

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОЛИТА И КАТОДНОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА НА КАЧЕСТВО И ТОЛЩИНУ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗЕРКАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИЛЬЗ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

*Х.М. РАХИМЯНОВ, доктор техн. наук, профессор
В.В. ЯНПОЛЬСКИЙ, канд. техн. наук, доцент
Р.М. КАДЫРБАЕВ, магистрант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

Поступила 8 мая 2015
Рецензирование 20 июня 2015
Принята к печати 17 июля 2015

Рахимьянов Х.М. – 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: kharis51@mail.ru

Одной из основных причин выхода из строя гидроцилиндров являются царапины и задиры на зеркальной поверхности гильзы. Рассмотрены методы восстановления зеркальной поверхности гильз гидроцилиндров, в частности, метод ремонтных размеров и метод «пластинирования» внутренних поверхностей. Показано, что восстановление дефектов, связанных с нарушением герметичности, возможно гальваническим методом. Использовались образцы размерами $25 \times 25 \times 5$ мм, изготовленные из стали 45 ГОСТ 1050–88. Подготовка образцов перед нанесением покрытия включала в себя механическую и химическую обработку. Проведены экспериментальные исследования влияния катодной плотности тока и температуры электролита на качество и толщину никелевого покрытия. Установлено, что при температуре, равной 40°C , получена максимальная толщина покрытия в исследованном диапазоне плотностей тока. Наблюдалось равномерное распределение покрытия по поверхности образца при плотности тока 9 А/дм^2 при минимальной его пористости. Снижение плотности тока приводит к увеличению пористости покрытия. При плотности тока 12 А/дм^2 получены покрытия с губчатыми осадками и дендритной структурой.

Ключевые слова: гидроцилиндр, гильза, электролит, температура электролита, гальваническое покрытие, плотность тока.

DOI: 10.17212/1994-6309-2015-3-16-22

Введение

Гидроцилиндры широко применяют во всех отраслях техники, где используют объемный гидропривод [1]. Например, в строительно-дорожных, землеройных, подъёмно-транспортных машинах и металлорежущих станках. Потеря работоспособности гидроцилиндров как правило связана с появлением дефектов на рабочей поверхности гильз и поршней, таких как царапины, сколы и задиры (рис. 1). Эти детали являются металлоемкими, высокоточными и, как

Дефекты

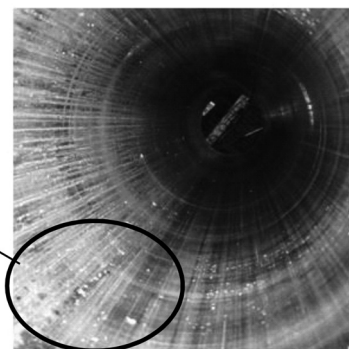


Рис. 1. Царапины и следы коррозии на поверхности гильзы гидроцилиндра

следствие, сложными в изготовлении. Основная причина возникновения дефектов связана с механическим повреждением при эксплуатации изделий. Вследствие повреждений зеркала гильз быстро изнашиваются уплотнительные элементы и появляются протечки рабочей жидкости [1, 2]. Поэтому задача восстановления рабочей поверхности гильз гидроцилиндров является актуальной. Для восстановления работоспособности подобного рода деталей применяют механические и гальванические методы [2, 3].

Механическое восстановление внутренних поверхностей изделий возможно при использовании метода ремонтных размеров и метода «пластинирования» [4]. Метод ремонтных размеров предусматривает восстановление формы и качества поверхности посредством растачивания или хонингования гильзы. При ремонте гильзы гидроцилиндра снимается минимальный слой металла до устранения задир и царапин, однако при реализации этого метода ремонта возникает необходимость в изготовлении нового поршня [4].

Технологический процесс метода пластинирования состоит в том, что предварительно расточенная внутренняя цилиндрическая поверхность гильзы холоднокатаной термообработанной ленты. Однако при небольшой толщине стенки дефектной гильзы этот метод не применим, а также экономически и технологически нецелесообразен в случаях наличия единичных дефектов небольшой глубины (до 100 мкм) на зеркальной поверхности гильзы [4, 5, 6].

