

УДК 621.431

РЕЗУЛЬТАТЫ МОТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Марьин Д.М., Салахутдинов И.Р., Молочников Д.Е., Мустякимов Р.Н., Гаязиев И.Н.

Реферат. Современные тенденции в двигателестроении направлены на улучшение мощностных и топливно-экономических показателей двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Это, в свою очередь, сопровождается увеличением механической и тепловой нагрузки на детали цилиндропоршневой группы (ЦПГ). Одной из наиболее нагруженных деталей ЦПГ является поршень. Перегрев поршня приводит к преждевременному износу трущихся поверхностей, залеганию поршневых колец и их поломкам, заклиниванию поршней, прогарам днища поршня и т.п. Современная технология может обеспечить защиту деталей двигателя, подверженных термическим нагрузкам, особенно поршней, путем использования структурного покрытия или специальных изолирующих материалов. Основная идея такого покрытия состоит в отражении тепловой энергии обратно в камеру сгорания, что должно предупреждать перегрев поршня. Теплозащитные покрытия наносят плазменным и детонационным методами, однако такие покрытия при работе разрушаются и поэтому они не нашли широкого применения для снижения температурного уровня поршня. Для улучшения теплоизоляционных свойств поршня предлагается на рабочих поверхностях головки поршня сформировать теплоизолирующее покрытие методом микродугового оксидирования (МДО). Отличительной особенностью МДО является участие в процессе формирования покрытия поверхностных микроразрядов, оказывающих весьма существенное и специфическое воздействие на формирующееся покрытие, в результате которого состав и структура получаемых оксидированных слоев существенно отличаются, а свойства значительно повышаются по сравнению с обычными анодными пленками. Проведенные сравнительные моторные испытания, результаты которых показали, что двигатель, оснащенный поршнями с теплоизолирующим покрытием на рабочих поверхностях головки, увеличивает мощность на 5,3 % и снижает часовой расход топлива на 5,7 %, по сравнению с двигателем, оснащенный типовыми поршнями.

Ключевые слова: двигатель, теплоизолирующее покрытие, мощность, расход топлива, микродуговое оксидирование.

Введение. Состояние развития современного двигателестроения характеризуется форсированным протеканием газодинамических, тепловых, мощностных и прочностных режимов их работы. В свою очередь они сопровождаются дальнейшим ростом теплонапряженности основных деталей, образующих камеру сгорания, что обусловлено изменением протекания рабочего процесса и показателей двигателя. Одной из наиболее нагруженных деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) является поршень, на который воздействуют высокие механические и тепловые нагрузки [1]. Перегрев поршня приводит к преждевременному износу трущихся поверхностей, залеганию поршневых колец и их поломкам, заклиниванию поршней, прогарам днища поршня и т.п.

Установлено, что в практике двигателестроения для снижения теплонапряженности поршней двигателя внутреннего сгорания (ДВС) применяются различные способы [2].

Основными недостатками этих способов является изменение геометрических параметров, усложнение их конструкции и охлаждающей системы двигателя, увеличение массы, и как следствие, снижение долговечности и надежности и др.

Современная технология может обеспечить защиту деталей двигателя, подвержен-

ных термическим нагрузкам, особенно поршней, путем использования структурного покрытия или специальных изолирующих материалов. Основная идея такого покрытия состоит в отражении тепловой энергии обратно в камеру сгорания, что должно предупреждать перегрев поршня [3].

Известно, что оснащение дизельного двигателя поршнями с теплоизолирующим керамическим покрытием толщиной 0,2 – 0,9 мм, позволяет уменьшить эффективный расход топлива на 6 – 8 г/(кВт·час), за счёт снижения потерь теплоты и более полного сгорания топлива, по сравнению с двигателем, оснащенный типовыми поршнями [4].

