

УДК 621.357.77  
DOI: 10.12737/23235

Е.В. Агеев, А.Ю. Алтухов, Е.А. Воробьев

### ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ПОРОШКА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

Представлены результаты исследования плазменных покрытий коленчатого вала двигателя КамАЗ-740, полученных с использованием электроэрозионных материалов. Отмечено, что использование порошковых материалов, полученных из отходов быстрорежущих сталей электроэрозионным диспергированием, а не промышленно выпускаемых (достаточно дорогих), для плазменно-

порошковой наплавки позволит улучшить качество плазменных покрытий с минимумом затрат на порошковые материалы.

**Ключевые слова:** отходы быстрорежущих сталей, электроэрозионное диспергирование, порошковые материалы, коленчатый вал, плазменно-порошковая наплавка.

E.V. Ageev, A.Yu. Altukhov, E.A. Vorobiyov

### APPLICATION OF HIGH-SPEED STEEL ELECTROEROSION POWDER AT MOTOR CAR WORN-OUT PARTS RESTORATION

About 75% of parts after dismantling units delivered for major repairs have residual life sufficient enough and can be reused without restoration or after renewal with costs not exceeding 40...60% of new parts value. One of the most promising methods of welding deposition is plasma-powder retailoring (PPR). The purpose of this work is the application of an electroerosion powder of high-speed steel at the motor car worn-out parts renewal by plasma-powder retailoring. By means of the PPR method there were produced three samples. A metal disk with 6 cm diameter made of 30ChGSA steel was a basis. Powder fillers with highly rigid phases and a relatively plastic

matrix in their structure are used as material at parts PPR. In such a way such material is powder high-speed steel (PHSS) obtained through the method of electroerosion dispersion in kerosene. At the solution of problems specified there were used modern test and research methods. The researches carried out allow estimating objectively the possibility of PPR method application for renewal and strengthening work surfaces in parts of motor car engines with the use of powder high-speed steel.

**Key words:** high-speed steel scrap, electroerosion dispersion, powder materials, crankshaft, plasma-powder welding deposition.

#### Введение

Качественный капитальный ремонт агрегатов автомобилей имеет большое экономическое и, следовательно, народно-хозяйственное значение. Основным фактором повышения экономической эффективности капитального ремонта агрегатов автомобилей является использование остаточного ресурса деталей. Около 75 % деталей после разборки агрегатов, поступивших в капитальный ремонт, имеют большой остаточный ресурс и могут быть использованы повторно без восстановления или после восстановления с затратами, не превышающими 40...60 % стоимости новых деталей [1; 2]. Все это в полной мере относится к коленчатым валам двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Коленчатый вал - одна из основных деталей кривошипно-шатунного механизма, которая вместе с другими деталями определяет ресурс работы двигателя внутреннего сгорания. Срок службы коленчатого вала зависит от условий его работы и износа.

Один из основных и хорошо проработанных способов восстановления деталей, в том числе и коленчатого вала, - это восстановление до следующего ремонтного размера методом снятия металла. Для коленчатого вала имеются свои ремонтные размеры, до предела которых может производиться механическая обработка.

Восстановление деталей за счет снятия металла с их поверхностей осуществ-

ляется механической обработкой. При достижении предела, при котором шлифовка невозможна, а также при появлении на валу трещин вал может быть восстановлен с помощью наплавки слоя металла. Этот способ достаточно дорогостоящий - из-за специальных установок и материалов, необходимых для наплавки. Кроме того, для его применения необходимы специальные навыки. Недостаточность изучения данного метода с практической точки зрения привела к его запустению.

Способов наплавки несколько, и каждый имеет свои преимущества и недостатки.

### Материалы и методики

Методом ППН были получены 3 образца. Основой являлся металлический пятак диаметром 6 см из стали 30ХГСА. В качестве материала при ППН деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания, используются порошковые наплавочные материалы, в структуре которых содержатся высокотвёрдые фазы и относительно пластичная матрица. Таким материалом является порошковая быстрорежущая сталь (ПБС), полученная методом электроэрозионного диспергирования в керосине [3-10]. Диспергирование отходов стали Р6М5 проводили при следующих параметрах установки: напряжение 200 В, емкость разрядных конденсаторов 55 мкФ и частота следования импульсов 100 Гц.

