

3. Upravlenie riskami v nedvizhimosti/ pod obshh. red. P.G.Grabovogo – M.: Izd-vo «Prospekt», 2012. – 424 s.

4. Bredihin V.V. Metodologija formirovaniya i razvitiya sovokupnogo proizvodstvenno-tehnicheskogo potenciala territorii goroda i regiona: monografija. – Kursk, 2013. – 122 s.

5. Ventcel' E.S., Ovcharov L.A. Teorija verojatnostej i ee inzhenernye prilozhenija : uchebnoe posobie. – M.: Izd-vo «KNO-RUS», 2010. – 480 s.

6. Ventcel' E.S., Ovcharov L.A. Teorija sluchajnyh processov i ee inzhenernye prilozhenija: uchebnoe posobie. – M.: Izd-vo «KNORUS», 2013. – 448 s.

7. Fedotov A.V., Skabkin N.G. Osnovy teorii nadezhnosti i tehnicheckoj diagnostiki:

konspekt lekcij. – Omsk: Izd-vo OmGTU, 2010. – 64 s.

8. Bredihin V.V., Bredihina N.V. Modelirovanie intensivnosti proizvodstva stroitel'no-montazhnyh rabot pri stroitel'stve ob#ektov zhilishhnoj nedvizhimosti // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015. – № 5(62). – S. 46 - 51.

9. Taskaeva N.N., Silant'eva T.N. Sravnitel'nyj analiz integracionnyh struktur upravlenija i kriterii ih optimal'nosti// Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii. – 2012. – №2. Ch. 3. – S. 164 – 170.

10. Olejnik P.P. Organizacija stroitel'nogo proizvodstva. – M.: Izd-vo «ASV», 2010. – 576 s.

УДК 621.762.27

Е.В. Агеев, д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: ageev_ev@mail.ru)

С.В. Харди́ков, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск). (e-mail: hardikov1990@mail.ru)

С.В. Пикалов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: drevojog@gmail.com)

М.А. Зубарев, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: koy747@gmail.com)

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Технологии нанесения плазменных покрытий интенсивно развивались в России в 60–80 годы прошлого века как в научном, так и в прикладном плане, в основном в оборонных отраслях промышленности, что позволило достичь высоких показателей в ракетно-космической отрасли, военном авиастроении, создании турбин различного назначения. Вынужденная ориентация на применение зарубежных разработок (оборудования, материалов и технологий) в этом вопросе противоречит национальным интересам, так как данные технологии имеют двойное применение и используются в оборонных отраслях промышленности, а значит, поступают на внешний рынок только после серьезного устаревания в научном и прикладном плане. Сущность технологии плазменного напыления заключается в получении низкотемпературной плазмы на основе электродугового разряда в среде различных газов или их комбинаций. Плазма (поток ионизированного газа с температурой 20000°С...30000°С) образуется в специальном генераторе плазмы - плазматроне. В полученный в плазматроне поток плазмы вводится в определенном месте порошок металла, металлокерамики или керамики, который практически мгновенно оплавляется, разгоняется до скорости 100...500 м/с и выше и наносится на деталь. В результате на поверхности детали формируется сравнительно тонкое покрытие (как правило, в пределах 0,2 - 1 мм) с высокими эксплуатационными показателями. Для получения таких покрытий требуются порошки различных металлов. Целью настоящей работы являлось изучение характеристик износостойкости

нанокomпозиционного покрытия. Коэффициент трения и скорость износа поверхности образцов и контртела измеряли на автоматизированной машине трения (Tribometer, CSM Instruments, Швейцария), управляемой компьютером, по стандартной схеме испытания «шарик-диск».

Ключевые слова: износостойкость, электроэрозионное диспергирование, нанокomпозиционное покрытие.

Технологии нанесения плазменных покрытий интенсивно развивались в России в 60–80 годы прошлого века как в научном, так и в прикладном плане, в основном в оборонных отраслях промышленности, что позволило достичь высоких показателей в ракетно-космической отрасли, военном авиастроении, создании турбин различного назначения. Научный потенциал, достигнутый в тот период, до настоящего времени во многом не реализован.

