

ВЛИЯНИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ГОЛОВКИ ПОРШНЯ НА ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЯ

Дударева Н.Ю., Шангареев Л.А., Ситдинов В.М.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, dudareva.nyu@ugatu.su

Ключевые слова: двигатель, покрытие, керамика, поршень, температура

Прогар поршня является серьезной проблемой, которая может привести к снижению эффективности работы двигателя и даже его поломке. Прогар обычно возникает из-за чрезмерного нагрева материала поршня, вызванного различными факторами: неправильным сгоранием топлива, недостаточным охлаждением, использованием некачественного топлива или высокой нагрузкой на двигатель [1]. Для защиты поршней от прогара обычно используются специальные покрытия, которые могут выдерживать высокие температуры и агрессивные условия внутри цилиндра двигателя. В качестве подобных покрытий довольно часто используются керамические покрытия. Однако в виду низкой теплопроводности такие покрытия меняют тепловое состояние двигателя. Оценить такое влияние довольно сложно, так как термодинамические расчеты двигателей внутреннего сгорания являются сложной задачей, при решении которой необходимо учитывать множество различных факторов, включая свойства материалов деталей двигателя и их конфигурацию [2].

В настоящее время для проведения термодинамических расчетов используются различные математические модели и компьютерные программы, которые позволяют симулировать работу двигателя и предсказывать состояние деталей. В данной работе была сформулирована *цель*: оценить влияние керамического покрытия на головке поршня, на тепловое состояние деталей двигателя.

Исследования проводились в программе SolidWorks Simulation, которая является одним из самых популярных расчетных пакетов. Для проведения моделирования использовались 3D модели деталей двигателя внутреннего сгорания типа РМЗ-551i.

Перед началом моделирования была проведена сборка цилиндропоршневой группы двигателя в программе SolidWorks [3]. Сборка состояла из четырех элементов (3D-деталей): поршня, гильзы, покрытия и головки. В качестве материалов деталей цилиндропоршневой группы задавались: алюминиевый высококремнистый сплав (Si 24-26%) – для поршня; керамический материал с коэффициентом теплопроводности $1,6 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ – в качестве материала покрытия головки поршня; алюминиевый сплав марки 1060 – для головки и легированная сталь – для гильзы. Для проведения расчетов использовались справочные характеристики перечисленных материалов.

Температурные нагрузки прикладывались к поверхностям деталей цилиндропоршневой группы и соответствовали реальным нагрузкам, действующим на поверхности этих деталей в процессе работы двигателя. Нагрузки были представлены температурами и коэффициентами конвективной теплоотдачи, значения которых были предварительно рассчитаны [4]. Исследование проводилось в четырех вариантах: 1 – без покрытия на днище поршня; 2 – с покрытием, толщина которого составляла 100 мкм; 3 – с покрытием, толщина которого составляла 200 мкм; 4 – с покрытием, толщина которого составляла 300 мкм.

Значения температуры деталей камеры сгорания определялись методом зондирования, при помощи специального инструмента в SolidWorks Simulation. Величина температуры измерялась на поверхности поршня, гильзы и головки в 20-ти точках, из которых 12 точек располагались на головке и стенке гильзы и 8 точек располагались на поршне.

Анализ полученных данных показал, что наибольший температурный эффект от керамического покрытия наблюдается в точке, которая расположена на поверхности покрытия, на кромке поршня. Покрытие толщиной 300 мкм увеличивает температуру в этой

точке на 71 К. Наличие покрытия вызывает нагрев и других областей поверхности головки поршня: так в центре головки поршня температура возрастает на 49 К, а в области среднего диаметра – на 58 К. Этот эффект связан с тем, что керамическое покрытие обладает низкой теплопроводностью, в результате чего поток тепла со стороны камеры сгорания блокируется и поверхность покрытия нагревается сильнее. Однако, несмотря на такой эффект, противоположная поверхность поршня, расположенная со стороны картера, благодаря покрытию становится холоднее. Обнаружено, что в центре поршня, на поверхности со стороны картера, при покрытии толщиной 300 мкм температура снижается на 13 К. Это значит, что керамическое покрытие имеет термоблокирующий эффект, снижая нагрев поршня. Покрытие оказывает влияние и на температуру других деталей камеры сгорания, но этот эффект не является таким значительным.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Государственного задания № FEUE-2023-0007 (УУНУТ).

Список литературы

1. Li Z., Li J., Chen Z., et al. Experimental and computational study on thermomechanical fatigue life of aluminium alloy piston // *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*. 2021. № 44. P. 141-155.
2. Helmisyah A.J., Ghazali M.J., Abdullah S. Characterisation of thermal barrier coating on piston crown for compressed natural gas direct injection (CNGDI) engines // *Applied Science and Engineering Progress*. 2012. Vol. 5, № 4. P. 73-77.
3. Дударева Н.Ю., Загайко С.А. Самоучитель Solidworks 2007. СПб.: Издательство БХВ-Петербург, 2007. 343 с.
4. Musin N, Dudareva N. Investigation of the effect of the coating formed by microarc oxidation on the piston top on the thermal state of the internal combustion engine parts // *MATEC Web of Conferences*. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment. 2018. Vol. 224. P. 03008.

Сведения об авторах

Дударева Наталья Юрьевна, доктор техн. наук, доцент, профессор кафедры двигателей внутреннего сгорания, область научных интересов: многофункциональные покрытия;

Шангареев Линар Азатович, без степени, без звания, студент кафедры двигателей внутреннего сгорания, область научных интересов: термодинамика двигателей;

Ситдигов Венер Мунирович, без степени, без звания, старший преподаватель кафедры самолетов, вертолетов и авиационных двигателей, область научных интересов: нанотехнологии в двигателестроении.

THE EFFECT OF THE CERAMIC COATING OF THE PISTON CROWN ON THE THERMAL CONDITION OF THE ENGINE CYLINDER PISTON GROUP

Dudareva N.Y., Shangareev L.A., Sitdikov V.M.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, dudareva.nyu@ugatu.su

Keywords: engine, coating, ceramics, piston, temperature

A study of the effect of the ceramic coating of the piston crown on the thermal condition of engine parts is presented. It was found that the coating increases the piston temperature on the coating surface, while simultaneously reducing the temperature on other surfaces of the piston.