

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

А.С. Переверзев, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: chaser-93@yandex.ru)

А.С. Осьминина, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: osminina-as@yandex.ru)

И. Ю. Григоров, аспирант, ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова» (Курск, Россия) (e-mail: svi.doe@yandex.ru)

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ПОРОШКА СВИНЦОВОЙ БРОНЗЫ, ПОЛУЧЕННОГО В ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЕ

Статья посвящена актуальной в настоящее время проблеме переработки отходов токопроводящих материалов, в частности свинцовой бронзы, в больших количествах скапливающейся на предприятиях. Перспективным на сегодняшний день методом переработки любого токопроводящего материала, отличающимся безотходностью, экологической чистотой процесса, малыми энергозатратами, является метод электроэрозионного диспергирования.

Сущность метода электроэрозионного диспергирования заключается в разрушении токопроводящего материала в результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами. В зоне разряда под действием высоких температур происходит нагрев, расплавление и частичное испарение материала, в результате чего образуются мелкодисперсные частицы порошка. При этом на производительность процесса получения порошковых материалов будут влиять электрические параметры установки: напряжение на электродах, емкость разрядных конденсаторов и частота следования импульсов.

В статье представлены результаты анализа частиц порошковой свинцовой бронзы, полученной методом электроэрозионного диспергирования в дистиллированной воде из отходов, с помощью лазерного анализатора размеров частиц «Analysette 22 NanoТес». Экспериментально установлено, что средний размер частиц порошковой свинцовой бронзы составляет 9,73 мкм, арифметическое значение – 9,731 мкм. Также установлено, что коэффициент элонгации (удлинения) частиц размером 7,188 мкм составляет 1,50.

Ключевые слова: свинцовая бронза; производительность; диспергирование; напряжение; частота; емкость.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-42-49

Ссылка для цитирования: Размерный анализ электроэрозионного порошка свинцовой бронзы, полученного в дистиллированной воде / Е.В. Агеев, А.С. Переверзев, А.С. Осьминина, И. Ю. Григоров // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С. 42-49.

Введение

Свинцовая бронза нашла широкое применение в машиностроении. Свинцовая бронза обладает отличными антифрикционными свойствами, хорошо противостоит ударным нагрузкам, а также отличается высокой прочностью и тугоплавкостью. Бронза используется в ракетной технике, авиации, судостроении и других отраслях промышленности. Бла-

годаря устойчивости к механическому истиранию и высокой коррозионной стойкости бронзовая продукция применяется для изготовления деталей машин и приборов, участвующих в подвижных узлах в процессе трения. Актуальной на сегодняшний момент проблемой является переработка отходов свинцовой бронзы в порошки.

Существует несколько способов получения порошковых материалов на ос-

нове медных сплавов. Известен способ изготовления порошкового материала на основе меди (Патент РФ №2458166), в частности способ изготовления порошковых оловянистых бронз при утилизации отходов порошковых формовок. В высокоэнергетической мельнице активируют предварительно измельченные до размера менее 5 мм и пропитанные керосином отходы порошковых формовок на основе меди с помощью размольных шаров, покрытых ферромарганцем в количестве 10 мас.%, в среде, содержащей 10 мас.% керосина. Недостатком известного способа являются высокая энергоемкость процесса получения порошковых материалов, низкая экологичность, высокая себестоимость.

Известен способ получения порошка распылением расплава бронзы водой, воздухом или водо-воздушной смесью.

В этом ряду особый интерес представляет метод переработки практически любого токопроводящего материала, в том числе и отходов свинцовой бронзы, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса – метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) [1-11].

Для разработки технологий практического применения порошковой свинцовой бронзы, полученной из отходов, и оценки эффективности её использования требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований.

Целью работы являлось исследование гранулометрического состава частиц порошковой свинцовой бронзы, полученной методом электроэрозионного диспергирования отходов свинцовой бронзы марки БрС30 в дистиллированной воде.

