

УДК 621.762

DOI dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2019-1-8-13

О некоторых перспективах развития идей академика В.Н. Анциферова в области конструкционных порошковых материалов

© 2019 г. В.Ю. Дорофеев

Южно-Российский государственный политехнический университет (ЮРГПУ (НПИ)) им. М.И. Платова,
г. Новочеркасск

Статья поступила в редакцию 27.09.18 г., подписана в печать 02.10.18 г.

Рассматриваются некоторые разработки акад. В.Н. Анциферова и созданной им научной школы в плане возможности дальнейшего их развития при получении конструкционных порошковых материалов и изделий. Отмечены перспективы работ по получению концентрационно-неоднородных и трип-сталей. Большой потенциал заключается в возможности управления толщиной и объемом зоны деформационного мартенситного превращения, протекающего при разрушении. Целесообразно продолжить работы по созданию фуллерен- и азотсодержащих порошковых композиций, а также по изучению структурной наследственности порошковых сталей. Заслуживает внимания возможность синтеза фуллеренсодержащих фаз при жидкофазном спекании композиций «железо–чугун» и «железо–графит» и последующего их перераспределения в объеме материала в процессе динамического горячего прессования. Метод получения азотсодержащих сталей механо-активацией порошков с последующим спеканием в диссоциированном аммиаке целесообразно использовать не только при создании износ- и коррозионно-стойких, но и жаропрочных материалов. Перспективны работы по изучению распада переохлажденного аустенита в порошковых сталях различных систем легирования, имеющих различную технологическую предысторию (спекенные, горячедеформированные, инфильтрованные и др.). Потенциал развития имеют работы по исследованию горячедеформированных концентрационно-неоднородных материалов, получаемых, в частности, на основе порошков типа Distaloy. Значимыми являются оригинальные методики, разработанные школой акад. В.Н. Анциферова, в частности методика определения коэффициента вариации концентрации, а также магнитометрический комплекс и математическая модель, обеспечивающая возможность прогнозирования распада переохлажденного аустенита. Работы В.Н. Анциферова могут быть востребованы при решении проблемы получения экономно-легированных порошковых сталей со структурой нижнего бейнита, обеспечивающей оптимальное сочетание прочности и вязкости.

Ключевые слова: В.Н. Анциферов, концентрационно-неоднородный материал, конструкционные порошковые стали, карбидостали, трип-стали, бейнит, переохлажденный аустенит, метастабильный аустенит, аддитивное производство, горячее изостатическое прессование, фуллерен, азот, динамическое горячее прессование, чугун, железо, графит, хромистый, марганцовистый.

Дорофеев В.Ю. – докт. техн. наук, профессор кафедры «Технология машиностроения», ЮРГПУ (НПИ) (346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132). E-mail: dvuu56.56@mail.ru.

Для цитирования: Дорофеев В.Ю. О некоторых перспективах развития идей академика В.Н. Анциферова в области конструкционных порошковых материалов. *Изв. вузов. Порошк. металлургия и функц. покрытия*. 2019. No. 1. С. 8–13. DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2019-1-8-13.

Dorofeyev V.Yu.

On some prospects for further development of Academician V.N. Antsiferov ideas in the field of structural powder materials

The paper discusses the further development of some ideas of V.N. Antsiferov and the scholar school created by him in obtaining structural powder materials and products. The prospects for obtaining concentration-inhomogeneous steels and trip-steels are noted. The great potential lies in the control of the thickness and volume of the zone of deformation martensitic transformation occurring during fracture. It is advisable to continue the preparation of fullerene- and nitrogen-containing powder compositions and to study the structural heredity of powder steels. The possibility of the synthesis of fullerene-containing phases during the liquid-phase sintering of the iron–cast iron and iron–graphite compositions and their subsequent redistribution in the bulk of the material during dynamic hot pressing is worth noticing. Producing nitrogen-containing steels by mechanical activation of powders followed by sintering in dissociated ammonia is advisable to use for obtaining not only wear- and corrosion-resistant materials, but also heat-resistant ones. The studies on the decomposition of supercooled austenite in powder steels of various doping systems with different technological background (sintered, hot-deformed, infiltrated, etc.) are promising. The potential for development is the research of hot-deformed concentration-inhomogeneous materials, obtained, in particular, on the basis of powders of the Distaloy type. The techniques developed by the Antsiferov's school are significant. The most important one is the method for determining the concentration variation coefficient, as well as a magnetometric complex and a mathematical model, which makes it possible to