Восстановление работоспособности зеркальной поверхности гильзы гидроцилиндра при наличии единичных дефектов возможно гальваническим способом [2] с последующей механической обработкой, включая процессы электроалмазного шлифования [3, 7, 8] и последующего ультразвукового пластического деформирования [9, 10, 11]. Применение данного метода позволяет локализовать процесс нанесения покрытия и восстанавливать поврежденный участок поверхности.

Одним из самых распространенных гальванических процессов является никелирование [12]. Никелирование обладает достоинствами, такими, как прочное сцепление с поверхностью и несложная технология нанесения покрытия [13]. Никелевое покрытие обладает высокой

твёрдостью и износостойкостью, обеспечивая увеличение срока службы изделия.

Следует отметить, что качество покрытия и его толщина во многом зависят от режимов гальванического осаждения, в частности, температуры и плотности тока [14]. Поэтому для эффективного применения указанного метода при восстановлении зеркальной поверхности гильзы гидроцилиндра необходимо определить режимы осаждения материала покрытия и состав электролита, для получения качественного слоя.

Методика экспериментального исследования

Гильзы гидроцилиндров изготавливаются из стали 35, 45, 30ХГСА, 40Х [1]. В качестве модельного материала для проведения экспериментальных исследований по восстановлению работоспособности зеркальной поверхности, была выбрана сталь 45 ГОСТ 1050–88. Экспериментальные исследования проводились на образцах размерами 25×25×5 мм с изолированием поверхностей, не подлежащих восстановлению, клеем БФ-6 ГОСТ 12172.

На основе анализа литературных данных был выбран состав электролита для гальванического осаждения покрытия. Основными компонентами электролита являются NiSO_4 , NaCl , MgSO_4 , H_3BO_4 в следующих концентрациях NiSO_4 – 300 г/л, NaCl – 10 г/л, MgSO_4 – 60 г/л, H_3BO_4 – 15 г/л [13]. Кислотность электролита составляла $\text{pH} = 5$ [12].

Предварительная подготовка образцов включала в себя шлифование, полирование, электрохимическое обезжиривание, травление и декапирование. Расчетное значение толщины наносимого покрытия определялось по формуле [6]

$$h = \frac{T_{\text{осж}} \alpha \eta D_k}{1000 \gamma},$$

где $T_{\text{осж}}$ – продолжительность электролиза, ч; α – электрохимический эквивалент, г/(А·ч) (для никеля $\alpha = 1,095$ г/(А·ч)); η – выход металла по току, % (для никеля $\eta = 90 \dots 94$ %); D_k – катодная плотность, А/дм²; γ – плотность металла покрытия, г/см³ (для никеля $\gamma = 8,8$ г/см³).

Экспериментальные исследования по гальваническому осаждению покрытия на модельный материал проводились при следующих темпера-

турах электролита – 20, 40, 60 и 80 °С. Катодная плотность тока составляла 3, 6, 9 и 12 А/дм² для каждой из температур. Время осаждения гальванического покрытия составляло 60 мин.

Результаты и обсуждение

На рис. 2 представлены результаты экспериментального исследования влияния температуры электролита и катодной плотности тока на толщину осаждаемого покрытия.

Из диаграммы (рис. 2) следует, что с увеличением температуры электролита происходит повышение толщины покрытия при всех значениях катодной плотности тока. Следует отметить, что при температуре электролита 40 °С покрытия не имеют дефектов в виде отслоения, и толщина покрытия равномерна по всей поверхности образцов (рис. 3). Подобная зависимость толщины покрытия от температуры связана с повышением электропроводности раствора и уменьшением пассивации анода при росте температуры [15].

