

УЛУЧШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С КЕРАМИЧЕСКИМ ПОКРЫТИЕМ НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРА

И.В. Кузнецов, В.И. Бажанов

В статье приводятся результаты сравнительных исследований на моторном стенде полноразмерного двигателя внутреннего сгорания с серийными гильзами цилиндра и алюминиевыми гильзами с керамическим покрытием на рабочей поверхности. Результаты исследований показали, что в двигателе с керамическим покрытием на рабочей поверхности гильз цилиндра мощность механических потерь снижена на 7–9 %, что увеличивает эффективную мощность двигателя на 4 % при улучшении топливной экономичности на 3 % по сравнению с двигателем с серийными гильзами. Кроме того, в двигателе с керамическим покрытием на рабочей поверхности гильз цилиндра более чем на 40 % уменьшилось содержание оксида углерода и углеводородов в отработавших газах.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, рабочая поверхность гильзы цилиндра, керамика, мощность, топливная экономичность, отработавшие газы, оксид углерода, углеводороды, оксиды азота.

Введение

Развитие современного машиностроения не отделимо от решения проблем, связанных со снижением трения в подвижных узлах и механизмах. Согласно экспертным оценкам, до 70 % энергии при работе различных механизмов тратится на механические потери в узлах трения, поэтому создание и использование новых триботехнических материалов является одной из важнейших задач в современном машиностроении и, в частности в двигателестроении.

Известно, что в паре «гильза цилиндра – поршневые кольца» происходит более 45 % потерь на трение в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) [1]. Форсирование ДВС заставляет разработчиков пересматривать традиционные конструкторские решения, хорошо зарекомендовавшие себя в деталях цилиндро-поршневой группы. Наряду с разработкой новых конструкций, интенсивно ведется поиск нетрадиционных материалов, которые должны снижать трение между деталями и уменьшать их массу, обладать большей износостойкостью при знакопеременных нагрузках и высоких температурах, характерных для работы ДВС.

Однако при улучшении топливной экономичности и увеличении уровня вырабатываемой мощности разрабатываемых двигателей перво-

степенной задачей является выполнение жестких требований на выбросы вредных веществ с отработавшими газами автомобильными ДВС.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния керамического покрытия на рабочей поверхности цилиндра ДВС на потери на трение поршневых колец о гильзу цилиндра и на образование вредных веществ в процессе горения.

Выбор покрытия на рабочей поверхности цилиндра

Керамические материалы, обладая высокой твердостью и жаростойкостью, имеют относительно хрупкую и пористую структуру, что, с одной стороны, позволяет заполнять поры материалом, снижающим трение в трущихся деталях, а с другой – керамика препятствует резкому снижению температуры в рубашке охлаждения ДВС, создавая условия для более полного сгорания топлива.

Основной проблемой при исследовании являлся выбор керамического покрытия и способа его получения для использования в условиях работы цилиндро-поршневой группы ДВС. Известные способы получения керамической по-

верхности на гильзах цилиндра или на поршневых кольцах (метод напыления и др.), а также создание полностью керамических цилиндров сложны, дороги и пока не надежны в условиях работы ДВС.

В связи с этим было решено использовать метод электрооксидирования алюминия (Al), разработанный в НПО "Техномаш". При этом способе слой керамики Al_2O_3 (корунд) получают непосредственно на рабочей поверхности алюминиевого цилиндра, который образует с ней прочное соединение (рис. 1).

Известно, что у стенок цилиндра, преимущественно в объеме, расположенном над верхним компрессионным кольцом, происходит основное образование токсичных продуктов неполного сгорания топлива, что обусловлено интенсивным отводом теплоты из этого объема в рубашку охлаждения цилиндра, обрывом цепных реакций при сгорании и, вследствие этого, прекращением горения (рис. 2) [2].

Таким образом, применение керамического покрытия из оксида алюминия на рабочей поверхности алюминиевого цилиндра должно одновременно снизить механические потери в ДВС и уменьшить образование вредных веществ в процессе сгорания.

Исследования двигателя с керамическим покрытием на рабочей поверхности цилиндра

Объектом для сравнительных исследований на моторном стенде являлся полноразмерный ДВС УЗАМ-412 с серийными гильзами цилиндра и с гильзами цилиндра, изготовленными из алюминиевого сплава Д16, рабочие поверхности которых были электрооксидированы и хонингованы до размера в соответствии с чертежами завода-изготовителя, как указано ниже.

