

***В.В. ШПАКОВСКИЙ***, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОРШНЕЙ С КОРУНДОВЫМ СЛОЕМ В ДВИГАТЕЛЯХ СПОРТИВНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

Рассмотрены результаты исследований работоспособности поршней с корундовым слоем, установленных в двигатели спортивных автомобилей, работающих в экстремальных условиях, при скоростных соревнованиях на песчаных и грязевых трассах и пересечённой местности. В ходе ходовых и эксплуатационных испытаний не было прогорания поршней, не разрушались кольцевые перемычки при возникновении детонации, не происходило заклинивания поршней при неоднократном перегреве, снизился износ поршней и гильз, заметно увеличилась максимальная мощность двигателя, максимальные обороты увеличивались на 800–1000 мин<sup>-1</sup>, двигатели устойчиво работали на всех диапазонах чисел оборотов.

Розглянути результати досліджень працездатності поршнів з корундовим шаром, установлених у двигуни спортивних автомобілів, що працюють в екстремальних умовах, при швидкісних змаганнях на піщаних і грязьових трасах і пересіченій місцевості. У ході ходових і експлуатаційних випробувань не було прогорання поршнів, не руйнувалися кільцеві перемички при виникненні детонації, не відбувалося заклинювання поршнів при кількаразовому перегріві, знизився знос поршнів і гільз, помітно збільшилася максимальна потужність двигуна, максимальні оберти збільшувалися на 800–1000 хв<sup>-1</sup>, двигуни стійко працювали на всіх діапазонах чисел обертів.

Herein are considered results of the research of capacity of corundum layer pistons mounted in sport cars engines working in extreme conditions, including high-speed competitions on sand and mud tracks and broken ground. During both ride and field tests there was no pistons burning-out, ring crosspieces were not destroyed as a result of detonation, there was no piston seizure due to repeated overheat, wear of pistons and liners has decreased, the maximum power of the engine has significantly increased, the maximum engine speed has risen to 800-1000 min<sup>-1</sup>, the engines worked steadily on the whole range of turn rates.

### **Постановка проблемы**

Двигатели гоночных автомобилей должны иметь большую литровую мощность, хорошую приёмистость, устойчиво работать на (всех диапазонах чисел оборотов) различных режимах и иметь высокую надёжность в пределах ограниченного срока службы.

Частичному решению этих проблем и посвящена эта статья.

### **Способы решения проблемы**

Для получения высокой литровой мощности на гоночных автомобилях устанавливают нагнетатели. Это приводит к повышению максимального давления цикла  $P_z$  и может привести к разрушению деталей цилиндрпоршневой группы (ЦПГ) при работе двигателя во время соревнований. Во время гоночно-дорожных соревнований двигатель развивает от 6000 до 12000 мин<sup>-1</sup> и при таких нагрузках возможен прогар поршней, поломка межкольцевых перемычек, возникновение задиров и

заклинивание поршней. Для повышения прочности поршни изготавливают из алюминиевых сплавов штамповкой или вытачивают из прокованных алюминиевых заготовок. На внутренней поверхности днища поршня изготавливают рёбра. Это способствует повышению жесткости поршня.

Существенным требованием к конструкции ЦПГ двигателя гоночного автомобиля является уменьшение потерь на трение. Значительную часть потерь составляет трение поршня о стенки цилиндра. С увеличением числа оборотов величина этих потерь возрастает.

Для повышения износостойкости ЦПГ и улучшения антифрикционных и антикоррозийных свойств поверхности, производится хромирование зеркала цилиндров, выполненных из легких сплавов.

При увеличении максимального давления  $P_z$  и увеличении числа оборотов появляется опасность прорыва газов в картер двигателя. Поэтому на поршень устанавливают три – четыре компрессионных кольца. Для увеличения износостойкости поршневых колец и уменьшения потерь на трение их обрабатывают с высокой точностью и низкой шероховатостью.

Для предотвращения задиrow и заклинивания поршней, повышения детонационной стойкости кольцевых перемычек и снижения трения поршня о гильзу цилиндра, особенно при чрезмерных нагрузках, нами было предложено устанавливать поршни с корундовым поверхностным слоем на всех рабочих поверхностях поршней. Керамический корундовый слой не приваривается к металлу, имеет низкий коэффициент трения и может выдержать температуру более 1000 °С. При этом кольцевые перемычки не деформируются от высоких температур и практически не изнашиваются. Корундовый слой имеет пористую структуру и масло, попавшее в поры, уменьшает коэффициент трения [1].

