

## ЗАДИРО- И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ДЕТАЛЯМ ТРЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

*А.И. Михайлюк, канд. техн. наук (Институт прикладной физики Академии наук Республики Молдова, MD 2028, г. Кишинев, ул. Академическая, 5, e-mail: mihalek@yandex.ru)*

*В.И. Иванов, канд. техн. наук (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка» (ФГБНУ ГОСНИТИ) 109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 1 e-mail: tehnoinvest-vip@mail.ru)*

*А.Е. Гумлевич, канд. техн. наук (ERFINDER ZENTRUM «INNOTECH» e.v. Drosselweg 2, 34253, Lohfelden, Deutschland, e-mail: irark@yandex.ru)*

*Г.Ф. Володина, канд. физ.-мат. наук, А.И. Янакевич, инженер (Институт прикладной физики Академии наук Республики Молдова, MD 2028, г. Кишинев, ул. Академическая, 5, e-mail: mihalek@yandex.ru)*

**Аннотация.** Выполнены экспериментальные исследования по определению коэффициента трения, задиростойкости и износостойкости ряда электроискровых покрытий применительно к гильзе и поршневому кольцу дизельного двигателя Д100. Испытаниями покрытий определено, что на образцах из высокопрочного чугуна (материал кольца) наименьший коэффициент трения (0,031-0,043) и наибольшее увеличение износостойкости (в 2,4-2,5 раза) достигнуто при нанесении электроискровых покрытий электродом  $Mo+MoS_2$  на эпоксидной основе.

**Ключевые слова:** пара трения; гильза; поршневое кольцо; электроискровое легирование; покрытие; задиростойкость; износостойкость.

Одной из ключевых задач при создании и изготовлении новой техники является обеспечение требуемого ресурса изделий, соответствующего мировому уровню. Это достигается многими способами, включающими оптимизацию конструкторских решений, применением различных технологических приемов, включая использование широкого ряда упрочняющих методов обработки и др. [1, 2]. Решение этой задачи для стран с разрушенной производственно-технической базой особенно актуально в современных условиях, характеризующихся острой необходимостью развития собственного производства, ориентированного на замещение импортной машиностроительной продукции изделиями отечественного производства, изготовленного с применением современных технологий.

В данной статье рассмотрено применение электроискровых покрытий для увеличения износостойкости деталей пары трения «гильза - поршневое кольцо» тепловозного дизельного двигателя марки Д100.

**Состояние вопроса.** Одной из основных причин, сокращающих срок службы транспортных двигателей, является протекание на рабочих поверхностях деталей пары трения «гильза - поршневое кольцо» различных процессов (тепловых, химических, адгезионных и др.), способствующих износу поверхностей трения этих деталей. Исследования показали, что наиболее существенным видом износа гильз и поршневых колец является микроконтактное схватыва-

ние [3, 4], которое дополняется процессами усталости и охрупчивания, происходящими в тонком поверхностном слое; это ведет к абразивным воздействиям твердых продуктов износа на рабочие поверхности деталей.

В тепловозном двигателе Д100 при возвратно-поступательном движении поршня в цилиндре его средняя скорость составляет 7,2 м/сек, максимальная – 11,4 м/сек. Давление газов в цилиндре во время вспышки составляет 105 кгс/см<sup>2</sup>. Температура выхлопных газов при выходе из цилиндра – 450 °С. Температура гильзы со стороны камеры сгорания достигает 210 °С, со стороны охлаждающей жидкости – 93 °С. В условиях возвратно-поступательного движения, характерного для этой пары трения, наиболее неблагоприятные условия работы деталей возникают в местах реверсирования, где наблюдается отсутствие масляной пленки и потеря смазочной способности.