В 90-е годы – это перспективное направление военнопromышленного комплекса серьезно пострадало. Так, понесли значительный урон ведомственные лаборатории и научные школы, занимавшиеся прикладными задачами по внедрению покрытий в производство; практически остановилось развитие материальной базы данных технологий и, прежде всего, создание современного оборудования и материалов; был значительно утерян кадровый потенциал работавших по данной проблематике специалистов.

Вынужденная ориентация на применение зарубежных разработок (оборудования, материалов и технологий) в этом вопросе противоречит национальным интересам, так как данные технологии имеют двойное применение и используются в оборонных отраслях промышленности, а значит, поступают на внешний рынок только после серьезного устаревания в научном и прикладном плане.

Сущность технологии плазменного напыления заключается в получении низкотемпературной плазмы на основе электродугового разряда в среде различных газов или их комбинаций. Плазма (поток

ионизированного газа с температурой 20000°C...30000°C) образуется в специальном генераторе плазмы – плазматроне. Для сравнения: газотермические методы, основанные на создании струи за счет сгорания газов дают возможность получения температуры струи до 3000°C, что ограничивает технологические возможности метода.

В полученный в плазматроне поток плазмы вводится в определенном месте порошок металла, металлокерамики или керамики, который практически мгновенно оплавляется, разгоняется до скорости 100...500 м/с и выше и наносится на деталь. При этом деталь не нагревается более чем до 100 - 150°C.

В результате на поверхности детали формируется сравнительно тонкое покрытие (как правило, в пределах 0,2 - 1 мм) с высокими эксплуатационными показателями.

Для получения таких покрытий требуются порошки различных металлов [1, 2]. Уникальная микроструктура нанопорошков придает им ряд новых свойств по сравнению с обычными материалами. В настоящее время нанопорошки представляют большой интерес.

Порошковая металлургия – это отрасль техники, включающая изготовление порошков из металлов и их сплавов и получение из них заготовок и изделий без расплавления основного компонента. Методами порошковой металлургии можно создавать материалы из различных компонентов с резко отличающимися свойствами и температурами плавления, новые материалы с разнообразным ком-

плексом физико-механических свойств. Порошковая металлургия используется как для создания принципиально новых материалов и изделий из них, так и для изготовления самой широкой номенклатуры конструкционных деталей общего назначения [3–5].

Наиболее перспективным методом получения нанопорошков из отходов металлов является метод электроэрозионного диспергирования. Метод ЭЭД отличается экологической чистотой, малыми энергозатратами, хорошей управляемостью процесса [6].

Процесс ЭЭД представляет собой разрушение токопроводящего материала в результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами [7-17].

Для получения порошка из отходов методом электроэрозионного диспергирования использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов и отходы БРС, ВК8 и нихрома марки Х15Н60 [9].

Отходы загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью – керосином осветительным. Процесс проводили при следующих электрических параметрах: ёмкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 145...155 В, частота импульсов 165...175 Гц. В результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами произошло разрушение материала отходов с образованием дисперсных частиц порошка.

Для получения нанокomпозиционного покрытия использовали смесь следующего состава: БРС 85%, ВК8 10%, нихром 5%. Смесь порошков наносилась с помощью портативного плазменного аппарата АЛ-ПЛАЗ-02м. Плазменный аппарат АЛПЛАЗ – 02м предназначен для резки различных

материалов, сварки и пайки черных металлов, меди и ее сплавов.

Целью настоящей работы являлось изучение характеристик износостойкости нанокomпозиционного покрытия.

Коэффициент трения и скорость износа поверхности образцов и контртела измеряли на автоматизированной машине трения (Tribometer, CSM Instruments, Швейцария), управляемой компьютером (рис. 1), по стандартной схеме испытания «шарик-диск» (рис. 2). Эти испытания позволяют использовать модель Герца, они соответствуют международным стандартам ASTM G99-959 DIN 50324 и могут быть использованы для оценки износостойкости образца и контртела.

