

DOI: 10.15593/2224-9877/2017.1.03

УДК 544.772:61

А.М. Игнатова¹, В.И. Верещагин²¹Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия²Томский политехнический университет, Томск, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ В ИССЛЕДОВАНИИ И СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЦ ТВЕРДОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ СИЛИКАТНОГО И ОКСИДНОГО СОСТАВА

Параметры частиц твердой составляющей сварочных аэрозолей представляют интерес с точки зрения оценки их токсичности и характера влияния на организм человека. Методом статистической обработки сведений о размерах мелкодисперсных частиц, как правило, оценивается только фракционный состав, без учета морфологии, состава и оценки внутренней конфигурации. Тогда как именно эти параметры и позволяют максимально точно оценить влияние частиц на организм человека. Исходя из этого именно эти параметры следует учитывать в моделировании характеристик образования сварочных аэрозолей при проектировании средств индивидуальной защиты от их влияния и мероприятий по снижению их негативного воздействия на организм человека. Актуальной является статистическая оценка параметров фракционного состава частиц сварочного аэрозоля с учетом морфологии, химического состава и их внутренней конфигурации, поскольку данные параметры во многом определяют взаимодействие частиц с живыми тканями. При анализе изображений частиц сварочных аэрозолей (РЭМ) получены сведения о дисперсном составе в диапазоне от 100 нм до 150 мкм с учетом морфологии (сферические и несферические частицы). Выявлено, что в независимости от вида покрытия электрода преобладают сферические частицы, причем преимущество сферических частиц наиболее ярко выражено в диапазоне от 100 до 300 нм. Методом трехмерной реконструкции поверхности частиц могут быть получены сведения о высоте элементов микрорельефа частиц, величине их активной площади и других параметров, характеризующих взаимодействие частиц с биологическими тканями. Продемонстрировано, что метод сегментации изображения в совокупности с результатами рентгеноспектрального анализа позволяет установить фазовый состав отдельных частиц.

Ключевые слова: аэрозоль, сварка, обработка изображений, профессиональные риски, покрытие электродов, ручная дуговая сварка, фракционный состав, дисперсность, трехмерная реконструкция, сферические частицы, несферические частицы.

A.M. Ignatova¹, V.I. Vereschagin²

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

² Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

APPLICATION OF DIGITAL IMAGE ANALYSIS IN THE RESEARCH AND EVALUATION OF STATISTICAL PARAMETERS OF SOLID PARTICLES WELDING FUMES

The parameters of the particles of solid component of welding fumes are of interest in terms of assessing their toxicity and the nature of the influence on the human body. Statistical treatment of data on the size of fine particles is usually evaluated only fractional composition, without taking into account the morphology, composition and evaluation of the internal configuration. Whereas, these parameters allow you to accurately assess their impact on the human body and that these parameters should be considered in the modeling parameters of the welding aerosol formation in the design of personal protective equipment on their impact and measures to reduce their negative impact on the human body. Relevant source of statistical evaluation of parameters of fractional composition of the particles of the welding aerosol based on morphology, chemical composition and their internal configuration, since these parameters are largely determined by the interaction of particles with living tissues. In the analysis of aerosol particles of welding images (SEM), information obtained particulate composition in the range from 100 nm to 150 microns based on morphology (spherical and non-spherical particles). It revealed that regardless of the type of electrode coating prevail spherical particles, spherical particles and the advantage is most pronounced in the range of 100 to 300 nm. The method of three-dimensional reconstruction of the surface of the particles can be obtained information about the height of the elements of the microrelief of the particles, the size of their active area and other parameters characterizing the interaction of particles with biological tissues. Demonstrated that image segmentation method in conjunction with the results of X-ray analysis allows to establish the phase composition of the individual particles.

Keywords: aerosole, welding, image processing, professional risks, covering the electrodes, manual arc welding, fractional composition, dispersion, three-dimensional reconstruction, spherical particles, non-spherical particles.

Введение

Параметры частиц твердой составляющей сварочных аэрозолей (ТССА) представляют интерес с точки зрения оценки их токсичности и характера влияния на организм человека [1–7]. За полувековой период их изучения были разработаны индивидуальные средства защиты, снижающие вероятность попадания частиц ТССА через дыхательные пути, а также были усовершенствованы методы оценки вредных условий труда при сварочном производстве. Последние исследования в области токсикологии показывают, что нейтрализация ультрадисперсных частиц ТССА силикатного и оксидного типа по-прежнему актуальна, поскольку значительная часть этих частиц не разлагаются в организме и могут проникать в организм человека, минуя общераспространенные

средства защиты, внедряться в структуру живых тканей и вызывать в них патологические процессы [8–11].