Анализ технико-эксплуатационных характеристик пары трения «гильза - поршневое кольцо» двигателя Д-100 и основных факторов, от которых зависит износостойкость пары трения скольжения (прочностные свойства контактирующих материалов, фрикционные свойства сопряжения, молекулярное взаимодействие на контакте, шероховатость, пористость поверхностей и т.п.), дал основание полагать, что с помощью универсального и экономичного электроискрового метода обработки металлических поверхностей в газовой среде (ЭИО) можно сформировать структурно-фазовый состав рабочих поверхностей этой пары трения, соответствующий требованиям высокой их износостойкости. Так, короткая длительность импульсных электрических разрядов при ЭИО между электродом и деталью ( $\sim 10^{-4} \div 10^{-5}$  с) и скоротечность охлаждения образующихся микрорасплавов ( $\sim 10^4 \div 10^5$  град/с) ведет к мощной термопластической деформации формирующегося покрытия, при которой плотность дислокаций достигает  $10^{15} \div 10^{16}$  м<sup>-2</sup> [5]. При такой плотности дислокаций и температурно-временной специфике пластической деформации в процессе ЭИО создаются условия для протекания полигонизации дислокаций и формирования трехмерной ячеистой субструктуры при определенных режимах ЭИО, находящейся в пределах 17~22 нм [6, 7]. Такое субструктурное образование характеризуется значительной устойчивостью к деформации, в том числе и деформации трением [8].

Кроме этого, известно, что сформированный методом ЭИО так называемый «белый слой» представляет собой квазиравновесную, регулярно напряженную систему, поверхностная энергия которой близка к нулю [9], что объясняет низкую адгезионную активность поверхности сформированных слоев. Для электроискровых покрытий характерно наличие пор и определенной шероховатости [10]. Исследования показали, что пористость покрытий может варьироваться в зависимости от режимов обработки от 5 до 35 %. При этом известно большое влияние на износ и стойкость к образованию задиров маслоудерживающей способности пористой поверхности трения, которая препятствует образованию очагов микросхватывания и способствует возрастанию несущей способности пары трения.

Наряду с вышеизложенными свойствами электроискровых покрытий, привлекательна также возможность легирования поверхностного слоя детали материалами, обладающими более высокими антифрикционными и износостойкими свойствами, чем материал основы.

**Целью** данной работы являлось определение антифрикционных свойств электроискровых покрытий применительно к гильзе и поршневому кольцу дизельного двигателя Д100.

**Методика исследований.** Так как представленные характеристики электроискровых покрытий соответствуют требованиям к поверхностям трения, в настоящей работе были исследованы такие покрытия на образцах из серого чугуна (материал гильзы, состав: С – (2,8–3,1) %; Mn – (0,8–1,1) %; Si – (1,8–2,1) %; P – (0,10–0,15) %; S – 0,12 %; Cr – (0,3–0,65) %; Ni – (0,9–1,2) %; Mo – (0,5–0,7) %; Cu – (0,3–0,4) %; остальное Fe) и высокопрочного чугуна (материал колец,

состав: С – (3,4-3,7) %, Mn – (0,85-1,3) %, Si – (2,1-2,5) %, P - 0,01 %, S - 0,03 %, Cr - 0,15 %, Ni – (1,2-1,5) %, Mo – (0,6-0,9)%, Cu – (0,3-0,4) %, Mg – (0,03-0,10)%, остальное Fe) [11] на предмет их износостойкости, при этом определены антифрикционные свойства и задиростойкость покрытий, полученных ЭИО.

Исходя из анализа литературных данных по электродным материалам и их свойствам, в качестве таковых для получения износостойких покрытий были выбраны следующие: металлокерамический твердый сплав ВК8, хром, молибден, обладающие высокой твердостью, прочностью, жаростойкостью, а также материалы, обладающие высокими антифрикционными свойствами: бронза ВБр5М, медь, свинец, графит, дисульфид молибдена  $MoS_2$ , алюминиевый сплав Д16Т, ( $MoS_2 + Mo$ ).

Для испытаний покрытий на материале гильзы использовался ролик диаметром 50 мм и толщиной 12 мм из этого же материала. Образцами для испытания покрытия поршневых колец являлись колодки, изготовленные из высокопрочного чугуна указанного состава, с рабочей поверхностью, равной 1 см<sup>2</sup>. Рабочие поверхности роликов и колодок обрабатывались на электроискровой установке «Элитрон-22А» согласно параметрам, указанным в таблице 1.

