

УДК 621.43.016.4

В.В. ШПАКОВСКИЙ, А.П. МАРЧЕНКО, О.Ю. ЛИНЬКОВ, В.В. ПЫЛЁВ

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина

ВЛИЯНИЕ КЕРАМИЧЕСКОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ПОРШНЯ НА РАЗМАХ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОЛНЫ

Приведены расчётные исследования высокочастотных колебаний температуры на поверхности теплоизолированного поршня двигателя внутреннего сгорания. Показано влияние коэффициента теплопроводности на величину размаха температурной волны. Установлено, что с уменьшением коэффициента теплопроводности максимальные значения размаха температурной волны растут, но возрастает и минимальное значение размаха температурной волны. При толщинах теплоизоляции более 0,12 – 0,16 мм рост максимальных значений амплитуды температурной волны замедляется, а минимальные значения амплитуды становятся наименьшими для всех указанных значений коэффициентов теплопроводности. Расчётные исследования позволяют определять параметры керамического слоя, обеспечивающие оптимальную температуру поверхности камеры сгорания.

Ключевые слова: *двигатель, поршень, керамический слой, теплоизоляция, амплитуда, температурная волна, глубина проникновения.*

Постановка проблемы

Определяющее влияние на технико-экономические показатели и ресурс двигателя оказывает температурное состояние деталей камеры сгорания (КС). Степень согласованности их температур с основными процессами, происходящими в КС, определяет уровень этих показателей. Из деталей цилиндропоршневой группы наиболее интенсивному нагреву подвергается поршень. При использовании теплоизоляции поршня надо учитывать не только стационарное температурное состояние поршня, но и колебания температуры на его поверхности. Проблема заключается в определении рациональных параметров теплоизоляции.

Выделение нерешенных частей общей проблемы

Нерешенной частью проблемы является расчёт высокочастотных колебаний температуры на поверхности теплоизолированного поршня и изменения характеристик колебания по глубине проникновения температурной волны при разных толщинах теплоизолирующего слоя.

Исследование температурных полей в теле поршня позволит осуществлять расчёты термической напряжённости и термической прочности поршня.

Анализ публикаций. Исследованиями ряда учёных [1 – 3] установлено, что при плёночном и объёмно-плёночном смесеобразовании оптимальная

температура стенок КС находится в пределах 250 – 350 °С. Другие исследователи [4] считают, что для большинства камер сгорания при работе на дистилляторных дизельных топливах температура поверхностей КС должна быть в пределах 320 – 380 °С.

В результате исследований [5] теплоизолированного поршня слоем циркония толщиной 6 мм установлено, что с увеличением толщины теплоизоляции (рис. 1) температура головки значительно возрастает и увеличивается от 315 до 697 °С. Размах колебания температуры поверхности по циклу составил при этом 100К.

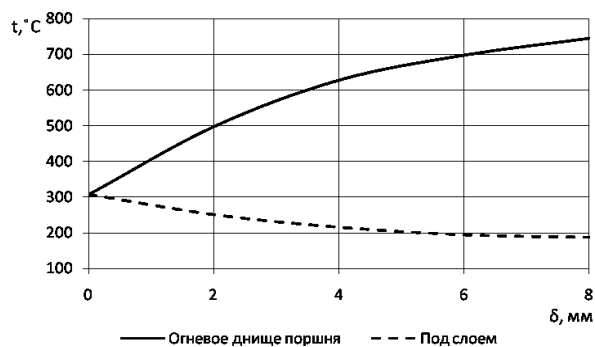


Рис. 1. Температура поверхности поршня при различной толщине теплоизоляции

В [6] показано, что температура деталей, изготовленных из материалов с низкой теплопроводностью может колебаться в широких пределах. Так для нимоника колебания составляют 40К при средней температуре стенки $T_w = 900\text{К}$, для нитрида крем-

ния – 60K при $T_w = 1050K$ и для окиси циркония – 180K при $T_w = 1100K$ (рис. 2).