Актуальность

Несмотря на накопленный опыт в изучении состава, свойств и морфологии твердых частиц сварочного аэрозоля, сведения об их морфологии остаются неупорядоченными и носят описательный характер. Методом статистической обработки, как правило, оценивается только фракционный состав аэрозолей, без учета морфологии, состава и оценки внутренней конфигурации, но именно эти параметры и позволяют максимально точно оценить их влияние на организм человека и именно их следует учитывать в моделировании параметров образования сварочного аэрозоля при проектировании средств индивидуальной защиты от их влияния и мероприятий по снижению их негативного воздействия на организм человека. Актуальной является статистическая оценка параметров фракционного состава частиц ТССА с учетом морфологии, химического состава и внутренней конфигурации, поскольку данные параметры во многом определяют взаимодействие частиц с живыми тканями.

Существующие методы оценки дисперсности и гранулометрического состава ТССА обладают рядом недостатков. Лазерные, диффузионные анализаторы не дают представления о морфологии частиц и, как правило, ориентированы на изучение частиц в определенном размерном диапазоне, при этом представить гранулометрический состав ТССА в широком диапазоне представляется возможным только с использованием нескольких методов сразу. Известно, что частицы ТССА образуют кластеры и агломераты [12], параметры ТССА, входящих в их состав, практически не исследовались в отдельности и не сравнивались с параметрами одиночных частиц. Методы, предполагающие аэродинамическую сепарацию, не отражают реального количества агломератов, так как они разрушаются в процессе проведения анализа. Единственным способом, который позволяет оценить размер, морфологию, состав и в отдельных случаях внутреннюю конфигурацию частиц ТССА с минимальным воздействием на них, является метод растровой электронной микроскопии с применением рентгеноспектрального микронзондового анализа. Однако электронной микроскопией достаточно сложно оценить гранулометрический состав, морфологию,

состав или иные характеристики частиц ТССА статистически, поэтому исследователи, как правило, используют в качестве средства изучения индивидуальных частиц РЭМ. С помощью РЭМ достигнуты успехи в классификации частиц ТССА как с точки зрения морфологии и внутреннего строения, так и с точки зрения состава. Однако практики количественной и статистической оценки распространенности тех или иных типов частиц на данный момент не существует. Извлечь максимальную информацию о параметрах ТССА из результатов РЭМ, на наш взгляд, возможно с привлечением дополнительных средств исследования – таких, например, как анализ изображений с помощью специализированного программного обеспечения.

Цель и задачи исследования

Целью настоящей работы является оценка возможности использования метода анализа изображений в исследовании и статистической оценке параметров твердых частиц ТССА. Сведения о морфологии частиц ТССА представляют большой интерес с точки зрения оценки механизма их воздействия на здоровье человека, поскольку результаты исследований, представленные в последних работах [13], указывают на то, что морфология частиц, конфигурация их поверхности и внутреннее строение являются важнейшими факторами, обуславливающими уровень интенсивности и характер взаимодействия частиц ТССА с живыми тканями, микроорганизмами и клеточными структурами в организме человека. Для достижения обозначенной цели в настоящей работе выделены две основные задачи, которые предполагается решить методом анализа изображений, полученных РЭМ:

- 1) оценка гранулометрического состава частиц ТССА с учетом морфологии (сферические и несферические частицы);
- 2) оценка морфологии и внутреннего строения частиц ТССА.

Материалы, оборудование и средства анализа

Для образования сварочного аэрозоля проводилась ручная электродуговая наплавка металла покрытым электродом, поскольку при данном виде сварочных работ контакт человека со сварочным аэрозолем максимальный. В качестве материала для проведения наплавки использовали прокатные листы толщиной 10 мм из стали Ст3. Для наплавки применяли электроды $d = 3$ мм: основное (Kobe Steel LB 52U),

рутиловое (ESAB ОК 53.70, ОК 46.00), целлюлозное (Kjellberg-Finsterwalde Prima Blue) и кислое (ильменитовое) покрытия, соответствующие составу МР-3М (ТУ 1272-303-00187211–2002). В качестве источника питания использовался сварочный выпрямитель ВД-306, предназначенный, в том числе, для питания электрической сварочной дуги постоянным током при ручной дуговой сварке, в закрытых помещениях, с естественной вентиляцией.

Осаждение частиц ТССА осуществлялось на поверхность углеродного скотча в форме диска $d = 4$ мм, предназначенного для проведения исследований методом РЭМ.

Процесс наплавки проводили в условиях сварочной лаборатории с применением местной принудительной вентиляции. Наплавка проводилась на сварочном токе 90 А. Оседание сварочных аэрозолей осуществлялось на поверхность углеродного скотча, находящегося на расстоянии 300 мм от сварочной дуги. Местная принудительная вентиляция служила для образования направленного потока сварочного аэрозоля и достижения равномерного оседания его частиц на поверхность углеродного скотча.

Образцы частиц ТССА, осажженные на углеродный скотч, исследовали на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения с рентгенофлуоресцентной приставкой S3400N HITACHI (Япония).