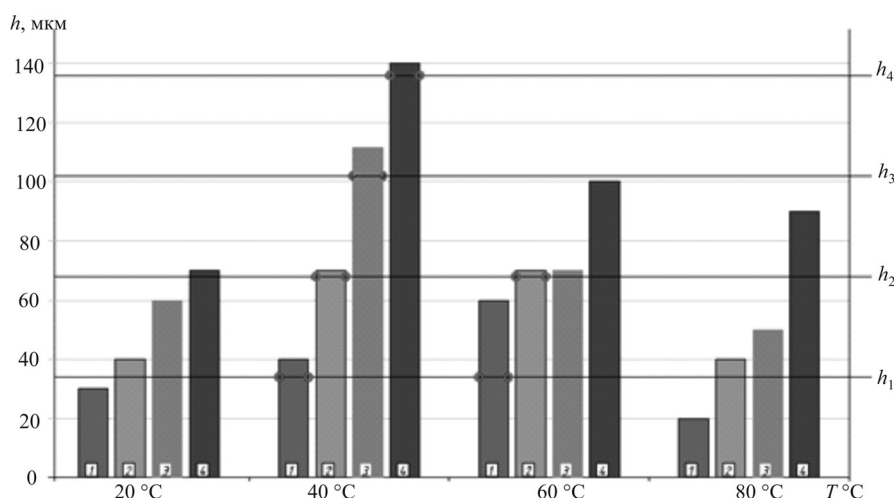


Рис. 2. Диаграмма влияния температуры электролита и катодной плотности тока на толщину покрытия:

1, 2, 3, 4 – экспериментальные значения толщины никелевого покрытия при плотностях тока $D_k = 3, 6, 9, 12$ А/дм² соответственно; h_1, h_2, h_3, h_4 – расчетные значения толщины никелевого покрытия при плотностях тока $D_k = 3, 6, 9, 12$ А/дм² соответственно

В случае осаждения покрытия при температуре электролита, равной 60 °С, и плотности тока 9 А/дм² наблюдается отслоение никелевого слоя от подложки (рис. 4). Это связано с тем, что несоответствие коэффициентов расширения материала подложки и наносимого покрытия существенно снижает прочность сцепления. При этом возникают значительные внутренние напряжения, которые приводят к отслоению нанесенного слоя, что подтверждается данными работ [16, 17].

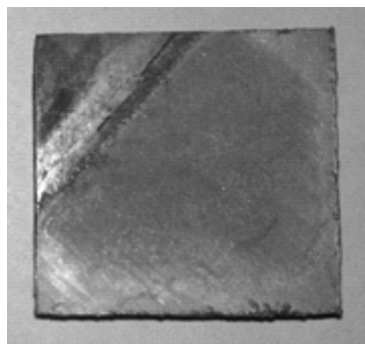


Рис. 3. Образец с покрытием, нанесенным при температуре электролита 40 °С и плотности тока 9 А/дм²

Повышение температуры до 80 °С приводит к снижению катодной поляризации, что способствует образованию дендритной структуры в покрытии (рис. 5).

Влияние плотности тока на толщину никелевого покрытия представлено на рис. 6. Повышение плотности тока приводит к увеличению толщины покрытия во всем исследованном диапазоне температур (рис. 6).

При плотности тока 3 А/дм² получены покрытия с малой толщиной (40 мкм) и высокой пористостью (рис. 7).

Увеличение плотности тока приводит не только к увеличению толщины покрытия, но и к снижению пористости покрытия. Так, при плотности тока, равной 9 А/дм², получено покрытие, толщина которого равномерно распределена по поверхности образца и низкой пористостью (рис. 8).

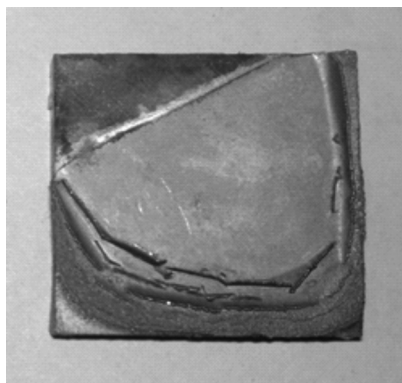


Рис. 4. Образец с покрытием, нанесенным при температуре электролита 60 °С и плотности тока 9 А/дм²

