
УДК: 621.793

**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ,
ПОЛУЧЕННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ**

Вашкевич Ф.Ф., Спильник А.Я., Есипова Е.С.

*ГВУЗ Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры*

Поршни двигателей внутреннего сгорания изготовленные из алюминиевого сплава, обладая рядом положительных качеств, имеет слабое сопротивление термическим ударам, возникающих при детонационном горении. Поэтому встал вопрос о защите днища поршня, т.е. о создании теплозащитного покрытия, его состава и способа его получения.

На роль теплозащитного покрытия подходят керамические материалы типа ZrO_2 , Al_2O_3 . Однако, эти материалы имеют малый коэффициент термического расширения, поэтому на алюминиевом сплаве при термическом ударе могут растрескиваться и отслаиваться. Применяя металлокерамические материалы, можно, меняя соотношение компонентов подобрать нужную композицию, которая будет стойкой к термическим ударам.

Из всех способов формирования керамического или металлокерамического покрытия газотермическое напыление является наиболее перспективным потому что:

- высокая температура плазменной струи (более 5000 °С) позволяет расплавлять любые материалы;
- возможность наносить покрытия на поверхность любого профиля;
- применение инертных плазмообразующих газов значительно снижает окисление подложки и повышает прочность сцепления;
- имеются большие возможности по регулированию технологических параметров при формировании покрытия.

Основными теплотехническими характеристиками защитных покрытий на днище поршня являются термостойкость и теплопроводность.

Термостойкость покрытий, т.е. стойкость покрытий при термическом ударе, является комплексной характеристикой работы покрытия. Она учитывает и пористость покрытий, и прочность сцепления.

При оценке термостойкости по стандартным методикам, т.е. по образцам, не учитывают особенности работы поршня: влияние скорости высокотемпературного газового потока, конструктивной особенности самого поршня, его массы. Поэтому в лаборатории был сконструирован стенд, позволяющий проводить испытания на термостойкость покрытий на поршнях натуральной величины и в автоматическом режиме.

Кинематическая схема такого стенда представлена на рис. 1

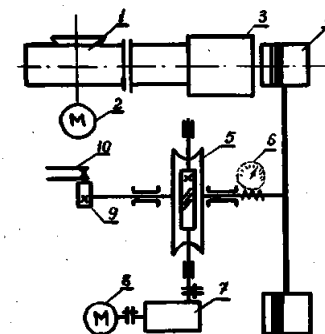


Рис.1 Кинематическая схема стенда для испытания покрытий на термостойкость.

1-вентилятор; 2-электродвигатель; 3-горелка; 4-поршень (образец); 5-червячный редуктор; 6-счетчик циклов; 7-редуктор; 8-двигатель; 9-эксцентрик; 10-датчик.

Проведение испытаний с помощью автоматического стенда, на реальных деталях, имеет ряд преимуществ:

- возможность точной установки времени нагрева и охлаждения, а значит и возможность получения более точного результата;
- идентичность испытания поршней, включая температуру детали;
- возможность одновременного испытания партии поршней;
- автоматическая фиксация циклов нагрев-охлаждение;
- возможность проведения длительных испытаний в непрерывном режиме.

Определялась термостойкость защитных покрытий на днищах поршней двигателя Д-65. Составы защитных покрытий и их термостойкость представлены в табл.1

Таблица 1.

Изменение термостойкости покрытий на днищах поршней в зависимости от их составов.

N поршней	Состав покрытий по слоям	Толщина отдельных слоев покрытия	Термостойкость в циклах 20°C →400°C
1-4	NiP+AlNiP+(Al ₂ O ₃ +NiP)+Al ₂ O ₃	0,03+0,1+0,08+0,11	242
5-8	AlNiP+(Al ₂ O ₃ +NiP)+Al ₂ O ₃	0,1+0,08+0,11	107
9-12	AlNiP+Al ₂ O ₃	0,09+0,2	179
13-16	AlNiP+(Al ₂ O ₃ +NiP)	0,09+0,2	63
17-20	AlNiP+(ZrO ₂ +Al)	0,09+0,2	279
21-24	Al ₂ O ₃	0,3	116
25-28	ZrO ₂ +NiP	0,31	196

Примечание: 1). Состав алюминиды никеля: 20%Al+80%NiP. 2). Композиция диоксид циркония-алюминий: 70% ZrO₂+30%Ni. 3). Состав композиционного порошка «оксид алюминия-никель»: 70%Al₂O₃+30%NiP 4). Композиция «диоксид циркония-никель»: 90% ZrO₂+10%NiP.

В ходе исследований выяснили влияние подслоя из NiP (поршни 1-4), слоя оксида алюминия (поршни 5-8 и 13-16) на термостойкость композиционного покрытия.

В исследуемых поршнях (1-28) отслоение покрытия начиналось по периметру головки поршня, т.е. наблюдался так называемый «краевой эффект» (место концентрации напряжений в покрытии, приводящее к его отслоению), которого избежать невозможно. Для уменьшения действия «краевого эффекта» можно рекомендовать уменьшение толщины покрытия у периферии головки поршня до 0,15÷0,19 мм при условии скругления всех острых выступов, фасок, кромок.

Четырехслойное покрытие, содержащее никель-фосфорный слой при испытаниях показало наибольшее количество термосмен (242), а тоже покрытие, но без NiP-107 термосмен, что в 2 раза ниже первого. Снижение термостойкости в этом случае можно объяснить предположительно тем, что слой из NiP препятствует росту оксидной пленки на поверхности сплава АК-4. Без этого слоя в поверхностных слоях подложки происходит окисление при температуре сгорания газа с воздухом (1100°C-1200°C) и продукты окисления поднимают покрытие. Роль защитного барьерного слоя выполняет керамика Al₂O₃, которая является жаростойким компонентом композиционного покрытия. Покрытие из чистой керамики без какого-либо подслоя показало при испытании 116 циклов (поршни 21-24). Аналогичные испытания на образцах показали на 16-30 циклов меньше. Эту разницу в термосменах на поршнях и образцах можно объяснить лишь различными термическими напряжениями в покрытии, которые зависят от формы и размеров детали. В данном случае напряжение в покрытии на головке поршня меньше, чем напряжение в покрытии на образце.

