитываемого поршневого кольца; p — давление. Остальные обозначения приведены на рис. 1, где форма кольца показана в свободном (тонкая прерывистая линия) и рабочем положении (жирная сплошная линия).

Под упругостью кольца Q понимают значения сосредоточенных тангенциальных сил у концов замка, необходимых для перевода кольца из свободного положения в рабочее.

Для поршневого кольца прямоугольного сечения [1, 2, 4] имеем

$$Q = \frac{E \cdot b \cdot S_0}{14,14 (D/t - 1)^3},$$

где $S_0 = A - S_1$ — разность между размерами замка кольца в свободном и рабочем положении.

Из последнего выражения следует, что при установленной упругости кольца размеры замка и радиальная толщина взаимосвязаны. Уменьшение S_0 приводит к необходимости увеличения t , и наоборот. Варьирование этими размерами не может быть произвольным.

Чрезмерное увеличение радиальной толщины может привести к такому уменьшению размера замка кольца в свободном состоянии, что при его установке на поршень напряжения растяжения в нем превысят предел прочности материала. Увеличение размера замка в свободном положении снижает запас прочности. Поэтому установление приемлемого соотношения размера замка и радиальной толщины в свободном положении должно проводиться с учетом напряжений кольца в рабочем состоянии и при его установке на поршень.

Кроме условий прочности необходимо соблюдать еще два граничных условия. Во-первых, размер замка кольца в свободном состоянии не должен быть выше определенного значения, составляющего 16% от диаметра кольца ($S_0/D \leq 0,16$). В противном случае кольцо до установки в цилиндр двигателя не будет держаться в канавке поршня, а также возникнут затруднения при сборке заготовок колец в пакеты для обработки в процессе производства.

Во-вторых, минимальный размер замка кольца в свободном положении должен быть таким, чтобы напряжение кольца при установке на поршень, т.е. при его растяжении, не превышало 80% предела прочности материала при изгибе ($\sigma' \leq 0,8 \sigma_{\text{ви}}$), где σ' — максимальное напряжение в кольце при установке на поршень. Соблюдение этого условия предотвратит возможности поломок и необратимых деформаций колец при установке на поршень.

Для расчета напряжений, возникающих в кольце при установке на поршень на участке его внутреннего контура в плоскости симметрии напротив замка, предложен ряд зависимостей, отличающихся значением некоторых коэффициентов. Наиболее распространенная зависимость имеет вид [1; 4]

$$\sigma' = \frac{3,9}{m'} E \frac{1 - 0,115(S_0/t)}{(D/t - 1)^2},$$

где m' — коэффициент, зависящий от способа установки кольца на поршень (т.е. от направления усилий, временно деформирующих при этой операции поршневое кольцо). Возможные значения m' приведены в таблице 1 [1; 3].

Таблица

Коэффициент m'	1,0 – А	1,57 – Б	2 – В
Направление усилий деформирования поршневого кольца			
Схемы устройств по вариантам направления усилия в замке кольца			

Как видно из вышеприведенной формулы, напряжения в поршневом кольце при установке зависят от модуля упругости E материала кольца, геометрических параметров S_0/t и D/t и способа установки m' . Изменение геометрических параметров может быть выполнено при определенных соотношениях σ' и σ_{\max} , где σ_{\max} — напряжение в поршневом кольце в рабочем положении. Например, при $\sigma' = \sigma_{\max}$ параметр $S_0/t = 3,5$. Уменьшить соотношение S_0/t можно, только увеличив запас прочности, т.е. при использовании материала с высоким пределом прочности на изгиб. При некоторых постоянных значениях S_0/t и D/t величину напряжений в кольце при установке на поршень можно сопоставить в зависимости от способа его деформации.