Материалы и методы исследования

Для реализации намеченных исследований были выбраны отходы свинцовой бронзы марки БрС30 (ГОСТ 493-79). В качестве рабочей жидкости – дистиллированная вода (ГОСТ 6709-72). Для получения нанодисперсного порошка на экспериментальной установке методом электроэрозионного диспергирования использовали отходы свинцовой бронзы (ГОСТ 493-79) в виде стружки.

Отходы загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью – дистиллированной водой. При этом использовали следующие электрические параметры установки:

- частота следования импульсов 95...105 Гц;
- напряжение на электродах 190...200 В;
- емкость конденсаторов 65,5 мкФ.

В результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами произошло разрушение материала отходов с образованием дисперсных частиц порошка.

Частицы порошковой свинцовой бронзы были проанализированы с помощью лазерного анализатора размеров частиц «Analysette 22 NanoTec».

Лазерный анализатор размеров частиц «Analysette 22 NanoTec» определяет распределение по размерам частиц в суспензиях, эмульсиях и аэрозолях. По сравнению с „классическими“ методами измерения – рассевом, седиментацией либо анализом по изображению, – лазерная дифракция обладает рядом важных преимуществ, таких, как краткое время анализа, хорошая воспроизводимость и точность, простая калибровка, большой диапазон измерений и высокая универсальность. Диапазон измерений «Analysette 22

NanoТес» составляет от 0,01 до 2000 мкм. В анализаторах, определяющих распределение частиц по размерам посредством лазерной дифракции, используется физический принцип рассеяния электромагнитных волн. Конструкция состоит из лазера, через измерительную ячейку направленного на детектор. При помощи диспергирующего устройства частицы подают в измерительную ячейку и проходят сквозь лазерный луч. Свет, рассеянный пропорционально размеру частиц, посредством линзы фокусируется на детектор. По распределению рассеянного света при помощи комплексной математики рассчитывают распределение частиц по их размерам. В результате получают объемные доли, соответствующие эквивалентным диаметрам при лазерной дифракции. Благодаря встроенной ультразвуковой ванне (объем около 500 мл, энергия и частота ультразвука 80 Вт/36 кГц), даже труднодиспергируемые пробы могут анализироваться без применения дополнительного оборудования. Цифровой ультразвуковой генератор всегда поддерживает установленную мощность на оптимальном и постоянном уровне. Нижний предел чувствительности при малых количествах мелких и крупных частиц в распределениях их по размерам (в пределах диапазона измерений) - 3 %. Воспроизводимость согласно ISO 13320-1 $d_{50} \leq 1$ %.

Методика исследования (ФР 1.27.2009.06762 «Методика выполнения измерений размера частиц в суспензиях, эмульсиях и аэрозолях в нанометровом и коллоидном диапазонах с использованием эффекта динамического рассеяния света»). Пробоподготовка: диспергирование пробы в жидкости. Измерение фона – для того, чтобы снизить влияние измерительной жидкости перед каждым измере-

нием проводят фоновое измерение. Любое загрязнение от предыдущих измерений измеряется и устраняется его влияние на текущий результат. Измерение распределение частиц по размеру: образец исследуемого объемом около 1-5 г помещали в модуль для диспергирования в жидкости (объемом 500 мл). Измерение начиналось автоматически, как только значение абсорбции достигало указанной величины. Параметры измерения: Тип измерения – по методу Фраунгофера; диапазон измерения – 0,1 [мкм] – 1021,87 [мкм]; разрешение – 102 канала (20/383 мм); продолжительность измерения – 100 (сканов); регуляризация – средняя модель [12-17].

Результаты исследования и обсуждение

Результаты измерения размера частиц представлены на рисунке 1 и в таблицах 1,2.