Изображения анализировались с помощью универсального программного обеспечения ImageJ Fiji.

Результаты исследований

Наиболее доступный для оценки параметр – это гранулометрический состав частиц ТССА. Для этого может использоваться неограниченное число цифровых изображений, полученных на различных увеличениях (рис. 1). Рассмотрим принцип оценки гранулометрического состава частиц ТССА с привлечением анализа изображений.

В целом процесс делится на несколько этапов: настройка масштаба изображения, настройка контраста, корректировка изображения, сегментирование, подсчет и анализ параметров частиц.

Для настройки масштаба изображения используется функция *Analyze* → *Set Scale*, она позволяет задать корректное соотношение реального геометрического размера и размера пикселя на изображении.

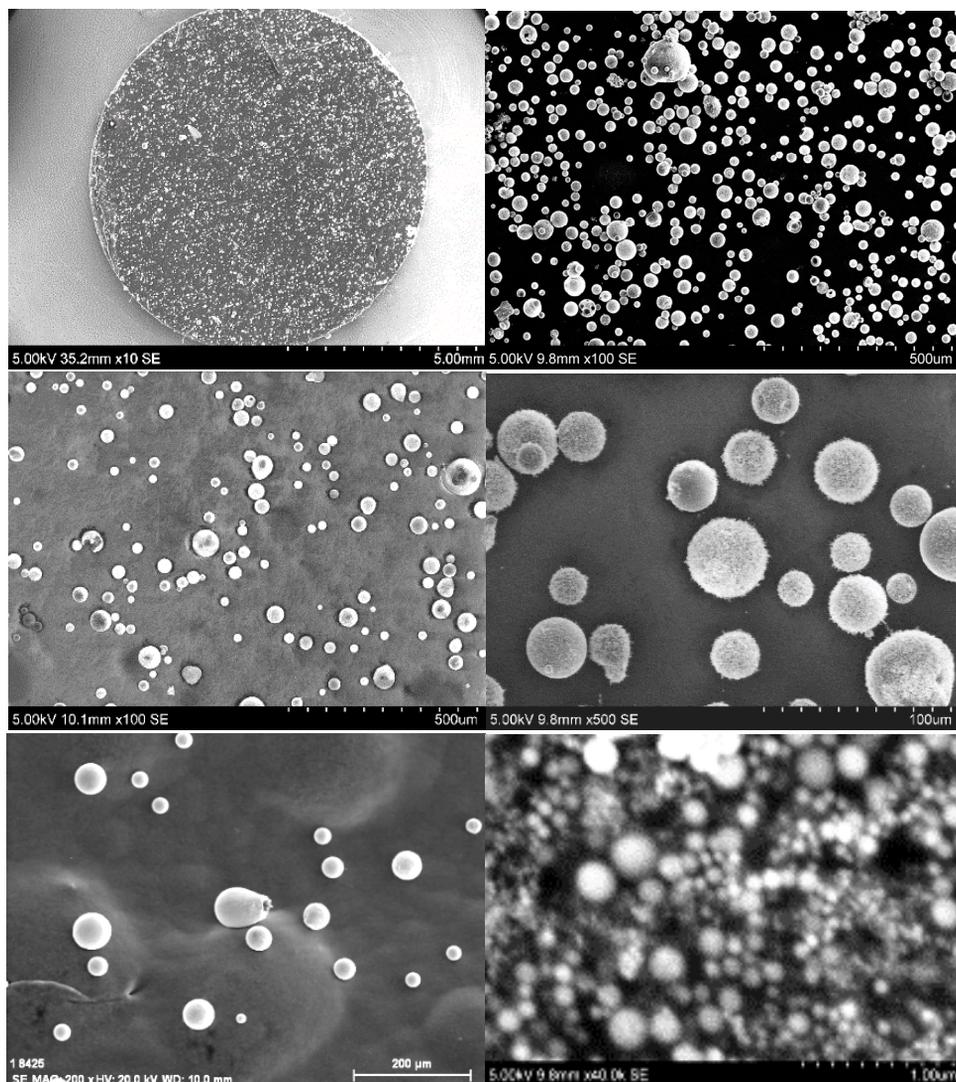


Рис. 1. Пример изображений частиц ТССА, использованных для оценки гранулометрического состава методом анализа изображений [14]

Для настройки контраста используется функция «уровни» – *Image* → *Adjust* → *Threshold*, которая позволяет удалить с изображения ненужную информацию, например цветовое искажения фона, общее загрязнение поверхности скотча, его неровности и т.д., путем перевода изображения в *бинарный* вид (рис. 2, а). Затем производится корректировка изображения с последовательным использованием инструментов *Process* → *Binary* → *Fill Holes*; *Process* → *FFT* → *Bandpass Filter*;

Image → *Adjust* → *Threshold*, которые, при совместном использовании, позволяют избавиться от световых искажений, возникших при съемке (рис. 2, б). Затем применяется инструмент *Process* → *Binary* → *Watershed*, который позволяет достигнуть отделения частиц, расположенных близко друг к другу, в автоматическом режиме (рис. 2, в) для того, чтобы при анализе количества частиц они не были определены в качестве одной цельной частицы. Анализ изображений позволяет произвести оценку гранулометрического состава как отдельных частиц, так и частиц, входящих в агломераты и осаждающихся на поверхности отдельных крупных частиц (рис. 2, г).