predict the decomposition of supercooled austenite. Antsiferov's works can be used for obtaining lean powder steels with the lower bainite structure, which provides the optimal combination of strength and toughness.

Keywords: V.N. Antsiferov, concentration-heterogeneous material, structural powder steels, carbide-steels, trip-steels, bainite, overcooled austenite, metastable austenite, additive manufacturing, hot isostatic pressing, fullerene, nitrogen, dynamic hot pressing, cast iron, iron, graphite, chromous, manganic.

Dorofeyev V.Yu. – Dr. Sci. (Tech.), professor of the mechanical engineering Department, Platov South-Russian State Polytechnic University (346428, Russia, Rostov region, Novocherkassk, Prosveshcheniya str., 132). E-mail: dvyu56.56@mail.ru.

Citation: Dorofeyev V.Yu. On some prospects for further development of Academician V.N. Antsiferov ideas in the field of structural powder materials. *Izv. vuzov. Poroshk. metallurgiya i funkts. pokrytiya*. 2019. No. 1. P. 8–13 (In Russ.). DOI: dx.doi.org/10.17073/1997-308X-2019-1-8-13.

В память В.Н. Анциферова
Выдающийся ученый, изобретатель, первооткрыватель
мирового уровня в области порошковых и композиционных
материалов, талантливый педагог – можно долго перечислять.

Ю.Г. Дорофеев
март–апрель 2016 г.

Имя академика В.Н. Анциферова находится в одном ряду с именами ученых XX-го — начала XXI-го столетия, разработавших фундаментальные основы современной порошковой металлургии, положивших начало интенсивному внедрению эффективных технологических процессов получения порошковых и композиционных материалов и изделий различного функционального назначения. К сожалению, многих из этих выдающихся ученых уже нет в живых. Память человека ассоциативна. Вспоминая В.Н. Анциферова, всплывают образы ученых, с которыми автору этих строк приходилось встречаться при различных обстоятельствах: И.М. Федорченко, И.Д. Радомысльский, В.И. Трефилов, В.В. Скороход, В.Я. Шлюко, Д.М. Карпинос, О.В. Роман, Г.М. Жданович, Е.А. Дорошкевич, С.С. Кипарисов, Г.А. Либенсон, Б.С. Митин, Р.А. Андриевский, С.С. Ермаков... Можно было бы продолжить этот список, однако важнее вспомнить другое: это была плеяда ученых, каждый из которых оставил значимое научное наследие. Отличительной чертой того поколения было стремление к сотрудничеству, тесному взаимодействию и поддержке в различных, порой неоднозначных обстоятельствах.

Это можно отнести и к взаимоотношениям Владимира Никитовича Анциферова и моего отца — Юрия Григорьевича Дорофеева. На протяжении многих лет (пожалуй, с конца 1960-х — начала 1970-х годов) их связывали теплые дружеские отношения. В 1970-е — 1980-е годы в Новочеркасске

проходили научно-технические конференции по горячему прессованию в порошковой металлургии. Их постоянным участником был В.Н. Анциферов, входивший в состав оргкомитета (см. фото). На конференциях в Новочеркасске впервые познакомился с Владимиром Никитовичем и автор этих строк. Запомнились беседы с ним и его советы выработать свой стиль при написании научных работ. А в 1990 г. руководимый им Научный центр порошкового материаловедения выступил в качестве ведущей организации при защите моей докторской диссертации.