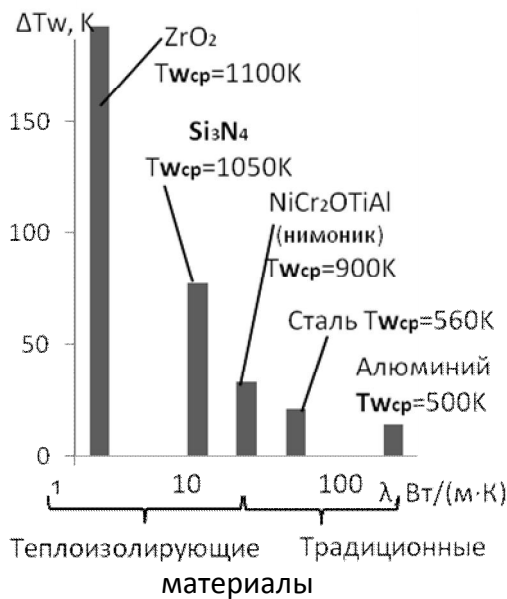


Рис. 2. Влияние материала стенки на размах колебаний температуры поверхности

Применение керамических покрытий толщиной 0,2 – 0,6 мм, полученных плазменным напылением [7], обеспечило снижение эффективного расхода топлива. Однако покрытия не выдерживали длительных динамических нагрузок и отслаивались от огневой поверхности.

Исследования температурного состояния поршня с теплоизоляцией малой толщины, затухания температурных волн по глубине стенки практически не проводились.

Цели и задачи исследований. Целью исследований является оценка температурного состояния и гашения колебаний температуры в теле поршня с керамической теплоизоляцией малой толщины. Была поставлена задача – выполнить расчёты высокочастотных колебаний температуры на поверхности теплоизолированного поршня, изменение амплитуды температурной волны в головке поршня для разных толщин теплоизолирующего слоя и оценить влияние коэффициента теплопроводности на величину амплитуды температурной волны. На основании расчётов определить такие параметры теплоизоляционного слоя (коэф. теплопроводности – λ и толщина его – δ), которые бы обеспечивали максимальное значение температуры, не превышающее 380 °C и обеспечивающее рациональный процесс сгорания.

Способы решения проблемы

Для исследования температурного состояния теплоизолированного поршня (накладкой, простав-

кой) потребуется решение сопряженной задачи нестационарной теплопроводности при идеальном и не идеальном контакте между элементами. Эта задача была решена на кафедре ДВС НТУ «ХПИ» [8, 9]. При использовании теплоизоляции поршня керамическим слоем, образованным гальваноплазменной обработкой алюминиевого сплава создана математическая модель нестационарной теплопроводности в поверхностном слое поршня ДВЗ [10]. Она позволила провести расчётные исследования высокочастотных колебаний температуры на поверхности теплоизолированного поршня, выполнить анализ изменения амплитуды температурной волны по глубине её проникновения при разных толщинах теплоизолирующего слоя и различных значениях коэффициента теплопроводности.

Для проверки правильности расчётной модели и сравнения наших результатов расчёта с расчётами [12] был произведен расчёт температурных колебаний на теплоизолированной поверхности с параметрами: $\lambda = 2$ Вт/(м·К) и $\delta = 5$ мм (рис. 3). Минимальное значение амплитуды температуры равнялось 657,5 °C, максимальное – 727,7 °C, среднецикловое значение температуры – 688,3 °C, что достаточно близко совпадает с расчётами в [11].

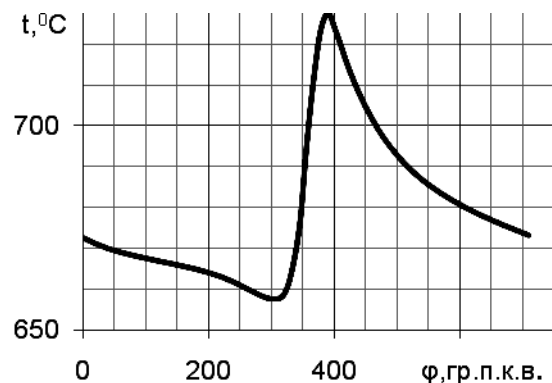


Рис. 3. Температурные волны при толщине теплоизоляции 5 мм

Обоснование научных и практических результатов

Расчётные исследования по влиянию коэффициента теплопроводности и толщины слоя теплоизоляции на величину размаха температурной волны на огневой поверхности поршня показали (рис. 4), что с уменьшением коэффициента теплопроводности максимальные значения температур растут свыше 400 °C, т.е. превышают рациональные значения температуры стенок КС. При толщинах теплоизоляции 0,12 – 0,16 мм рост максимальных значений температур замедляется, а минимальные становятся наименьшими для всех рассматриваемых

значений коэффициентов теплопроводности. Дальнейшее увеличение толщины теплоизоляции приводит к росту как максимальных, так и минимальных значений температуры.