Проведенные экспериментальные исследования на дизельном двигателе 1ЧН18/20, оснащенный алюминиевыми поршнями с покрытием из окиси алюминия толщиной $(0,25 - 0,3) \cdot 10^{-3}$ м, показывают, что уменьшается эффективный расход топлива на номинальном режиме на 2,7 г/(кВт·час), а на дизельном двигателе 2ЧН21/21 при $n=1200$ мин⁻¹ и $\varphi_{оп}=36 - 38^\circ$ происходит снижение эффективного расхода топлива на 5,44 г/(кВт·час) [5].

При использовании теплоизолирующих покрытий из окиси алюминия толщиной $(0,2 - 0,25) \cdot 10^{-3}$ м на поршнях судового низкооборотного дизельного двигателя 1Ч 24/36 с объём-

ным смесеобразованием, вызвало уменьшение эффективного расхода топлива на нагрузках менее 45 % эффективной мощности двигателя на 2,5 – 13 г/(кВт·час) [6].

Известно, что для тепловой защиты рабочих поверхностей днища поршня и головки цилиндра ДВС использовались поршни и головки цилиндров с теплоизолирующим оксидным керамическим покрытием толщиной 0,06 мм, что позволило уменьшить теплоотвод от рабочих поверхностей деталей, снизить удельный расход топлива на 3,2% и увеличить максимальную мощность двигателя на 6% [7].

В результате испытаний дизельного двигателя Д-240Л установлено, что двигатель, оснащенный поршнями с теплоизолирующим корундовым покрытием, позволяет увеличить мощность на 8,6 % и снизить удельный расход топлива на 6,6 % по сравнению с двигателем, оснащенным типовыми поршнями.

В результате стендовых испытаний дизельного двигателя Д65НТ1, оснащенного поршнями с корундовым слоем и тефлоновым покрытием поверхностей трения, установлено снижение расхода топлива на 5,1%, увеличение развиваемой мощности с 44,72 кВт до 46,7 кВт, т.е. на 4,4%, что было обусловлено снижением суммарных тепловых и механических потерь на внутреннем трении. Произошло уменьшение дымности выхлопных газов с 46 до 30% [8].

Таким образом, теплозащитные покрытия, сформированные на рабочих поверхностях поршня, существенно улучшают работу дизеля. Снижаются «жесткость» процесса сгорания и максимальное давление при сгорании, что приводит к снижению шума, вибрации двигателя и токсичности отработавших газов. Увеличение скорости сгорания в основной фазе горения увеличивает полноту сгорания и обеспечивает более экономичный рабочий процесс.

Однако использование теплоизолирующих покрытий не нашли дальнейшего применения для улучшения теплоизоляционных свойств поршня, мощностных, топливно-экономических показателей двигателя, поскольку в процессе работы данные покрытия обладают двумя существенными недостатками: малой адгезионной прочностью на поршневых сплавах и низкой термостойкостью.

Условия, материалы и методы исследований. В последние годы одним из эффективных методов формирования теплоизолирующих покрытий является микродуговое оксидирование (МДО) [9], позволяющий создавать поверхностные покрытия, обладающие совершенно новыми теплопроводными свойствами, чем основной материал детали, при этом геометрические параметры и масса обрабатываемой



Рисунок 1 – Общий вид комплекта поршней с теплоизолирующим покрытием рабочих поверхностей головок

мой детали не изменяются.

На основании ранее проведенных исследований изготовлен экспериментальный комплект поршней с теплоизолирующим покрытием на рабочих поверхностях головки (рисунок 1) [10].

В результате выполненных исследований структуры и элементного состава образца фрагмента экспериментального поршня установлено, что теплоизолирующее покрытие имеет хорошую адгезию с основным материалом алюминиевого сплава, четкий рельеф и неоднороден по своему составу, трещин и изломов в области контакта «основной материал – теплоизолирующее покрытие» не имеется, отчетливо наблюдается взаимопроникновение теплоизолирующего покрытия в основу материала. Толщина теплоизолирующего покрытия составляет 24...31 мкм, пористость 10...11 % [8, 11].