### **Цели и задачи исследований**

Изучение износостойкости и надёжности цилиндропоршневой группы двигателей спортивных автомобилей, работающих в экстремальных условиях, при скоростных соревнованиях на песчаных и грязевых трассах и пересечённой местности.

### **Обоснование научных и практических результатов**

Спортивная команда Запорожского автомобильного завода в 1990 г. установила поршни с корундовым слоем на спортивную модель автомобиля ЗАЗ-1102. Для оценки надёжности и работоспособности поршней с корундовым слоем были проведены испытания детонационной стойкости кольцевых перемычек трёх комплектов серийных поршней и трёх комплектов поршней с корундовым слоем на серийном двигателе МеМЗ-245 на Мелитопольском моторном заводе. Детонационная стойкость перемычек между первым и вторым кольцом определялась по количеству полностью отработанных циклов во время работы с детонацией до повышения давления

картерных газов двигателя от 5 – 8 мм вод. ст. до 20 – 25 мм вод. ст. на режиме выдержки. В результате испытаний было установлено, что поршни с корундовым слоем на днище и кольцевом поясе выдерживают 9 циклов работы с детонацией, а серийные поршни только 4 цикла, то есть имеют в 2,25 раза более высокую прочность межкольцевых перемычек [2].

Двигатель МеМЗ со степенью сжатия 8,2 оборудованный турбоагнетателем развил мощность  $N_{e\text{ max}}=81,2$  л.с. при  $n=5000$  мин<sup>-1</sup> и  $M_{кр}$ <sub>max</sub>=12,04 кгМ при  $n=4000$  мин<sup>-1</sup>. По сравнению с серийным двигателем ( $N_{e\text{ max}}=47,7$  л.с.) его мощность увеличилась на 70 %. Затем были проведены эксплуатационные испытания поршней с корундовым слоем на автомобиле ЗАЗ-1102. Автомобиль прошёл 10 тыс. км со средней скоростью 121 км/час. После испытаний двигатель разобрали, произвели осмотр и измерения размеров поршней. Поршни не имели износа и повреждений [2].

Феодосийская картинговая команда Автомобильного клуба «Формула-1» в 1997 г. проводила ходовые испытания форсированного двигателя ЧЗ – 516 с поршнями с корундовым слоем на гоночном режиме с полной нагрузкой при оборотах коленчатого вала выше 12000 мин<sup>-1</sup>, в жарких климатических условиях при температуре окружающей среды от 20 до 42 °С. При использовании стандартных поршней их замена производилась с интервалом в 2 гонки, причем в этом промежутке происходили «прихваты» поршней. При использовании поршней с корундовым слоем моторесурс двигателя увеличился в 2 – 3 раза. Замена поршней не производилась весь спортивный сезон.

В 2001 г. на итальянский картинговый двигатель объёмом 125 см<sup>3</sup>,  $n=12000$  мин<sup>-1</sup>, на фирме ПК «Чемпион» был установлен поршень с корундовым слоем. При участии в заездах он показал отличные результаты. Приёмистость двигателя значительно увеличилась, двигатель быстрее набирал максимальные обороты. Однако на длинном прямолинейном участке при полностью открытом дросселе и оборотах двигателя до 22000 мин<sup>-1</sup> поршень перегрелся и от тепловых деформаций его приклонило в четырёх местах вблизи пальцевых отверстий. Выборкой продольных кольцевых канавок был устранён прихват поршня (рис.). После чего двигатель до сих пор работает безукоризненно.

На той же фирме в 2001 г. в высокофорсированный двигатель Audi V 1800 спортивного автомобиля СКА-багги мощностью 156 л.с. были установлены кованные поршни из алюминиевого сплава АК-4 с корундовым поверхностным слоем  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  толщиной до 0,2 мм на всей рабочей поверхности. В двигателе использовалось синтетическое масло Castrol-RX b и бензин АИ-98.

Автомобиль СКА-багги в течении 2001 года прошёл ходовые испытания в экстремальных условиях на 22 тренировках и 9 соревнованиях на песчаных и грязевых трассах на пересечённой местности и показал высокую надёжность.