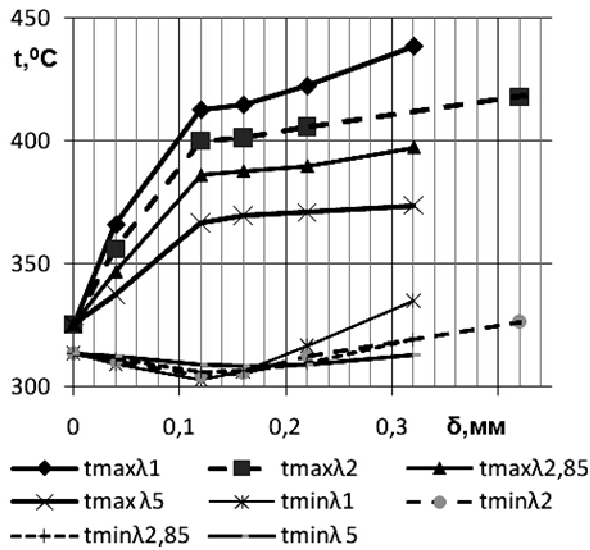


Рис. 4. Влияние коэффициента теплопроводности и толщины теплоизоляции на величину максимальных и минимальных температур поверхности теплоизолированного поршня

Максимальное значение амплитуды колебаний для $\lambda = 2,85$ Вт/(м·К) керамического слоя из Al_2O_3 при толщинах теплоизоляции 0,1 – 0,35 мм не превышают 400 °С, а минимальные значения амплитуды температурной волны не превышают значений температуры поверхности поршня без теплоизоляции.

Рассмотрим изменения амплитуд температурных волн при разных толщинах керамического корундового слоя по сравнению с поршнем без теплоизоляции (рис. 5).

При толщине $\delta = 0,04$ мм снижение минимальной температуры составило – 2,3К, а возрастание максимальной – 22К. С увеличением толщины слоя более 0,04 мм происходит резкое увеличение размаха температурной волны.

Фазовый сдвиг волны происходит в сторону больших углов п.к.в. Максимальное снижение температуры на поверхности поршня (при толщинах корундового слоя 0,12 – 0,16 мм) становится ниже температуры поверхности серийного поршня на 7,5К при $\varphi = 284$ гр.п.к.в. Наибольшее превышение температуры на 62К наблюдается при $\varphi = 384$ гр.п.к.в.

С увеличением толщины слоя более 0,25 мм минимальное значение температуры превышает уровень температуры поверхности неизолированного поршня. С ростом толщины корундового слоя до $\delta = 0,32$ мм, максимальная температура возрастает на 70К.

При толщине корундового слоя $\delta = 0,12$ мм (рис. 6) превышение температурной волны по сравнению с серийным поршнем на глубине 0,04 мм составило 30К, а на глубине 0,12 мм – 11К. При этом максимальное значение температурной волны на поверхности равно 337 °С.

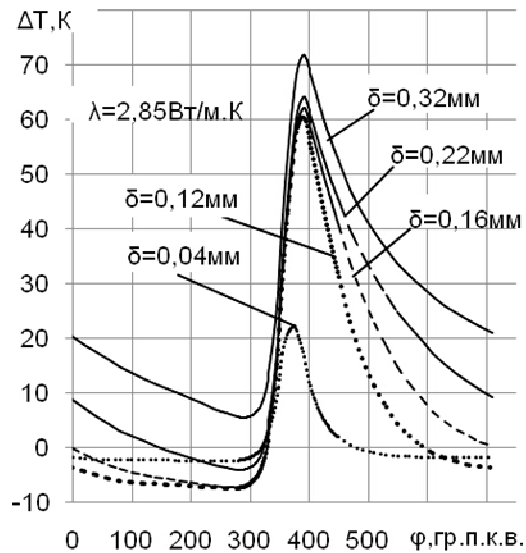


Рис. 5. Разность между амплитудами температурных волн на металлической и теплоизолированной поверхности поршня при разных толщинах корундового слоя