Для сравнительной оценки мощностных, топливно-экономических и экологических показателей двигателей, в штатной (типовые поршни) и экспериментальной (поршни с теплоизолирующим покрытием) комплектациях, проведены по ГОСТ 14846-81 моторные испытания на тормозном стенде МЭЗ-Всетин 926-4/V со штатными контрольно-измерительными приборами.

Показатели двигателя при моторных испытаниях определялись в условиях скоростной и нагрузочной характеристики. Показатели нагрузочной характеристики двигателя определяли при частоте вращения коленчатого вала 2200 мин⁻¹, так как эта частота соответствует максимальному крутящему моменту по внешней скоростной характеристике двигателя УМЗ-421 и рекомендована заводом-изготовителем при снятии контрольных точек.

Скоростные и нагрузочные характеристики двигателя снимались после обкатки в течение 35 часов на нагрузочно - скоростных и температурных режимах.

Все системы и механизмы двигателя предварительно проверялись и регулировались, согласно руководству по эксплуатации автомобилей семейства УАЗ.

Анализ и обсуждение результатов исследований. В результате проведенных моторных испытаний были построены скоростные (рисунок 2) и нагрузочные (рисунок 3) харак-

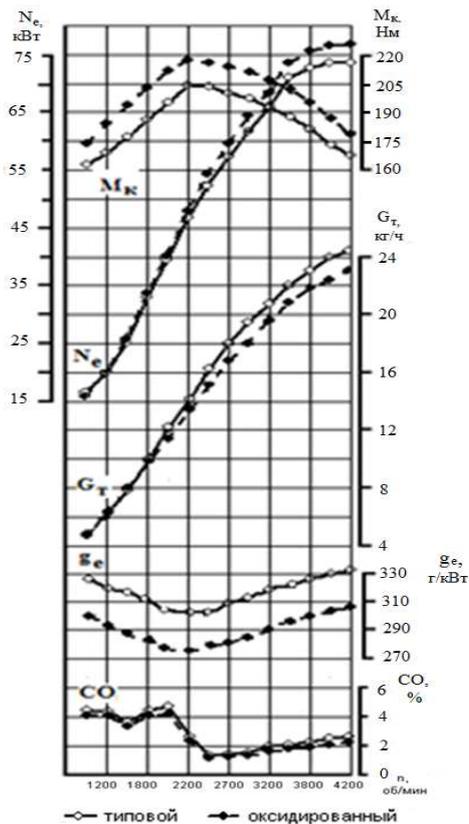


Рисунок 2 – Скоростная характеристика типового двигателя и экспериментального двигателя

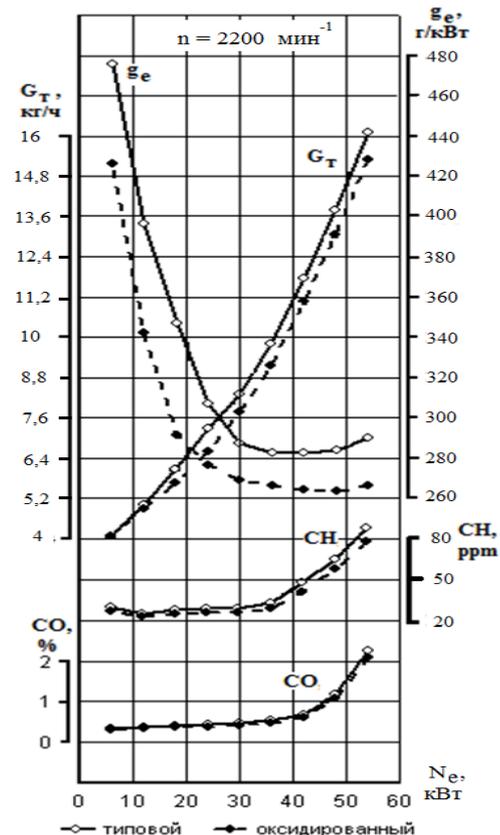


Рисунок 3 – Нагрузочная характеристика типового двигателя и экспериментального двигателя

теристики двигателей в штатной и экспериментальной комплектациях.