Испытания микротвердости образцов по поверхности и по шлифу проводили с помощью автоматической системы анализа микротвердости DM-8 по методу микроВиккерса при нагрузке на индентор 200 г по десяти отпечаткам со свободным выбором места укола (в соответствии с ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников»). Время нагружения индентора составило 15 с.

Коэффициент трения и скорость износа поверхности образцов и контртела

Одним из наиболее перспективных способов наплавки является плазменно-порошковая наплавка (ППН), которая обладает следующими достоинствами:

- высокое качество наплавляемого металла;
- малая глубина проплавления основного металла при высокой прочности сцепления;
- возможность наплавки тонких слоёв.

Целью настоящей работы являлось применение электроэрозионного порошка быстрорежущей стали при восстановлении изношенных деталей автомобилей плазменно-порошковой наплавкой.

измеряли на автоматизированной машине трения (Tribometer, CSM Instruments, Швейцария), управляемой компьютером (рис. 1), по стандартной схеме испытания «шарик - диск». Эти испытания позволяют использовать модель Герца, они соответствуют международным стандартам ASTM G99-959 DIN50324 и могут быть использованы для оценки износостойкости образца и контртела. В качестве основы применялись диски из стали 30ХГСА.

При решении поставленных задач применялись современные методы испытаний и исследований: материал для ППН получали методом электроэрозионного диспергирования на установке для получения электроэрозионных порошков из токопроводящих материалов (патент РФ № 2449859); плазменные покрытия наносили с помощью установки УД-209 на основе переделанного для наплавки токарного станка и сварочного выпрямителя ВДУ-506; коэффициент трения и интенсивность износа поверхности образца с нанесенным на него плазменным покрытием и контртела исследовали на автоматизированной машине трения Tribometer фирмы CSM Instruments; шероховатость поверхности образцов исследовали на профилометре Surtronic 25 и др.



Рис. 1. Схема автоматизированной машины трения (Tribometer, CSM Instruments, Швейцария)

### Результаты и их обсуждение

На рис. 2 представлен снимок частиц электроэрозионного порошка с растрового электронного микроскопа.

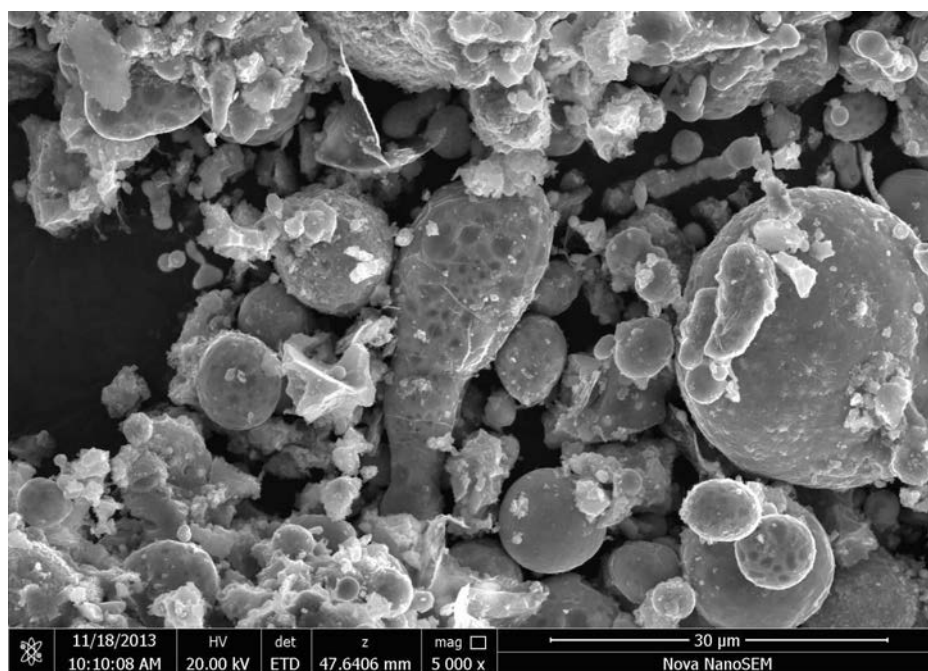


Рис. 2. Снимок частиц электроэрозионного порошка с растрового электронного микроскопа

Видно, что в порошке, полученном электроэрозионным диспергированием отходов стали Р6М5 в керосине, присутствуют частицы, имеющие правильную сферическую, эллиптическую форму, и агломераты.