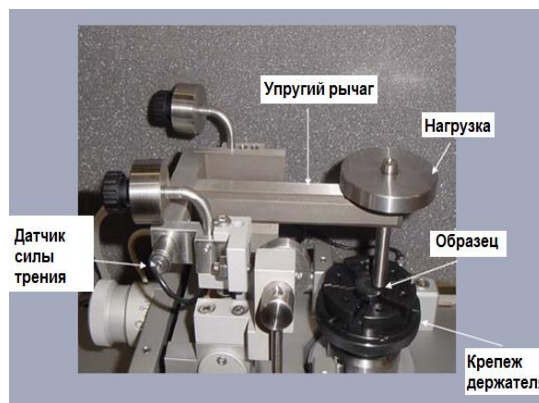


Рис. 1. Схема автоматизированной машины трения (Tribometer, CSM Instruments, Швейцария)

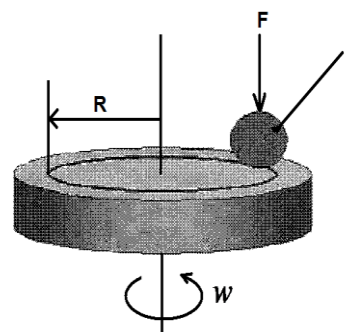


Рис. 2. Стандартная схема испытания «шарик-диск»: R – радиус кривизны износа; r – радиус

Образцы устанавливали в держателе, перпендикулярно плоскости образца закрепляли стержень, на конце которого находился шарик диаметром 6 мм Al_2O_3 (оксид алюминия). С помощью регулятора датчика перемещения выбирали радиус кривизны износа, еще один датчик компенсировал силу трения и позволял установить значение коэффициента трения в определенный момент времени.

Подготовка к испытанию включала:

А. Три вида калибровки:

- 1) калибровку скорости и вращения мотора;
- 2) калибровку тангенциального смещения датчика;
- 3) калибровку радиуса.

Б. Установку параметров испытания с помощью специального программного обеспечения (программа InstrumXforTribometer). Задавалась следующая, необходимая для испытания информация:

- 1) частота опроса датчика;
- 2) данные об окружающей среде;
 - температура,
 - влажность;
- 3) величина нагрузки, при которой будет проводиться испытание;
- 4) линейная скорость, см/с;
- 5) длина пробега в метрах или количество циклов;
- 6) информация о подложке:
 - материал покрытия;
 - материал подложки;
 - вид предварительной очистки образца перед испытанием;
- 7) информация о контртеле (шарике):
 - материал покрытия;
 - материал контртела;
 - вид предварительной очистки контртела перед испытанием;
 - размер, мм;
 - геометрия.

Испытания проводили на воздухе при нагрузке 3 Н и линейной скорости 10 см/с, радиусом кривизны износа 3-6 мм, путь трения составлял 500 метров.

В результате проведенных испытаний оценивали износостойкость образца и статистического партнера (шарика) по фактору износа по формуле

$$W = V / (P \cdot l), \quad (1)$$

где W – интенсивность износа, $mm^3 \cdot N^{-1} \cdot m^{-1}$,

V – объем удаленного материала, mm^3 ,

P – нагрузка, Н,

l – путь трения, м.

Определив диаметр износа шарика с помощью оптического инвертированного микроскопа OlympusGX 51, объем удаленного материала на шарике считали по следующей формуле:

$$V = \pi \cdot h^2 \cdot (r - (1/3)h), \quad (2)$$

где $h = r - (r^2 - [d/2]^2)^{1/2}$;

d - диаметр износа, мм;

r - радиус шарика, мм;

h – высота сегмента, мм.

Объем удаленного материала определяли по сечению дорожки износа на поверхности образца с помощью автоматизированного прецизионного контактного профилометра Surtronic 25 производства фирмы TaylorHobson. Объем удаленного материала образца определяли по формуле

$$V = s \cdot l, \quad (3)$$

где l – длина окружности, мм;

s – площадь поперечного сечения дорожки износа, mm^2 .

После испытаний были изучены поверхности разрушения обоих компонентов пары трения: контртела (шарик) и образца (рис. 3).