Анализируя скоростную характеристику типового и экспериментального двигателя, можно наблюдать, что эффективная мощность двигателя (N_e), оснащенного поршнями с теплоизолирующим покрытием растет во всем диапазоне частот вращения коленчатого вала.

При частоте вращения коленчатого вала 4200 мин^{-1} максимальная эффективная мощность двигателя, оснащенного поршнями с теплоизолирующим покрытием (рисунок 2) составила $77,5 \text{ кВт}$, что на $5,3 \%$ больше по сравнению с мощностью двигателя, оснащенного типовыми поршнями ($73,6 \text{ кВт}$). Удельный эффективный расход топлива (g_e) на режиме максимальной мощности ($n = 2200 \text{ мин}^{-1}$) у двигателя, оснащенного поршнями с теплоизолирующим покрытием снизился на $9,4 \%$ и составил $272,9 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$, тогда как у двигателя, оснащенного типовыми поршнями он равен $301,2 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ (рисунок 2), часовой расход топлива (G_T), составил соответственно $23,1 \text{ кг/ч}$ и $24,5 \text{ кг/ч}$ (рисунок 2).

При частоте вращения 2200 мин^{-1} максимальный крутящий момент (M_k) у двигателя, оснащенного поршнями с теплоизолирующим покрытием составил $217,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$, тогда как у

двигателя, оснащенного типовыми поршнями $204,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$ (рисунок 2).

Анализ полученных нагрузочных характеристик показывает (рисунок 3), что на режиме максимальных нагрузок часовой расход топлива у экспериментального двигателя при номинальной мощности 55 кВт составил $15,3 \text{ кг/ч}$, тогда как у типового двигателя - $16,1 \text{ кг/ч}$.

Замеры на содержание оксида углерода (CO) и углеводородов (CH) в отработавших газах показали, что у двигателя, оснащенного поршнями с теплоизолирующим покрытием, по сравнению с двигателем, оснащенного типовыми поршнями содержание CO снизилось в среднем на 13% , а CH на $9,3 \%$ (рисунок 3).

Заключение. По результатам проведенных испытаний установлено следующее: использование поршней с теплоизолирующим покрытием на рабочих поверхностях головок в двигателе УМЗ-421 позволяет повысить его эффективную мощность на $5,3 \%$, максимальный крутящий момент на $6,5 \%$, снизить часовой и удельный эффективный расходы топлива соответственно на $5,7 \%$ и $9,4 \%$, содержание в отработавших газах оксида углерода на 13% и углеводородов на $9,3 \%$, по сравнению с двигателем, оснащенный типовыми поршнями.

Литература

1. Сибриков, Д. А. Снижение теплонапряженности поршневых групп судовых дизелей / Д. А. Сибриков: Дисс. ... канд. техн. наук.- Новосибирск, 2004. – 122 с.
2. Woschni G., Klaus B., Zeilinger K. Untersuchung des Wärmetransportes zwischen Kolben, Kolbenringen und Zylinderbuchse // MTZ. 1998. Nr. 9. - P. 556–563.
3. Grot K., Thiemann W. Beitrag zur Brennraumisolierung bei Viertakt Dieselmotoren // Motortechnische Zeitschrift. – 1983. – P. 287-298.
4. Костин, А.К. Работа дизелей в условиях эксплуатации / А. К. Костин, Б.П. Пугачёв, Ю.Ю. Кочинев. - Л.: Машиностроение, 1989. - 286 с.
5. Никитин, М.Д. Теплозащитные и износостойкие покрытия деталей дизелей / М.Д. Никитин, А.Я. Кулик, Н.И. Захаров –Л.: Машиностроение. 1977. – 165 с.
6. Чигиринова, Н.М. Оксидные керамические покрытия - эффективная тепловая защита рабочих поверхностей деталей ЦПГ / Н.М. Чигиринова, В.В. Чигиринов, В.Е. Чигиринов // Автомобильная промышленность. – 2004. – №6. – С. 30-34.
7. Шпаковский, В.В. Анализ эффективности применения поршней с корундовым слоем для снижения расхода топлива / В.В. Шпаковский, О.Ю. Линьков // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – №10 (57.) – С. 140-144.
8. Wang, Z. Microstructure and properties of ceramic coatings produced on 2024 aluminum alloy by microarc oxidation / Z. Wang, L. Wu, Z. Jiang, W. Cai, A. Shan // Journal of Alloys and Compounds. - 2010. - № 1. Т. 505. - P. 188-193.
9. Результаты теоретических и экспериментальных исследований теплонапряженности поршня ДВС с окисленным днищем / А.Л. Хохлов, Д.М. Марьин, А.А. Глушенко, Д.А. Уханов // Нива Поволжья. – 2013. - №2 (27). – С. 100-106.
10. Марьин, Д.М. Структура и элементный состав окисленного слоя на днище и поршневых канавках поршня ДВС / Д.М. Марьин, А.Л. Хохлов, А.А. Глушенко // Новости передовой науки-2014. Материалы X Международной научно-практической конференции. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД., 2014. - С. 56-60.
11. Аюгин П.Н. Исследование процесса сгорания топлива в дизельном двигателе в зимних условиях / П.Н. Аюгин, Н.П. Аюгин, Р.Ш. Халимов, Р.К. Сафаров, Д.Е. Молочников, В.А. Голубев // Техника и оборудование для села. – 2015. – №8. – с. 20-23.