В последующем при помощи инструмента *Analyze* → *Analyze Particles* производится анализ параметров и подсчет частиц. Результат в виде табличных данных, отражающих площадь частиц и степень их сферичности (от 1 до 0, где 1 – идеальная сфера), обрабатывается в MS Excel с помощью спецпакета анализа данных. В качестве сферических частиц в данном анализе принимаются частицы с параметром сферичности от 0,8 до 1 [15]. Результаты оценки гранулометрического состава частиц ТССА с учетом морфологии, характерной для разных типов электродного покрытия, представлены на рис. 3.

Оценка морфологии и внутреннего строения частиц производится с помощью функции *Analyze* → *3D Surface Plot*. Эта функция позволяет создать трехмерное изображение поверхности частицы, оценивая высоту как математическую производную от показателя яркости отдельных участков изображения (рис. 4).

Для применения данного инструмента обработки изображения к сферическим и околосферическим частицам аэрозолей требуются корректировки. Это прежде всего связано с неравномерным распределением контраста по поверхности частицы в процессе фиксирования изображения при микроскопии. Корректировка подразумевает настройку освещения в любом известном графическом редакторе. Пример настройки изображения представлен на рис. 5, данная настройка призвана свести к минимуму искажения света.

Исследования [16] по оценке влияния параметров микрорельефа поверхности имплантов [17] на их приживаемость доказывают, что на взаимодействие с живыми тканями неразлагаемых в организме частиц влияет не только их состав и размер, но и параметры поверхности. Однако оценить поверхность частиц ТССА количественно с помощью