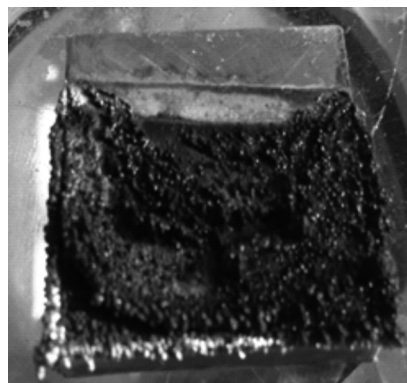


Рис. 5. Образец с покрытием, нанесенным при температуре электролита 80 °С и плотности тока 12 А/дм²

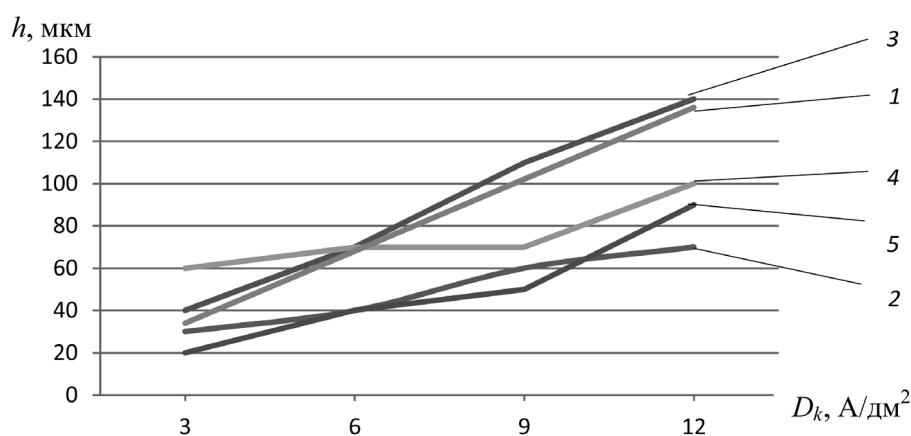


Рис. 6. Зависимость толщины гальванического покрытия от катодной плотности тока:

1 – расчетные значения толщины покрытия; 2, 3, 4, 5 – экспериментальные значения толщины покрытия при температуре электролита 20, 40, 60, 80 °С соответственно

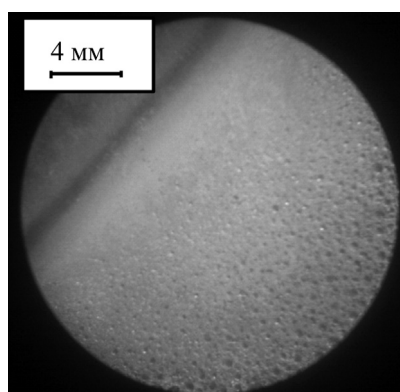


Рис. 7. Покрытие с высокой пористостью, полученное при плотности тока 3 А/дм²

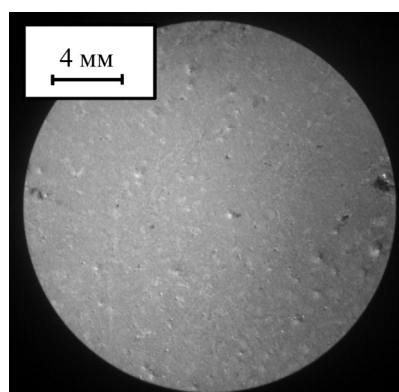


Рис. 8. Покрытие с низкой пористостью, полученное при плотности тока 9 А/дм²

Увеличение плотности тока до 12 А/дм² приводит к образованию порошкообразных и губчатых структур (рис. 5). Это связано с тем, что при повышении плотности тока раствор у катода «беднеет» частицами осаждаемого металла,

которые не успевают прибывать из других мест раствора к катоду, концентрация их у катода настолько понижается, что усиливается выделение на катоде водорода [18, 19].