На рисунке 1 представлена интегральная кривая и гистограмма: интегральная кривая в координатах $Q_3(x) = f(\mu\text{m})$ (левая шкала) - каждая точка на кривой, сколько % образца имеет размер частиц меньше либо равно данному. Гистограмма в координатах $q_3(x) = f(\mu\text{m})$ (правая шкала) – количество образца с данным размером частиц.

Установлено, что средний размер частиц составляет 9,73 мкм, арифметическое значение – 9,731 мкм.

Информация дифракционных картин может использоваться не только для определения размера частиц, но и для анализа их формы. Частицы несферической формы рассеивают излучение в их предпочтительных пространственных направлениях. Если в лазерный пучок попадает не слишком большое количество частиц, на основе получаемой информации может выполняться анализ их формы.

Таблица 1

Результаты исследования распределения по размерам частиц

Фракционный состав, %	Размер частиц меньший или равный указанному, мкм
10	0,898
20	1,614
30	2,431
40	4,096
50	7,188
60	10,158
70	13,72
80	16,831
90	20,519
95	24,832

Таблица 2

Результаты исследования диаметральных показателей частиц

Средние показатели	Размер, мкм
Объемный средний диаметр	9,73
Средний диаметр по площади поверхности	2,27
Средний диаметр по отношению к объему	0,77
Средний диаметр по отношению к площади	0,45
Средний диаметр по отношению к длине	0,33