Сведения об авторах:

Марьин Дмитрий Михайлович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: marjin25@mail.ru
 Салахутдинов Ильмас Рифкатович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: ilmas.73@mail.ru
 Молочников Денис Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: denmol@yandex.ru
 Мустякимов Раиль Наильевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: musrail@yandex.ru
 ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», г. Ульяновск, Россия
 Газизев Ильнар Наилевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: gazel.81@mail.ru
 ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» г. Казань, Россия.

RESULTS OF MOTOR TESTS OF EXPERIMENTAL GASOLINE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Marin D.M., Salakhutdinov I.R., Molochnikov D.E., Mustyakimov R.N., Gayaziev I.N.

Abstract. Current trends in the engine industry are aimed at improving the power and fuel-economic indicators of an internal combustion engine (ICE). This, in turn, is accompanied by an increase in the mechanical and thermal load on the details of the cylinder-piston group (CPG). One of the most loaded parts of the CPG is the piston. Overheating of the piston leads to premature wear of rubbing surfaces, occurrence of piston rings and their breakdowns, jamming of pistons, burnouts of the piston bottom, etc. Modern technology can protect engine parts subject to thermal stresses, especially pistons, by using structural coatings or special insulating materials. The main idea of such a coating is to reflect thermal energy back into the combustion chamber, which should prevent the piston from overheating. Thermal protective coatings are applied by plasma and detonation methods, however, such coatings are destroyed during operation and therefore they are not widely used to reduce the temperature level of the piston. To improve the thermal insulation properties of the piston, it is proposed to form a heat-insulating coating on the working surfaces of the piston head by microarc oxidation (MAO). A distinctive feature of MAO is the participation in the process of covering formation of surface microdischarges that have a very significant and specific effect on the forming covering, as a result of which the composition and structure of the resulting oxidized layers are significantly different, and the properties are significantly increased compared to conventional anode films. Comparative motor tests, the results of which showed that an engine equipped with pistons with a heat-insulating coating on the working surfaces of the head, increase power by 5.3% and reduce fuel consumption by 5.7%, compared with an engine equipped with standard pistons.

Key words: engine, heat-insulating covering, power, fuel consumption, microarc oxidation.

References

1. Sibrikov D. A. *Snizhenie teplotnapyazhennosti porshnevyykh grupp sudovykh dizeley*. Diss. ... kand. tekhn. nauk. (Reducing the heat stress of the piston groups of marine diesel engines. / D. A. Sibrikov: Dissertation for a degree of Ph.D. of Technical Sciences). Novosibirsk, 2004. – P. 122.
2. Woschni G., Klaus B., Zeilinger K. Untersuchung des Wärmetransportes zwischen Kolben, Kolbenringen und Zylinderbuchse // MTZ. 1998. Nr. 9. - P. 556–563.
3. Grot K., Thiemann W. Beitrag zur Brennraumisolierung bei Viertakt Dieselmotoren // Motortechnische Zeitschrift. – 1983. – P. 287-298.