Рисунок – Поршень с продольными канавками

На одном из соревнований на кубок президента Татарстана на автомобиле произошла поломка в коробке передач и автомобиль прошёл последние три круга на первой передаче с оборотами двигателя  $8000 - 9000 \text{ мин}^{-1}$ . Затем двигатель заклинил. После разборки двигателя было установлено, что в третьем цилиндре на шатунной шейке коленчатого вала имелись задиры и расплавлен шатунный вкладыш, перегрет и деформирован шатун и нижняя крышка шатуна. Поршень и гильза цилиндра повреждений не имели.

Для определения износа поршней и гильз цилиндров был проведен микрометраж с точностью до  $0,001 \text{ мм}$  нутромером mitutovo (Япония) и микрометром  $75-100 \text{ мм}$  mitutovo (Япония) при установке поршней и после ходовых испытаний. Результаты измерений показали, что износ диаметров поршней составил  $0,01 \text{ мм}$ , а диаметров гильз  $0,002 \text{ мм}$  (табл.).

В протоколе испытаний указано, что в результате ходовых испытаний не было прогорания поршней, разрушения кольцевых перемычек при возникновении детонации и не происходило заклинивания поршней при неоднократном перегреве. Отмечено также увеличение оборотов двигателя на  $800-1000 \text{ мин}^{-1}$ .

По результатам ходовых испытаний в 2002 г. в 8 двигателях спортивных автомобилей были установлены поршни с корундовым слоем. Отказов и поломок нет. Фирма ПК «Чемпион рекомендует, для обеспечения надёжной работы, устанавливать на спортивные высокофорсированные двигатели поршни с корундовым поверхностным слоем.

Таблица – Диаметры поршней и гильз цилиндров

| № | Наименование параметра    | Единица измерения | Значение параметра |                 |
|---|---------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|
|   |                           |                   | до испытаний       | после испытаний |
| 1 | Диаметр 1 цилиндра        | мм                | 82,500             | 82,502          |
| 2 | Диаметр 2 цилиндра        | мм                | 82,502             | 82,504          |
| 3 | Диаметр 3 цилиндра        | мм                | 82,502             | 82,504          |
| 4 | Диаметр 4 цилиндра        | мм                | 82,501             | 82,503          |
| 5 | Диаметр поршня 1 цилиндра | мм                | 82,440             | 82,430          |
| 6 | Диаметр поршня 2 цилиндра | мм                | 82,442             | 82,432          |
| 7 | Диаметр поршня 3 цилиндра | мм                | 82,442             | 82,432          |
| 8 | Диаметр поршня 4 цилиндра | мм                | 82,441             | 82,431          |

### Выводы

В результате проведенных ходовых и эксплуатационных испытаний двигателей с поршнями с корундовым слоем установлено:

- не было прогорания поршней;
- не разрушались кольцевые перемычки при возникновении детонации;
- не происходило заклинивания поршней при неоднократном перегреве;
- снизился износ ЦПГ;
- заметно увеличилась максимальная мощность двигателя;
- максимальные обороты увеличивались на 800–1000 мин<sup>-1</sup>;
- двигатели устойчиво работали на всех диапазонах чисел оборотов.

**Список литературы:** 1. *Шпаковский В.В.* Проблемы повышения эффективности ДВС путём применения новых материалов для цилиндрико-поршневой группы и задачи научных исследований / *В.В. Шпаковский* // Механiка та машинобудування. – Харкiв: НТУ «ХП», 2008. №1 – С.193-197. 2. *Шпаковский В.В.* Применение поршней с корундовым слоем - способ повышения надёжности двигателей внутреннего сгорания / *В.В. Шпаковский, В.А. Пылёв, В.В. Осейчук* // Автомобильный транспорт. - Харьков: ХНАДУ – 2007.- Вып.21.- С. 128-131. 3. *Парсаданов И.В.* Влияние гальваноплазменной обработки поверхности поршня на механические потери в автотракторном дизеле / *И.В. Парсаданов, В.В. Шпаковский, И.Н. Карягин, С.Ю.Белик* // Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. научн. трудов. Тем. вып. «Транспортное машиностроение». – 2010. – Вып. 38. – С. 88-91

Поступила в редколлегию 13.04.2012