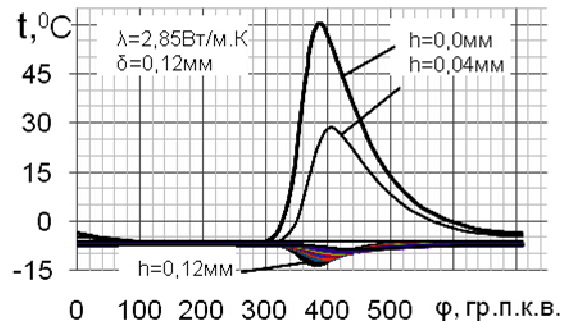


Рис. 6. Превышение температуры поверхности поршня при $\delta = 0,12$ мм над температурой неизолированной поверхности

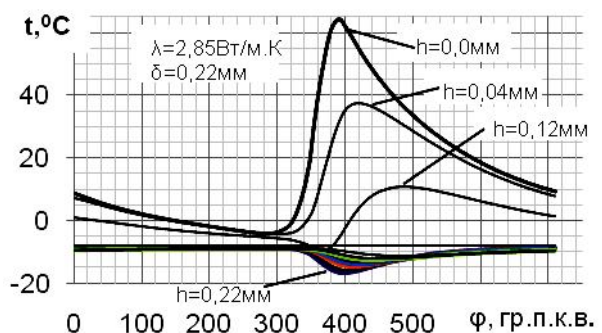


Рис. 7. Превышение температуры поверхности поршня при $\delta = 0,22$ мм над температурой неизолированной поверхности

При толщине корундового слоя $\delta = 0,22\text{мм}$ (рис. 7) снижение минимального значения температуры на поверхности корундового слоя составило – 4К, а на границе слоя – 15К.

При толщине слоя 0,32 мм (рис. 8) минимальное значение температуры превысило соответствующее значение температуры поверхности поршня без теплоизоляции и составило +5,5К. Теперь на впуске воздух будет догреваться от поверхности КС. Среднецикловая температура поверхности при этом вырастет до 354,5 °С, а максимальное значение температурной волны будет 438,7 °С.

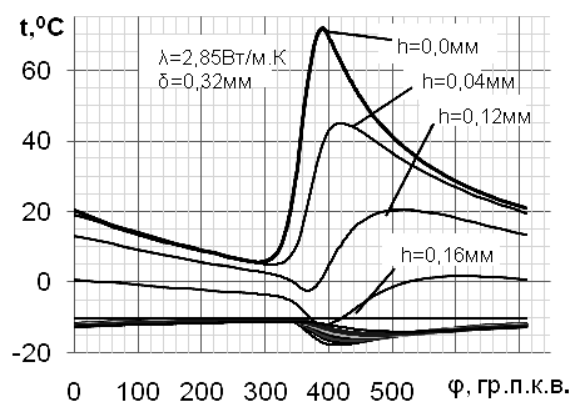


Рис. 8. Превышение температуры поверхности поршня при $\delta = 0,32\text{ мм}$ над температурой неизолированной поверхности

Выводы из данного исследования

1. Использование для теплоизоляции поршня накладок и вставок из низкотеплопроводных материалов усложняло конструкцию поршня, приводило к повышению максимальной температуры их поверхности до 600 – 800 °С и ухудшению процесса сгорания в КС с плёночным и объёмно-плёночным смесеобразованием.

2. Минимальная температура поверхности КС в цикле значительно превышала температуру поверхности поршня без теплоизоляции, что приводило к ухудшению процесса наполнения.

3. Применение керамических покрытий, нанесённых плазменным напылением, повышало эффективность работы двигателей, но теоретического обоснования эффективности применения теплоизоляционных покрытий не было.

4. Разработка математической модели нестационарной теплопроводности в поверхностном слое поршня ДВЗ позволила выполнить расчётные исследования высокочастотных колебаний темпера-

туры на поверхности теплоизолированного поршня и определить параметры керамического слоя, обеспечивающие оптимальную температуру поверхности КС.