Перед проведением исследований сравниваемых ДВС были получены характеристики опти-

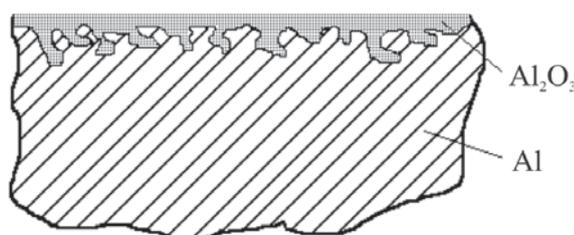


Рис. 1. Примерная схема керамического покрытия, получаемого электрооксидированием алюминия

мальных углов опережения зажигания, которые показали, что влияние керамического покрытия на углы опережения зажигания незначительно. В соответствии с этим сравнительные исследования проводили с углами опережения зажигания, рекомендованными заводом-изготовителем.

Основные технические характеристики ДВС УЗАМ-412

Число и расположение цилиндров	4, рядное
Рабочий объем V_h , см ³	1478
Диаметр цилиндра D , мм	82
Ход поршня S , мм	70
Порядок работы цилиндров	1-3-4-2
Степень сжатия ϵ	7,2
Тип свечей зажигания	A20Д

Перед исследованиями в ДВС как с серийными гильзами, так и с гильзами цилиндра из сплава Д16, поршневые кольца заменяли на кольца с номинальным размером, и в течение 60 ч проводили обкатку двигателя. В процессе исследований температуру масла и температуру воды в рубашке охлаждения поддерживали в диапазоне 85–95 °С в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя.

Измерение содержания оксида углерода (СО) и углеводородов (СН) в отработавших газах проводили газоанализатором «Бекман-

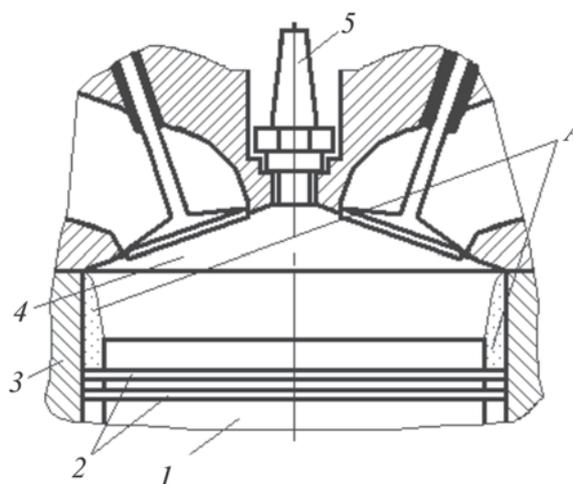


Рис. 2. Схема ДВС:
1 – поршень; 2 – поршневые кольца; 3 – гильза цилиндра; 4 – камера сгорания; 5 – свеча зажигания; А – объем, в котором образуется основная масса токсичных продуктов неполного сгорания топлива

590», а оксидов азота (NO_x) – «Бекман-951». Отбор проб отработавших газов ДВС на газоанализаторы осуществляли по «горячей линии». В ней поддерживалась температура 180–200 °С, при которой наиболее полно отражается содержание CH в отработавших газах.

Мощность механических потерь N_T , характеризующую трение в подвижных деталях ДВС, определяли методом прокрутки двигателя на моторном стенде на различных частотах вращения коленчатого вала n при отключенном зажигании и заданном температурном режиме в системах охлаждения и смазки.

Из сравнительных характеристик внутренних потерь (рис. 3) следует, что мощность N_T возрастает при увеличении n , и в ДВС с гильзами с керамической рабочей поверхностью она меньше на 7–10 %, чем N_T в ДВС с серийными гильзами цилиндра, выполненными из чугуна.

После испытаний и анализа керамической поверхности на гильзах было установлено, что снижение трения произошло в результате проникновения частиц углерода, образовавшегося при сгорании топлива и масла, в микропустоты керамической рабочей поверхности гильзы цилиндра.

Характеристики холостого хода сравниваемых ДВС показывают, что применение гильз с керамической рабочей поверхностью позволяет на холостом ходу снизить расход топлива G_T на 8 %, а содержание оксида углерода (C_{CO}) и углеводородов (C_{CH}) в отработавших газах уменьшить более чем на 40 %, что особенно заметно при работе ДВС на повышенных частотах вращения коленчатого вала n (рис. 4).