Экспериментально установлено, что средний размер частиц порошка, полученного в осветительном керосине, составляет 26,72 мкм, удельная площадь поверхности частиц составляет 6725,95 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>.

Результаты измерений микротвердости приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Микротвердость образцов по Виккерсу (HV 0,2)

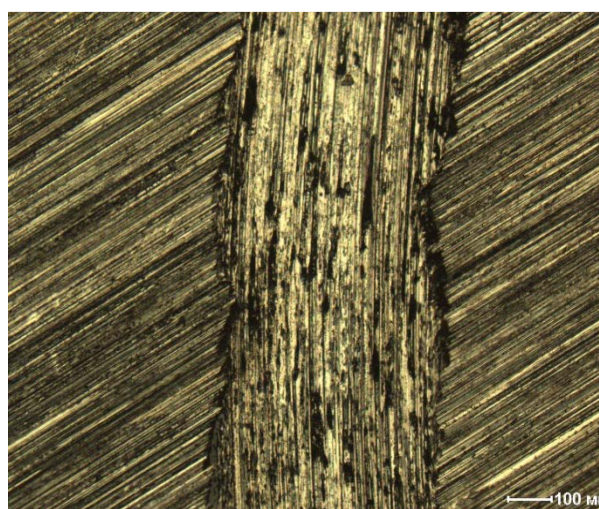
| Номер отпечатка                      | Образец 1   |                              | Образец 2   |                              | Образец 3   |                              |
|--------------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|------------------------------|
|                                      | Поверхность | Шлиф (приповерхностная зона) | Поверхность | Шлиф (приповерхностная зона) | Поверхность | Шлиф (приповерхностная зона) |
| 1                                    | 335         | 240                          | 322         | 201                          | 302         | 245                          |
| 2                                    | 332         | 216                          | 337         | 200                          | 274         | 244                          |
| 3                                    | 373         | 247                          | 353         | 233                          | 313         | 230                          |
| 4                                    | 345         | 225                          | 342         | 222                          | 297         | 255                          |
| 5                                    | 327         | 249                          | 330         | 235                          | 325         | 250                          |
| 6                                    | 330         | 241                          | 335         | 238                          | 304         | 235                          |
| 7                                    | 293         | 238                          | 385         | 248                          | 337         | 240                          |
| 8                                    | 279         | 255                          | 367         | 237                          | 388         | 211                          |
| 9                                    | 373         | 240                          | 340         | 247                          | 412         | 208                          |
| 10                                   | 379         | 277                          | 305         | 267                          | 389         | 209                          |
| Среднее значение (единицы измерения) |             |                              |             |                              |             |                              |
| HV                                   | 337,0       | 243,00                       | 341,0       | 233,00                       | 334,0       | 233,0                        |
| ГПа                                  | 3,370       | 2,430                        | 3,410       | 2,330                        | 3,340       | 2,330                        |
| Стандартное отклонение               | 33,16       | 16,50                        | 22,57       | 20,70                        | 46,49       | 17,59                        |

Разброс значений микротвердости по поверхности связан с пробоподготовкой поверхности образца.