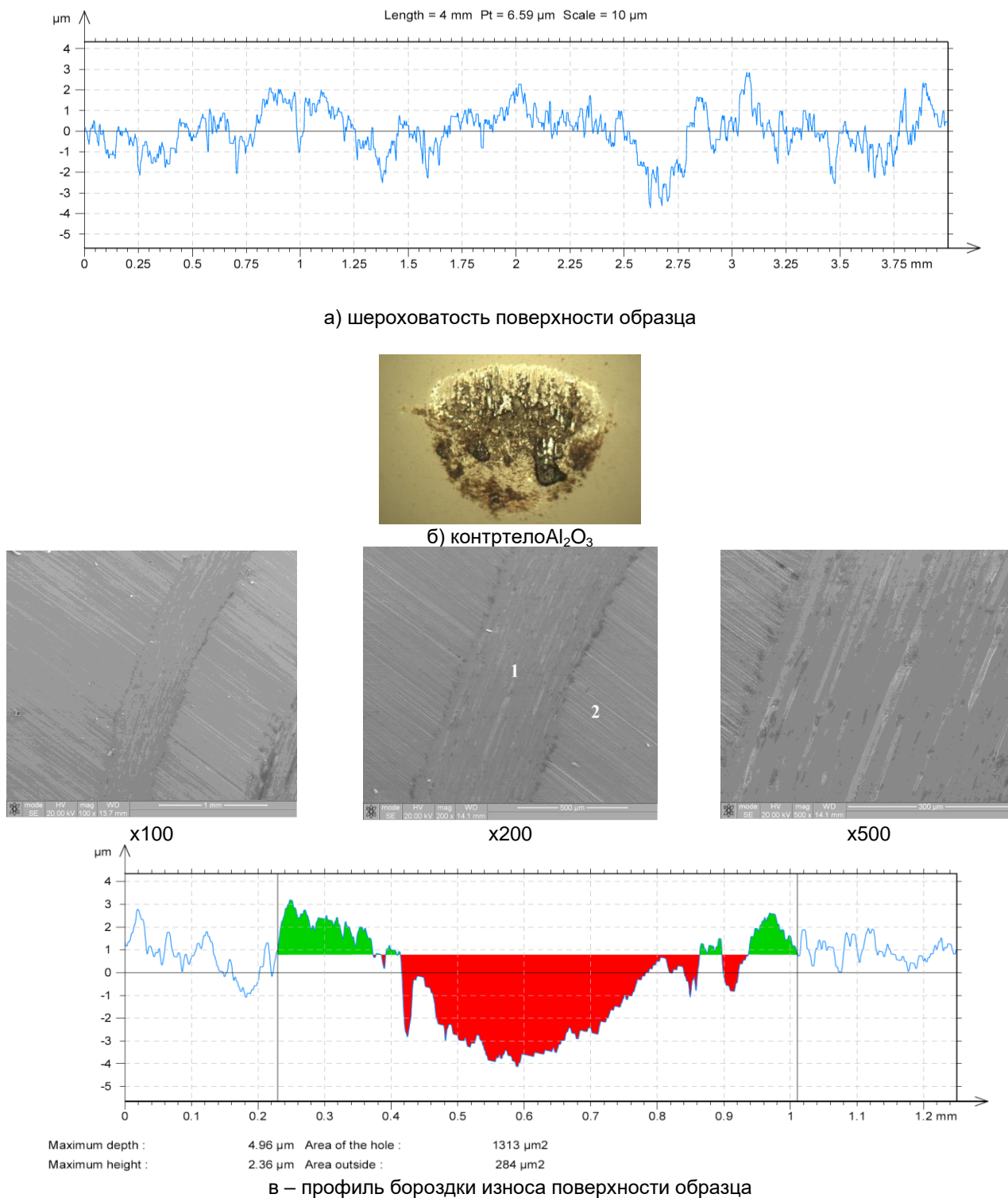


Рис. 3. Результаты исследования поверхности образца: а – шероховатость поверхности образца; б – оптическое изображение пятна износа контртела (шарика) после многократных проходов по исследуемой поверхности образца; в – профиль бороздки износа поверхности образца

Значения коэффициента трения и фактора износа W , полученные при испытаниях, приведены на рисунке 4 и в таблице.

Трибологические характеристики исследуемого образца представлены в таблице.