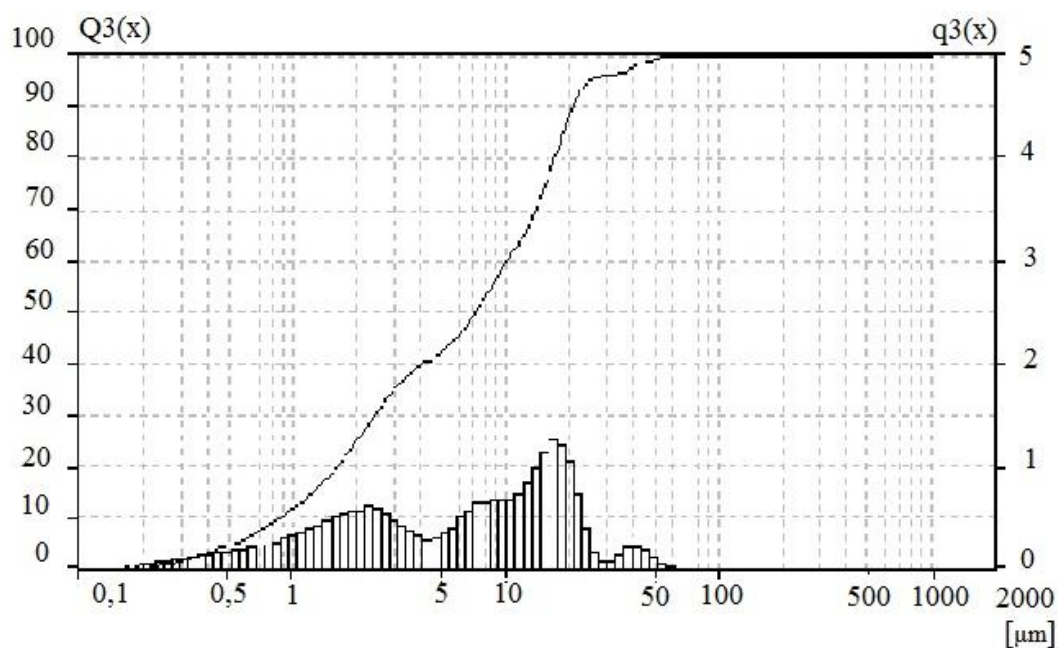


Рис. 1. Распределение по размерам частиц порошковой свинцовой бронзы

За счет уникальной возможности перемещения в сходящемся лазерном пучке, при анализе формы частиц измерительная ячейка подводится ближе к детектору, благодаря чему первый дифракционный максимум излучения, рассеянного частицами среднего размера, попадает в зоны детектора, чувствительные к форме частиц. Поскольку диаметр сходящегося лазерного пучка уменьшается по мере приближения к детектору, в этом месте в лазерном пучке находится точно то небольшое количество частиц, которое необходимо для анализа их формы. Азимутально (лучеобразно) расположенные элементы детектора регистрируют флуктуации рассеянного излучения, на основе которых компьютерной программой анализируется форма частиц. Программа позволяет определять отношение элонгации для значения $\times 50$ ранее измеренного распределения, а также судить о «гранености» частиц. На рисунке 2 представлена форма микрочастиц порошка свинцовой бронзы.

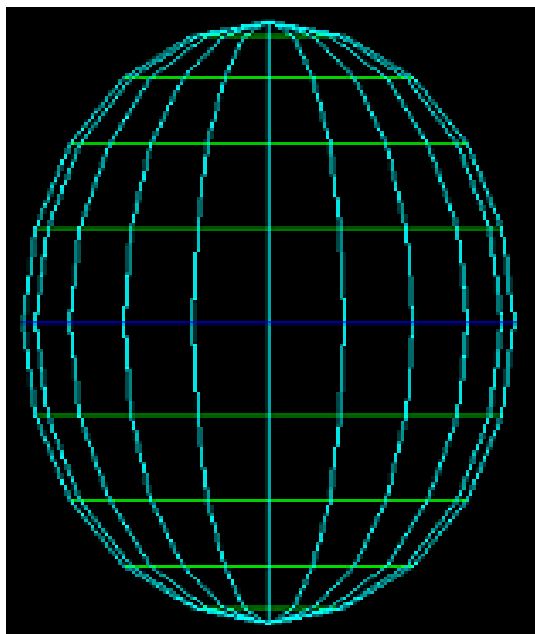


Рис. 2. Параметры формы микрочастиц порошка

Установлено, что коэффициент элонгации (удлинения) частиц размером 7,188 мкм составляет 1,50.

Заключение

На основании проведенных экспериментальных исследований, направленных на исследование гранулометрического состава частиц порошковой свинцовой бронзы, полученной электроэрозионным диспергированием отходов свинцовой бронзы марки БрС30 в дистиллированной воде при следующих электрических параметрах: частота следования импульсов 95...105 Гц; напряжение на электродах 190...200 В; емкость конденсаторов 65,5 мкФ определены: средний размер частиц, удельная площадь поверхности и коэффициент элонгации (удлинения) частиц, которые позволят определить рациональную область их практического применения. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы при разработке перспективных ресурсосберегающих технологий восстановления и упрочнения изношенных деталей машин [12-14].

Список литературы

1. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Исследование влияния электрических параметров установки на процесс порошкообразования при электроэрозионном диспергировании отходов твердого сплава // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11. № 5-2. С. 238-240.
2. Агеева Е.В., Агеев Е.В., Воробьев Е.А. Рентгеноспектральный микроанализ порошка, полученного из отходов быстрорежущей стали электроэрозионным диспергированием в керосине // Вестник машиностроения. 2014. № 11. С. 71-72.

3. Агеева Е.В., Хорьякова Н.М., Агеев Е.В. Исследование распределения микрочастиц по размерам в порошках, полученных электроэрозионным диспергированием медных отходов // Вестник машиностроения. 2014. № 9. С. 63-64.

4. Применение порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов, при восстановлении и упрочнении деталей авто-тракторной техники композиционными гальваническими покрытиями / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов, В.И. Серебровский // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 4. С. 73-75.

5. Агеева Е.В., Агеев Е.В., Латыпов Р.А. Твердосплавные электроэрозионные порошки: получение, характеристики и применение. Курск, 2014.

6. Studing tungsten-containing electro-erosion powders and alloys synthesized from them / E.V. Ageev, E.V. Ageeva, V.Yu. Karpenko, A.S. Osminina // Журнал нано-и электронной физики. 2014. Т. 6. № 3. С. 03049-1-03049-3.