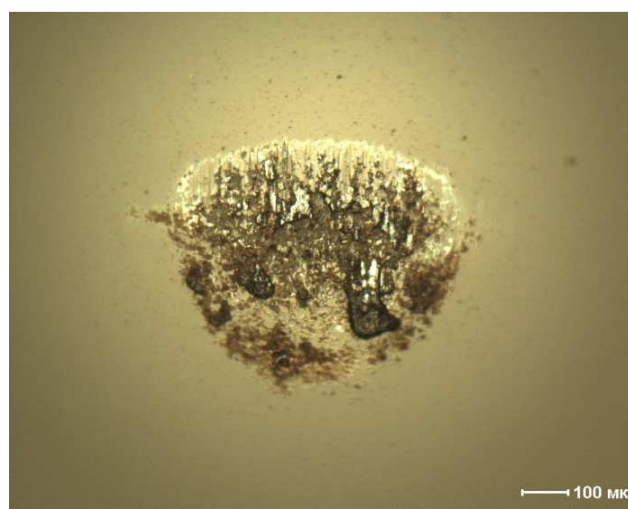
По результатам испытаний трех образцов видно, что образец 2 имеет наибольшее среднее значение микротвердости наплавленной поверхности – 341 HV, что почти в 1,5 раза выше микротвердости базовой поверхности.

На основании теоретических и экспериментальных исследований установлено, что имеет место увеличение среднего значения микротвердости упрочненного материала в 1,5 раза в поверхностном слое.

Результаты исследований свойств плазменных покрытий представлены в табл. 2 и на рис. 3.



а)



б)

Рис. 3. Оптическое изображение дорожки износа (а) и пятна износа (б) контртела (шарика) после многократных проходов по исследуемой поверхности экспериментальных образцов (ширина дорожки износа - 469 мкм, контртело -  $Al_2O_3$ )

Таблица 2

## Трибологические характеристики исследуемых покрытий

| № образца | Коэффициент трения ( $\mu$ ) |             |              |                  |                    | Фактор износа статистического партнера,<br>$мм^3 \cdot Н^{-1} \cdot м^{-1} \cdot 10^{-5}$ | Фактор износа образца,<br>$мм^3 \cdot Н^{-1} \cdot м^{-1} \cdot 10^{-5}$ |
|-----------|------------------------------|-------------|--------------|------------------|--------------------|---|--|
|           | Начальный                    | Минимальный | Максимальный | Среднее значение | Среднее отклонение |   |  |
| 1         | 0,358                        | 0,180       | 0,778        | 0,709            | 0,088              | 0,131   | 5,263  |
| 2         | 0,206                        | 0,175       | 0,854        | 0,704            | 0,068              | 0,396   | 6,821  |
| 3         | 0,097                        | 0,097       | 0,804        | 0,665            | 0,143              | 0,108   | 7,789  |

Экспериментально установлены средние значения коэффициента трения ( $\mu$ ) плазменного покрытия: образец 1 - 0,709; образец 2 - 0,704; образец 3 - 0,665. Отмечено, что износостойкость образца с плазменным покрытием выше износостойкости подложки.

Сравнение результатов испытаний образцов показывает, что наиболее износостойким является образец 1 (наименьший фактор износа).

За объект реновации был выбран коленчатый вал двигателя КамАЗ-740.

В качестве порошкового наплавочного материала использовалась композиция порошков, полученных ЭЭД отходов быстрорежущих сталей.

На изношенные шейки коленчатого вала, подлежащие восстановлению методом плазменно-порошковой наплавки, накладывается ряд требований:

1. Коленчатые валы с кольцевыми трещинами, продольными трещинами в виде волосовин, трещинами, выходящими на галтели, подлежат выбраковке.

2. На восстановление плазменно-порошковой наплавкой принимаются валы с биением по средней шейке не более 0,5 мм.

3. Повторное восстановление плазменно-порошковой наплавкой допускается после шлифовки до основного материала.

4. Не допускается наличия трещин на поверхностях восстановленного вала.