Выводы

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований установлено влияние температуры электролита на толщину никелевого покрытия при его гальваническом осаждении на поверхность подложки из стали 45. В результате экспериментов установлено, что при температуре электролита, равной 60 °С, происходит отслоение покрытий, связанное с разностью коэффициентов термического расширения подложки и осаждаемого материала. При температуре электролита 80 °С наблюдается образование дендритных структур в покрытии. Также выявлено, что при плотности тока ниже 9 А/дм² наблюдается образование осадков высокой пористости, что является негативным для восстановления зеркальной поверхности гильзы гидроцилиндра. Повышение плотности тока до 12 А/дм² приводит к образованию порошкообразных, губчатых структур в покрытии. Наиболее качественное никелевое покрытие при гальваническом осаждении было получено при температуре электролита 40 °С и плотности тока 9 А/дм². Покрытия на поверхности образца распределены относительно равномерно без явных дефектов. В связи с этим данный режим может быть рекомендован для гальванического осаждения никелевого покрытия на сталь 45.

Список литературы

1. Алексеева Т.В. Гидропривод и гидроавтоматика землеройно-транспортных машин: исследования и основы расчета. – М.: Машиностроение, 1966. – 148 с.
2. Улашкин А.П. Восстановление деталей и узлов автомобилей: учебное пособие / Хабаровский государственный технический университет. – Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 2002. – 204 с.
3. Рахимьянов Х.М., Янпольский В.В., Моисеенко А.Н. Размерная обработка деталей с покрытиями из наноструктурированных порошковых материалов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2010. – № 4 (49). – С. 22–26.
4. Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейнак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод. В 2 ч. Ч. 2. Гидравлические машины и гидропневмопривод. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: МГИУ, 2009. – 352 с. – ISBN 978-5-276-01019-9 (ч. 2).
5. Judd H. The hydraulic equipment of the Ohio state university. – [Ohio]: Nabu Press Publ., 2012. – 22 p. – ISBN-10: 1279219955. – ISBN-13: 978-1279219959.
6. Карагодин В.И., Митрохин Н.Н. Ремонт автомобилей и двигателей: учебник. – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2003. – 496 с. – (Среднее профессиональное образование).
7. Рахимьянов Х.М., Янпольский В.В., Моисеенко А.Н. Электроалмазная обработка напыленных износостойких покрытий // Инженерия поверхностного слоя деталей машин: труды международной научно-практической конференции, Россия, Кемерово, 9–11 декабря 2009 г. – Кемерово: ГУ Куз ГТУ, 2009. – С. 365–368.
8. Рахимьянов Х.М., Красильников Б.А., Рахимьянов К.Х. Точность формообразования при электроалмазной прорезке пазов в аморфных и нанокристаллических сплавах // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2006. – № 2 (31). – С. 32–33.
9. Рахимьянов Х.М., Семенова Ю.С., Третьяков М.А. Повышение качества поверхностного слоя деталей с покрытиями малой толщины из нанокристаллических порошков ультразвуковым пластическим деформированием // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2011. – № 3 (52). – С. 18–22.
10. Рахимьянов Х.М., Семенова Ю.С. Моделирование процесса формирования регулярного микрорельефа при ультразвуковом пластическом деформировании // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 2. – С. 3–10.
11. Рахимьянов Х.М., Исупов А.В., Никитин Ю.В. Прогнозирование состояния материала в очаге деформации при ультразвуковом поверхностном пластическом деформировании // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. – № 4. – С. 41–46.
12. Бельский М.А., Иванов А.Ф. Электроосаждение металлических покрытий: справочник. – М.: Металлургия, 1985. – 288 с.
13. Янпольский А.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальванотехника. 3-е изд. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1981. – 269 с.
14. Дасоян М.А., Пальмская И.Я., Захарова Е.В. Технология электрохимических покрытий: учебник для средних специальных учебных заведений. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1989. – 391 с. – ISBN 5-217-00381-2.
15. Гальванические покрытия в машиностроении: справочник. В 2 т. Т. 1 / В.И. Игнатъев, Н.С. Ионычева, А.В. Маречев, Н.Ф. Мелашенко, С.С. Плетенев, А.Я. Рябой, М.А. Шлугера. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
16. Schlesinger M., Paunovic M. Modern electroplating. – 5th ed. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2010. – 736 p.

17. Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытия: справочник по применению. – М.: Техносфера, 2006. – 216 с. – ISBN 5-94836-079-2.