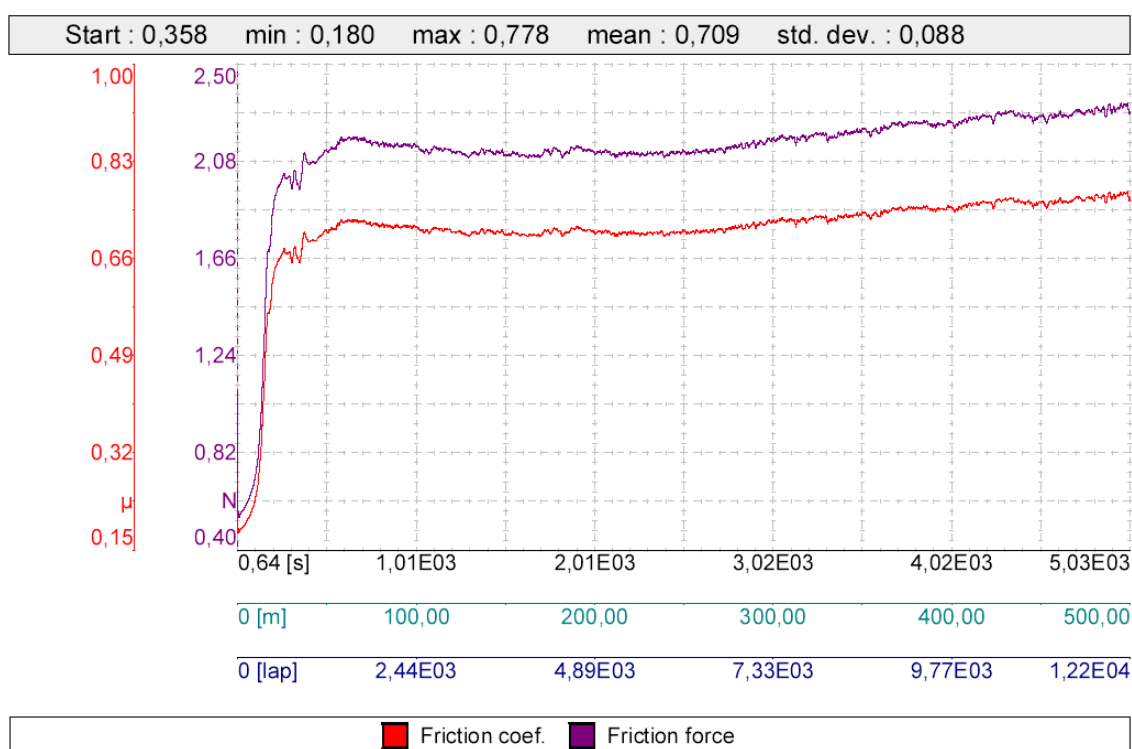


Рис. 4. Результаты трибологических испытаний образца

Трибологические характеристики исследуемого образца

Коэффициент трения (μ)					Шероховатость поверхности (R_a), мкм	Микротвердость поверхности по Виккерсу, $HV_{0.2}$	Фактор износа статистического партнера, $\text{мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} \times 10^{-5}$	Фактор износа образца, $\text{мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} \times 10^{-5}$
Начальный	min	max	mean	Std. dev.				
0,358	0,180	0,778	0,709	0,088	0,73	337	0,131	5,263

Таким образом, по результатам проведенных исследований установлено, что:

- фактор износа статистического партнера равен $0,131 \text{ мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} \times 10^{-5}$;
- микротвердость поверхности по Виккерсу 337, $HV_{0.2}$;
- шероховатость поверхности равна $0,73(R_a)$, мкм;
- фактор износа образца равен $5,263 \text{ мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} \times 10^{-5}$.

Список литературы

1. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник /Б.Н. Бабич, Е.В. Вершинина, В.А. Глебов [и др.]. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 520 с.
2. Рыжонков Д.И., Левина В.В., Дзидзигури Э.Л. Ультрадисперсные системы: получение, свойства, применение: учеб. пособие. – М.: МИСиС, 2006. – 182 с.
3. Суздаев И.П. Нанотехнология. Физика химия нанокластеров, нанострук-

тур и наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006. – 592 с.

4. Определение технологических параметров получения металлических ультрадисперсных порошков / П.А.Лыков, К.А.Бромер, В.Е.Рошин, С.А.Брындин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. – 2011. – № 14 (231). – С. 17-19.