Такое улучшение показателей ДВС объясняется снижением потерь на трение между гильзой цилиндра и поршневыми кольцами, а также увеличением температуры около гильзы цилиндра

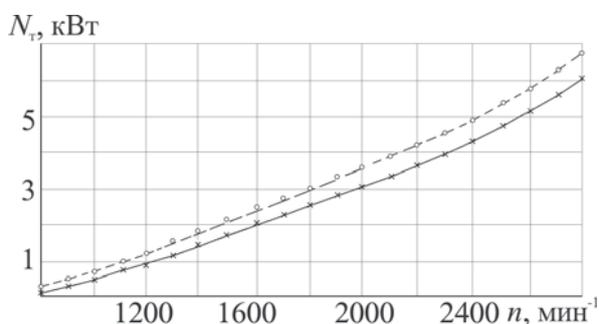


Рис. 3. Сравнительные характеристики внутренних потерь:

- o – ДВС с серийными гильзами цилиндра;
- x – ДВС с керамическим покрытием гильз цилиндра

дра под верхним поршневым кольцом.

Нагрузочные характеристики сравниваемых ДВС, приведенные на рис. 5, были получены при частоте вращения коленчатого вала $n = 2600 \text{ мин}^{-1}$, соответствующей максимальному крутящему моменту.

Они показывают, что в ДВС с керамическим покрытием на рабочей поверхности гильзы цилиндра максимальная мощность N_e увеличена более чем на 4 %, расход топлива G_T уменьшен более чем на 7 %, а минимальный удельный эффективный расход топлива g_e снижен более чем на 5 % по сравнению с ДВС с серийными гильзами. При этом в ДВС с керамическим покрытием гильз цилиндра более чем на 40 %

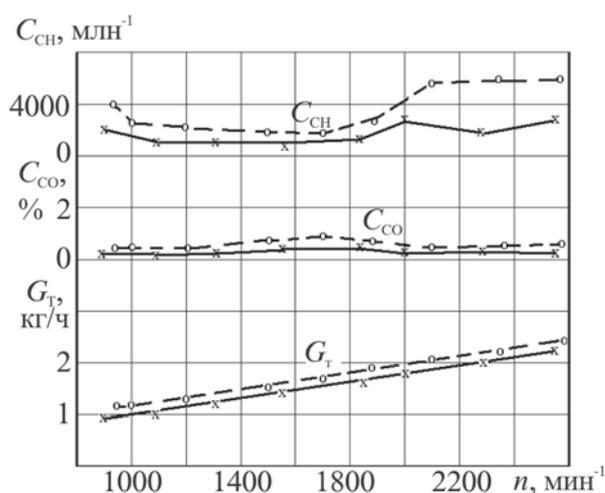


Рис. 4. Сравнительные характеристики холостого хода:

- o – ДВС с серийными гильзами цилиндра;
- x – ДВС с керамическим покрытием гильз цилиндра

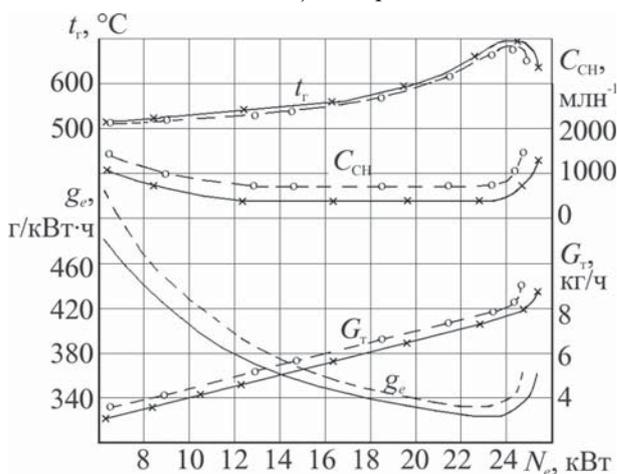


Рис. 5. Сравнительные нагрузочные характеристики:

- o – ДВС с серийными гильзами цилиндра;
- x – ДВС с керамическим покрытием гильз цилиндра

снижено содержание СН в отработавших газах. Несмотря на то, что температура отработавших газов t_r , измеренная в выпускной трубе, увеличилась незначительно, в локальных зонах около керамической поверхности гильзы она была достаточна для дожигания продуктов неполного сгорания непосредственно в цилиндрах ДВС.

Такой же эффект увеличения N_e и роста g_e подтверждается и сравнительными регулировочными характеристиками, полученными путем изменения расхода топлива G_T при различных расходах воздуха G_B через ДВС при частоте вращения коленчатого вала $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$. Этот режим наиболее достоверно подтверждает эффективность использования керамического покрытия на рабочей поверхности гильз цилиндров (рис. 6).

Кроме того, при снижении N_e с 16 кВт до 4 кВт (см. рис. 6) происходит улучшение g_e с 5 % до 11 %, поскольку мощность трения N_T в ДВС с керамическим покрытием гильз цилиндра меньше приблизительно на 10 % (см. рис. 5).