18. Kanani N. Electroplating: basic principles, processes and practice. – Oxford: Elsevier, 2005. – 353 p. – ISBN 1856174514.

19. Hu Z.-F., Wang X.-B., Xu B.-S. Effect of current density on microstructure and properties of automatic brush electroplated nickel // Journal of Functional Materials. – 2013. – N 17. – P. 2507–2510. doi: 10.3969/j.issn.1001-9731.2013.17.016.

OBRABOTKA METALLOV

(METAL WORKING AND MATERIAL SCIENCE)

N 3(68), July – September 2015, Pages 16–22

Electrolyte temperature and cathodic current density effect on galvanic coating quality and thickness during the recovery of the mirror surface of hydraulic cylinder barrels

Rakhimyanov Kh.M., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: kharis51@mail.ru

Yanpolskiy V.V., Ph. D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: mag07@mail.ru

Kadyrbaev R.M., Master's Degree student, e-mail: be.true@mail.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

One of the major reasons of failure of the hydraulic cylinders is scratches and tears on the barrel mirror surface. The methods of recovery of the hydraulic cylinder barrel mirror surface are examined. These methods include methods of size repair and methods of plate applications. The galvanic method might allow the recovery of defects associated with the break of tightness. For the experiments the samples sizes 25×25×5 mm made of steel 45 GOST 1050-88 are used. Preparation of samples before the coating includes mechanical (grinding operation and polish) and chemical treatment (deoiling, descaling and activation dipping). Experimental investigations of the electrolyte temperature and cathodic current density effect on galvanic coating quality and thickness have been carried. Current densities varied from 3 to 12 A/Dm² with the step 3 A/Dm². The temperature is varied from 20 to 80 °C with the step 20 °C. It is found that at a temperature of 40 °C highest thickness of the coating received in the investigated range of current densities. When the temperature of electrolyte is 80° C the coating have dendrite structure, associated with a reduction cathodic polarization. It is shown that when current density is 9 A/Dm² coating uniformly distributed over the surface of the sample and the porosity of coating is minimal. Increasing of porosity of the coating is associated with decreasing of the current density. When current density is 12 A/Dm² the coating have spongioid deposits, due to the low amount of metal ions in the electrolyte near the cathode.

Keywords:

Hydraulic cylinder, barrel, electrolyte, temperature of electrolyte, galvanic coating, current density.

DOI: 10.17212/1994-6309-2015-3-16-22

References

1. Alekseeva T.V. *Gidroprivod i gidroavtomatika zemleroino-transportnykh mashin: issledovaniya i osnovy rascheta* [Hydraulic and hydro automation of earth-moving machines: research and bases of calculation]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1966. 148 p.

2. Ulashkin A.P. *Vosstanovlenie detalei i uzlov avtomobilei* [Recovery of parts and assemblies of cars]. Khabarovsk, KhGTU Publ., 2002. 204 p.

3. Rakhimyanov Kh.M., Yanpolskiy V.V., Moiseenko A.N. Razmernaya obrabotka detalei s pokrytiyami iz nanostrukturirovannykh poroshkovykh materialov [Dimensional processing of details with coverings from nano powder materials]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2010, no. 4 (49), pp. 22–26.

