



МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE SCIENCE

DOI 10.22363/2312-8143-2020-21-3-175-180

УДК 629.113.004.67

Научная статья

Снижение износа юбок поршней двигателей внутреннего сгорания

А.Р. Асоян^а, А.С. Горшков^б, А.Х. Израелян^б

^аМосковский автомобильно-дорожный государственный технический университет,
Российская Федерация, 125319, Москва, Ленинградский пр-кт, д. 64

^бРоссийский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

История статьи:

Поступила в редакцию: 22 декабря 2019 г.

Доработана: 22 апреля 2020 г.

Принята к публикации: 23 июля 2020 г.

Ключевые слова:

поверхностно-пластическое деформирование, повышение эксплуатационного ресурса поршня, снижения коэффициента трения, двигатель внутреннего сгорания

Аннотация. Значительная доля механических потерь в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) приходится на цилиндропоршневую группу. В зависимости от режимов работы двигателя внутреннего сгорания возможно контактное взаимодействие в паре «поршень – цилиндр», что приводит к износу рабочих поверхностей ресурсопределяющих элементов и снижению эксплуатационного ресурса силового агрегата в целом. В связи с этим снижение потерь на трение в элементах ДВС и, в частности, сопряжении «поршень – гильза цилиндров» является актуальным. Решением данных задач занимаются как отечественные, так и зарубежные исследователи, предложены различные профили поршней, методы расчета параметров масляного слоя, но практическое состояние вопроса обуславливает актуальность исследований в этом направлении. В работе рассмотрена возможность снижения износа юбок поршней за счет уменьшения контактной поверхности в сопряжении и обеспечения масляной пленки в зоне трения не зависимо от режимов работы двигателя. Данная возможность реализуется путем формирования определенного макропрофиля на рабочей поверхности юбки поршня. Формирование макро рельефа производилось путем поверхностного пластического деформирования с возвратно-поступательным перемещением сферического инструмента по обрабатываемой поверхности.

Введение

В процессе работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) наиболее нагруженными являются элементы цилиндропоршневой группы [1; 2].

Асоян Артур Рафикович, профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис» МАДИ; доцент департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии РУДН; доктор технических наук, доцент; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1976-9376>; asoyan.ar@mail.ru
Горшков Александр Сергеевич, аспирант департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии РУДН.
Израелян Ани Хачатуровна, аспирант департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии РУДН.

© Асоян А.Р., Горшков А.С., Израелян А.Х., 2020

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Особенность ДВС заключается в многофакторности показателей надежности и большом диапазоне условий и режимов эксплуатации. Аварийный режим складывается из суммарного действия многих, в том числе случайных, факторов [3]. Обеспечение надежной и долговечной работы двигателей внутреннего сгорания – основная задача двигателестроителей. Главным узлом ДВС является цилиндропоршневая группа (ЦПГ), надежная и долговечная работа которой является важным условием для достижения высоких эффективных показателей двигателя в целом [4].

Общеизвестно, что сила давления газов нагружает поршни, гильзы цилиндров, головку блока и другие элементы, вызывая в них напряжения изгиба. В процессе рабочего цикла сила меняет свою величину и может быть определена по индикаторной диаграмме

$$P_{\Gamma} = f(S) \text{ или } P_{\Gamma} = f(V),$$

где S – ход поршня, м; V – объем цилиндра ($V_h + V_c$), м³ или расчетом.

На кривошипно-шатунный механизм действуют давление газов P_{Γ} , силы инерции P_j , силы веса P_g и силы трения $P_{\text{тр}}$ (рис. 1).