Таблица 3

## Порядок операций наплавочных работ по коленчатому валу КамАЗ-740

| Операция  | Оборудование и приспособления   | Инструменты и материалы  |
|---|---|--|
| 1. Зачистить коренную шейку до металлического блеска                      | Верстак слесарный   | Щетка металлическая, шкурка шлифовальная   |
| 2. Заглушить отверстия масляных каналов, зачистить поверхность            | Верстак слесарный   | Асбестоцементная смесь, молоток слесарный, шкурка шлифовальная                               |
| 3. Подогреть коренную шейку до 200 °С плазменной дугой без подачи порошка | Установка для плазменно-порошковой наплавки УД-209, выпрямитель сварочный ВДУ-506 | Аргон ГОСТ 10157-79; магистральная вода ГОСТ 2844-82   |
| 4. Наплавить коренную шейку   | Установка для плазменно-порошковой наплавки УД-209, выпрямитель сварочный ВДУ-506 | Аргон ГОСТ 10157-79; магистральная вода ГОСТ 2844-82; порошковые электроэрозионные материалы |

*Примечание.* Наплавку шатунных шеек коленчатого вала выполнить в той же последовательности.

## Заключение

Проведенные исследования позволяют объективно оценить возможность применения метода ППН для восстановления и упрочнения рабочих поверхностей деталей автомобильных двигателей с использованием порошковой быстрорежущей стали. В свою очередь, использование порошковых материалов, полученных из отходов

быстрорежущих сталей электроэрозионным диспергированием, а не промышленно выпускаемых (достаточно дорогих), для плазменно-порошковой наплавки позволит улучшить качество плазменных покрытий с минимумом затрат на порошковые материалы.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (договор № 31 16-38-60064\15 от 02.12.2015 г.).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шадричев, В.А. Основы технологии автостроения и ремонт автомобилей / В.А.Шадричев. - Л.: Машиностроение, 1976. - 560 с.
2. Дюмин, И.Е. Ремонт автомобилей / И.Е.Дюмин, Г.Г.Трегуб. - М.: Транспорт, 1998. - 280с.
3. Агеев, Е.В. Совершенствование технологии восстановления коленчатого вала двигателя КамАЗ-740 плазменно-порошковой наплавкой путем применения порошковых электроэрозионных материалов / Е.В.Агеев, Е.А.Воробьев, И.П.Емельянов // Мир транспорта и технологических машин. - 2016. - № 2 (53). - С. 53-61.
4. Агеев, Е.В. Повышение эксплуатационных показателей восстановленных деталей автомобилей на основе научно обоснованных ресурсосберегающих технологий, материалов и устройств / Е.В.Агеев // Мир транспорта и технологических машин. - 2012. - № 1. - С. 32-41.
5. Агеева, Е.В. Исследования по размерам микрочастиц порошка, полученного электроэрозионным диспергированием отходов быстрорежущей стали в среде керосина / Е.В.Агеева, Е.В.Агеев, Е.А.Воробьев, Д.В.Воскобойников // Вестник Сумского национального аграрного университета. - 2013. - № 10 (25) - С. 210-213.
6. Агеев, Е.В. Состав и свойства порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов: монография / Е.В.Агеев, Р.А.Латыпов, Б.А.Семенихин [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. - Курск, 2011. - 123 с.
7. Гадалов, В.Н. Металлография металлов, порошковых материалов и покрытий, полученных электроискровыми способами: монография / В.Н.Гадалов, В.Г.Сальников, Е.В.Агеев [и др.]. - М.: ИНФРА-М, 2011. - 468 с.
8. Ageeva, E.V. Morphology of Copper Powder Produced by Electrospark Dispersion from Waste / E.V.Ageeva, N.M.Horyakova, E.V.Ageev // Russian Engineering Research. - 2014. - Vol. 34. - № 11. - P. 694-696.
9. Ageeva, E.V. Morphology and Composition of Copper Electrospark Powder Suitable for Sintering / E.V.Ageeva, E.V.Ageev, N.M.Horyakova // Russian Engineering Research. - 2015. - Vol. 35. - № 1. - P. 33-35.
10. Агеев, Е.В. Особенности технологии получения порошковых наплавочных материалов методом электроэрозионного диспергирования отходов твердых сплавов для наплавки шеек коленчатых валов / Е.В.Агеев, М.Е.Сальков // Технология металлов. - 2008. - № 5. - С. 34-37.
1. Shadrichev, V.A. *Fundamentals of Motor Car Production Technology and Motor Car Repair* / V.A.Shadrichev. - L.: Mechanical Engineering, 1976. - pp. 560.
2. Dyumin, I.E. *Motor Car Repair* / I.E.Dyumin, G.G.Tregub. - M.: Transport, 1998. - pp. 280.
3. Ageev, E.V. Improvement in technology of crankshaft renewal for KamAZ-740 engine by plasma-powder welding deposition by means of powder electroerosion materials application / E.V.Ageev, E.A.Vorobyov, I.P.Yemeliyanov // *World of Transport and Technological Machinery*. - 2016. - № 2 (53). - pp. 53-61.
4. Ageev, E.V. Service indices increase in motor car restored parts based on scientifically-substantiated alternative technologies, materials and devices / E.V.Ageev // *World of Transport and Technological Machinery*. - 2012. - № 1. - pp. 32-41.
5. Ageeva, E.V. Investigations on micro-particles dimensions of powder obtained by electroerosion dispersion of high-speed steel waste in kerosene medium / E.V.Агеева, E.V.Ageev, E.A.Vorobiyov, D.V.Voskoboinikov // *Bulletin of Sumy National Agricultural University*. - 2013. - № 10 (25) - pp. 210-213.
6. Ageev, E.V. Content and properties of powders obtained through electroerosion dispersion of hard alloy waste: monograph / E.V.Ageev, R.A.Latypov, B.A.Semenikhin [et al.]; *South-Western State University*. - Kursk, 2011. - pp. 123.
7. Gadalog, V.N. *Metallography of Metals, Powder Materials, and Coatings maded by Electrospark Methods*: monograph / V.N.Gadalog, V.G.Salnikov, E.V.Ageev [et al.]. - M.: INFRA-M, 2011. - pp. 468.
8. Ageeva, E.V. Morphology of Copper Powder Produced by Electrospark Dispersion from Waste /