Прототипом модели кольца в экспериментах было компрессионное кольцо карбюраторного двигателя с номинальным диаметром цилиндра 76 мм. Механическая обработка моделей поршневых колец осуществлялась по технологической схеме без копирной обработки с отличительной особенностью исключаящей термофиксацию кольца, которая характерна для этой схемы в промышленности. Заготовкой служило плоское кольцо из оптически чувствительного материала, в контуры которого вписывалось кольцо в свободном состоянии (рис. 2).

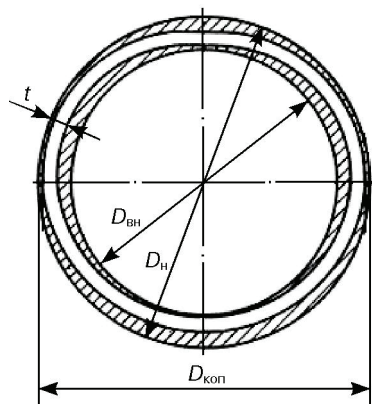


Рис. 2. Эскиз исходной заготовки-кольца

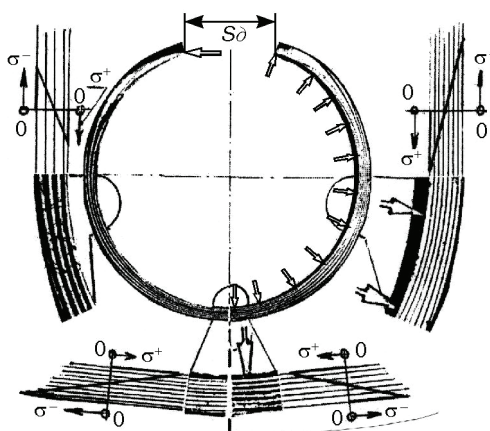


Рис. 3. Комбинированная фотограмма с обработкой по сечениям

Модель перед ее размещением в рабочем поле поляризационной установки нагружалась с помощью различных устройств. Исходным параметром нагружения для всех вариантов одного типоразмера кольца является расстояние S_0 (рис. 1). Это максимально допустимое расстояние между концами замка кольца, установленного на поршне с учетом размера A замка кольца в свободном состоянии ($S_0 = S_0' + A$, где S_0' — допустимое значение разведения замка кольца во время его установки на поршень).

Полученные фотограммы были обработаны и приведены к комбинированному виду (рис. 3). Левая часть фотограммы от вертикальной плоскости симметрии, проходящей через середину замка и точку с максимальной интенсивностью растягивающих напряжений, расположенную на внутреннем контуре кольца напротив замка, испытывает деформации (напряжения) от сил по схеме нагружения A . Правая часть фотограммы от плоскости симметрии испытывает деформации (напряжения) от сил по схеме нагружения B .

На фотограмме выделено три участка, на которых сравниваются напряжения в зависимости от схемы нагружения. Эти три участка приведены в увеличенном масштабе вокруг контура комбинированной фотограммы. Два участка расположены в горизонтальной плоскости симметрии и относятся к различным схемам нагружения, а третий участок расположен в вертикальной плоскости симметрии и находится на стыке двух фотограмм от различных схем нагружения. Во всех упомянутых сечениях построены в выбранном масштабе по методу полос эпюры максимальных касательных напряжений.

На контуре кольца эти напряжения равны одному из нормальных главных напряжений σ_1 , т.к. второе нормальное главное напряжение σ_2 , перпендикулярное контуру, обращается в ноль. В действительности эпюры построены в безразмерном параметре — в полосах (т.е. в порядках полос), а напряжения можно определить из выражений

$$(\sigma_1 - \sigma_2) = n\sigma_0^t \text{ и } \sigma_1 = n_k\sigma_0^t,$$

где n_k — порядок полосы на контуре; y_0^t — цена полосы модели кольца. В сечениях внутри контура модели величина напряжений оценивается по соотношению

$$y_0^t n_i = (y_1 - y_2) = 2\tau_{\max i}.$$

В исследовании выполнен сравнительный анализ напряженного состояния модели поршневого кольца по условному коэффициенту интенсивности нормальных или касательных напряжений в двух сечениях, а именно в вертикальной плоскости симметрии (далее в формулах эта плоскость обозначена В) и в горизонтальной (соответственно Г). Так как подсчет средних напряжений в этой задаче не имеет смысла, то предлагается считать таковыми напряжения в рассматриваемых сечениях от деформаций по вариантам нагружения А и Б в кольце в аналогичных точках.