Високосный 2016 г. оказался очень печальным: от нас ушли В.Н. Анциферов, Г.М. Жданович, Ю.Г. Дорофеев, Р.А. Андриевский. В октябре того же года ушел из жизни Георгий Гдалевич Гнесин, перу которого принадлежит замечательная книга — биографический словарь о выдающихся материалововедах [1]. Полагаю, что перед нынешними материалововедами (и порошковидами) стоит задача анализа и оценки научного наследия наших учителей. Это окажется полезным не только в плане увековечения памяти об этих уважаемых и дорогих нам людях. Для науки важнее другое — выработка стратегии и направлений проведения дальнейших исследований.

Прежде чем перейти к изложению некоторых соображений по теме, вынесенной в заголовок настоящего сообщения, считаю целесообразным сделать еще один небольшой экскурс в наше совсем недавнее прошлое. В марте 2016 г. редакци-



В.Н. Анциферов на конференции в г. Новочеркасске (1970-е гг.)

Слева направо: В.И. Мирошников (докладчик), Д.И. Критин, М.С. Ковальченко (сопредседатель), Ф.А. Иваненко, Ю.Г. Дорофеев (сопредседатель), И.Н. Никитенко, В.Н. Анциферов, И.Д. Радомысльский (разговаривает с В.Н. Анциферовым)

ей журнала «Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия» было предложено подготовить выпуск (№ 4, 2016), посвященный памяти главного редактора — В.Н. Анциферова. Юрий Григорьевич Дорофеев очень хотел откликнуться на это предложение, но успел написать только три строчки, вынесенные в качестве эпиграфа настоящего сообщения...

Научная деятельность В.Н. Анциферова и созданного им Научного центра порошкового материаловедения носила разносторонний характер [2]. Отличительной чертой ученого была восприимчивость ко всему новому. В последние годы его стало интересовать аддитивное производство (АП), которое в настоящее время принято считать технологией будущего [3]. По некоторым оценкам, к 2020 г. рынок материалов и услуг в области АП достигнет 20 млрд долл. США.

Наряду с сугубо оптимистичными прогнозами перспектив АП появились и более взвешенные оценки возможностей этого прогрессивного метода [4]. Отмечается, в частности, необходимость дальнейшего совершенствования технологии. На сегодняшний день в аддитивных технологиях актуальны две самые важные проблемы: получение теоретической плотности в готовых изделиях и производство порошков сферической формы и заданного химического состава [5, 6]. Горячее изостатическое прессование (ГИП) пористых заготовок, полученных по технологии АП, обеспечивает возможность закрытия остаточных пор, внутрен-

них трещин, уменьшения остаточных напряжений и анизотропии свойств [7]. Однако применение ГИП усложняет технологический процесс, снижая его экономическую эффективность.

В 2017 г. были опубликованы результаты серьезного аналитического исследования, посвященного прогнозу будущего развития АП до 2030 г. и социально-экономическим последствиям, связанным с этим развитием [8]. Один из главных выводов этого исследования заключается в том, что в 2030 г. материалы и детали массового производства будут производиться на глобальном уровне. По аддитивным технологиям будут выпускаться запасные части, а также детали малых и средних серий [3]. Перспективным считается использование АП при получении многокомпонентных материалов и изделий. Детали массового производства и крупных серий будут выпускаться по традиционным технологиям, которые должны быть усовершенствованы. При решении последней задачи представляется целесообразным использовать богатое научное наследие акад. В.Н. Анциферова и его школы.

Автор не претендует на всеобъемлющий характер приводимого ниже анализа. Отмечу лишь некоторые перспективные направления, близкие мне по роду деятельности. Они связаны с производством конструкционных порошковых материалов, изучению которых В.Н. Анциферов посвятил большую часть своих работ.

