

УДК 621.1

## К СНИЖЕНИЮ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОСТИ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В. М. Попов, А. А. Карпов, А. П. Новиков

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова»

Email: ap-noikov@mail.ru

Тенденция развития современного двигателестроения напрямую связана с формированием мощности поршневых двигателей, что сопровождается ростом теплонапряженности основных деталей системы камеры сгорания [1]. Вследствие расширения температурных пределов цикла растет теплонапряженность, в частности, выпускных клапанов. Вместе с тем известно [2], что надежность и долговечность функционирования выпускных клапанов зависит от поперечных и продольных градиентов температуры. Здесь также следует иметь в виду, что выпускные клапаны поршневых двигателей работают в специфических условиях, когда в зоне периодически контактирующих поверхностей фаски клапана и седла на пути теплового потока возникает контактное термосопротивление (КТС), приводящее к значительным температурным градиентам в теле клапана [3]. Последнее сопровождается концентрацией термических напряжений клапанов.

Для повышения надежности и долговечности выпускных клапанов двигателей проводятся мероприятия, включающие материаловедческие или конструкторские решения [4]. Однако вследствие отсутствия научно-обоснованных положений по физике протекающих в зоне контакта фаска клапана – седло тепловых процессов решение задачи по снижению КТС проблематично.

Вопросам теплопереноса через разъемные соединения из металлических поверхностей или так называемый контактный теплообмен посвящено большое число экспериментальных и теоретических исследований отечественных и зарубежных ученых [5-7]. В подавляющем большинстве исследовались процессы формирования КТС для соединений со статическими контактами, подвергаемыми механическим и температурным нагрузкам [8]. В рассматриваемом случае имеет место теплообмен в системах с периодически контактирующими металлическими поверхностями.

Попытки изучения такого рода теплообмена предприняты в работах авторов [9, 10]. В процессе экспериментальных исследований сделан вывод, что за счет большого числа факторов, оказывающих влияние на процесс теплообмена

через зону контакта периодически соприкасающихся поверхностей двух металлических стержней, смоделировать процесс формирования КТС чрезвычайно сложно. По этой причине предпочтение было отдано исследованиям на аналоговой машине, с помощью которой рассмотрена задача одномерной передачи тепла между периодически контактирующими стержнями.

В более приближенной к реальным условиям форме получено аналитическое решение процесса контактной теплопроводности через зону контакта поверхностей двух стержней в работе авторов [11]. С учетом метода разложения по собственным функциям краевой задачи предложен эволюционный алгоритм построения решения для циклов контактирования и разработана компьютерная программа по расчету температурного поля системы.

Для подтверждения предложенных положений создана опытная установка [12] и проведены экспериментальные исследования на натуральных образцах в виде стержней из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т с контактными поверхностями, обработанными с заданной шероховатостью.

Исследованиями установлено, что повышение частоты обработки на соприкасающихся поверхностях контактов приводит к снижению термосопротивления в зоне контакта, которое тем выше, чем больше отношение длительности контакта к длительности периода. Также выявлено влияние волнистости или макроотклонений формы поверхностей контакта, природы материалов контактных пар, температуры, давления и наличия на поверхности оксидных пленок. В процессе проводимых исследований в приложении к контактной паре фаска клапана-седло решался вопрос, как максимально снизить КТС. В основу были положены рекомендации по снижению КТС в ранее проведенных исследованиях для статических контактов [13, 14]. На упомянутой выше установке в режиме стационарности проведены специальные исследования согласно методике, изложенной в монографии [7], по формированию КТС для соединений с контактами, покрытыми гальваническим способом кадмием и медью, а также с прокладками из кадмия и свинца. Полученные в процессе исследований результаты приведены в таблице 1.

Из анализа полученных экспериментально данных следует, что наиболее эффективным в плане снижения КТС представляется способ, когда на одну из контактирующих поверхностей наносится гальваническим способом покрытие толщиной  $\delta = 60$  мкм. Достаточно высокая чистота обработки одной из контактирующих поверхностей и наличие кадмиевого покрытия при умеренных уси-

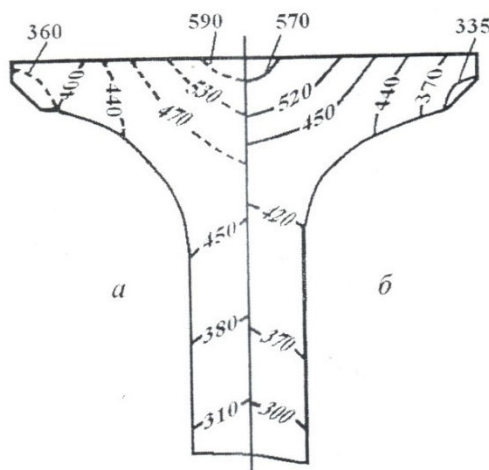
лиях прижима стержней позволяет создавать соединения с хорошей тепловой проводимостью. Этому способствует высокая пластичность кадмиевого покрытия и достаточно хорошая теплопроводность кадмия ( $\lambda = 93 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ ) в сравнении с теплопроводностью материала стержней ( $\lambda < 20 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ ). Таким образом, применяя предложенную технологию снижения КТС, можно почти в пять раз повысить теплопроводность через зону контакта. Вместе с тем следует учитывать усилие прижима поверхностей соединений. Очевидно, что при ударных нагрузках более надежным представляются соединения с медными покрытиями.