Введем обозначения для коэффициентов интенсивности: K_{yB}^+ означает, что рассматривается соотношение нормальных напряжений на контуре растянутых волокон (знак +) в вертикальной плоскости симметрии замка (символ В). Тогда

$$K_{yB}^+ = \sigma_{\max. BB}^+ / \sigma_{\max. AB}^+,$$

где $y_{\max. BB}^+$ — максимальные напряжения на стороне растяжения в вертикальной плоскости симметрии по схеме деформации Б; $y_{\max. AB}^+$ — максимальные напряжения на стороне растяжения в вертикальной плоскости симметрии по схеме деформации А.

В соотношениях полос снятых с фотограмм (рис. 3), имеем:

$$K_{yB}^+ = n_{BB}^+ / n_{AB}^+ = 2,8 / 4,2 = 0,67,$$

где n_{BB}^+ , n_{AB}^+ — порядок полосы на стороне растяжения в вертикальной плоскости симметрии соответственно для схем нагружения Б и А.

Величина обратная коэффициенту интенсивности в рассматриваемом случае является коэффициентом $m' = 1 / K_{yB}^+ = 1,49$ для варианта нагружения Б. Теоретическое значением m' для рассматриваемого случая имеет величину $m' = 1,57$. Таким образом, процент отклонения экспериментального значения m' от теоретического составляет 5%.

Для метода фотомеханики этот результат можно считать вполне удовлетворительным, так как при выполнении эксперимента и обработке экспериментальных данных имели место как субъективные, так и объективные ошибки. Например, нам не удалось при изготовлении модели кольца обеспечить достаточно высокую точность формы его копии. Кроме того, оценка порядка полос выполнялась визуально на экране поляризованной установки, затем эти данные сравнивались с фотограммами кольца. В любом из этих вариантов максимально возможная точность подсчета полос не превышает ~0,3 полосы.

Результаты эксперимента в горизонтальной плоскости модели кольца составляют:

$$K_{yГ}^+ = n_{BГ}^+ / n_{AГ}^+ = 2,7 / 1,9 = 1,42.$$

Иными словами интенсивность напряжений в горизонтальном сечении для варианта нагружения Б на 42% больше по сравнению с вариантом А. Интенсивность напряжений в вертикальной плоскости для варианта А в 1,49 раз больше, т.е. на 49% по сравнению с вариантом Б. Таким образом, в случае нагружения модели кольца по варианту Б разгружается максимально напряженная зона (расположенная напротив замка), но одновременно при этой схеме раскрытия замка увеличивается уровень напряжений в горизонтальном сечении, а для варианта А соответственно уменьшается уровень напряжений.

Поэтому вариант Б деформации кольца следует признать предпочтительнее, чем вариант А, так как напряжения по контуру кольца распределены более равномерно и максимальный уровень их значительно ниже (по данным эксперимента на 49%).

Для автоматизации процесса установки поршневых колец ДВС на поршень на кафедре технологии машиностроения была разработана и внедрена в учебный процесс конструкция приспособления для одновременной сборки всего комплекта колец по наиболее предпочтительной схеме Б раскрытия замка (рис. 4).

