

УДК 669

DOI 10.17073/1997-308X-2015-2-62-65

Характеристики электроискровых покрытий, полученных электродами из электроэрозионных порошков быстрорежущей стали

© 2015 г. **Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов, Е.В. Агеев, А.Ю. Алтухов, В.Ю. Карпенко**

Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ), г. Курск

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

Статья поступила в редакцию 09.06.2014 г., доработана 12.08.14 г., подписана в печать 26.11.14 г.

Агеева Е.В. — канд. техн. наук, доцент кафедры фундаментальной химии и химической технологии ЮЗГУ (305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94). Тел.: (4712) 32-68-79. E-mail: ageeva-ev@yandex.ru.

Латыпов Р.А. — докт. техн. наук, проф., зав. кафедрой технологии и оборудования металлургических процессов МАМИ (111127, г. Москва, ул. Лефортовский вал, 26). Тел.: (495) 267-58-10. E-mail: latipov46@mail.ru.

Агеев Е.В. — докт. техн. наук, доцент, руководитель научно-образовательного центра «Порошковая металлургия и функциональные покрытия» ЮЗГУ. E-mail: ageev_ev@mail.ru.

Алтухов А.Ю. — канд. техн. наук, доцент кафедры автомобилей, транспортных систем и процессов ЮЗГУ. Тел.: (4712) 50-48-15. E-mail: alt997@yandex.ru.

Карпенко В.Ю. — аспирант, преподаватель кафедры автомобилей, транспортных систем и процессов ЮЗГУ. E-mail: omegav@rambler.ru.

Исследованы электроискровые покрытия на образцах из стали 30ХГСА, полученные на установке UR-121. Electrodes for electric-discharge machining are fabricated by hot compacting from the powders prepared by electroerosive dispersing of waste of high-speed steel P6M5. The microstructure, thickness of the coating layer, and its surface state are studied using modern investigation techniques. Roughness parameters of wares and microhardness of the electric-discharge coating and substrate made of steel 30KhGSA are determined. It is established that the coating microhardness is larger than that one of the substrate by a factor of 2,1, which can be associated with a nonuniform distribution of the particles of high-speed steel in the electric-discharge coating. It is shown that powder materials fabricated by electroerosion dispersing from high-speed steel wastes can be used as the electrode material to fabricate various functional coatings by electric-discharge alloying.

Ключевые слова: отходы быстрорежущей стали, электроэрозионное диспергирование, порошок, электроискровое легирование, электроискровое покрытие, микроструктура, микротвердость.

Electric-discharge coatings on the samples made of steel 30KhGSA fabricated using a UR-121 installation are investigated. Electrodes for electric-discharge machining are fabricated by hot compacting from the powders prepared by electroerosive dispersing of waste of high-speed steel P6M5. The microstructure, thickness of the coating layer, and its surface state are studied using modern investigation techniques. Roughness parameters of wares and microhardness of the electric-discharge coating and substrate made of steel 30KhGSA are determined. It is established that the coating microhardness is larger than that one of the substrate by a factor of 2,1, which can be associated with a nonuniform distribution of the particles of high-speed steel in the electric-discharge coating. It is shown that powder materials fabricated by electroerosion dispersing from high-speed steel wastes can be used as the electrode material to fabricate various functional coatings by electric-discharge alloying.

Keywords: high-speed steel wastes, EDM dispersing, powder, electric-spark alloying, electric-discharge coating, microstructure, microhardness.

Введение

Развитие современного машиностроения требует повышения качества, надежности и долговечности деталей, узлов и механизмов. Одним из эффективных путей решения этих задач является применение различных функциональных покры-

тий, полученных методом электроискрового легирования (ЭИЛ), к достоинствам которого относятся простота процесса, высокая адгезия покрытий, низкая энергоемкость и высокая экологичность. В качестве электродов при ЭИЛ применяют специ-

альные вольфрамсодержащие твердосплавные материалы, обеспечивающие получение покрытия с заданными физико-механическими свойствами.

В настоящее время дорогостоящий вольфрам в больших количествах используется в быстрорежущих сталях (БРС) [1–7]. Перспективным методом переработки отходов БРС до микро- и нанодисперсий является электроэрозионное диспергирование (ЭЭД) [8–17]. В настоящее время это один из наиболее перспективных способов получения порошков из практически любого токопроводящего материала. Он отличается относительно невысокими энергетическими затратами, безвредностью и экологической чистотой процесса, отсутствием механического износа оборудования, возможностью непосредственного измельчения кусков твердого сплава различной формы за одну операцию, достижением преимущественно сферической формы частиц размером от нескольких нанометров до сотен микрон.