7. Агеев Е.В., Латыпов Р.А. Получение и исследование заготовок твердого сплава из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2014. № 5. С. 50-53.

8. Получение заготовок твердого сплава из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов / Е.В. Агеев,

Е.В. Агеева, В.Ю. Карпенко, А.С. Осминина // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 4 (112). С. 24-27.

9. 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.

10. Получение износостойких порошков из отходов твердых сплавов / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 12. С. 39-44.

11. Латыпов Р.А., Денисов В.А., Агеев Е.В. Исследование и разработка технологии восстановления вала ротора турбокомпрессора электроискровой обработкой электроэрозионными наноматериалами // Современные материалы, техника и технологии. 2016. № 2 (5). С. 141-146.

12. Агеев Е.В. Особые условия технической эксплуатации и экологическая безопасность автомобилей. Курск, 2008.

13. Агеев Е.В. Управление производством и материально-техническое обеспечение на автомобильном транспорте. Курск, 2008.

14. Агеев Е.В., Сальков М.Е. Особенности технологии восстановления шеек коленчатых валов двигателей камаз-740 с использованием твердосплавных порошков // Технология металлов. 2008. № 3. С. 41-46.

Поступила в редакцию 14.05.18

UDC 621.762

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

A.S. Pereverzev, Post-Graduate Student, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: chaser-93@yandex.ru)

A.S. Osminina, Student, Southwest State University (Kursk, Russia)
(e-mail: osminina-as@yandex.ru)

I.Yu. Grigorov, Post-Graduate Student, Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov"
(Kursk, Russia) (e-mail: svi.doe@yandex.ru)

STUDY PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF ERODING POWDER LEAD BRONZES OBTAINED IN DISTILLED WATER

The article is devoted to the current problem of processing waste of conductive materials, in particular lead bronze, which accumulates in large quantities at enterprises. A promising method for processing any conductive material, characterized by wastelessness, ecological purity of the process, and low energy costs, is the method of electroerosive dispersion.

The essence of the method of electroerosive dispersion is the destruction of current-conducting material as a result of local exposure to short-term electrical discharges between the electrodes. In the discharge zone, under high temperatures, heating, melting and partial evaporation of the material occurs, resulting in the formation of finely dispersed powder particles. At the same time, the electrical parameters of the installation will affect the productivity of the process for obtaining powder materials: the voltage at the electrodes, the capacitance of the discharge capacitors, and the repetition rate.

The article presents the results of the analysis of particles of powdered lead bronze obtained by the method of electroerosive dispersion in distilled water from wastes, using the laser analyzer of particle sizes "Analysette 22 NanoTec". It has been experimentally established that the average particle size of powdered lead bronze is 9.73 μm , the arithmetic value is 9.731 μm . It was also found that the elongation coefficient (elongation) of particles with a size of 7.188 μm is 1.50.

Key words: cobalt alloy; electroerosion dispersion; powder; spark plasma sintering; porosity; additive technology.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-42-49

For citation: Ageev E.V., Pereverzev A.S., Osminina A.S., Grigorov I.Yu. Study Particle Size Distribution of Eroding Powder Lead Bronzes Obtained in Distilled Water. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 42-49 (in Russ.).

Reference

1. Ageev E.V., Semenixin B.A., Laty'pov R.A. Issledovanie vliyaniya e'lektricheskix parametrov ustanovki na process poroshkoobrazovaniya pri e'lektroe'rozionnom dispergirovanii otxodov tverdogo splava. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2009, vol. 11, no. 5-2, pp. 238-240.

2. Ageeva E.V., Ageev E.V., Vorob'ev E.A. Rentgenospektral'ny'j mikroanaliz poroshka, poluchennogo iz otxodov by'stro-rezhushhej stali e'lektroe'rozionny'm dispergirovaniem v kerosine. *Vestnik mashinostroeniya*, 2014, no. 11, pp. 71-72.