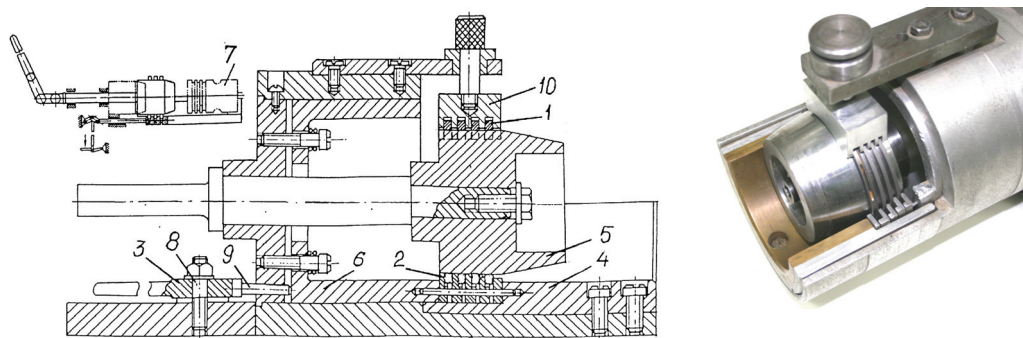


Рис. 4. Приспособление для одновременной сборки поршневых колец: схема и фотография колец, разжатых конусной оправкой

Приспособление работает следующим образом. Каждое кольцо из комплекта 1 вставляют последовательно замками вниз в стакан 4 между фасонными сухарями 2. Сухари имеют форму ступенчатого сегмента вдоль оси, максимальная толщина их равняется расстоянию между кольцами в поршне. Высота паза сегмента в осевом направлении под соответствующее поршневое кольцо на 0,5 мм меньше высоты кольца. Разность этих высот позволяет выбрать зазор между кольцами и сухарями, и зажать весь комплект по торцам. Прежде чем зажимать установленные между сухарями кольца, их следует раскрыть на размер S_0 (см. табл., вариант Б). Разведение замков производится конической оправкой 5, которую следует резко переместить вдоль оси, введя ее в установленный комплект колец. Во избежание перекоса колец от составляющей осевой силы при разжиме, их дополнительно фиксируют в верхней части подводимой накладкой 10, которая имеет расположенные соответственно конструкции поршня пазы.

В начальном положении перед установкой колец в рабочую зону приспособления накладка 10 поднимается вверх, обеспечивая свободную установку

колец. После разжима колец оправкой весь комплект зажимается по торцам перемещающейся гильзой 6. Для этого необходимо повернуть рукоятку с эксцентрик 3 вокруг оси 8, что обеспечит перемещение толкателя 9, а вместе с ним и перемещение подпружиненной гильзы 6. Затем оправку возвращают в исходное положение и на ее место вставляют поршень 7. После ослабления зажима кольца сами устанавливаются на поршне.

В перспективе интересным является вопрос разработки конструкции устройства для реализации в промышленности схемы раскрытия замка кольца по варианту В — чистого изгиба, что позволит уменьшить максимальные напряжения в опасной зоне кольца в два раза по сравнению с вариантом А.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Артамонов М.Д.* и др. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей. — М.: Машиностроение, 1963.
- [2] *Воронин А.В.* и др. Механизация и автоматизация сборки в машиностроении. — М.: Машиностроение, 1985.
- [3] *Кошеленко А.С., Позняк Г.Г.* Теоретические основы и практика фотомеханики в машиностроении. — М.: Граница, 2004.
- [4] *Молдаванов В.П.* и др. Производство поршневых колец двигателей внутреннего сгорания. — М.: Машиностроение, 1980.

RESEARCH THE ASSEMBLING PROCESS OF THE PISTON RINGS OF ICE ON THE PISTON

**O.V. Zhed, A.A. Kazakova,
A.S. Koshelenko**

Department of Mechanical Engineering,
Machine Tools and Tooling
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

In this research the method of photomechanics used to investigate stress condition in piston rings of the internal combustion engine (ICE) due to their deformation in assembling process on the piston.

Key words: the engine, the piston, a piston ring, deformation, pressure.