Для повышения эксплуатационных свойств и снижения стоимости электроискровых покрытий в качестве вольфрамсодержащего электродного материала предложено использовать порошки, полученные электроэрозионным диспергированием отходов БРС. Целью данной работы являлось изучение их характеристик (толщины, шероховатости, микротвердости и фазового состава).

Методика исследований

При постановке экспериментов по получению порошка из отходов быстрорежущей стали методом электроэрозионного диспергирования использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов [18] и сверла, не пригодные к дальнейшему использованию (с невозможностью к переточке и сломанные), из инструментальной быстрорежущей стали марки Р6М5 (ГОСТ 19265-73).

Сверла загружали в реактор с дистиллированной водой. Процесс ЭЭД проводили при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 35 мкФ, напряжение 200–220 В, частота следования импульсов 30 Гц. В результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами происходило разрушение материала отходов с образованием дисперсных частиц порошка.

Электроды для электроискрового легирования изготавливали методом горячего прессования с пропусканием высокоамперного тока в вакууме при температуре 950 °С в течение 3 мин из порошка, полученного электроэрозионным диспергированием отходов быстрорежущей стали марки Р6М5. В основе процесса лежит модифицированный метод горячего прессования, при котором электрический ток пропускается непосредственно через пресс-форму и прессуемую заготовку, а не через внешний нагреватель. С помощью импульсного электротока и так называемого эффекта плазмы искрового разряда (spark plasma effect) достигаются очень быстрый нагрев и исключительно малая продолжительность рабочего цикла. Это позволяет подавить рост зерна и достичь равновесного состояния, что открывает возможности для создания новых материалов с суб- и нанометровым зерном.

Электроискровые покрытия, сформированные такими электродами на образцах из стали 30ХГСА, получали на установке UR-121 (производства «ПЭЛМ», г. Подольск).

Методом растровой электронной и оптической микроскопии было проведено исследование микроструктуры образцов. Предварительно их поверхность шлифовали и полировали. Шлифование производили металлографической бумагой с крупным (№ 60–70) и мелким (№ 220–240) зерном, периодически поворачивая образец на 90°. Частицы абразива смывали водой и образец подвергали полированию на круге суспензиями из оксидов металлов (Fe_3O_4 , Cr_2O_3 , Al_2O_3). После достижения зеркального блеска поверхность шлифа промывали водой, спиртом и просушивали фильтровальной бумагой. Травление осуществляли погружением на несколько секунд в раствор (реактив Ржешотарского: 5 %-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте), после чего поверхность снова промывали водой, спиртом и сушили.

При решении поставленных задач использовали современные методы испытаний и исследований, в том числе:

— металлографический анализ микроструктуры, толщины слоя покрытия и состояния его поверхности проводили с помощью оптического инвертированного микроскопа Olympus GX 51

(Нидерланды), оснащенного системой автоматизированного анализа изображений Simagis Photolab и электронно-ионного сканирующего микроскопа Quanta 200 3D (США);

— параметры шероховатости поверхностей изделий определяли с использованием автоматизированного прецизионного контактного профилометра Surtronic 25 (Великобритания);

— микротвердость оценивали автоматизированным микротвердомером AFFRI DM-8 (Италия) при нагрузке на индентор 100 г и времени выдержки 15 с по 10 отпечаткам в соответствии с ГОСТ 9450-76;

— рентгеноструктурный (фазовый) анализ проводили на рентгеновском дифрактометре ARL9900 Intellipower Workstation (Швейцария).