3. Ageeva E.V., Xor'yakova N.M., Ageev E.V. Issledovanie raspredeleniya mikrochastic po razmeram v poroshkax, poluchenny'x e'lektroe'rozionny'm dispergi-

rovaniem medny'x otxodov. *Vestnik mashinostroeniya*, 2014, no. 9, pp. 63-64.

4. Ageev E.V., Gadalov V.N., Semenixin B.A., Ageeva E.V., Laty'pov R.A., Serebrovskij V.I. Primenenie poroshkov, poluchenny'x e'lektroe'roзионny'm dispergirovaniem otxodov tverdy'x splavov, pri vostanovlenii i uprochnenii detalej avtotraktornoj tekhniki kompozicionny'mi gal'vanicheskimi pokry'tiyami. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii*, 2010, no. 4, pp. 73-75.

5. Ageeva E.V., Ageev E.V., Laty'pov R.A. Tverdosplavny'e e'lektroe'roзионny'e poroshki: poluchenie, xarakteristiki i primeneniye, Kursk, 2014.

6. Ageev E.V., Ageeva E.V., Karpenko V.Yu., Osminina A.S. Studing tungsten-containing electroerosion powders and alloys synthesized from them. *Zhurnal nano- i e'lektronnoj fiziki*, 2014, vol. 6, no. 3, pp. 03049-1-03049-3.

7. Ageev E.V., Laty'pov R.A. Poluchenie i issledovanie zagotovok tverdogo splava iz poroshkov, poluchenny'x e'lektroe'roзионny'm dispergirovaniem vol'framsoderzhashhix otxodov. *Izvestiya vy'sshix uchebny'x zavedenij. Cvetnaya metallurgiya*, 2014, no. 5, pp. 50-53.

8. Ageev E.V., Ageeva E.V., Karpenko V.Yu., Osminina A.S. Poluchenie zagotovok tverdogo splava iz poroshkov, poluchenny'x e'lektroe'roзионny'm dispergirovaniem vol'framsoderzhashhix otxodov. *Up-*

rochnyayushhie tekhnologii i pokry'tiya, 2014, no. 4 (112), pp. 24-27.

9. Ageev E.V., Ageeva E.V., Chernov A.S., Maslov G.S., Parshina E.I. Opredeleniye osnovny'x zakonomernostej processa polucheniya poroshkov metodom e'lektroe'roзионного dispergirovaniya. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, no. 1 (46), pp. 085-090.

10. Ageev E.V., Gadalov V.N., Semenixin B.A., Ageeva E.V., Laty'pov R.A. Poluchenie iznosostojkix poroshkov iz otxodov tverdy'x splavov. *Zagotovitel'ny'e proizvodstva v mashinostroenii*, 2010, no. 12, pp. 39-44.

11. Laty'pov R.A., Denisov V.A., Ageev E.V. Issledovanie i razrabotka tekhnologii vosstanovleniya vala rotora turbokompessora e'lektroiskrovoj obrabotkoj e'lektroe'roзионny'mi nanomaterialami. *Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologii*, 2016, no. 2 (5), pp. 141-146.

12. Ageev E.V. Osoby'e usloviya tekhnicheskoy e'kspluatatsii i e'kologicheskaya bezopasnost' avtomobilej. Kursk, 2008.

13. Ageev E.V. Upravleniye proizvodstvom i material'no-tekhnicheskoe obespecheniye na avtomobil'nom transporte. Kursk, 2008.

14. Ageev E.V., Sal'kov M.E. Osobennosti tekhnologii vosstanovleniya sheek kolenchaty'x valov dvigatelej KAMAZ-740 s ispol'zovaniem tverdosplavny'x poroshkov. *Texnologiya metallov*, 2008, no. 3, pp. 41-46.