- E.V.Ageeva, N.M.Horyakova, E.V.Ageev // Russian Engineering Research. – 2014. – Vol. 34. – № 11. – P. 694-696.
9. Ageeva, E.V. Morphology and Composition of Copper Electrospark Powder Suitable for Sintering / E.V.Ageeva, E.V.Ageev, N.M.Horyakova // Russian Engineering Research. – 2015. – Vol. 35. – № 1. – P. 33–35.
10. Ageev, E.V. Peculiarities in technologies of powder fillers making by method of electroerosion dispersion of hard alloy waste for crankshaft journal welding deposition / E.V.Ageev, M.E.Salkov // *Metal Techniques*. – 2008. – № 5. – pp. 34–37.

*Статья поступила в редакцию 11.10.2016 г.*

*Рецензент: д.т.н., профессор  
Юго-Западного государственного университета  
Куц В.В.*

#### Сведения об авторах:

**Агеев Евгений Викторович**, д.т.н., профессор Юго-Западного государственного университета, e-mail: [ageev\\_ev@mail.ru](mailto:ageev_ev@mail.ru).

**Алтухов Александр Юрьевич**, к.т.н., доцент Юго-Западного государственного университета, e-mail: [alt997@yandex.ru](mailto:alt997@yandex.ru).

**Ageev Evgeny Victorovich**, D.Eng., Assistant Prof., Prof. of the Dep. “Motor Cars, Transport Systems and Processes”, FSBEI HE “South-Western State University”, E-mail: [ageev\\_ev@mail.ru](mailto:ageev_ev@mail.ru).

**Altukhov Alexander Yurievich**, Can.Eng., Assistant Prof. of the Dep. “Motor Cars, Transport and

**Воробьев Евгений Александрович**, аспирант Юго-Западного государственного университета, e-mail: [evg.vorob91@yandex.ru](mailto:evg.vorob91@yandex.ru).

Processes”, FSBEI HE “South-Western State University”, E-mail: [alt997@yandex.ru](mailto:alt997@yandex.ru).

**Vorobiyov Evgeny Alexandrovich**, Post graduate student, FSBEI HE “South-Western State University”, E-mail: [evg.vorob91@yandex.ru](mailto:evg.vorob91@yandex.ru).