Таблица 1

ПАРАМЕТРЫ ЭИО ОБРАЗЦОВ НА УСТАНОВКЕ «ЭЛИТРОН-22А»

| № образца                                     | Материал электрода                               | Электрический режим | Рабочий ток, А | Примечание   |
|---|--|---------------------|----------------|--------------|
| 1. Образцы из серого чугуна (ролики)          |  |                     |                |              |
| 1.1   | Бронза ВБр5М                                     | 3                   | 1,2            |              |
| 1.2   | FeCr; Pb   | 3; 6                | 1,2; 2,8       | 2 прохода    |
| 1.3   | FeCr; Cu   | 3; 6                | 1,2; 2,8       | 2 прохода    |
| 1.4   | FeCr; Mo   | 3; 3                | 1,2; 1,2       | 2 прохода    |
| 1.5   | Д16Т   | 6                   | 2,8            |              |
| 1.6   | ВК8; ВБр5М                                       | 6; 3                | 2,8; 1,2       | 2 прохода    |
| 1.7   | ВК8; графит                                      | 6; 6                | 2,8; 2,8       | 2 прохода    |
| 1.8   | ВК8; Pb  | 6; 6                | 2,8; 2,8       | 2 прохода    |
| 1.9   | Полоса ВБр5М + полоса без покрытия               | 3                   | 1,2            |              |
| 1.10  | Полосы: FeCr; Pb                                 | 3; 6                | 1,2; 2,8       | по 2 прохода |
|   | ВК8; Pb  | 6; 6                | 2,8; 2,8       |              |
|   | ВК8; ВБр5М                                       | 6; 3                | 2,8; 1,2       |              |
|   | FeCr; ВБр5М                                      | 3; 3                | 1,2; 1,2       |              |
| 1.11  | ВБр5М  | 3                   | 1,2            |              |
| 1.12  | ВБр5М; графит                                    | 3; 3                | 1,2; 1,2       | 2 прохода    |
| 1.13  | Графит   | 3                   | 1,2            |              |
| 1.14  | $MoS_2$ ; Mo                                     | 3; 3                | 1,2; 1,2       | 2 прохода    |
| 2. Образцы из высокопрочного чугуна (колодки) |  |                     |                |              |
| 2.1   | Гальваническое покрытие                          | -                   | -              |              |
| 2.2   | FeCr; Mo   | 3; 3                | 1,2; 1,2       | 2 прохода    |
| 2.3   | ВБр5М (с покрытием $MoS_2$ на эпоксидной основе; | 3                   | 1,2            |              |
| 2.4   | Mo + $MoS_2$ на эпоксидной основе                | 3                   | 1,2            |              |
| 2.5   | ВБр5М  | 3                   | 1,2            |              |
| 2.6   | Mo   | 3                   | 1,2            |              |
| 2.7   | FeCr   | 3                   | 1,2            |              |
| 2.8   | ВК8; Ni  | 3; 3                | 1,2; 1,2       | 2 прохода    |
| 2.9   | FeCr; Cu; (Mo + $MoS_2$ )                        | 3; 3; 4             | 1,2; 1,2; 2,2  | 3 прохода    |

С целью уменьшения шероховатости электроискровых покрытий на образцах и приведения их к одному уровню шероховатости порядка  $R_a \sim 2,5$  мкм ролики перед испытаниями на износ подвергались поверхностно-пластической деформации шариком диаметром 16 мм при нагрузке  $P = 20$  кг. Испытания на задиростойкость проводили на машине трения «СМЦ-2» в масле М14В по схеме «ролик-колодка» методом ступенчатого нагружения. Испытания на износостойкость проводились также на машине «СМЦ-2» по схеме «ролик-колодка» в масле М14В при нагрузке 100 кг, скорости вращения ролика 500 об/мин., вре-

мя испытаний – 20 часов. Рентгенофазовые исследования проводили на дифрактометре «ДРОН-УМ1» в  $FeK_{\alpha}$ -излучении.

**Результаты и обсуждение.** Результаты испытаний на задиростойкость гильзового чугуна, упрочненного ЭИО, сведены в таблицу 2.