Одним из таких перспективных направлений является получение концентрационно-неодно-

родных порошковых материалов. Методика определения коэффициента вариации концентрации (КВК), предложенная в работе [9], в дальнейшем широко использовалась в работах не только школы В.Н. Анциферова, но и других исследователей [10, 11]. Методика применима к материалам с различной технологической предысторией: спеченным, горячедеформированным, инфильтрованным и др. Очевидно, что она может быть использована и при решении отмеченной выше задачи получения многокомпонентных материалов и изделий по технологии АП. Далеко не исчерпаны возможности расширения промышленного применения диффузионно-легированных и гибридных порошков [12]. В 2013 г. на Европейском конгрессе по порошковой металлургии престижную награду получил Пьер Линдског, известный специалист в области производства железных порошков, который сделал доклад по истории получения порошков Distaloy [13]. Несмотря на очевидный характер проблем (нынешних и будущих), П. Линдског не видит причин, сдерживающих дальнейший рост объемов производства и применения «нашего Distaloy» (our Distaloy). При этом в качестве одного из главных преимуществ порошковой технологии в целом и диффузионно-легированных порошков в частности отмечается возможность управления распределением фазовых и структурных составляющих в материале. В этом аспекте могут быть востребованы работы В.Н. Анциферова, связанные с расчетом КВК, а также посвященные прогнозированию показателей механических свойств порошковых материалов [14]. Целесообразно продолжить работы по изучению горячедеформированных концентрационно-неоднородных материалов, получаемых, в частности, на основе порошков типа Distaloy [15].

Другое перспективное направление работ связано с получением концентрационно-неоднородных трип-сталей и карбидосталей с метастабильным аустенитом [16]. Большой потенциал заключается в себе возможность управления толщиной и объемом зоны деформационного мартенситного превращения, протекающего при разрушении. Величины сдвига точек мартенситного превращения за счет увеличения значений напряжений могут быть рассчитаны с помощью уравнения Клапейрона—Клаузиуса [17].

Системный подход в решении проблем порошкового материаловедения, характерный для школы В.Н. Анциферова, своим неизбежным следствием явил разработку ряда оригинальных экспе-

риментальных методик. Для построения термokinетических диаграмм распада переохлажденного аустенита порошковых сталей были разработаны магнитометрический комплекс и математическая модель, обеспечивающая возможность прогнозирования распада переохлажденного аустенита в условиях ступенчатой закалки [18]. Комплекс и модель были апробированы на горячештампованной порошковой стали ПК40Н2М. Целесообразно продолжить эти работы на сталях других систем легирования. Изданный в 2001 г. совместно с Ю.Г. Гуревичем и другими соавторами справочник содержит весьма ценную информацию по термokinетическим и изотермическим диаграммам распада аустенита порошковых сталей, однако за прошедшее время было проведено значительное количество работ в этом направлении [19—21]. Необходимо учитывать также большую зависимость характеристик превращения аустенита при охлаждении от технологической предыстории порошковых сталей одного химического состава.

Работы по изучению превращения аустенита при охлаждении находятся в контексте не так давно выдвинутой представителями фирмы «Hoe-ganaes Corporation» (США) в соавторстве с сотрудниками Drexel University (США) концепции создания экономно-легированных порошковых сталей со структурой нижнего бейнита, обеспечивающей оптимальное сочетание прочности и вязкости [22].

Потенциал развития имеют работы по получению фуллерен- и азотсодержащих порошковых композиций, а также по изучению структурной наследственности порошковых сталей [23]. Заслуживает внимания возможность синтеза фуллеренсодержащих фаз при жидкофазном спекании композиций «железо—чугун» и «железо—графит» и последующего их перераспределения в объеме материала в процессе динамического горячего прессования [24]. Метод получения азотсодержащих сталей механоактивацией порошков с последующим спеканием в диссоциированном аммиаке целесообразно использовать при получении не только износ- и коррозионно-стойких, но и жаропрочных материалов [25]. При этом решается проблема отсутствия на рынке азотсодержащих порошков жаропрочных сталей, с которой столкнулся автор при получении седел и выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания [26].

В заключение хотелось бы отметить одну особенность, которую замечаю за собой при выполнении исследований. Начиная работу, связанную, в

частности, с получением легированных порошковых сталей, обязательно читаю монографии В.Н. Анциферова, в которых содержится конкретная и необходимая информация по особенностям легирования, спекания и термической обработки. Эти труды имеют непреходящее значение для нынешнего и будущего поколений порошковиков, так как на повестке дня стоит необходимость замены канцерогенного никеля как легирующего элемента сталей [27, 28]. При этом внимание исследователей вновь привлекают хромистые и марганцовистые стали, которые изучал В.Н. Анциферов [29, 30].