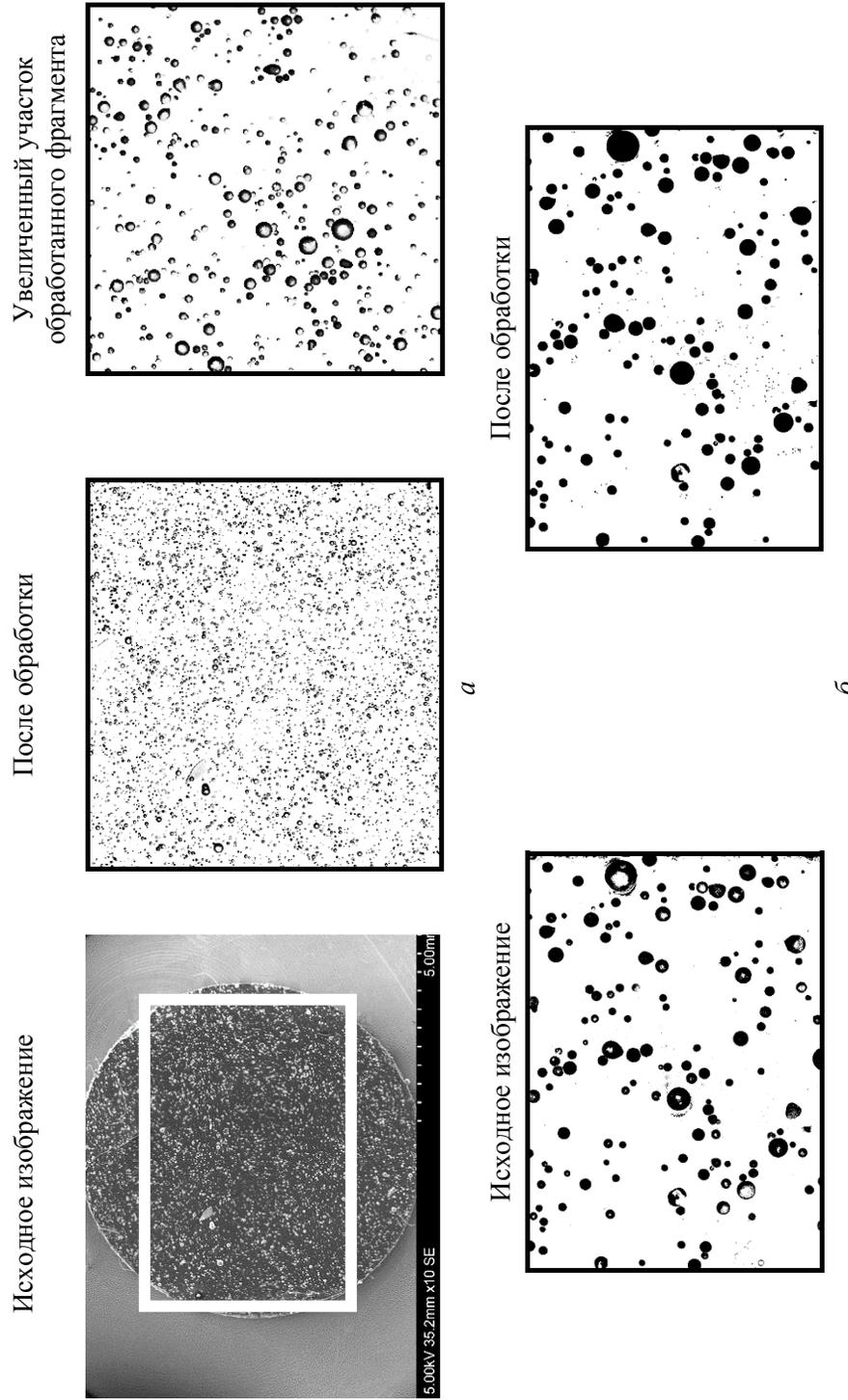


Рис. 2. Изображение частиц ТССА для проведения дифференцированного гранулометрического анализа (окончание см. с. 49)