Таблица 2

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА ЗАДИРОСТОЙКОСТЬ ОБРАЗЦОВ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА**

| №      | Покрытия (таблица 1)                                 | Коэффициент трения, $f_{\tau}$ , при нагрузке, кг |       |       |       |                       |       |        |
|--------|--|---|-------|-------|-------|-----------------------|-------|--------|
|        |  | 20  | 60    | 100   | 140   | 180                   | 200   | 220    |
| Эталон | Без покрытия   | 0,058   | 0,059 | 0,053 | 0,05  | задир                 |       |        |
| 1      | ВБр5М  | 0,097   | 0,084 | 0,078 | 0,076 | 0,073                 | 0,066 | 0,068  |
| 2      | FeCr + Pb  | 0,103   | 0,360 | 0,155 | 0,108 | 0,095                 | 0,092 | задир  |
| 3      | FeCr + Cu  | 0,078   | 0,078 | 0,070 | 0,072 | 0,069                 | 0,068 | 0,067  |
| 4      | FeCr + Mo  | 0,114   | 0,145 | 0,112 | 0,108 | 0,110                 | 0,095 | задир  |
| 5      | Д16Т   | 0,078   | 0,091 | 0,100 | 0,105 | 0,107                 | 0,116 | 0,113  |
| 6      | ВК8+ВБр5М  | 0,068   | 0,078 | 0,089 | 0,111 | 0,131                 | 0,134 | 0,143  |
| 7      | ВК8+графит   | 0,136   | 0,188 | 0,217 | 0,233 | Испытания остановлены |       |        |
| 8      | ВК8+Pb   | 0,058   | 0,058 | 0,050 | 0,058 | 0,067                 | 0,066 | 0,085* |
| 9      | Полоса ВБр5М + полоса б/п                            | 0,058   | 0,078 | 0,072 | 0,072 | 0,071                 | 0,068 | 0,065  |
| 10     | Полосы: FeCr + Pb;<br>ВК8+Pb;<br>ВК8+ВБр5М;<br>ВБр5М | 0,058   | 0,078 | 0,078 | 0,116 | задир                 | -     | -      |
| 11     | Бронза+графит  | 0,060   | 0,081 | 0,078 | 0,087 | 0,085                 | 0,084 | 0,082  |
| 12     | Графит   | 0,086   | 0,113 | 0,102 | 0,118 | 0,132                 | 0,131 | 0,141  |
| 13     | Mo + Mo <sub>2</sub> S                               | 0,049   | 0,073 | 0,063 | 0,061 | 0,062                 | 0,061 | 0,064  |

\* - покрытие за время испытаний износилось.

Пара трения: ролик с испытываемым покрытием - колодка с гальваническим хромом

Анализ результатов таблицы 2 показал, что более низкий коэффициент трения практически на всех стадиях нагружения и лучшая сопротивляемость задиробразованию получены на образцах, легированных следующими материалами электродов: Mo + MoS<sub>2</sub>; бронза ВБр5М; ВБр5М + полоса без легирования.

Испытания на задиростойкость образцов с покрытиями, имитирующими поршневые кольца, проводили по схеме «ролик-колодка» в условиях граничного трения (в зону трения подавалось 2-3 капли дизельного масла в минуту). В целях поддержания постоянной температуры в зоне трения (порядка 80 °С) пара трения охлаждалась струей воздуха. Данные, полученные при испытании на задиростойкость покрытия, представлены в таблице 3.