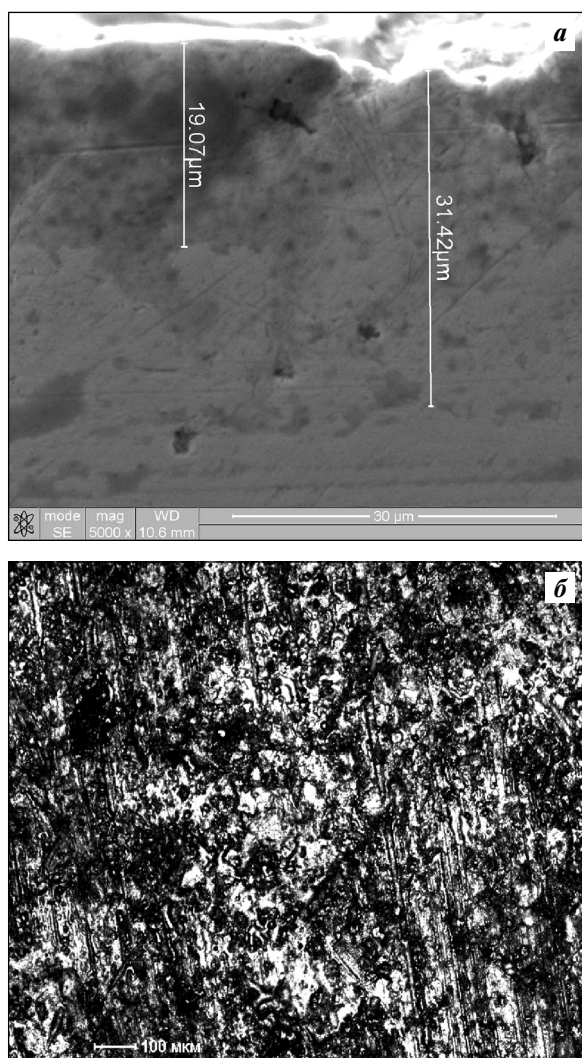
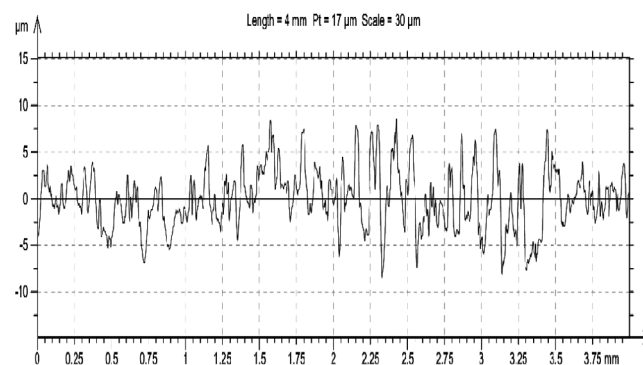


Рис. 1. Микроструктура образца ЭИЛ-покрытия
а — поперечный шлиф (Quanta 200 3D),
б — поверхность (Olympus GX 51)

Результаты и их обсуждение

Результаты металлографического анализа образцов ЭИЛ-покрытий, полученных из электроэрозионных порошков БРС, приведены на рис. 1, из данных которого видно, что они имеют толщину от 19,07 до 31,42 мкм. Шероховатость поверхности, измеренная на профилометре Surtronic 25, составила $R_z = 13,2$ мкм, $R_a = 2,14$ мкм (рис. 2).

Результаты определения микротвердости подложки из стали 30ХГСА и электроискрового по-



ISO 4287			
Amplitude parameters - Roughness profile			
Rp	6.56	μm	Gaussian filter, 0.8 mm
Rv	6.67	μm	Gaussian filter, 0.8 mm
Rz	13.2	μm	Gaussian filter, 0.8 mm
Rc	6.97	μm	Gaussian filter, 0.8 mm
Rt	18.2	μm	Gaussian filter, 0.8 mm
Ra	2.14	μm	Gaussian filter, 0.8 mm
Rq	2.71	μm	Gaussian filter, 0.8 mm
Rsk	0.0671	μm	Gaussian filter, 0.8 mm
Rku	3.74	μm	Gaussian filter, 0.8 mm
Material Ratio parameters - Roughness profile			
Rmr	0.8	%	c = 1 μm under the highest peak, Gaussian filter, 0.8 mm
Rdc	5.09	μm	p = 20%, q = 80%, Gaussian filter, 0.8 mm

Рис. 2. Шероховатость поверхности образца ЭИЛ-покрытия (Surtronic 25)

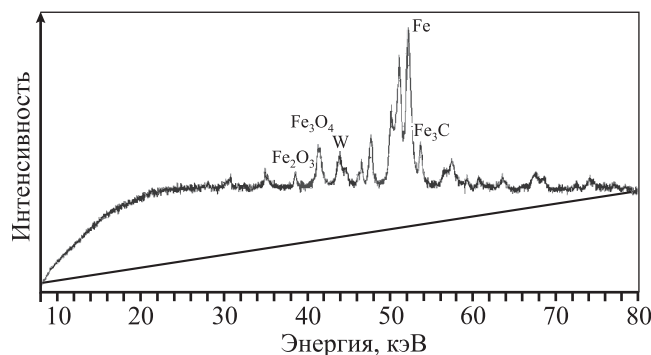


Рис. 3. Дифрактограмма электроискровых покрытий, полученных электродами из электроэрозионных порошков быстрорежущей стали