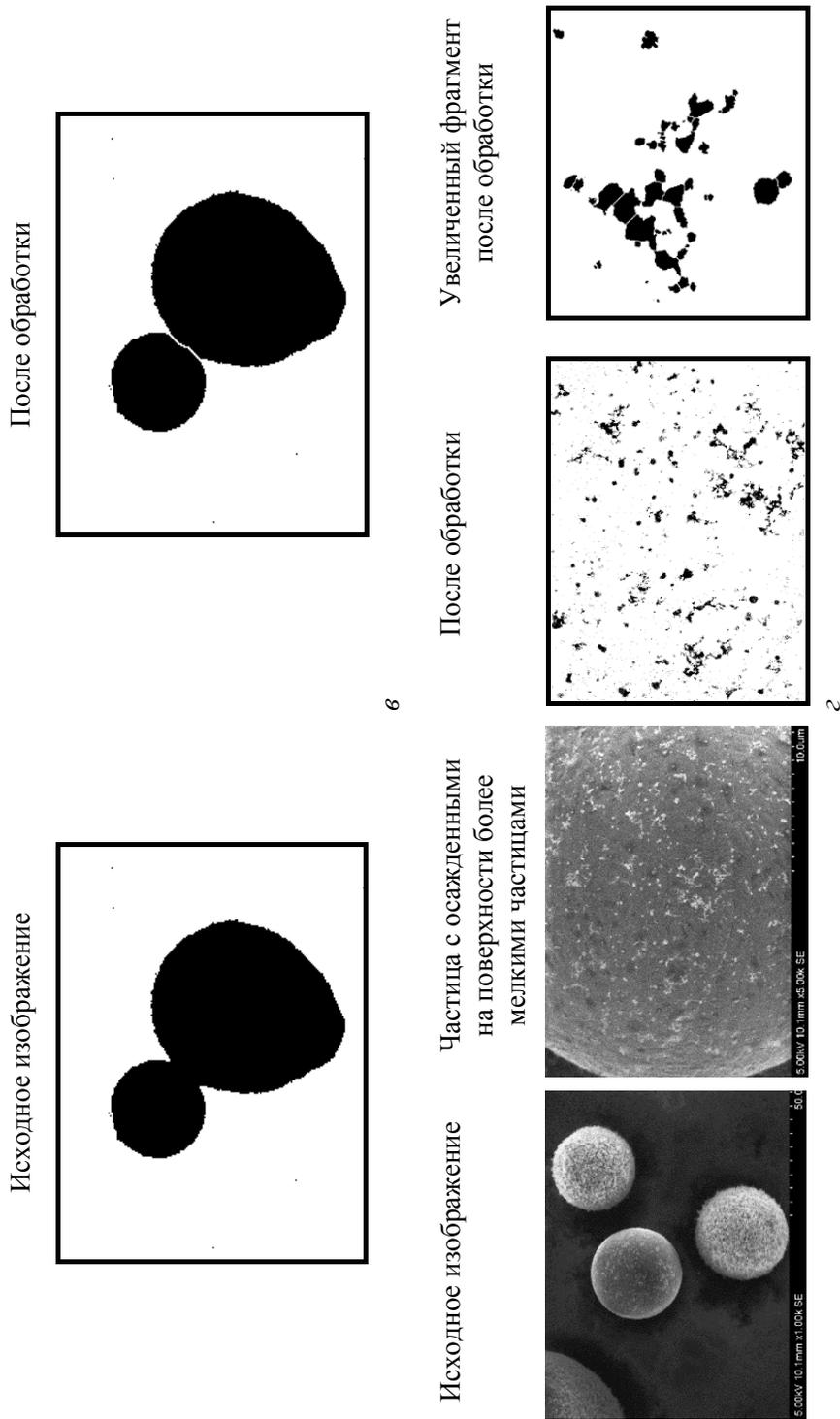


Рис. 2. Окончание

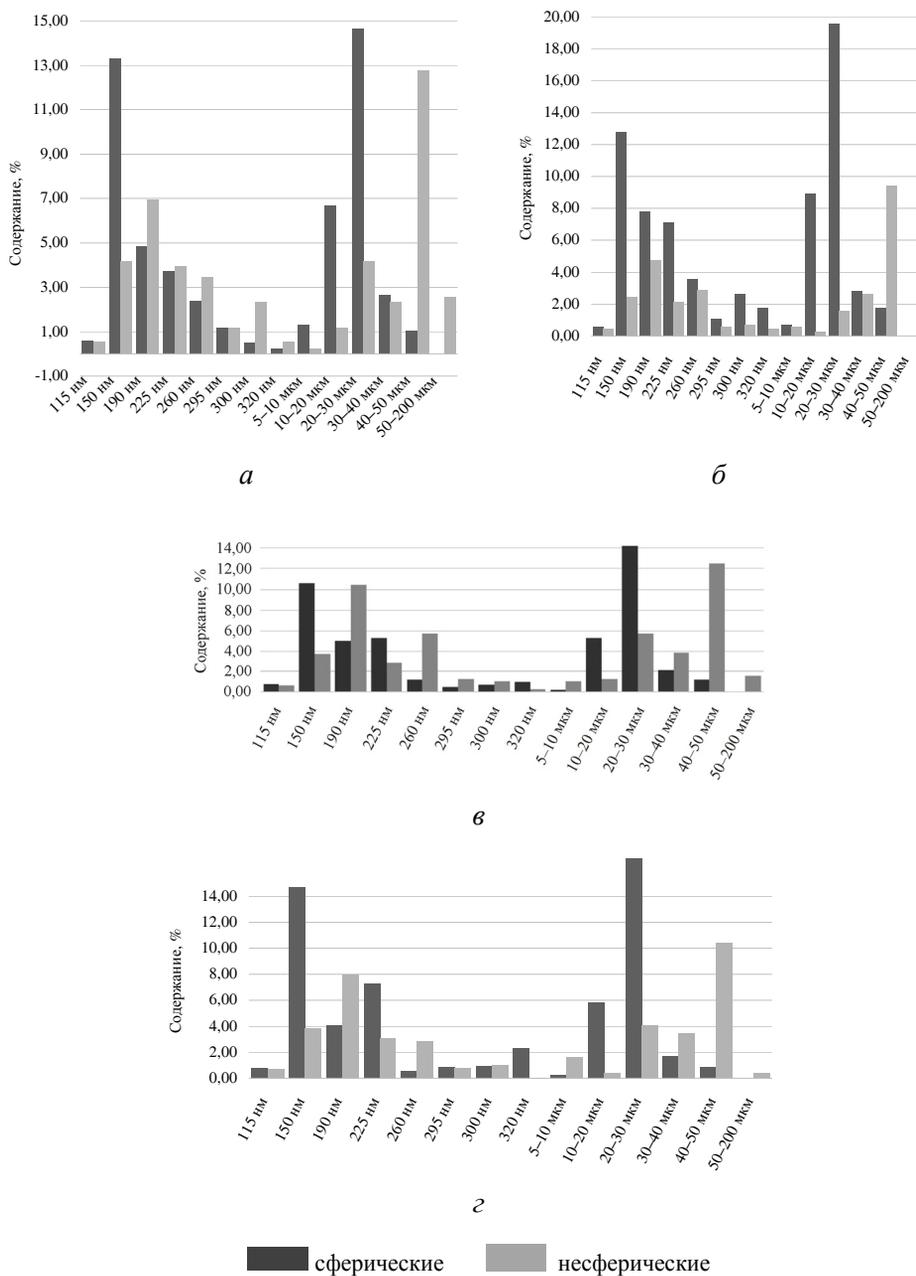