Закончить настоящее сообщение хотелось бы словами В.А. Жуковского, которые, к сожалению, приходится цитировать все чаще:

О милых спутниках, которые наш свет
Своим присутствием для нас животворили,
Не говори с тоской: их нет,
Но с благодарностью: были.

Заключение

Работы акад. В.Н. Анциферова в области конструкционных порошковых материалов имеют потенциал развития при разработке следующих перспективных направлений исследований:

— получение концентрационно-неоднородных порошковых материалов как по технологиям, являющимся в настоящее время традиционными в порошковой металлургии (прессование-спекание, горячее и теплое прессование, инфильтрация, инжекционное формование и др.), так и по технологиям аддитивного производства;

— получение трип-сталей и карбидосталей с метастабильным аустенитом;

— изучение особенностей распада аустенита порошковых сталей и разработка технологий их термического упрочнения;

— получение износостойких, коррозионно-стойких и жаропрочных материалов, содержащих в своем составе азот, фуллерен, хром, марганец и другие добавки.

Литература/References

1. Гнесин Г.Г. Энциклопедический словарь по материаловедению. В 2 т. Т. 2. Библиографический словарь. Под ред. В.В. Скорохода. Киев: Логос, 2012. Gnesin G.G. Encyclopaedic dictionary on materials science in two volumes. Vol. 2. Bibliographic dictionary. Ed. V.V. Skorokhod. Kiev: Logos, 2012 (In Russ.).
2. Оглезнева С.А., Ханов А.М. Школа академика Анциферова. *Изв. вузов. Порошк. металлургия и функц. покрытия*. 2016. No. 4. С. 4—10. Oglezneva S.A., Khanov A.M. School of academician Antsiferov. *Izv. vuzov. Poroshk. metallurgiya i funkts. pokrytiya*. 2016. No. 4. P. 4—10 (In Russ.).
3. Левина Д.А., Чернышев Л.И. Аддитивное производство — технология будущего. *Порошк. металлургия*. 2016. No. 11—12. С. 145—150. Levina D.A., Chernyshev L.I. Additive manufacturing — technology of the future. *Poroshkovaya metallurgiya*. 2016. No. 11—12. P. 145—150 (In Russ.).
4. Nickels L. AM behind the scenes. *Metal Powder Rep.* 2017. Vol. 72. No. 3. P. 168—171.
5. Stewart Bland, Nesma T. Aboulkhair. Reducing porosity in additive manufacturing. *Metal Powder Rep.* 2015. Vol. 70. No. 2. P. 79—81.
6. Ильющенко А.Ф., Савич В.В. Тенденции и перспективы развития порошковой металлургии в мире. В сб. *Порошковая металлургия в Беларуси: вызовы времени* (НАН Беларуси, ГНПО порошковой металлургии). Под ред. А.Ф. Ильющенко. Минск: Беларуская навукa, 2017. С. 491—506. Il'yushchenko A.F., Savich V.V. Tendencies and prospects for the development of powder metallurgy in the world. In: *Powder metallurgy in Belarus: challenges of time*. Minsk: Belaruskaya navuka, 2017. P. 491—506 (In Russ.).
7. Iturriza I. HIP of AM components — some key aspects. In: *SIS Presentations — HIP: Euro PM 2017. Congress & Exhibition* (Milan, Italy, Congress Centre, 1—5 Oct. 2017). Milan: EPMA, 2017. URL: <https://www.europm2017.com/post-event/sis-presentations/sis-presentations-hip/53-hip-of-am-components-some-key-aspects/file> (accessed: 24.09.2018).
8. Jiang R., Kleer R., Piller F.T. Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030. *Technol. Forecast. Social Change*. 2017. Vol. 117. P. 84—97.
9. Анциферов В.Н., Масленников Н.Н., Пещеренко С.Н., Рабинович А.И. Определение химической неоднородности распределения элементов в порошковых материалах. *Порошк. металлургия*. 1982. No. 2. С. 63—66. Antsiferov V.N., Maslennikov N.N., Peshcherenko S.N., Rabinovich A.I. Determination of the chemical nonuniformity of distribution of elements in P/M materials. *Soviet Powder Metall. Met. Ceram.* 1982. Vol. 21. No. 2. P. 133—136.
10. Дьячкова Л.Н., Керженцева Л.Ф., Маркова Л.В. Порошковые материалы на основе железа. Минск: Тонпик, 2004. Dyachkova L.N., Kerzhentseva L.F., Markova L.V. Powder materials on iron base. Minsk: Tonpik, 2004 (In Russ.).
11. Пумпянская Т.А., Крохина Н.В. Диффузионное взаимодействие в системах Fe—Ni и Fe—NiO. *Порошк. металлургия*. 1989. No. 11. С. 60—63.