5. Разработка условий обеспечения заданных выходных параметров ультрадисперсных порошков / Ю.А. Бирюков, А.А. Глазунов, Л.Н. Богданов, А.Ю. Обьедков, В.И. Романдин, В.А.Полюшко, А.Ю. Бирюков, А.В.Грязев, Е.В.Зайцева // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – Т. 55. № 7-2. – С. 38-43.

6. Исследование гранулометрического состава частиц порошковой шарикоподшипниковой стали, полученной электроэрозионным диспергированием / Е.В. Агеева, Е.В. Агеев, С.В. Хардинов, П.В. Чаплыгин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2014. – №4. – С. 23–28.

7. Исследование производительности процесса получения порошков методом электроэрозионного диспергирования / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов, Н.А. Пивовар // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2010. – № 4 (33). – С. 76-82.

8. Определение основных закономерностей процесса получения порошков методом электроэрозионного диспергирования / Е.В. Агеев, Е.В. Агеева, А.С. Чернов, Г.С. Маслов, Е.И. Паршина // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 1 (46). – С. 85-90.

9. Пат. 2449859 Российская Федерация, С2, В22F9/14. Установка для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов / Агеев Е.В.;

заявитель и патентообладатель Юго-Западный государственный университет. № 2010104316/02; заяв. 08.02.2010; опубл. 10.05.2012. – 4 с.

10. Агеева Е.В., Агеев Е.В., Хорьякова Н.М. Изготовление заготовок из медных порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов электро-технической меди и изучение их свойств // Научные технологии в машиностроении. – 2014. – № 10 (40). – С. 10-13.

11. Исследование химического состава порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 5-1 (38). – С. 138-144.

12. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Исследование микротвердости порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина». – 2011. – № 1 (46). – С. 78-80.

13. Петридис А.В., Толкушев А.А., Агеев Е.В. Состав и свойства порошков, полученных из отходов твердых сплавов методом электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) // Технология металлов. – 2005. – № 6. – С. 13-17.

14. Проведение рентгеноспектрального микроанализа твердосплавных электроэрозионных порошков / Е.В. Агеев, Г.Р. Латыпова, А.А. Давыдов, Е.В. Агеева // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 5-2 (44). – С. 99-102.

15. Агеев Е.В., Агеева Е.В., Хорьякова Н.М. Состав и свойства медных по-

рошков, полученных электроэрозионным диспергированием: монография. – Курск, 2014. – 144 с.

16. Оценка эффективности применения твердосплавных порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов, при восстановлении и упрочнении деталей композиционными гальваническими покрытиями / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. – № 9. – С. 14-16.

17. Использование твердосплавных электроэрозионных порошков для получения износостойких покрытий при восстановлении и упрочнении деталей машин и инструмента / Е.В. Агеев, А.А. Давыдов, Е.В. Агеева, А.С. Бондарев, Е.П. Новиков // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2013. – № 1. – С. 32-38.

Получено 10.11.16

E.V. Ageev, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: ageev_ev@mail.ru)

S.V. Khardikov, Postgraduate, Southwest State University (Kursk) (e-mail: hardikov1990@mail.ru)

S. V. Pikalov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: drevojog@gmail.com)

M. A. Zubarev, Student, Southwest State University (Kursk) (e-mail: koy747@gmail.com)

WEAR ANALYSIS OF NANOCOMPOSITE COATINGS, OBTAINED USING ELECTROEROSION MATERIALS

Plasma coating application technologies were widely developed in 60-80s of the previous century, both in terms of theory and practice, mainly in defense sectors of industry, which made it possible to achieve high results in the aerospace industry, military aircraft industry, turbomachinery for different purposes. The induced focus on application of foreign inventions (equipment, materials, and technologies) in this area contradicts with national interests, since these technologies are of dual-use application and are used in the defense industry, and, therefore come to the overseas market quite outdated both in theory and practice. The subject matter of the technology of plasma spraying is the low-temperature plasma production based on the electric arc discharge in different gases or their combinations. Plasma (ionized gas flow of 20000°C...30000°C) is formed in a specialized plasma generator, plasmatron). Metal, metallic ceramics, ceramics powder is added into the produced in the plasmatron plasma flow in a set place and is nearly immediately fused, accelerated to the speed of 100...500 m/s and more and is applied on the part. The result is that rather a thin coating (0.2 -1mm, as a rule) with high performance parameters is formed on the part surface. To obtain such coatings different metal powders are required. This research is aimed at the studying of nanocomposite coating wear characteristics. Sample and counter sample surface friction factor and wear rate were measured using an automated computer-controlled friction and wear machine (Tribometer, CSM Instruments, Switzerland), by means of a standard test pattern "ball-disc".