Таблица 3

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА ЗАДИРОСТОЙКОСТЬ ОБРАЗЦОВ С ПОКРЫТИЯМИ НА ВЫСОКОПРОЧНОМ ЧУГУНЕ**

| № п/п  | Коэффициент трения ( $f_{\tau}$ ) при нагрузке, кг |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | 21   | 40    | 60    | 80    | 100   | 120   | 140   | 150   | 160   | 170   | 180   |
| Покрытие: гальванический хром (эталон)                   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 1  | 0,058  | 0,067 | 0,069 | 0,063 | 0,045 | 0,050 | задир |       |       |       |       |
| Покрытие: FeCr+Mo  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 2  | 0,076  | 0,065 | 0,057 | 0,055 | 0,047 | 0,050 | задир |       |       |       |       |
| Покрытие: ВБр5М+ MoS <sub>2</sub> , на эпоксидной основе |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 3  | 0,038  | 0,041 | 0,035 | 0,038 | 0,045 | 0,046 | 0,047 | 0,044 | 0,045 | задир |       |
| Покрытие: Mo + MoS <sub>2</sub> , на эпоксидной основе   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 4  | 0,037  | 0,038 | 0,031 | 0,033 | 0,035 | 0,043 | 0,039 | 0,032 | 0,035 | задир |       |
| Покрытие: ВБр5М  |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 5  | 0,091  | 0,067 | 0,060 | 0,057 | 0,059 | 0,054 | 0,050 | задир |       |       |       |
| Покрытие: Mo   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 6  | 0,041  | 0,068 | 0,057 | 0,057 | 0,056 | 0,05  | 0,049 | 0,049 | 0,046 | 0,045 | 0,043 |
| Покрытие: FeCr   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 7  | 0,123  | 0,105 | 0,100 | 0,085 | 0,082 | 0,076 | задир |       |       |       |       |
| Покрытие: ВК8+Ni   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 8  | 0,038  | 0,075 | 0,070 | 0,080 | 0,068 | 0,060 | задир |       |       |       |       |
| Покрытие: FeCr+Cu + (Mo + MoS <sub>2</sub> )             |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 9  | 0,066  | 0,080 | 0,080 | 0,075 | 0,072 | 0,070 | 0,069 | 0,064 | задир |       |       |

Примечание: Пара трения: ролик - колодка с испытываемым покрытием.

Проведенные испытания показали, что наиболее высокой задиристостью и наиболее низким коэффициентом трения обладают покрытия, сформированные электродными материалами из молибдена,  $\text{Mo}+\text{MoS}_2$  на эпоксидной основе и бронзы ВБр5М +  $\text{MoS}_2$  на эпоксидной основе: значения коэффициента трения указанных покрытий заметно меньше, чем при покрытии гальваническим хромом. Эти материалы были использованы в качестве электродов при последующих испытаниях образцов, имитирующих поршневое кольцо.

Выполненные испытания на износостойкость образцов из серого чугуна с электроискровыми покрытиями не выявили преимуществ их по отношению к эталонному образцу, несмотря на явное положительное влияние этих покрытий на задиристость серого чугуна. Это частично можно объяснить полезным влиянием (роль твердой смазки) свободного графита в сером чугуне в условиях трения скольжения.

Испытания на износ образцов, имитирующих материал колец, показали, что наиболее высокая износостойкость получена при формировании покрытий электродами  $\text{Mo}+\text{MoS}_2$  на эпоксидной основе (рис. 1).

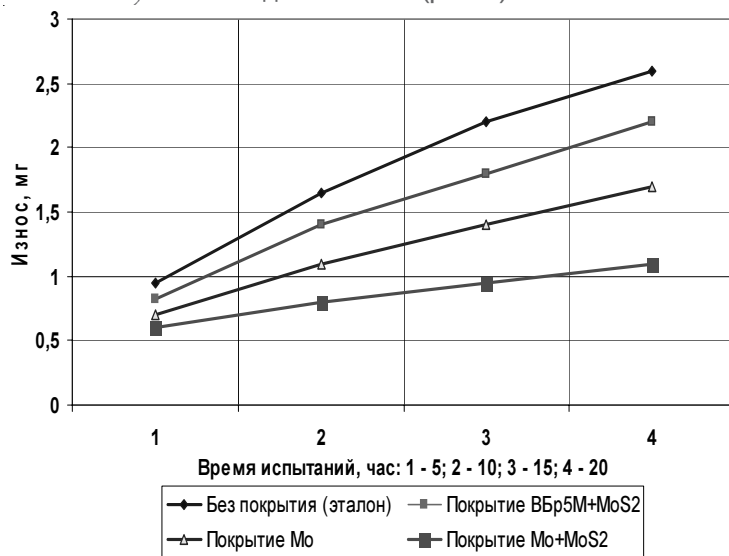


Рис. 1. Результаты испытаний на износостойкость образцов (колодка), имитирующих поршневое кольцо

Видно, что по износостойкости такие покрытия в 2,5 раза превышают эталонный, без электроискрового покрытия, хромированный образец.