Значения измеренной микротвердости HV , ГПа

Номер отпечатка	Подложка (сталь 30ХГСА)	Покрытие (БРС)
1	1,88	2,22
2	1,98	2,86
3	2,02	4,61
4	2,11	12,14
5	2,19	9,29
6	2,13	9,46
7	2,15	15,06
8	2,20	4,39
9	2,17	6,50
10	2,11	5,12
Ср. значение	2,094	4,36

крытия с БРС приведены в таблице. Можно отметить, что среднее значение HV покрытия, полученного электродами из электроэрозионных порошков быстрорежущей стали, больше микротвердости подложки в 2,1 раза. Разброс значений HV по поверхности связан с неравномерным распределением частиц БРС в электроискровом покрытии (см. рис. 1, б).

Данные рентгеноструктурного (фазового) анализа образцов покрытий (рис. 3) свидетельствуют, что основными фазами являются Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , W, Fe и Fe_3C .

Заключение

В ходе проведенных исследований характеристик (толщина, шероховатость, микротвердость и фазовый состав) электроискровых покрытий, полученных электродным материалом из электроэрозионных порошков быстрорежущей стали, показано, что их толщина в среднем составляет от 19,07 до 31,42 мкм, шероховатость $R_a = 2,14$ мкм, микротвердость $HV = 4,36$ ГПа, а основными фазами являются Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , W, Fe и Fe_3C .

Таким образом, определена рациональная область применения дешевых порошковых материалов, полученных методом электроэрозионного диспергирования из отходов быстрорежущих сталей, — использование их в качестве электродного материала для получения различных

функциональных покрытий электроискровым легированием.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых — кандидатов наук (код проекта МК-3224.2015.8).

Литература

1. Li Y., Zhang G., Yao J. et al. // Chin. J. Mater. Res. 2005. Vol. 19, № 6. P. 613—618.
2. Uglov V.V., Anishchik V.M., Astashynski V.V. et al. // Surf. Coat. Technol. 2004. Vol. 180-181. P. 108—112.
3. Wei S., Zhu J., Xu L. // Mater. Sci. Eng.: A. 2005. Vol. 404, № 1-2. P. 138—145.
4. Use Li H.Y., Luo D.F., Lau K.H., Yeung C.F. // J. Mater. Proces. Technol. 2002. Vol. 122, № 2-3. C. 179—184.
5. Zhou L., Liu F., Liu C. et al. // J. Univer. Sci. Technol. Beijing, Mineral, Metallurgy, Material. 2005. Vol. 12, № 2. C. 166—171.
6. Wießner M., Leisch M., Emminger H., Kulmburg A. // Mater. Characterization. 2008. Vol. 59, № 7. C. 937—943.
7. Duan C., Wang M. // Scripta Mater. 2005. Vol. 52, № 10. C. 1001—1004.
8. Kashchuk V.A. // Metal Sci. Heat Treatment. 1962. Vol. 4, № 11-12. C. 481—483.
9. Pellizzari M., Cescato D., De Flora M.G. // Wear. 2009. Vol. 267, № 1-4. C. 467—475.
10. Popandopulo A.N., Gerashchenko L.N., Bystrova Z.S., Anastasiadi G.P. // Soviet Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 1977. Vol. 15, № 12. C. 903—905.
11. Агеев Е.В. // Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 2. С. 42—44.
12. Агеев Е.В. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. № 2. С. 13—16.
13. Агеев Е.В. // Технология металлов. 2011. № 7. С. 30—32.
14. Ageeva E.V. // J. Nano- and Electronic Phys. 2013. Vol. 5, № 4. P. 04038-1—2.
15. Ageev E.V. // J. Nano- and Electronic Phys. 2014. Vol. 3. P. 03001-1—4.
16. Ageeva E.V. // J. Nano- and Electronic Phys. 2014. Vol. 3. P. 03011-1—3.
17. Ageev E.V. // J. Nano- and Electronic Phys. 2014. Vol. 3. P. 03049-1—3.
18. Пат. 2449859 (РФ). Установка для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов / Е.В. Агеев. 2012.