- Pumpyanskaya T.A., Krokhina N.V.* Diffusion interaction in the Fe—Ni and Fe—NiO systems. *Soviet Powder Metall. Met. Ceram.* 1989. Vol. 28. No. 11. P. 881—884.
12. *Shigeru U., Yukiko O.* Molybdenum hybrid-alloyed steel powder for high fatigue strength sintered parts using mesh-belt sintering furnace. *JFE Techn. Rep.* 2011. No. 16. P. 65—70.
13. *Lindskog P.* The History of Distaloy. In: *Euro PM 2013* — Proc. Intern. Powder Metallurgy Congress and Exhibition (Gothenburg, Sweden, 15—18 Sept. 2013). EPMA, 2013. Vol. 2. P. 231—243.
14. *Antsiferov V.N., Bulanov V.Ya.* Prediction of ultimate strength of non-uniform by concentration powder materials. *Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya.* 2003. No. 9. P. 51—55.
15. *Дорофеев Ю.Г., Мариненко Л.Г., Устименко В.И.* Конструкционные порошковые материалы и изделия. М.: Металлургия, 1986.
Dorofeyev Yu.G., Marinenko L.G., Ustimenko V.I. Structural powder materials and parts. Moscow: Metallurgiya, 1986 (In Russ.).
16. *Antsiferov V.N., Latypov M.G., Shatsov A.A.* Ferrotics with metastable austenite structure. *J. Frict. Wear.* 2001. Vol. 22. No. 6. P. 72—77.
17. *Antsiferov V.N., Latypov M.G., Shatsov A.A.* Heat and thermomechanical treatment of concentration-inhomogeneous trip steels. *Met. Sci. Heat Treat.* 2002. Vol. 44. No. 9—10. P. 381—385. DOI: 10.1023/A:1021999016487.
18. *Анциферов В.Н., Буланов В.Я., Гуревич Ю.Г., Ивашко А.Г., Цыганова М.С.* Изучение распада переохлажденно-го аустенита порошковых сталей новым цифровым магнитометром. *Металловедение и терм. обраб. металлов.* 2005. No. 4. С. 24—29.
Antsiferov V.N., Bulanov V.Ya., Gurevich Yu.G., Ivashko A.G., Tsyganova M.S. Study of decomposition of supercooled austenite of powder steels with the help of a novel digital magnetometer. *Met. Sci. Heat Treat.* 2005. Vol. 47. No. 3—4. P. 145—150. DOI: 10.1007/s11041-005-0043-1.
19. *Гуревич Ю.Г., Анциферов В.Н., Буланов В.Я., Ивашко А.Г.* Термокинетические и изотермические диаграммы порошковых сталей: Справочник. Под ред. Ю.Г. Гуревича. Екатеринбург: УрО РАН, 2001.
Gurevich Yu.G., Antsiferov V.N., Bulanov V.Ya., Ivashko A.G. Thermokinetic and isothermal diagrams of powder steels: Handbook. Ed. Yu.G. Gurevich. Ekaterinburg: UrO RAN, 2001 (In Russ.).
20. *Dyachkova L.N., Kerzhentseva L.F.* Effect of composition on phase transformations and regimes of thermal treatment of infiltrated materials on the base of powdered steels. In: *Euro PM 2004* — Proc. Powder Metallurgy World Congress and Exhibition (Vienna, Austria, Austria Centre, 17—21 Oct. 2004). EPMA, 2004. Vol. 2. P. 285—290.