Анализ фазового состава покрытий высокопрочного чугуна, результаты по задиристости и износостойкости которых были наиболее высокими, показал, что при ЭИО электродом  $\text{Mo}+\text{MoS}_2$  в поверхностном слое образовались следующие фазы: мартенсит,  $\text{Mo}$ ,  $\text{MoO}_2$ ,  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{S}$  и незначительное количество  $\text{Fe}_3\text{C}$  и  $\text{FeS}$ . За счет мартенсита и  $\text{Fe}_3\text{C}$  существенно повышается твердость поверхностного слоя, достигая  $600-800 \text{ кг/мм}^2$ , а за счет  $\text{Mo}$  повышается прочность поверхностного слоя при повышенных температурах, характерных при работе пары «гильза - поршневое кольцо».

Присутствие в сформированном ЭИО слое серы и  $\text{MoS}_2$  играет роль твердой смазки (благодаря своей слоистой структуре [12]), а  $\text{MoS}_2$  к тому же обладает гексагональной структурой, у которой лучше всего выделены плоскости легкого скольжения. Свойства этих материалов как смазки сохраняются при высоких температурах благодаря их значительной термостабильности. Кроме этого, содержание не более 1 % серы в  $\text{MoS}_2$  способствует улучшению прочностных характеристик материала поверхностного слоя [12].

В электроискровых покрытиях фосфористой бронзой ВБр5М были обнаружены в основном мартенсит и медь. Фосфор рентгенофазовым методом не был выявлен, хотя в поверхностном слое он должен присутствовать, тем самым повышая его пластичность. Наличие же меди в поверхностном слое придает ему высокие антифрикционные свойства и коррозионную стойкость.

**Выводы.** Выполнены экспериментальные исследования по определению антифрикционных свойств электроискровых покрытий применительно к гильзе и поршневому кольцу дизельного двигателя Д100.

Комплекс выполненных исследований показал эффективность применения метода ЭИО на образцах из высокопрочного чугуна для уменьшения задиростойкости, при этом достигнуто увеличение износостойкости электроискровых покрытий Mo+MoS<sub>2</sub> в 2,4-2,5 раза.

Результаты исследований могут быть использованы для увеличения ресурса поршневых колец дизельных двигателей типа Д100.

#### Литература

1. Черноиванов В.И., Лялякин В.П., Литовченко Н.Н. Ресурсосберегающие восстановительно-упрочняющие технологии – основа вторичного производства деталей машин // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2009. Т. 16. № 1. С. 2-5.
2. Восстановление и упрочнение деталей: Справочник / В.П. Иванов, В.С. Ивашко, В.М. Константинов, В.П. Лялякин, Ф.И. Пантелеенко; под ред. Ф.И. Пантелеенко. – М.: Наука и технологии, 2013. – 368 с.
3. Асташкевич Б.М. Вопросы повышения износостойкости цилиндрических втулок и поршневых колец транспортных двигателей. // Вестник машиностроения, 1976, № 3, с. 9-12.
4. [http://www.rusnauka.com/11\\_NPE\\_2012/Tecnic/1\\_106443.doc.htm](http://www.rusnauka.com/11_NPE_2012/Tecnic/1_106443.doc.htm) - Скобло Т.С., Олейник А.К., Мартыненко Д.А. Исследование износостойкости и прирабатываемости маслосъемных поршневых колец дизеля 10Д100М.
5. Рыбакова Л.П., Куксенова Л.И. Структура и износостойкость металла. М.: Машиностроение, 1982.
6. Михайлюк А.И. Влияние электроискрового легирования металлических поверхностей на их износостойкость: Автореф. дисс. канд. техн. наук. Москва, 1990.
7. Михайлюк А.И., Житару Р.П., Гитлевич А.Е. Возможности улучшения пластических свойств деформируемых поверхностей с помощью электроискровой обработки. // Упрочняющие технологии и покрытия, 2011, № 4, с. 36-41.
8. Игнатенко Л.Н., Касаткина Н.Ф., Шаркеев Ю.П. и др. Формирование и развитие с деформацией тонкой структуры среднелегированной конструкционной стали. Томск: Изд-во Томского университета, 1986, с. 164-172.
9. Кудряков О.В., Пустовойт В.Н. Структурный критерий коррозионной стойкости «белых слоев». // Материаловедение, 1998, № 7, с. 33-39.
10. Бурумкулов Ф.Х., Лезин П.П., Сенин П.В., Иванов В.И. и др. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов. Саранск, 2003, 504 с.
11. Михайлов-Михеев П.Б. Справочник по металлическим материалам турбины и моторостроения. М., "Машгиз", 1963 г.
12. Федорченко И.М., Пугина Л.И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. Киев, «Наукова думка», 1980, 403 с.