Таблица 1 – Результаты экспериментов по определению контактных термосопротивлений в зоне контакта стержней из стали марки 12Х18Н10Т при наличии на поверхностях контакта покрытий или прокладок

Материал покрытия или прокладки	Толщина покрытия или прокладки $\delta$ , мм	Температура в зоне контакта $T_k$ , К	Удельный тепловой поток $q \cdot 10^3, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	Усилие прижима $P$ , МПа	Контактное термосопротивление $R_{\text{к}} \cdot 10^4, \frac{\text{м}^2\cdot\text{К}}{\text{Вт}}$
Без заполнителя	–	382	60,3	0,12	1,45
Медное покрытие	0,08	380	72,8	0,12	0,61
Покрытие из кадмия	0,06	378	65,4	0,11	0,32
Прокладка из кадмия	0,1	380	63,4	0,12	0,84
Прокладка из свинца	0,2	375	62,8	0,12	0,73

Основываясь на приведенных выше результатах исследований предлагается технологический прием по снижению теплонапряженности и соответственно концентрации термических напряжений выпускных клапанов в, частности, дизельных двигателей. В основу данного приема заложено нанесение гальваническим способом медного покрытия на кромку фаски выпускного клапана.

Объектом исследования использован выпускной клапан быстроходного дизеля марки 6Ч12 / 12 (КАЗ – 4550), изготовленный из стали 55Х20Г9АНЧ. На кромку фаски клапана было нанесено медное покрытие толщиной  $\delta = 50$  мкм. На установке по исследованию контактного теплообмена [7] фиксировались значения температурных датчиков (хромель-алюмелевых термопар) на фрагментах в виде выпускных клапанов, имитирующих контактные пары, изготовленные по стандартной и по предлагаемой технологии с фасками, имеющими медные покрытия. На рисунке 1 представлены температурные поля выпускных клапанов дизеля 6Ч12/12.



*a* – стандартная технология изготовления; *б* – предлагаемая технология изготовления

Рисунок 1 – Температурное поле выпускного клапана дизеля марки 6Ч12 / 12

Сравнивая температурные поля клапанов, изготовленных по стандартной технологии и в модернизированном варианте, можно видеть, что во втором случае имеет место заметное снижение градиентов температуры вдоль образующей фаски клапанов.

При наличии гальванического покрытия в результате меньшей концентрации термических напряжений уменьшается зона разрушения фаски и таким образом повышается долговечность функционирования выпускных клапанов.

Предлагаемый метод снижения термических напряжений выпускных клапанов двигателей может быть реализован как на предприятиях, изготавливающих клапаны, так и на предприятиях, эксплуатирующих двигатели.

#### Библиографический список

1 Костин, А. К. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания [Текст] / А. К. Костин, В. А. Ларионов, Л. И. Михайлов. – Л. : Машиностроение, 1979. – 326 с.

2 Кавтарадзе, Р. З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях [Текст] / Р. З. Кавтарадзе // М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 592 с.

3. Дьяченко, Н.Х. Теплообмен в двигателях и теплонапряженность их деталей [Текст] / Н. Х. Дьяченко, С. Н. Дашков, А. К. Костин, М. М. Бурин. – Л. : Машиностроение, 1969. – 353 с.

4 Стародомский, М. В. Оптимизация температурного состояния деталей дизельных двигателей [Текст] / М. В. Стародомский, Е. А. Максимов. – Киев :

Наукова Думка, 1987. – 246 с.

5 Шлыков, Ю. П. Контактное термическое сопротивление [Текст] / Ю. П. Шлыков, Е. А. Ганин, С. Н. Царевский. – М. : Энергия, 1977. – 328 с.

6 Мадхусудана, К. В. Контактная теплопередача. Исследование последнего десятилетия [Текст] / К. В. Мадхусудана, Л. С. Флетчер // Аэрокосмическая техника. – 1987. – № 3. – С. 103-120.

7 Попов, В. М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений [Текст] / В. М. Попов. – М : Энергия, 1971. – 246 с.

8 Меснянкин, С. Ю. Современный взгляд на проблемы теплового контактирования твердых тел [Текст] / С. Ю. Меснянкин, А. Г. Викулов, Д. Г. Викулов // Успехи физических наук. – 2009. – Т. 179. – № 9. – С. 945-970.

9 Howard, I. R. An Analogue Study of Heat Transfer Through Periodically Contacting Surfaces [Text] / I. R. Howard, A. E. Satton // International Journal of Heat and Mass Transfer 1970. – Vol. 13. – Pp. 173-183.

10 Howard, I. R. An experimental Study of Heat Transfer Through Periodically Contacting Surfaces [Text] // International Journal of Heat and Mass Transfer 1976. – Vol. 19. – Pp. 367-372.

11 Chernyshov, A. D. Contact heat conduction through periodically contacting rods [Text] / A. D. Chernyshov, V. M. Popov, A. A. Karpov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2008. – V. 81. № 5. – Pp. 1021-1032.

12 Попов, В.М. Теплообмен через контактирующие металлические поверхности [Текст] / В. М. Попов, А. А. Карпов // Вестник Воронежского государственного технического университета. Серия «Энергетика». Вып. 7.4 Воронеж. 2004. – С. 11-13.

13 Мальков, В. А. Влияние покрытий и прокладок из мягких металлов на контактное термическое сопротивление [Текст] / В. А. Мальков, П. А. Добашин // Инженерно-физический журнал. – 1969. – Т. 17. – № 5. – С. 871-879.

14 Микич, Б. Влияние теплопроводности материала покрытия на термическое сопротивление контакта / Б. Микич, Г. Карнаскиами // Теплопередача. – 1970. – № 3. С. 168-175.