4. Lepeshkin A.V., Mikhailin A.A., Sheipak A.A. *Gidravlika i gidropnevmoprivod. V 2 ch. Ch. 2: Gidravlicheskie mashiny i gidropnevmoprivod* [Hydraulics and hydropneumatic actuator. In 2 pt. Pt. 2: Hydraulic machines and hydropneumatic actuator]. 5th ed. Moscow, MGIU Publ., 2009. 352 p. ISBN 978-5-276-01019-9
5. Judd H. *The Hydraulic Equipment of the Ohio State University*. Ohio, Nabu Press Publ., 2012. 22 p. ISBN-10: 1279219955. ISBN-13: 978-1279219959
6. Karagodin V.I., Mitrokhin N.N. *Remont avtomobilei i dvigatelei* [Repair of motor vehicles and engines]. 2nd ed. Moscow, Publishing center "Academia", 2003. 496 p. ISBN 5-7695-1125-7
7. Rakhimyanov Kh.M., Yanpolskiy V.V., Moiseenko A.N. [Electro-diamond processing of sprayed wear resistant coatings]. *Trudy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Inzheneriya poverkhnostnogo sloya detalei mashin»* [Proceedings of the International scientific-practical conference "Engineering of the surface layer of machine parts"], Kemerovo, 9–11 December 2009, pp. 365–368. (In Russian)
8. Rakhimyanov Kh.M., Krasil'nikov B.A., Rakhimyanov K.Kh. Tochnost' formoobrazovaniya pri elektroalmaznoi prorezke pazov v amorfnykh i nanokristallicheskikh splavakh [Forming accuracy at electro-diamond slotting grooves in the amorphous and nanocrystalline alloys]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2006, no. 2 (31), pp. 32–33.
9. Rakhimyanov Kh.M., Semenova Yu.S., Tretyakov M.A. Povyshenie kachestva poverkhnostnogo sloya detalei s pokrytiyami maloi tolshchiny iz nanokristallicheskikh poroshkov ul'trazvukovym plasticheskim deformirovaniem [Surface layer refinement of details with small coating thickness made of nanocrystalline powder by ultrasonic surface plastic deformation]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2011, no. 3 (52), pp. 18–22.
10. Rakhimyanov Kh.M., Semenova Yu.S. Modelirovanie protsessa formirovaniya regul'yarnogo mikrorel'efa pri ul'trazvukovom plasticheskom deformirovanii [Mathematical modeling of microrelief formation with ultrasonic plastic straining]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya – Strengthening technologies and coatings*, 2010, no. 2, pp. 3–10.
11. Rakhimyanov Kh.M., Isupov A.V., Nikitin Yu.V. Prognozirovanie sostoyaniya materiala v ochage deformatsii pri ul'trazvukovom poverkhnostnom plasticheskom deformirovanii [Prediction state of the material in the deformation zone at ultrasonic surface plastic deformation]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya – Strengthening technologies and coatings*, 2005, no. 4, pp. 41–46.
12. Belen'kii M.A., Ivanov A.F. *Elektroosazhdenie metallicheskikh pokrytii. Spravochnik* [Electrodeposition of metal coatings. Directory]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1985. 288 p.
13. Yampol'skii A.M., Il'in V.A. *Kratkii spravochnik gal'vanotekhnika* [Quick reference electroplater]. 3rd ed. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1981. 269 p.
14. Dasoyan M.A., Pal'mskaya I.Ya., Zakharova E.V. *Tekhnologiya elektrokhimicheskikh pokrytii* [Technology of electrochemical coatings]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1989. 391 p. ISBN 5-217-00381-2
15. Ignat'ev V.I., Ionycheva N.S., Mareichev A.V., Melashchenko N.F., Pletenev S.S., Ryaboi A.Ya., Shlugera M.A. *Gal'vanicheskie pokrytiya v mashinostroenii. Spravochnik. V 2 t. T. 1* [Electroplating coatings in mechanical engineering. Directory. Vol. 1]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 240 p.
16. Schlesinger M., Paunovic M. *Modern electroplating*. 5th ed. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. 2010. 736 p. ISBN 978-0-470-16778-6
17. Gamburg. Yu.D. *Gal'vanicheskie pokrytiya. Spravochnik po primeneniyu* [Electroplating. Reference Application]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2006. 216 p. ISBN 5-94836-079-2
18. Kanani N. *Electroplating: basic principles, processes and practice*. Oxford, UK, Elsevier, 2005. 353 p. ISBN 1856174514
19. Hu. Z.-F., Wang X.-H., Biao L.V., Xu B.-S. Effect of current density on microstructure and properties of automatic brush electroplated nickel. *Journal of Functional Materials*, 2013, iss. 17, pp. 2507–2510. doi: 10.3969/j.issn.1001-9731.2013.17.016

Article history:

Received 8 May 2015

Revised 20 June 2015

Accepted 17 July 2015