21. *Maroli B.* Properties and microstructure of PM materials pre-alloyed with nickel, molybdenum and chromium. In: *Euro PM 2001* — Proc. Europ. Congr. and Exhibition on Powder Metallurgy (Nice, France, Acropolis Convention Centre, 22—24 Oct. 2001). EPMA, 2001. Vol. 1. P. 34—39.
22. *Whittaker D.* POWDERMET2016: Powder producers focus on the development of cost effective lean alloys. *Powder Metall. Rev.* 2016. Vol. 5. No. 3. P. 83—93.
23. *Анциферов В.Н., Масленников Н.Н., Пещеренко С.Н., Боброва С.Н., Тимохова А.П.* Структурная наследственность порошковых сталей. Пермь: РИТЦ ПМ, 1996.
Antsiferov V.N., Maslennikov N.N., Peshcherenko S.N., Bobrova S.N. Structural heredity of powder steels. Perm: RITTs PM, 1996 (In Russ.).
24. *Анциферов В.Н., Гревнов Л.М., Торсунов М.Ф., Бояришинов В.А.* Структура фуллеренсодержащих деформированных порошковых сталей. *Изв. вузов. Порошк. металлургия и функц. покрытия.* 2012. No. 3. С. 7—11.
Antsiferov V.N., Grevnov L.M., Torsunov M.F., Boyarshinov V.A. Structure of fullerene-containing deformed powder steels. *Russ. J. Non-Ferr. Met.* 2014. Vol. 55. No. 2. P. 167—171. DOI: 10.3103/S1067821214020023.
25. *Анциферов В.Н., Горбачев И.И., Оглезнева С.А., Попов В.В.* Структурно-фазовый состав и свойства механически легированных высокоазотистых порошковых сталей. *Изв. вузов. Порошк. металлургия и функц. покрытия.* 2010. No. 4. С. 9—18.
Antsiferov V.N., Gorbachyov I.I., Oglezneva S.A., Popov V.V. Structure-phase composition and properties of mechanically alloyed high-nitrogen powder steels. *Russ. J. Non-Ferr. Met.* 2012. Vol. 53. No. 4. P. 321—329.
26. *Дорофеев Ю.Г., Дорофеев В.Ю., Кособоков И.А.* Структура и свойства жаропрочных сталей, полученных из порошков после механической активации. *Порошк. металлургия.* 2002. No. 11—12. С. 42—49.
Dorofeev Yu.G., Dorofeev V.Yu., Kosobokov I.A. Structure and properties of heat-resistant steels obtained from powders after mechanical activation. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2002. Vol. 41. No. 11—12. P. 593—598.
27. *Neumann B., Kotthoff G., Arnhold V.* REACH: Risks, challenges and opportunities for sintered parts manufacturers. URL: <http://www.epma.com/reach-downloads> (accessed: 07.08.2018).
28. *Sulowski M.* Development of PM manganese steels. In: *Euro PM 2004* — Proc. Powder Metallurgy World Congr. and Exhibition (Vienna, Austria, Austria Centre, 17—21 Oct. 2004). EPMA, 2004. Vol. 2. P. 297—301.
29. *Анциферов В.Н., Акименко В.Б., Гревнов Л.М.* Порошковые легированные стали. М.: Металлургия, 1991.
Antsiferov V.N., Akimenko V.B., Grevnov L.M. Powder alloy steels. Moscow: Metallurgiya, 1991 (In Russ.).
30. *Анциферов В.Н., Черепанова Т.Г.* Структура спеченных сталей. М.: Металлургия, 1981.
Antsiferov V.N., Cherepanova T.G. Structure of sintered steels. Moscow: Metallurgiya, 1981 (In Russ.).