4. Kostin A.K. *Rabota dizeley v usloviyakh ekspluatatsii*. [The operation of diesel engines under operating conditions]. / A. K. Kostin, B.P. Pugachov, Yu.Yu. Kochinev. - L.: Mashinostroenie, 1989. – P. 286.
5. Nikitin M.D. *Teplozaschitnye i iznosostoykie pokrytiya detaley dizeley*. [Heat-proof and wear-resistant coverings of diesel parts]. / M.D. Nikitin, A.Ya. Kulik, N.I. Zakharov –L.: Mashinostroenie. 1977. – P. 165.
6. Chigirina N.M. Oxide ceramic coatings - effective thermal protection of the working surfaces of parts of the cylinder-piston group. [Oksidnye keramicheskie pokrytiya - effektivnaya teplovaya zaschita rabochikh poverkhnostey detaley TSPG]. / N.M. Chigirina, V.V. Chigirinov, V.E. Chigirinov // *Avtomobilnaya promyshlennost. - Automotive industry*. – 2004. – №6. – P. 30-34.
7. Shpakovskiy V.V. Analysis of the effectiveness of the use of pistons with a corundum layer to reduce fuel consumption. [Analiz effektivnosti primeneniya porshney s korundovym sloem dlya snizheniya raskhoda topliva]. / V.V. Shpakovskiy, O.Yu. Linkov // *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. - Aerospace engineering and technology*. – 2008. – №10 (57.) – P. 140-144.
8. Wang Z. Microstructure and properties of ceramic coatings produced on 2024 aluminum alloy by microarc oxidation / Z. Wang, L. Wu, Z. Jiang, W. Cai, A. Shan // *Journal of Alloys and Compounds*. - 2010. - № 1. Vol. 505. - P. 188-193.
9. The results of theoretical and experimental studies of the thermal stress of the piston of an internal combustion engine with an oxidized bottom. [Rezultaty teoreticheskikh i eksperimentalnykh issledovaniy teplonapryazhennosti porshnya DVS s oksidirovannym dnishchem]. / A.L. Khokhlov, D.M. Marin, A.A. Gluschenko, D.A. Ukhanov // *Niva Povolzhya. - Niva Volga*. - 2013. - №2 (27). – P. 100-106.
10. Marin D.M. *Struktura i elementnyy sostav oksidirovannogo sloya na dnische i porshnevnykh kanavkakh porshnya DVS*. // *Novosti peredovoy nauki - 2014. Materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. (The structure and elemental composition of the oxidized layer on the bottom and piston grooves of the internal combustion engine piston. / D.M. Marin, A.L. Khokhlov, A.A. Gluschenko // *News of advanced science - 2014. Proceedings of X International scientific and practical conference*). – Sofiya: “Byal GRAD-BG” OOD., 2014. - P. 56-60.
11. Ayugin P.N. Research of the fuel combustion process in a diesel engine in winter. [Issledovanie protsessa sgoraniya topliva v dizelnom dvigatele v zimnikh usloviyakh]. / P.N. Ayugin, N.P. Ayugin, R.Sh. Khalimov, R.K. Safarov, D.E. Molochnikov, V.A. Golubev // *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. - Technique and equipment for the village*. 2015. - №8.- P. 20-23.

Authors:

Marin Dmitriy Mikhaylovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: marjin25@mail.ru
 Salakhutdinov Ilmas Rifkatovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: ilmas.73@mail.ru
 Molochnikov Denis Evgenevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: denmol@yandex.ru
 Afterlyakimov Rail Nailievich – Ph.D. of technical sciences, associate professor, e-mail: musrail@yandex.ru
 Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Ulyanovsk, Russia.
 Gayaziev Ilnar Nailevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: gazel.81@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.