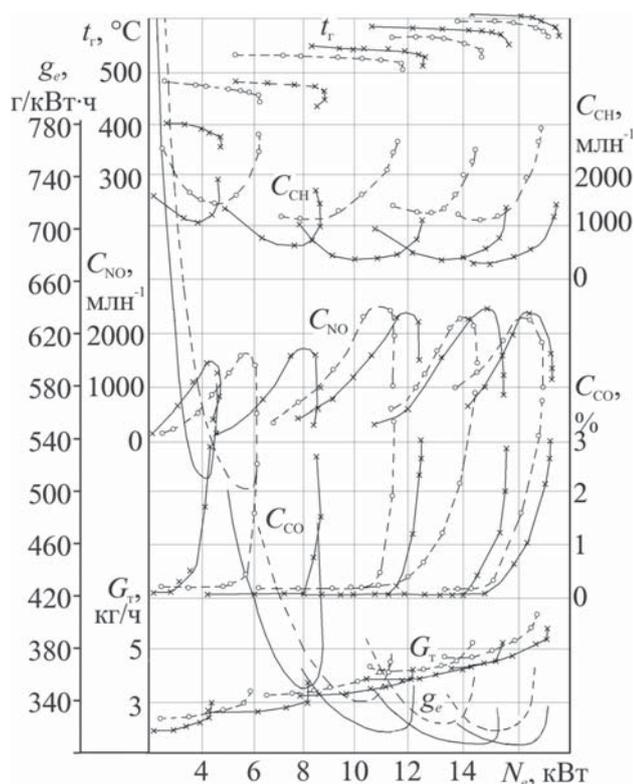


Рис. 6. Сравнительные регулировочные характеристики при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$:
○ – ДВС с серийными гильзами цилиндра;
× – ДВС с керамическим покрытием гильз цилиндра

При $N_e = 16 \text{ кВт}$ содержание СН в отработавших газах ДВС с керамическим покрытием гильз приблизительно в 3 раза меньше, чем в ДВС с серийными гильзами. Причем, при снижении нагрузки до 4 кВт содержание СН в ДВС с керамическим покрытием гильз возрастает в 2 раза, а в ДВС с серийными гильзами остается практически без изменений, что указывает на значительное увеличение температуры около поверхности с керамическим покрытием при увеличении нагрузки. Содержание СО в отработавших газах ДВС с керамическим покрытием гильз меньше более чем на 40 % по сравнению с ДВС с серийными гильзами, и этот эффект сохраняется во всем диапазоне изменения N_e при работе обоих сравниваемых ДВС на пределе эффективного обеднения. Существенного влияния керамического покрытия на содержание в отработавших газах NO_x не обнаружено.

Исследования показали, что использование керамического покрытия на рабочей поверхности цилиндров ДВС, полученного методом электроокисления алюминия, позволяет уменьшить на 7–10 % потери на трение в паре «цилиндр – поршневые кольца» и снизить образование СО и СН при сгорании путем их догорания в локальных зонах камеры сгорания около поверхности с керамическим покрытием.

Заключение

Проведенные лабораторные исследования ДВС показали возможность эффективной каталитической очистки вредных веществ на стадии их образования в камере сгорания. В связи с этим в дальнейшем предполагается проведение исследований ДВС с керамическим покрытием поршня и алюминиевых стенок камеры сгорания, на которые нанесен катализатор.

Список литературы

1. Путинцев С.В., Аникин С.А., Сун Лисинь. Влияние баланса механических потерь на стратегию моделирования трибологических процессов в поршневых машинах // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей. Материалы IX Междунар. науч.-практич. конф., Владимир, 2003. С. 137–139.
2. Горбунов В.В., Патрахальцев Н.Н. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: Изд-во РУДН, 1998. – 214 с.

Материал поступил в редакцию 25.03.2011

**КУЗНЕЦОВ
Игорь Валентинович**

E-mail: kiv39@mail.msiu.ru
Тел. +7 (495) 675-62-42

Доктор технических наук, профессор кафедры автомобилей и двигателей МГИУ. Сфера научных интересов – теплотехника, двигатели внутреннего сгорания. Автор 65 научных работ, в том числе одной монографии и 33 изобретений.

**БАЖАНОВ
Виталий Идельевич**

E-mail: bazhanov@mail.msiu.ru
Тел. +7 (495) 620-39-55

Доктор химических наук, профессор. Заведующий кафедрой электротехники, теплотехники, гидравлики и энергетических машин МГИУ. Сфера научных интересов – теплотехника, двигатели внутреннего сгорания. Автор 70 научных работ в ведущих отечественных и зарубежных журналах.