Key words: wear resistance, electroerosion dispersion, nanocomposite coating.

Reference

1. Metallicheskie poroshki i poroshkovye materialy: spravochnik /B.N. Babich, E.V. Vershinina, V.A. Glebov [i dr.] - M.: JeKOMET, 2005.- 520 s.

2. Ryzhonkov D.I., Levina V.V., Dziguri Je.L. Ul'tradispersnye sistemy: poluchenie, svojstva, primeneniye: ucheb. posobie. – M.: MISiS, 2006. – 182 s.

3. Suzdalev I.P. Nanotehnologija. Fizika himija nanoklasterov, nanostruktur i nanomaterialov. – M.: KomKniga, 2006. – 592 s.

4. Opredelenie tehnologicheskikh parametrov poluchenija metallicheskih ul'tradispersnyh poroshkov / P.A.Lykov, K.A.Bromer, V.E.Roshhin, S.A.Bryndin // Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Metallurgija. – 2011. – № 14 (231). – S. 17-19.

5. Razrabotka uslovij obespechenija zadannyh vyhodnyh parametrov ul'tradispersnyh poroshkov / Ju.A. Birjukov, A.A. Glazunov, L.N. Bogdanov, A.Ju. Ob#edkov, V.I. Romandin, V.A.Poljushko, A.Ju. Birjukov, A.V.Grjazev, E.V.Zajceva // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Fizika. – 2012. – T. 55. № 7-2. – S. 38-43.

6. Issledovanie granulometricheskogo sostava chastic poroshkovej sharikopodshipnikovoj stali, poluchenoj jelektrojerozionnym dispergirovanijem / E.V. Ageeva, E.V. Ageev, S.V. Hardikov, P.V. Chaplygin // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii. – 2014. – №4. – S. 23–28.

7. Issledovanie proizvoditel'nosti processa poluchenija poroshkov metodom jelektrojerozionnogo dispergirovanija / E.V. Ageev, B.A. Semehin, E.V. Ageeva, R.A. Latypov, N.A. Pivovar // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2010. – № 4 (33). – S. 76-82.

8. Opredelenie osnovnyh zakonomernostej processa poluchenija poroshkov metodom jelektrojerozionnogo dispergirovanija / E.V. Ageev, E.V. Ageeva, A.S. Chernov, G.S. Maslov, E.I. Parshina // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2013. – № 1 (46). – S. 85-90.

9. Pat. 2449859 Rossijskaja Federacija, C2, B22F9/14. Ustanovka dlja poluchenija nanodispersnyh poroshkov iz tokoprovodjashhijh materialov / Ageev E.V.; zajavitel' i patentoobladatel' Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet. № 2010104316/02; zajav. 08.02.2010; opubl. 10.05.2012. – 4 s.

10. Ageeva E.V., Ageev E.V., Hor'jakova N.M. Izgotovlenie zagotovok iz mednyh poroshkov, poluchennyh jelektrojerozionnym dispergirovanijem othodov jelektrotehnicheskoi medi i izuchenie ih svojstv // Naukoemkie tehnologii v mashinostroenii. – 2014. – № 10 (40). – S. 10-13.

11. Issledovanie himicheskogo sostava poroshkov, poluchennyh jelektrojerozionnym dispergirovanijem tverdogo splava / E.V. Ageev, B.A. Semehin, E.V. Ageeva, R.A. Latypov // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2011. – № 5-1 (38). – S. 138-144.

12. Ageev E.V., Semehin B.A., Latypov R.A. Issledovanie mikrotverdosti poroshkov, poluchennyh jelektrojerozionnym dispergirovanijem tverdogo splava // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdenija vysshego professional'nogo obrazovanija «Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Gorjachkina». – 2011. – № 1 (46). – S. 78-80.