#### References

1. Chernoiivanov VI Lyalyakin VP, Litovchenko NN Resource-recovery and strengthening technologies - the basis of secondary production machinery parts // Herald of Orel State Agrarian University. 2009. T. 16. № 1. S. 2-5.
2. Restoration and hardening of details: Reference / VP Ivanov, VS Iwashko, VM Konstantinov, VP Lyalyakin, FI Panteleenko; Ed. FI Panteleenko. - M.: Science and Technology, 2013. - 368 p.



3. Astashkevich BM Questions increase wear resistance cylinder liners and piston rings vehicle engines. // Journal of Mechanical Engineering, 1976, № 3, p. 9-12.
4. [http://www.rusnauka.com/11\\_NPE\\_2012/Tecnic/1\\_106443.doc.htm](http://www.rusnauka.com/11_NPE_2012/Tecnic/1_106443.doc.htm) - Skoblo TS, Oleinik AK, Martynenko DA Investigation of wear resistance and running-in oil control piston rings diesel 10D100M.
5. Rybakov LP, LI Kuxsenova The structure and wear resistance of the metal. M.: Mechanical Engineering, 1982.
6. Al Mikhailyuk Effect of spark alloying metal surfaces on their wear resistance: Author. diss. cand. tehn. Sciences. Moscow, 1990.
7. Mikhailyuk AI, Jitaru RP, Gitlevich AE Opportunities to improve the plastic properties of deformable surfaces using spark processing. // Hardening Technology & Coating, 2011, № 4, p. 36-41.
8. Ignatenko LN, Kasatkina NF, JP Sharkeev and others. The formation and development of the deformation of the fine structure srednelegirovannoj structural steel. Tomsk: Publishing House of Tomsk University, 1986, p. 164-172.
9. Kudryakov OV, Pustovoyt VN Structural criterion corrosion resistance of "white layers". // Materials, 1998, № 7, p. 33-39.
10. Burumkulov FH, Lezin PP, PV Senin, Ivanov VI et al. Electrospark technology recovery and strengthening of machine parts and tools. Saransk, 2003, 504.
11. Mikhailov Mikheyev-PB Handbook of metallic materials and turbino- Motors. M., "Mashgiz", 1963
12. IM Fedorchenko, Pugin LI Composite sintered antifriction materials. Kiev, "Naukova Dumka", 1980, 403 p.

## RESISTANCE TO SCORING AND WEAR RESISTANCE OF THE ELECTRIC SPARK COATING APPLIED TO DETAIL OF FRICTION DIESEL

*Mikhailyuk A.I.<sup>1</sup>, Ivanov V.I.<sup>2</sup>, Gitlevich A.E.<sup>3</sup>,  
Volodin G.F.<sup>1</sup>, Yanakevich A.I.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Institute of Applied Physics, Academy of Sciences of the Republic of Moldova,  
MD 2028, Chisinau, str. Academic, 5  
e-mail: mihalek@yandex.ru*

*<sup>2</sup>Federalnoe state budgetary scientific institution  
"All-Russian Research Institute of Technology  
repair and maintenance of machines and tractors "(FGBNU GOSNITI)  
109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy travel, d. 1  
e-mail: tehnoinvest-vip@mail.ru*

*<sup>3</sup>ERFINDER ZENTRUM "INNOTECH"  
e.v. Drosselweg 2, 34253, Lohfelden, Deutschland  
e-mail: irark@yandex.ru*

**Annotation.** *Experimental studies to determine the coefficient of friction coefficient, resistance to scoring and wear resistance of a number of electric-spark coatings applied to the liner and piston rings D100 diesel engine. Testing of the surface is determined that samples of ductile iron (ring material) the lowest coefficient of friction (0,031-0,043), and the largest increase in wear resistance (in 2.4-2.5 times) achieved by applying electric spark electrode coatings Mo + MoS<sub>2</sub> epoxy.*

**Keywords:** *friction pair; sleeve; Piston ring; elektrois blood-processing; cover; resistance to scoring; durability.*