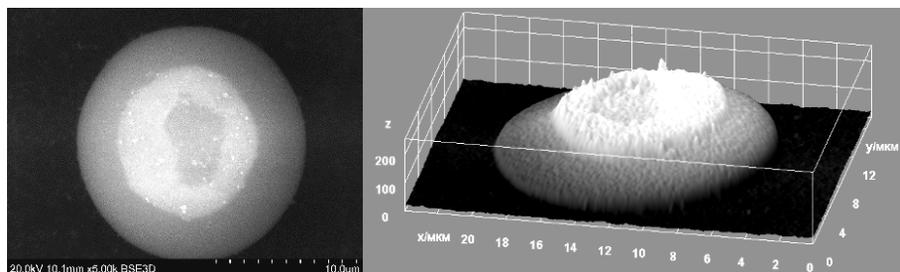
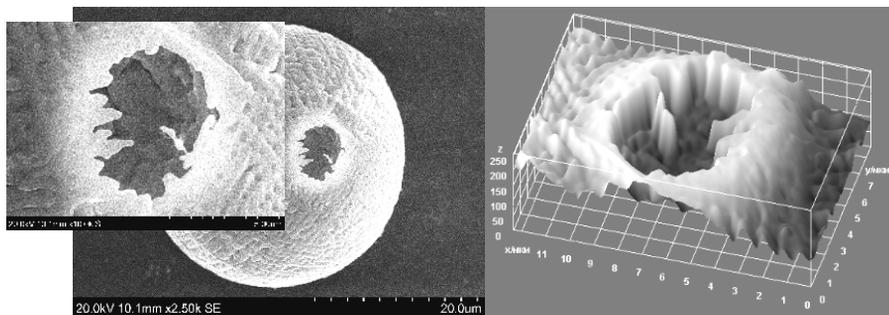