13. Petpidis A.V., Tolkushev A.A., Ageev E.V. Sostav i svojstva poposhkov, poluchennyh iz othodov tvepydyh splavov metodom jelektrojerozionnogo dispergirovanija (JeJeD) // Tehnologija metallov. – 2005. – № 6. – S. 13-17.

14. Provedenie rentgenospektral'nogo mikroanaliza tverdospalnyh jelektrojerozionnyh poroshkov / E.V. Ageev, G.R. Latypova, A.A. Davydov, E.V. Ageeva // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2012. – № 5-2 (44). – S. 99-102.

15. Ageev E.V., Ageeva E.V., Hor'jakova N.M. Sostav i svojstva mednyh poroshkov, poluchennyh jelektrojerozionnym dispergirovanijem: monografija. – Kursk, 2014. – 144 s.

16. Ocenka jeffektivnosti primenenija tverdospalnyh poroshkov, poluchennyh jelektrojerozionnym dispergirovanijem othodov tvepydyh splavov, pri vosstanovlenii i up-

rochnenii detalej kompozicionnymi gal'vanicheskimi pokrytijami / E.V. Ageev, B.A. Semenihih, E.V. Ageeva, R.A. Latypov // Uprochnjajushhie tehnologii i pokrytija. – 2011. – № 9. – S. 14-16.

17. Ispol'zovanie tverdosplavnyh jel-ektroerozionnyh poroshkov dlja poluchenija

iznosostojkikh pokrytij pri vosstanovlenii i uprochnenii detalej mashin i instrumenta / E.V. Ageev, A.A. Davydov, E.V. Ageeva, A.S. Bondarev, E.P. Novikov // Izvestija Ju-go-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii. – 2013. – № 1. – S. 32-38.

УДК 628. 112

А.А. Акульшин, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: aculchinaa@mail.ru)

Н. В. Бредихина, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: aculchinaa@mail.ru)

С. А. Ноздратенко студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: aculchinaa@mail.ru)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ СУСПЕНЗИЙ ЧЕРЕЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛОСКИЕ ПОРИСТЫЕ ПЕРЕГОРОДКИ

Способы изготовления полупроводниковых приборов весьма многообразны. Однако во всех случаях в процессе производства полупроводниковые изделия проходят ряд общих основных технологических операций. Технологический процесс включает операции водного контроля компонентов полупроводниковых материалов, изготовление полупроводниковых материалов и их механическую и химическую обработку.

В процессе резки и шлифовки слитков выделяется большое количество тепла, для охлаждения места реза используют проточную воду. Вода выполняет функции антифрикционной жидкости и облегчает сбор отходов обрабатываемого материала.

Сточные воды, образующиеся в процессе резки полупроводниковых пластин, содержат в виде взвеси до 45 % исходного продукта. Стоимость отходов полупроводникового материала составляет более 6000 у.е. Поэтому сбор и утилизация получаемых отходов весьма актуальна.

Степень дисперсности зависит от вида резки, скорости резания и толщины режущего диска. Концентрация взвешенных веществ в сточной жидкости определяется расходом охлаждающей воды.

В статье дано математическое описание процессов фильтрации суспензий, образовавшихся в процессе механической обработки пластин арсенида галлия, через металлические плоские пористые перегородки. Показаны формулы по математическому расчету процессов фильтрации суспензий через пористые металлические перегородки.

Результаты проведенных нами экспериментов по разделению промстоков на пористых перегородках свидетельствуют о перспективности применения данных материалов.

Работа обобщает отечественный и зарубежный по математическому моделированию процессов фильтрации суспензий, образовавшихся в процессе резки и шлифовки материалов с кристаллической структурой в различных условиях через металлические пористые перегородки.

Для разработки методов расчёта производственных установок проведён анализ зависимостей, приведённых в литературе и полученных в результате математической обработки экспериментальных данных.

Ключевые слова: процессы фильтрации, суспензии, арсенид галлия, металлические, плоские пористые перегородки.

Способы изготовления полупроводниковых приборов весьма многообразны.

Однако во всех случаях в процессе производства полупроводниковые изделия