Суммарная движущая сила будет равна:

$$P_{\Sigma} = P_{\Gamma} + P_j + P_g + P_{\text{тр}}. \quad (1)$$

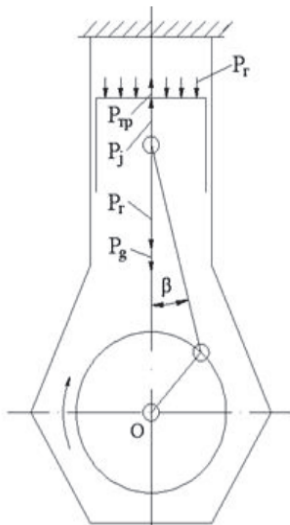


Рис. 1. Силы, действующие в кривошипно-шатунном механизме
[Figure 1. Forces acting in a crank arm]

Действующая на поршень сила P_{Γ} направлена вниз и в совокупности с силами инерции нагружает поршень. Давление газов и сила инерции действуют в направлении оси цилиндра (рис. 1) и по ходу движения поршня, меняют свою величину, достигая максимумов в «мертвых» точках поршня.

На первой половине хода поршня от верхней мертвой точки к нижней мертвой точке (рис. 2) сила P_j направлена вверх и препятствует движению поршня (в этот период работа силы инерции отрицательна), а на второй половине хода поршня сила инерции положительна (направлена вниз) и таким образом способствует движению поршня [5].

Сила давления газов определяется по формуле

$$P_{\Gamma} = (p_{\Gamma} - p_0)F_{\text{П}}, \quad (2)$$

где p_{Γ} – давление газов в цилиндре, МПа; p_0 – давление под поршнем, давление в картере двигателя, МПа; $F_{\text{П}}$ – площадь поршня, м².

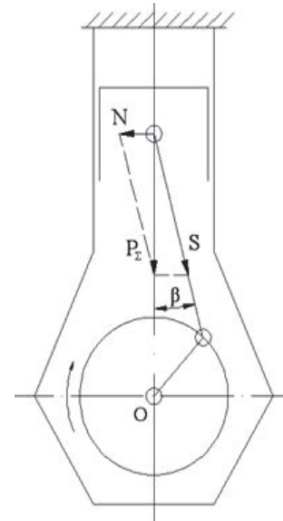


Рис. 2. Разложение суммарной движущей силы в кривошипно-шатунном механизме
[Figure 2. Decomposition of the total driving force in crank]

Внешней нагрузкой юбки поршня является боковая сила – совокупность действий газовых и инерционных сил [6].

Приложив силу P_{Σ} , определим нормальное усилие N , действующее на юбку поршня (боковую силу),

$$N = P_{\Sigma} \operatorname{tg} \beta, \quad (3)$$

где $\beta = \arcsin(\lambda \sin \varphi)$ – угол отклонения оси шатуна от оси цилиндра и усилие, направленное вдоль оси шатуна,

$$S = P_{\Sigma} / \cos \beta, \quad (4)$$

Сила N прижимает поршень к стенкам цилиндра, вызывает перекадку поршня в цилиндре, влияет на трение и износ поверхностей цилиндра и поршня. Сопутствующим фактором при этом является скорость движения поршня.

Описанные элементы относятся к динамически нагруженным, для которых, как обосновано в работах Ф.Н. Авдоськина [7; 8], справедлива экспоненциальная зависимость износа l от нагрузки:

$$l = S_0 e^{bl}, \quad (5)$$

где S_0 – износ в конце периода приработки, приведенный к началу эксплуатации; b – изменение интенсивности изнашивания на единицу износа.

Характер действующих нагрузок на рабочую поверхность гильзы цилиндров и поршень обуславливает изменение формы рабочих поверхностей описанных элементов в виде овальности, которая в процессе эксплуатации возрастает.

С целью снижения коэффициента трения при касании юбок поршней о стенки цилиндров в процессе эксплуатации при производстве поршней на рабочую часть юбок поршней наносят антифрикционное твердосмазочное покрытие на основе мелкодисперсного дисульфида молибдена и графита, полимер тетрафторэтилена (тефлон) и др.



Рис. 3. Износ антифрикционного покрытия на юбке поршня
[Figure 3. Wear of the anti-friction coating on the piston skirt]

Но практика показывает, что используемая технология с применением антифрикционного твердосмазочного покрытия малоэффективна, и при контакте рабочих поверхностей происходит

истирание нанесенного покрытия (рис. 3), особенно при граничных условиях смазки сопрягаемых поверхностей (при запуске двигателя). Первоначальный запуск двигателя соответствует высокому износу и расходу топлива – примерно на 10 % больше, чем в нормальных условиях эксплуатации, вследствие отсутствия смазывающей жидкости между трущимися деталями, ввиду ее стекания с течением времени [9].

Известно, что в зависимости от режимов работы двигателя основную долю режимов трения в сопряжении «поршень – цилиндр» занимает гидродинамический режим – 52 %, далее следуют смешанный – 39 % и граничный – 9 % [10; 11].

В общем случае сила трения F_{mp} определяется по формуле

$$F_{mp} = S (\mu v / h), \quad (6)$$

где S – площадь поверхности трения; μ – вязкость масла; v – скорость скольжения поверхностей относительно друг друга; h – толщина масляного слоя.

Таким образом, потери на трение можно снизить, увеличив толщину масляного слоя (h). Но в рассматриваемом случае толщина масляного слоя ограничивается величиной зазора в сопряжении, который мы не можем изменить.

2. Моделирование процесса

Коэффициент трения можно снизить за счет уменьшения площади контактной поверхности и локального увеличения толщины масляного слоя в специально сформированных макрополостях. Для этого предлагается на рабочей поверхности юбок поршней производить формирование определенного макрорельефа с целью снижения контактной поверхности и удержания масла в образованных полостях, что позволит гарантированно обеспечивать масляный слой между соприкасающимися поверхностями.

В ходе исследования производилось моделирование процесса работы поршня с сформированным макропрофилем на рабочей поверхности юбки (рис. 4).

Система автоматизированного проектирования включает широкий набор различных функций трехмерного моделирования твердых тел, что важно при работе со сложными моделями узлов и деталей во время проектирования изделий. В используемом программном обеспечении

моделировалось течение потоков жидкости по заданным направлениям [12–14].

Формирование макрорельефа производилось путем поверхностного пластического деформи-

рования с возвратно-поступательным перемещением сферического инструмента по обрабатываемой поверхности. В результате на поверхности образовался синусоидальный профиль (рис. 5) [15].

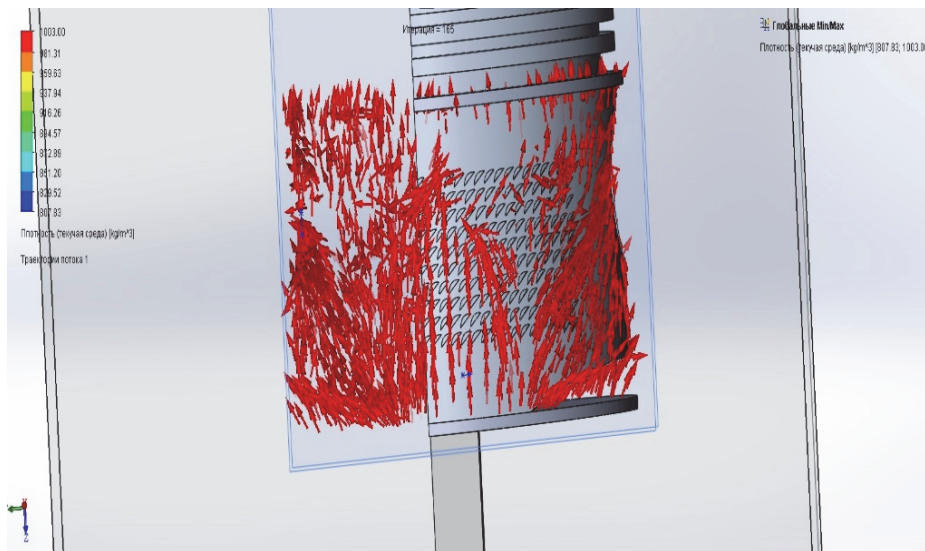


Рис. 4. Моделирование процесса работы поршня с сформированным макропрофилем на рабочей поверхности юбки [Figure 4. Modeling of the piston operation with the formed macro profile on the working surface of the skirt]

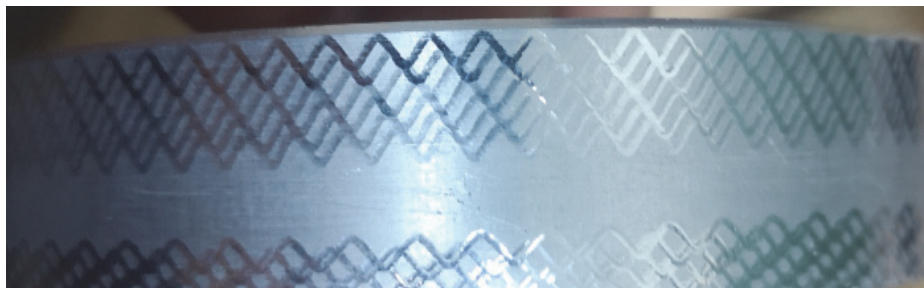


Рис. 5. Профиль образуемого макрорельефа [Figure 5. Profile of the formed macrorelief]

Сформированные углубления на поверхности юбки поршня способствуют удержанию масла в рабочей зоне независимо от режимов работы двигателя.

Дальнейшее исследование направлено на определение оптимального рисунка макропрофиля и места расположения его на юбке поршня.

Заключение

Предложено техническое решение, позволяющее снизить коэффициент трения в паре «поршень – цилиндр» при любых режимах работы двигателя и повысить эксплуатационный ресурс поршня.

Список литературы

1. Луканин В.Н., Алексеев И.В., Шатров М.Г. и др. Двигатели внутреннего сгорания: в 3 кн. Кн. 2. Динамика и конструирование: учебник / под ред. В.Н. Луканина. М.: Высшая школа, 1995. 319 с.
2. Чайнов Н.Д. и др. Конструирование двигателей внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 2008. 496 с.
3. Коченов В.А. Определение причин преждевременных отказов двигателей внутреннего сгорания // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2013. № 2 (58). С. 47–49.
4. Бутусов И.А., Дударева Н.Ю. Исследование влияния микродугового окисления на износостойкость поршня ДВС // Наука и образование: научное издание МГТУ имени Н.Э. Баумана. 2013. № 9. С. 127–144. doi: 10.7463/0913.0606017.

5. *Возницкий И.В., Пунда А.С.* Судовые двигатели внутреннего сгорания. Т. 1. 2-е изд., перераб. и доп. М.: МОРКНИГА, 2010. С. 20.

6. *Путинцев С.В.* Механические потери в поршневых двигателях: специальные главы конструирования, расчета и испытаний. М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2011. С. 58.

7. *Авдонькин Ф.Н.* Оптимизация изменения технического состояния автомобиля. М.: Транспорт, 1993. 352 с.

8. *Авдонькин Ф.Н.* Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей. М.: Транспорт, 1985. 215 с.

9. *Roberts A., Brooks R., Shipway P.* Internal combustion engine cold-start efficiency: a review of the problem, causes and potential solutions // *Energy Conversion and Management*. 2014. Vol. 82. Pp. 327–350.

10. *Путинцев С.В.* Механические потери в поршневых двигателях: специальные главы конструирования, расчета и испытаний. М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2011. С. 41–42.

11. *Шабашевич Б.Э., Адамович А.В.* Исследование потерь на трение в поршневой группе дизеля Д-50 // *Тракторы и сельхозмашины*. 1970. № 8. С. 13–15.

12. *Гузнецов В.Н., Журбенко П.А., Бондарева Т.П.* SolidWorks 2016, трехмерное моделирование деталей

и выполнение электронных чертежей. М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2017.

13. *Блаховский Х.П.* Новый метод разработки двигателей – концепция виртуального двигателя. URL: <http://aps-c.ru/publications/virtual.pdf> (дата обращения: 20.04.2020).

14. Опыт фирмы AVL List GmbH в применении методов моделирования для разработки двигателей и автомобилей. URL: <http://docplayer.ru/31416776-Опыт-фирмы-avl-list-gmbh-v-primenenii-metodov-modelirovaniya-dlya-razrabotki-dvigatelyey-i-avtomobiley.html> (дата обращения: 20.04.2020).

15. *Пушкарев Д.В., Батинов И.В.* Формирование регулярного микрорельефа в отверстиях малого диаметра // *Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. XXXIII Междунар. науч.-практ. конф. № 4(29)*. Новосибирск: СибАК, 2014.

Для цитирования

Асоян А.Р., Горшков А.С., Израелян А.Х. Снижение износа юбок поршней двигателей внутреннего сгорания // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2020. Т. 21. № 3. С. 175–180. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-3-175-180>

DOI 10.22363/2312-8143-2020-21-3-175-180

Research article

Less wear on the piston skirts of internal combustion engines

Arthur R. Asoyan^a, Alexander S. Gorshkov^b, Ani H. Israelyan^b

^aMoscow Automobile and Road State Technical University, 64 Leningradskii Ave, Moscow, 125319, Russian Federation

^bPeoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation

Article history:

Received: December 22, 2019

Revised: April 22, 2020

Accepted: April 23, 2020

Keywords:

surface-plastic deformation, increasing the service life of the piston, reducing the coefficient of friction, internal combustion engine

Abstract. A significant proportion of mechanical losses in internal combustion engines accounted for mechanical losses in the cylinder-piston group. Depending on the operating modes of the internal combustion engine, contact interaction in the piston-cylinder pair is possible, which leads to wear of the working surfaces of the resource-determining elements and a decrease in the operational life of the power unit as a whole, in connection with which the reduction of friction losses in the internal combustion engine elements and the piston – cylinder liner coupling in particular is relevant. Both domestic and foreign researchers are engaged in the solution of the above described problems, various profiles of pistons, methods of calculating the parameters of the oil layer are proposed, but the practical state of the issue determines the relevance of research in this direction. The paper considers the possibility of reducing the wear of piston skirts by reducing the contact surface in conjugation and providing an oil film in the friction zone, regardless of engine operating conditions. This opportunity is realized by forming a certain macro profile on the working surface of the piston skirt. The formation of the macrorelief was carried out by means of surface plastic deformation, with the reciprocating movement of a spherical tool on the machined surface.

Arthur R. Asoyan, Professor of the Department of Automotive Transport and Car Service of the MADI; Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Instrument Engineering of the Academy of Engineering of the RUDN University; Doctor of Technical Sciences; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1976-9376>; asoyan.ar@mail.ru

Alexander S. Gorshkov, graduate student of the Department of Mechanical Engineering and Instrument Engineering of the Academy of Engineering of the RUDN University.

Ani H. Israelyan, graduate student of the Department of Mechanical Engineering and Instrument Engineering of the Academy of Engineering of the RUDN University.

References

1. Lukanin VN, Alekseev IV, Shatrov MG, et al. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Kn. 2. Dinamika i konstruirovaniye [Internal combustion engines. Part 2. Dynamics and design]*. Moscow: Vysshaya shkola Publ.; 1995. (In Russ.)
2. Chainov ND, et al. *Konstruirovaniye dvigatelei vnutrennego sgoraniya [Design of internal combustion engines]*. Moscow: Mashinostroenie Publ.; 2008. (In Russ.)
3. Kochenov VA. Opredeleniye prichin prezhdevremennykh otkazov dvigatelej vnutrennego sgoraniya [Determining the causes of premature failures of internal combustion engines]. *Vestnik FGOU VPO MGAU*. 2013;2(58):47–49. (In Russ.)
4. Butusov IA, Dudareva NYu. Influence of micro-arc oxidation on durability of IC-engine's piston. *Science and Education of the Bauman MSTU*. 2013;9:127–144. doi: 10.7463/0913.0606017. (In Russ.)
5. Voznitskii IV, Punda AS. *Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniya [Marine internal combustion engines]*. 2nd ed. Moscow: MORKNIGA Publ.; 2010. p. 20. (In Russ.)
6. Putintsev SV. *Mekhanicheskie poteri v porshnevnykh dvigatelyakh: spetsial'nye glavy konstruirovaniya, rascheta i ispytaniy [Mechanical losses in piston engines: special chapters of design, calculation and testing]*. Moscow: Bauman MSTU Publ.; 2011. p. 58. (In Russ.)
7. Avdonkin FN. *Optimizatsiya izmeneniya tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobilya [Optimization of changes in the technical condition of a car]*. Moscow: Transport Publ.; 1993.
8. Avdonkin FN. *Teoreticheskie osnovy tekhnicheskoi ekspluatatsii avtomobilei [Theoretical foundations of the technical operation of cars]*. Moscow: Transport Publ.; 1985. (In Russ.)
9. Roberts A, Brooks R, Shipway P. Internal combustion engine cold-start efficiency: a review of the problem, causes and potential solutions. *Energy Conversion and Management*. 2014;82:327–350.
10. Putintsev SV. *Mekhanicheskie poteri v porshnevnykh dvigatelyakh: spetsial'nye glavy konstruirovaniya, rascheta i ispytaniy [Mechanical losses in piston engines: special chapters for design, calculation and testing]*. Moscow: Bauman MSTU Publ.; 2011. p. 41–42. (In Russ.)
11. Shabashevich BE, Adamovich AV. Issledovaniye poteri na treniye v porshnevoi grupe dizelya D-50 [The study of friction losses in the piston group of a D-50 diesel]. *Traktory i sel'khoz mashiny [Tractors and agricultural machinery]*. 1970;(8):13–15. (In Russ.)
12. Guznenkov VN, Zhurbenko PA, Bondareva TP. SolidWorks 2016, trekhmernoe modelirovaniye detalei i vypolneniye elektronnykh chertezhei [SolidWorks 2016, three-dimensional modeling of parts and the implementation of electronic drawings]. Moscow: Bauman MSTU Publ.; 2017. (In Russ.)
13. Blakhovskii KhP. *Novyi metod razrabotki dvigatelei – kontseptsiya virtual'nogo dvigatelya [A new method of engine development – the concept of a virtual engine]*. (In Russ.) Available from: <http://aps-c.ru/publications/virtual.pdf> (accessed: 20.04.2020).
14. *Opyt firmy AVL List GmbH v primenenii metodov modelirovaniya dlya razrabotki dvigatelei i avtomobilei [Experience of AVL List GmbH in the application of modeling methods for the development of engines and automobiles]*. (In Russ.) Available from: <http://docplayer.ru/31416776-Opyt-firmy-avl-list-gmbh-v-primenenii-metodov-modelirovaniya-dlya-razrabotki-dvigatelay-i-avtomobiley.html> (accessed: 20.04.2020).
15. Pushkarev DV, Batinov IV. Formirovaniye regul'yarnogo mikrorel'efa v otverstiyakh malogo diametra [Formation of a regular micro-relief in holes of a small diameter]. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike [Technical sciences – from theory to practice]: collection of articles of materials of the XXXIII International scientific and practical conference*. 2014;4(29). (In Russ.)

For citation

Asoyan AR, Gorshkov AS, Israelyan AH. Less wear on the piston skirts of internal combustion engines. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2020;21(3):175–180. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-3-175-180>