Без защитного слоя из Al₂O₃ термостойкость снижается и составляет для поршней № 21-24 63 термосмены. Очевидно, керамика препятствует окислению подложки из сплава АК-4 и таким образом повышает термостойкость. Следует учитывать и белый цвет керамики из Al₂O₃, благодаря которому при температуре T=1100°C происходит отражение части теплового потока от детали. Промежуточный слой из Al₂O₃+NiP является жаростойким и снижает термозащитные свойства композиционного покрытия. Из табл.1 видно, что без слоя Al₂O₃+NiP термостойкость составляет 179 циклов. Происходит окисление NiP в композиции Al₂O₃+NiP, что приводит к окислению всего покрытия.

Покрытие из композиции AlNiP +(ZrO₂+Al) при термоиспытаниях показано наибольшее количество циклов (279). Это объясняется высокой прочностью, высокой напыляемостью и экзотермическими свойствами порошка (ZrO₂+Al). Но в следствии высокой теплопроводности этого

покрытия оно не может быть рекомендовано в качестве теплозащитного покрытия для днища поршня.

На основании проведенных испытаний на термостойкость можно рекомендовать защитное покрытие состава: NiP+AlNiP+Al₂O₃.

Теплопроводность теплозащитных покрытий определялась на ГОСТИруемом приборе ИТλ-400. Была определена теплопроводность покрытий из диоксида циркония (ZrO₂), оксида алюминия (Al₂O₃) и циркона (ZrSiO₄) при различных толщинах в интервале температур от 25°C до 400°C.

Образец для определения теплопроводности (рис.2) готовился путем отслоения напыленного покрытия с последующей алмазной шлифовкой.

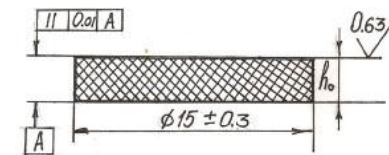


Рис.2. Образец для определения теплопроводности. Результаты измерений представлены графически на рис. 3.

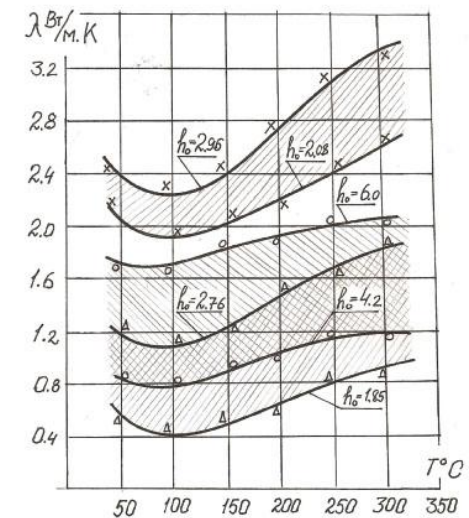


Рис.3. Теплопроводность керамических покрытий при различных толщинах (h_0)

x – оксид алюминия (Al₂O₃);

o – циркон (ZrSiO₄);

Δ - диоксид циркония (ZrO₂).

Анализ графиков, представленных на рис.3, показывает, что по теплопроводности покрытия в порядке увеличения их можно представить в виде ряда: $ZrO_2 \rightarrow ZrSiO_4 \rightarrow Al_2O_3$. Проведенные исследования показали, что существенное влияние на теплопроводность оказывает толщина образца.

Для всех материалов (ZrO_2 , $ZrSiO_4$, Al_2O_3) с увеличением толщины покрытия возрастает теплопроводность. Для уменьшения погрешности измерения теплопроводности покрытий или материалов с близкими по значению коэффициентами теплопроводности рекомендуется проводить сравнительные исследования на образцах одинаковой толщины.

На графиках в интервале температур от 0 до 50°C для всех покрытий наблюдаются сильные отклонения показаний от среднего значения. Это происходит, потому что измерение проводили при температуре окружающей среды 17-18°C и разность температур между образцом и холодильником мала, поэтому и большие погрешности. Для уменьшения погрешности при отсутствии азота исследование необходимо начинать с 50°C.

Проведение исследований показали, что применение стенов, в которых испытываются покрытия на реальных деталях, наиболее достоверно показывают теплотехнические характеристики.

Из рассматриваемых теплозащитных покрытий для днища поршня рекомендуется трехслойное покрытие, состоящее из подслоя NiP, наносимого методом химического осаждения, промежуточного слоя, состоящего из композиции Al_2O_3+NiP , полученного путем плакирования порошков и газотермическим напылением на днище поршня, а также защитного покрытия из Al_2O_3 , наносимого на днище поршня газотермическим напылением.

Поршни с нанесенным градиентным покрытием прошли промышленные испытания и показали высокую стойкость при форсированных режимах работы двигателя марки Д-65.

Литература:

1. Борисов Ю.С., Харламов Ю.А., Сидоренко С.А., Артадовская Е.Н. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник.-К.: Наукова думка.-1987.-543 с.
2. Вашкевич Ф.Ф., Харченко В.И., Журавлев В.И., Богомоллов А.Г. Некоторые свойства композиционного покрытия на основе меди и оксида алюминия // Строительство, материаловедение и машиностроение. Сборник научных трудов. Выпуск 26.-Днепропетровск.-2000.- 358-362 с.