Литература

1. Леонов О.В. Исследование плёночного смесеобразования / О.В. Леонов, Е.П. Камзолов // Изв. вузов. – М.: Машиностроение, 1961. – №1. – С. 116-122.
2. Камзолов Е.П. Исследование процесса воспламенения и сгорания топлива пари испарении его с нагретой стенки / Е.П. Камзолов // Изв. вузов. – М.: Машиностроение, 1961. – № 4. – С. 124-132.
3. Pischinger A. Der Einfud der wand bei der Verbrennung eines Brennstoffstranlesin einem Luftwirbef / A. Pischinger, F. Pischinger // MTZ. - 1959. – № 1. – P. 36-41.
4. Ермаков В.Ф. Оптимизация тепловых сопротивлений деталей цилиндров судовых дизелей / В.Ф. Ермаков // Двигателестроение. – 1979. – № 3. – С. 22-23.
5. Valland H. A teoretikal analysis of thermal barriers in diesel engine cylinders/ H. Valland, G.K. Wyspianski // Norwegian Marine Reasearh. – 1982. – № 10. – P. 2-34.
6. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях / Р.З. Кавтарадзе. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 591с.
7. Костин А.К. Теплонапряжённость двигателей внутреннего сгорания / А.К. Костин, В.В. Ларионов, Л.И. Михайлов. – М.: Машиностроение, 1979. – 222 с.
8. Третьяк Е.И. Математическая модель нестационарной теплопроводности камеры сгорания адиабатного дизеля / Е.И. Третьяк, А.Ф. Шеховцов, Ю.П. Волошин // Двигатели внутреннего сгорания. – 1970. – Вып. 35. – С. 6-14.
9. Третьяк Е.И. Влияние теплозащитной вставки на колебания температуры в поршне / Е.И. Третьяк, Ф.И. Абрамчук, А.И. Журавлёв // Двигатели внутреннего сгорания. – 1981. – Вып. 33. – С. 31-36.
10. Аналіз високочастотних коливань температури в поверхневому шарі поршня з теплоізолюючим покриттям / А.П. Марченко, В.О. Пильов, В.В. Шпаковський, В.В. Пильов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – № 1 – С. 65-71.
11. Woschni Gerhard Heat insulation of combustion chamber walls-a measure to decrease the fuel consumption of I.C. engines / Gerhard Woschni, Walter Spindler, Konrad Kolesa // SAE Techn. Pap. Ser. – 1987. – No. 870339. – 11 p.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой двигателей внутреннего сгорания Ф.И. Абрамчук, Харьковский национальный автомобильный университет, Харьков, Украина.

**ВПЛИВ КЕРАМІЧНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ПОРШНЯ
НА РОЗМАХ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ХВИЛІ**

В.В. Шпаковський, А.П. Марченко, О.Ю. Лінков, В.В. Пільов

Наведено розрахункові дослідження високочастотних коливань температури на поверхні теплоізолюваного поршня двигуна внутрішнього згорання. Показано вплив коефіцієнта теплопровідності на величину розмаху температурної хвилі. Установлено, що зі зменшенням коефіцієнта теплопровідності максимальні значення розмаху температурної хвилі ростуть, але зростає й мінімальне значення розмаху температурної хвилі. При товщинах теплоізоляції більше 0,12 – 0,16 мм ріст максимальних значень амплітуди температурної хвилі сповільнюється, а мінімальні значення амплітуди стають найменшими для всіх зазначених значень коефіцієнтів теплопровідності. Розрахункові дослідження дозволяють визначати параметри керамічного шару, що забезпечують оптимальну температуру поверхні камери згорання.

Ключові слова:двигун, поршень, керамічний шар, теплоізоляція, амплітуда, температура хвиля, глибина проникнення.

**AGENCY OF THE CERAMIC THERMAL INSULATION OF THE PISTON ON SCOPE
OF THE TEMPERATURE WAVE**

V.V. Shpakovsky, A.P. Marchenko, O.U. Linkov, V.V. Pylyov

Design researches of high-frequency oscillations of temperature on a corundum surface the piston of the explosive motor are instanced. Agency of coefficient of thermal conductivity on magnitude of scope of a temperature wave is shown. It is established, that with decrease of coefficient of thermal conductivity the maximum values of scope of a temperature wave grow, but the minimal value of scope of a temperature wave increases also. At thickness of the thermal insulation more than 0,12-0,16 mm growth of the maximum values of amplitude of a temperature wave is retarded, and the minimal values of amplitude become the least for all specified values of coefficients of thermal conductivity. Design researches allow defining the parameters of a ceramic layer providing optimum temperature of a surface of the combustion chamber.

Keywords: the propeller, the piston, a ceramic layer, the thermal insulation, amplitude, a temperature wave, a depth of penetration.

Шпаковский Владимир Васильевич – канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: Shpak70@rambler.ru.

Марченко Андрей Петрович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина.

Линков Олег Юрьевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина.

Пылёв Вячеслав Владимирович – студент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина.