DOI: 10.15593/24111678/2018.02.08

УДК 621.436

Д.М. Марьин, А.А. Глущенко, И.Р. Салахутдинов

Ульяновский государственный аграрный университет, г. Ульяновск, Россия

СНИЖЕНИЕ ИЗНОСА ПОРШНЕЙ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ОКСИДИРОВАНИЕМ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГОЛОВОК

В процессе эксплуатации автомобиля наибольшему износу подвержены детали цилиндропоршневой группы (ЦПГ), что негативно влияет на работу двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в целом.

Наиболее нагруженной деталью ЦПГ в процессе работы ДВС является поршень. Одним из выбраковочных критериев поршня являются геометрические параметры первой поршневой канавки, так как детали сопряжения «первая поршневая канавка – поршневое кольцо» изнашиваются больше, чем другие.

В практике двигателестроения для снижения износа поршней ДВС используют термообработку, вставки из износостойкого материала, упрочняющие покрытия и ряд других мероприятий. Однако их применение ограничивается сложностью и высокой стоимостью необходимого оборудования, увеличением массы и изменением геометрических параметров поршня.

Одной из основных проблем при нанесении упрочняющих покрытий является их непрочная связь с основной материала, а также длительность процесса нанесения покрытия и необходимость последующей механической обработки поршня до номинальных размеров. Микродуговое оксидирование рабочих поверхностей головок поршней позволяет формировать оксидированный слой с износостойкими и теплостойкими свойствами, отличающимися от исходных свойств основного материала. Применительно к поршню автомобильного двигателя показатели физико-механических свойств оксидированного слоя (толщина, микротвердость и др.), а также влияние их на износ деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» исследованы недостаточно, поэтому данные вопросы требуют дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Для снижения износа деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» предлагается повысить микротвердость трущейся поверхности поршневой канавки поршня двигателя внутреннего сгорания формированием на ее поверхности оксидированного слоя методом микродугового оксидирования (МДО). Этот метод позволяет формировать покрытия, обладающие высокой теплостойкостью, износостойкостью, микротвердостью и имеющие пористую поверхность, при этом геометрические параметры поршня не изменяются и дополнительные операции по его механической обработке не требуются.

Теоретически обосновано влияние микротвердости поверхности трения на износ деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо». Изготовлены экспериментальные поршни с оксидированными рабочими поверхностями головок. Представлены результаты стендовых исследований износа деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» и гильз цилиндров экспериментального двигателя, оснащенного типовыми поршнями и поршнями с оксидированными рабочими поверхностями головок.

Ключевые слова: износ, трение, поршень, поршневая канавка, поршневое кольцо.

D.M. Marin, A.A. Glushchenko, I.R. Salakhutdinov

Ulyanovsk State Agricultural University, Ulyanovsk, Russian Federation

REDUCED WEAR OF PISTONS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE BY OXIDATION OF THE WORKING SURFACES OF THE HEADS

In the process of using the car, the details of the cylinder-piston group are subject to the greatest wear, which negatively affects the operation of the internal combustion engine as a whole.

The most loaded part of the cylinder-piston group in the process of the internal combustion engine operation is the piston. One of the rejection criteria of the piston is the geometric parameters of the first piston groove, since the coupling parts «first piston groove – piston ring» wear out more than others.

In the practice of engine building, to reduce the wear of the pistons of internal combustion engine heat treatment, inserts of wear-resistant material, hardening coatings and a number of other measures are used. However, their use is limited by the complexity and high cost of the necessary equipment, the increase in mass and the change in the geometric parameters of the piston.

One of the main problems in the application of hardening coatings is their weak bond with the base material, as well as the duration of the coating process and the need for subsequent machining of the piston to nominal dimensions. Microarc oxidation of the working surfaces of the pistons' heads makes it possible to form an oxidized layer with wear-resistant and heat-resistant properties that differ from the initial properties of the base material. As applied to the piston of an automobile engine, the parameters of the physical and mechanical properties of the oxidized layer (thickness, microhardness, etc.), as well as their effect on the wear of the «piston groove – piston ring» coupling parts, have not been investigated sufficiently, therefore these questions require further theoretical and experimental research.

To reduce wear on the «piston groove – piston ring» coupling parts, it is proposed to increase the microhardness of the friction surface of the piston groove of the internal combustion engine by the formation of an oxidized layer on its surface by microarc oxidizing. This method allows the formation of coatings that have high heat resistance, wear resistance, microhardness and porous surface, while the geometric parameters of the piston do not change, and additional machining operations are not required.

The influence of the microhardness of the friction surface on the wear of the «piston groove – piston ring» coupling parts is theoretically substantiated. Experimental pistons with oxidized working surfaces of heads are made. The results of bench-scale research of wear of the «piston groove – piston ring» coupling parts and cylinder liners of the experimental engine equipped with standard pistons and pistons with oxidized working surfaces of the heads are presented.

Keywords: wear, friction, piston, piston groove, piston ring.

Проблема повышения износостойкости деталей цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания относится к числу инженерных проблем, не теряющих своей актуальности с течением времени. Современное развитие конструкций двигателей характеризуется повышением их мощности при одновременном уменьшении веса и габаритов; вместе с тем совершенствуется технология производства, улучшается качество материалов деталей и эксплуатационных материалов (топливо, смазка) [1]. Несмотря на постоянное совершенствование конструкции ДВС, вопросы износостойкости их деталей во многом еще не решены и продолжают привлекать серьезное внимание конструкторов, технологов и инженеров [2].

Одним из сопряжений, наиболее подверженных износу, являются пары трения цилиндропоршневой группы, в частности сопряжение деталей «поршневая канавка – поршневое кольцо» [3]. Основными причинами повышенного износа поршневых канавок являются как воздействие высоких нагрузок и температур, так и недостаточная износостойкость материала поршня [4].

Из анализа взаимодействия деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» следует, что износ и разрушение поршневой канавки происходят по их верхним и нижним поверхностям и зависят от нагрузки, действующей на детали сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо», физико-механических и геометрических характеристик материалов поверхностей трения деталей сопряжения (рис. 1, 2) [5, 6].

Рис. 1. Контакт поверхностей деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо»: F_a – номинальная площадь контакта, м^2 ; F_r – фактическая площадь контакта, м^2 ; F_c – контурная площадь контакта, м^2

Рис. 2. Схема микрогеометрии поверхности трения: $h_{\max}$ – максимальная высота неровности поверхности трения, м ; r – радиус закругления, мм ; L – шаг волны, м ; H_b – высота волны, м ; 1 – макроотклонение; 2 – волнистость; 3 – шероховатость

Основной причиной изнашивания поршневой канавки является резкое снижение механических свойств поршневых сплавов от длительного воздействия высоких температур. Кроме того, при высокой температуре выгорает масляная пленка в сопряжении деталей «поршневая канавка – поршневое кольцо». «Размягчение» алюминиевых сплавов увеличивает долю пластического разбивания поршневой канавки, возрастание инерционной силы удара поршневого кольца вызывает увеличение пластической деформации рабочих поверхностей поршневой канавки.

В сопряжении деталей «поршневая канавка – поршневое кольцо» наблюдается абразивное изнашивание, когда абразив внедряется в более мягкую алюминиевую матрицу поршневой канавки и происходит изнашивание поршневого кольца фиксированными частицами абразива. В свою очередь, по причине накопления абразивных частиц (продуктов изнашивания, сгорания топлива и масла) в сопряжении «поршневая канавка – поршневое кольцо» создаются условия трения деталей об абразивную прослойку, что приводит к увеличению изнашивания менее твердого материала, т.е. поршневой канавки.

Поскольку изнашивание и разрушение поршневой канавки устранить практически невозможно, основным направлением снижения износа поршня следует рассматривать снижение интенсивности процессов изнашивания в сопряжении «поршневая канавка – поршневое кольцо». Таким решением является формирование на рабочих поверхностях поршневой канавки слоя материала с повышенной сопротивляемостью абразивному изнашиванию и пластической деформации при повышенных температурах.

Интенсивность изнашивания деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» определяется по формуле [7, 8]

$$I_h = i_h \cdot \frac{P}{F_a \cdot HV_1}, \quad (1)$$

где i_h – удельный износ; P – нагрузка, действующая на детали сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо», Н; F_a – номинальная площадь контакта трущихся поверхностей деталей сопряжения, мм²; HV_1 – микротвердость поршневой канавки, МПа.

Удельный износ деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» [7]

$$i_h = \frac{\varepsilon \cdot h_{\max}}{(v+1) \cdot n \cdot d}, \quad (2)$$

где ε – относительное сближение; $h_{\max}$ – максимальная высота неровности поверхности детали, м; v – константа, характеризующая геометрию поверхности детали от вида механической обработки; n – число циклов до разрушения единичной неровности; d – диаметр фактического пятна контакта трущихся поверхностей деталей сопряжения, м.

Диаметр фактического пятна контакта трущихся поверхностей деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» определяется следующим образом [8]:

$$d = \left(\frac{8 \cdot r \cdot h_{\max}}{v} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{p_a \cdot F_a}{F_c \cdot b \cdot HV_1} \right)^{\frac{1}{2v}}, \quad (3)$$

где r – радиус закругления неровности поверхности детали, м; F_c – контурная площадь пятна контакта трущихся поверхностей деталей, м²; p_a – давление цилиндрических газов на поршневое кольцо, МПа; b – константа, характеризующая геометрию поверхности детали от вида механической обработки.

Нагрузка, действующая над детали сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо», определяется из выражения [7]

$$P = \left[\frac{1}{2} \left(1 - \frac{2 \cdot \tau}{\sigma_s} \right) \cdot \left(\frac{r}{h_{\max}} \right) \right]^{3v} \cdot (HV_2 \cdot b)^3 \cdot \frac{F_a^x \cdot \Gamma^2 \cdot R_b^2}{8^{2x}}, \quad (4)$$

где τ – удельная сила трения, Н; σ_s – предел текучести материала, МПа; HV_2 – микротвердость поршневого кольца, МПа; x – величина, зависящая от распределения неровностей по высоте; Γ – упругая постоянная материала; R_b – радиус волны поверхности трения, м.

Износ деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» можно рассчитать по формуле [9]

$$h = I_h \cdot t_{\text{и}} \cdot \vartheta, \quad (5)$$

где I_h – интенсивность изнашивания деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо»; $t_{\text{и}}$ – время изнашивания, с; ϑ – скорость относительного перемещения поршневого кольца, м/с.

С учетом зависимостей (1)–(4) формула (5) износа деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» примет окончательный вид:

$$h = \left(\frac{(v + \varepsilon)^{\frac{1}{2}}}{2^{\frac{2v^2 + 6vx - 3v}{2}}} \right) \cdot \left(\frac{p_a^{2v} \cdot F_a^{\frac{1 - 2v + 2vx - x}{2v}}}{(v + 1) \cdot n \cdot HV_1} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_s - 2\tau}{\sigma_s} \right)^{\frac{6v - 3}{2}} \times \\ \times \left(h_{\max}^{2 - 3v} \cdot r^{3v - 2} \right) \cdot (HV_2 \cdot b)^{\frac{6v - 3}{2v}} \cdot (\Gamma \cdot R_b)^{\frac{2v - 1}{v}} \cdot \vartheta \cdot t_{\text{и}}. \quad (6)$$

Как видно из формулы (6), износ деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» зависит от состояния поверхностей трения (микротвердостей HV_1 , степени чистоты механической обработки v , b и свойств материала σ_s , r , $h_{\max}$, Γ , R_b). Как было указано выше, поскольку действующие на поверхность трения внешние факторы (температура и давление) являются причинами «размягчения» поверхностного слоя алюминиевого сплава, приводящего к увеличению пластической деформации, для снижения износа деталей этого сопряжения необходимо в первую очередь повысить микротвердость поршневой канавки HV_1 , например формированием оксидированного слоя на рабочих поверхностях головки поршня.

Таким образом, увеличение микротвердости поршневой канавки (HV_1), при прочих равных условиях, приведет к снижению износа (h) деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо».

Формирование на поршнях упрочняющего покрытия (оксидированный слой) (рис. 3) осуществлялось методом микродугового оксидирования при следующих режимах: концентрация ортофосфорной кислоты в водном растворе 180 г/л, плотность тока – 4 А/дм², напряжение, подаваемое к днищу поршня, – 250 В, температура электролита – 25 °С, время оксидирования – 60 мин [10–12].

Рис. 3. Общий вид комплекта поршней с оксидированными рабочими поверхностями головок

Анализ толщины, микротвердости, пористости, структуры и элементного состава оксидированного слоя образца шлифа фрагмента экспериментального поршня осуществляли методом растровой электронной микроскопии с рентгеновским микроанализом. В исследованиях использовался комплекс, состоящий из автоэмиссионного растрового микроскопа сверхвысо-

кого разрешения Zeiss SUPRA 55VP в комплекте с энергодисперсионным спектрометром Inca Energy 350, волновым спектрометром Inca Wave 500 и системой регистрации и анализа дифракции отраженных электронов HKL EBSD Premium System, микротвердомера MicroMet 5114 фирмы Buehler. В исследованиях также использовалась мера ширины и перехода специальная МШПС-2.0К.

Шлиф представлял собой фрагмент оксидированного поршня из алюминиевого сплава толщиной около 2 мм (рис. 4). Элементный анализ оксидированного слоя проводили по четырем маршрутам.

Рис. 4. Шлиф фрагмента поршня: *а* – макрофотография образца с указанием маршрутов элементного анализа; *б* – изображение поверхностных слоев образца; *в* – микрофотография с указанием точек измерения микротвердости

Все маршруты имели протяженность 100 мкм от наружной поверхности поршня и состояли из 10 уровней с шагом 10 мкм (первый уровень – наиболее близкий к поверхности).

Во результате микродугового оксидирования рабочих поверхностей головки поршней формируется оксидированный слой с хорошей адгезией с основным материалом алюминиевого сплава, четким рельефом и неоднородный по своему составу; трещин и изломов в области контакта «основной материал – оксидированный слой» не прослеживается, отчетливо наблюдается взаимопроникновение оксидированного слоя в основу материала, с толщиной оксидированного слоя над днище поршня и поршневых канавках 24–31 мкм, микротвердостью 1299–1313 МПа.

Образующийся на поверхности образца фрагмента экспериментального поршня оксидированный слой представляет собой оксид металла (рис. 5–7).

Рис. 5. Структура поверхностного слоя оксидированных рабочих поверхностей днища и головок поршня

Рис. 7. Микрофотография поверхности излома оксидированного слоя

Для подтверждения вышеизложенного, проводились сравнительные моторные исследования на тормозном стенде МЭЗ-Всетин 926-4/V (с погрешностью измерений частоты вращения коленчатого вала – $10,0 \text{ мин}^{-1}$, крутящего момента – $0,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$) двигателя УМЗ-421 с установленными типовыми и экспериментальными поршнями с оксидированными рабочими поверхностями головок в следующей комплектации:

- Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 14846–81. Продолжительность исследования двигателя составила 400 ч на режимах, рекомендуемых ОАО «УМЗ». Замену свечей зажигания проводили через каждые 50 ч работы, масла и масляного фильтра – через каждые 100 ч работы [14, 15]. Износ поршневых канавок, поршневых колец и гильз цилиндров определяли методом микрометража до начала и после окончания испытаний с использованием набора плоскопараллельных мер длины, микрометра и индикаторного нутромера.

Рис. 9. Износ вторых поршневых канавок

Износ первого и второго компрессионных колец (в среднем по 5 точкам) составил 23,3 мкм и 6,3 мкм у типовых поршней, тогда как у оксидированных поршней – 25,3 мкм и 7,5 мкм соответственно (рис. 10, 11).

Рис. 10. Износ верхних компрессионных колец

Рис. 11. Износ нижних компрессионных колец

Износ поршневых канавок под маслосъемные кольца и маслосъемных колец незначительный.

Максимальный износ гильз цилиндров с типовыми поршнями и поршнями с оксидированными головками у двигателя составил 12 мкм на расстоянии 10 мм от верхнего края гильзы цилиндра, соответствующего верхней мертвой точке; наименьший износ составил 7 мкм на расстоянии 70 мм от верхнего края гильзы цилиндра (рис. 12).

Использование поршней с оксидированными рабочими поверхностями головок не приводит к повышению износа рабочей поверхности штатных гильз цилиндров.

Рис. 12. Износ гильз цилиндров

Проведенные исследования позволили установить теоретические зависимости влияния параметров рабочего процесса и физико-механических свойств материалов деталей сопряжений поршневой группы на износ деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо», установить параметры, изменение которых оказывает наибольшее влияние на износ.

Представленные выкладки подтверждены стендовыми исследованиями, в результате которых установлено, что средний износ деталей сопряжения «первая поршневая канавка – первое поршневое кольцо» у типовых поршней составил 32,67 мкм, тогда как у оксидированных поршней – 30,47 мкм. Средний износ деталей сопряжения «вторая поршневая канавка – второе поршневое кольцо» у типовых поршней составил 11,42 мкм, тогда как у оксидированных поршней – 10,87 мкм.

Полученные результаты исследований подтверждают возможность использования метода микродугового оксидирования для повышения износостойкости поршней двигателей внутреннего сгорания.

Список литературы

1. Курчаткин В.В. Надежность и ремонт машина. – М.: Колосс, 2000. – 776 с.
2. Карагодин В.И., Митрохин Н.Н. Ремонт автомобилей и двигателей. – М.: Академия, 2009. – 496 с.
3. Зейнетдинов Р.А., Глущенко А.А., Марьино Д.М. Теоретическое обоснование повышения ресурса деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» // Известия Международной академии аграрного образования. – 2016. – № 30. – С. 26–30.
4. Дьяков И.Ф. Расчеты на прочность деталей машин при циклическом нагружении // Альманах современной науки и образования. – 2011. – № 10. – С. 45–49.
5. Пенкин Н.С., Пенкин А.Н., Сербин В.М. Основы трибологии и триботехники. – М.: Машиностроение, 2008. – 206 с.
6. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безотказность). – М.: МСХА, 2001. – 616 с.
7. Чичинадзе А.В., Браунин Э.Д., Буше Н.А. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учебник для техн. вузов. – 2-е изд., переработ. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
8. Хохлов В.М. Увеличение и уменьшение фактических площадей контакта. – 2-е изд., перераб. – Брянск: ООО «ВИМАХО», 2004. – 72 с.
9. Марьин Д.М., Хохлов А.Л., Глущенко А.А. Теоретическое обоснование снижения износа деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4(32). – С. 168–172.
10. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И.В. Суминов, А.В. Эпельфельд, В.Б. Людин, Б.Л. Крити, А.М. Борисов. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
11. Витязь П.А., Ильющенко А.Ф., Шевцов А.И. Основы нанесения износостойких и теплозащитных покрытий. – Минск: Белорусская наука, 2006. – 363 с.
12. Синани И.Л., Федосеева Е.М., Береснев Г.А. Методы нанесения покрытий. – Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2008. – 110 с.
13. Влияние режимов микродугового оксидирования на образование оксидированного слоя / А.Л. Хохлов, Д.А. Уханов, А.А. Глущенко, Д.М. Марьин, В.А. Степанов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3(23). – С. 128–131.
14. Березин Е.Б. Двигатель УМЗ-421. Устройство, ремонт, эксплуатация, техническое обслуживание. – Ульяновск: ОАО «Волжские моторы», 2002. – 150 с.
15. Автомобили УАЗ: Техническое обслуживание и ремонт. – М.: Транспорт, 2002. – 336 с.

References

1. Kurchatkin V.V. Nadezhnost' i zremont mashina [Reliability and a car]. Moscow, Koloss, 2000, 776 p.
2. Karagodin V.I., Mitrokhin N.N. Remont avtomobilei i dvigatelei [Repair of cars and engines]. Moscow, Akademiia, 2009, 496 p.
3. Zeinetdinov R.A., Glushchenko A.A., Mar'ino D.M. Teoreticheskoe obosnovanie povysheniia resursa bdetalei sopriazheniia "porshnevaia kanavkab- porshnevoe kol'tso" [Theoretical justification for increasing the life of the coupling bodetails «piston groove-piston ring»]. *Izvestiia Mezhdunarodnoik Akademii Agrarnogo Obrazovaniia*, 2016, no 30, pp. 26-30.
4. D'iakov I.F. Raschety na prochnost' detaiei mashin pri tsiklicheskom nagruzhenii [Calculations on the strength of machine parts under cyclic loading] . *Al'manakh sovremennoi nauki i obrazovaniia*, 2011, no 10, pp. 45-49.
5. Penkin N.S., Penkin A.N., Serbin V.M. Osnovy tribologii i tribotekhniki [Fundamentals of tribology and tribotechnics]. Moscow, Mashinostroenie, 2008, 206 p.
6. Garkunov D.N. Tribotekhnika (iznosit'i bezotkaznost') [Tribotechnics (wear out and failure-free operation)]. Moscow, MSKhA, 2001, 616 p.
7. Chichinadze A.V., Braunin gE.D., Bushe l'N.A. Osnovy tribologii (treniezh, iznosit', smazka) [Fundamentals of tribology (friction, wear, lubrication)]. 2nd ed. Moscow, Mashinostroenie, 2001, 664 p.

8. Khokhlov V.M. Uvelichenie i umen'shenie fakticheskikh ploshchadei kontakta [Increase and decrease in actual contact areas]. 2nd ed. Briansk, Vimakho, 2004, 72 p.
9. Mar'in D.M., Khokhlov A.L., Glushchenko A.A. Teoreticheskoe obosnovanie zhsnizheniia iznosa detalei sopriazheniia «porshnevaia kanavkab- porshnevoe kol'tso» [Theoretical justification of the wear of the coupling parts «piston groove-piston ring»]. *Vestnik Ul'ianovskoi gosudarstvennoi sel'skokhoziaistvennoi akademii*, 2015, no 4 (32), pp. 168-172.
10. Suminov I.V., Epel'fel'd A.V., Liudin V.B., Kriti K.B., Borisov A.M. Mikrodogovoe oksidirovaniezh (teoriia, tekhnologii, oborudovaniezh) [Microarc oxidation (theory, technology, equipment)]. Moscow, Ekomet, 2005, 368 p.
11. Vitiaz' P.A., Piushchenko P.A.F., Shevtsov A.I. Osnovy naneseniia iznosostoikikhts i teplozashchitnykh pokrytii [Basics of applying wear-resistant and heat-protective coatings]. Minsk, Belorusskaia nauka, 2006, 363 p.
12. Sinani I.L., Fedoseeva E.M., Beresnev G.A., Metody naneseniia pokrytii [Coating methods]. Perm': Izdatelstvo Permskogo gosudarstvennogo universiteta, 2008, 110 p.
13. Khokhlov A.L., Ukhonov D.A., Glushchenko A.A., Mar'ino D.M., Stepanov V.A. Vlianie rezhimov gmikrodogovogo oksidirovaniia na dobrazovanie oksidirovannogo sloia [Influence of the modes of microarc oxidation on the oxidation of the oxidized layer]. *Vestnik Ul'ianovskoi gosudarstvennoi sel'skokhoziaistvennoi akademii*, 2013, no 3 (23), pp. 128-131.
14. Berezin E.B. Dvigatel'nyi UMZ-421. Ustroistvo, remonter, ekspluatatsiia, tekhnicheskoe obsluzhivaniezh [The device, the repairman, operation, technical service]. Ul'ianovsk, Volzhskie motory, 2002, 150 p.
15. Avtomobili UAZ: Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont [Automobiles UAZ: Maintenance and repair]. Moscow, Transport, 2002, 336 p.

Получено 22.05.2018

Об авторах

Марин Дмитрий Михайлович (Ульяновск, Россия) – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования» Ульяновского государственного аграрного университета (432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1, e-mail: marjin25@mail.ru).

Глушенко Андрей Анатольевич (Ульяновск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования» Ульяновского государственного аграрного университета (432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1, e-mail: oildel@yandex.ru).

Салахутдинов Ильмас Рифкатович (г. Ульяновск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования» Ульяновского государственного аграрного университета (432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1, e-mail: ilmas.73@mail.ru).

About the authors

Dmitry M. Marin (Ulyanovsk, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Operation of Mobile Machines and Technological Equipment, Ulyanovsk State Agrarian University (Building 1, New Crown Boulevard, Ulyanovsk, 432017, Russian Federation, e-mail: marjin25@mail.ru).

Andriy A. Glushchenko (Ulyanovsk, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Operation of Mobile Machines and Technological Equipment, Ulyanovsk State Agrarian University (1, New Crown Boulevard, Ulyanovsk, 432017, Russian Federation, e-mail: oildel@yandex.ru).

Ilmas R. Salakhutdinov (Ulyanovsk, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Operation of Mobile Machines and Technological Equipment, Ulyanovsk State Agrarian University (1, New Crown Boulevard, Ulyanovsk, 432017, Russian Federation, e-mail: ilmas.73@mail.ru).