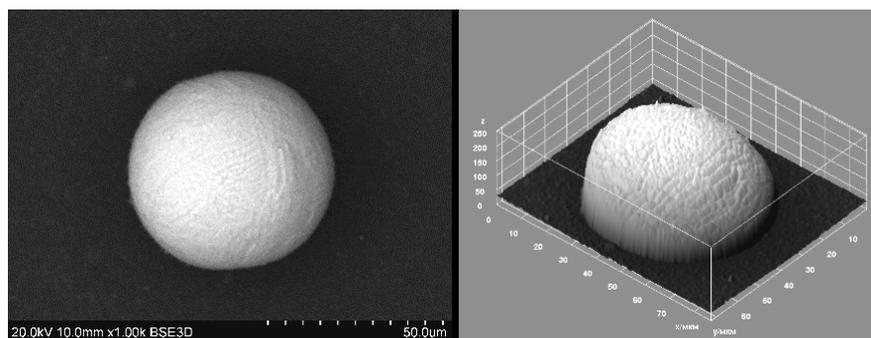
Рис. 3. Дисперсный состав частиц ТССА различной формы, образованных электродами разных типов: *a* – основного; *б* – рутилового; *в* – целлюлозного; *г* – кислого



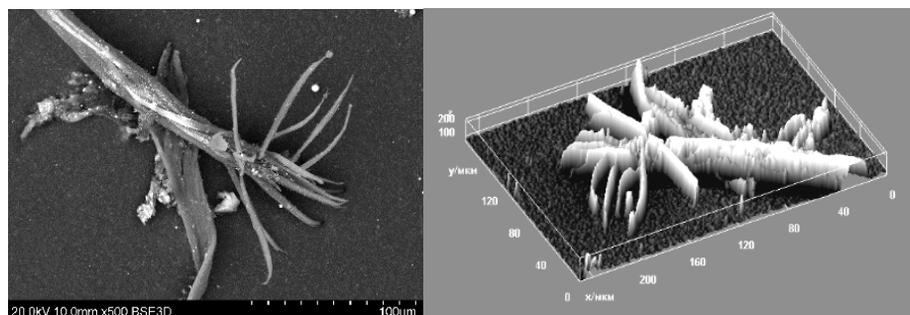
a



б

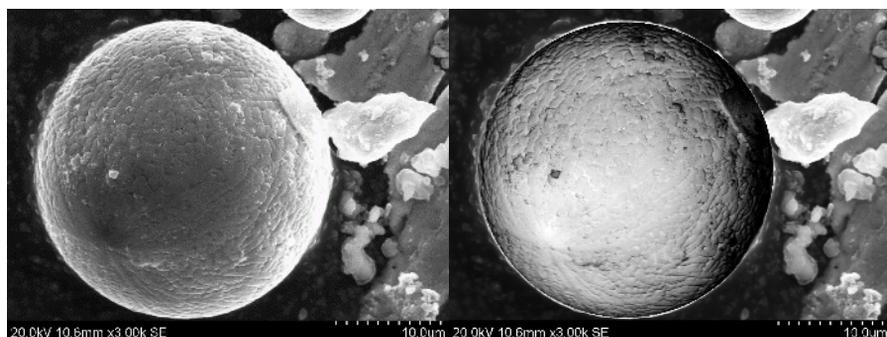


в



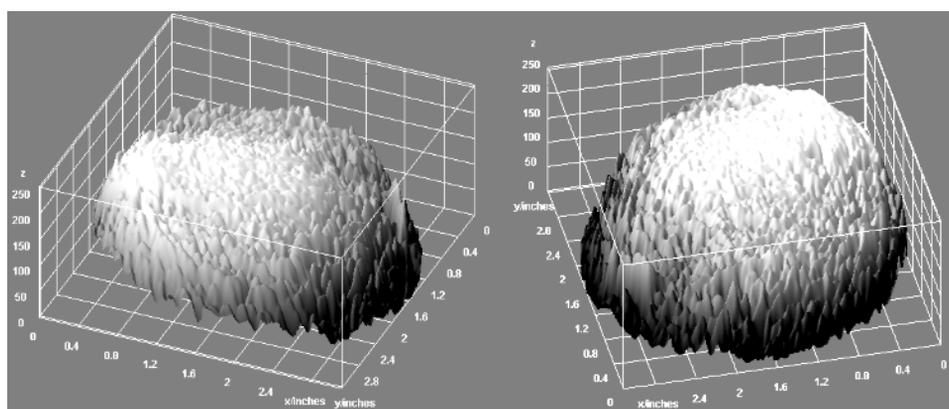
г

Рис. 4. Трехмерная реконструкция частиц ТССА с разными типами покрытий электродов: *a* – основное; *б* – рутиловое; *в* – целлюлозное; *г* – кислое



а

б



в

г

Рис. 5. Обработка изображения сферической частицы ТССА, образованной рутиловым покрытием: *а* – исходное изображение; *б* – после обработки; *в* и *г* – трехмерная реконструкция

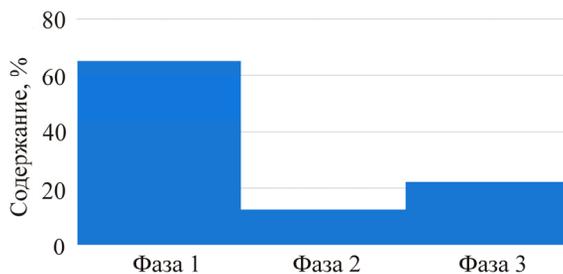
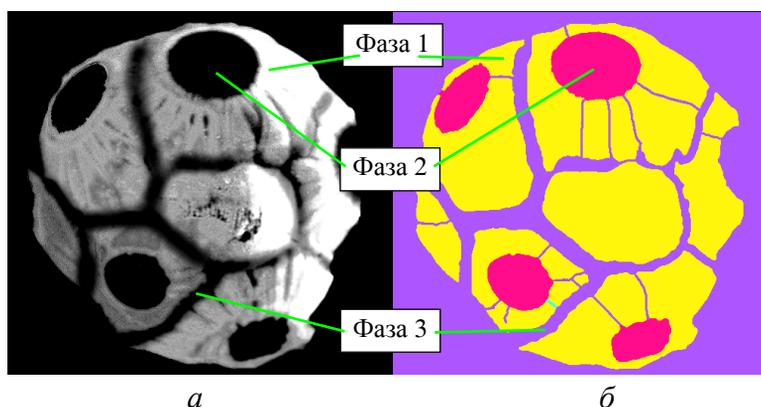
прямых измерений практически невозможно. Моделирование трехмерной поверхности частицы позволяет наглядно представить данные о высоте элементов ее микрорельефа и толщине стенки, если речь идет о пустотелых и сложно организованных частицах, подобный метод позволяет получить информацию о поверхности сколов частиц и визуализировать строение отдельных агломератов.

Некоторые частицы ТССА имеют развитую структуру поверхности, параметры которой могут быть также оценены с использованием принципов сегментации изображения посредством отдельного приложения (Plugins) к программе под названием MorphoLibJ. Благодаря такой функции на поверхности частицы можно произвести подсчет ко-

личества отдельных фаз, совмещая полученные сведения с элементным составом каждой из них (таблица), можно определить фазовый состав частицы ТССА (рис. 6).

Элементный состав отдельных фаз частицы ТССА

Компонент	Содержание, %		
	Фаза 1	Фаза 2	Фаза 3
O	60,0	17,4	65
Al	0,2	1,2	0,3
Si	4,2	2,3	3,5
Ti	0,4	0,5	0,3
Mn	3,0	4,1	2,6
Fe	32,2	74,5	28,3



в

Рис. 6. Результат фазового анализа частицы ТССА, образованной при наплавке электродом с рутиловым покрытием, методом сегментации: а – исходное фото; б – изображение, обработанное методом сегментации; в – фазовый состав частицы

Кроме того, данные, полученные при таких измерениях, позволяют оценить площадь активной поверхности частицы и ее емкость, что является немаловажным аспектом при оценке взаимодействия частиц с биологическими тканями.

Заключение

Таким образом, при анализе изображений частиц ТССА по данным РЭМ получены сведения о дисперсном составе частиц ТССА в диапазоне от 100 нм до 150 мкм с учетом морфологии (сферические и несферические частицы). Выявлено, что вне зависимости от вида покрытия электрода преобладают сферические частицы, причем преимущество сферических частиц наиболее ярко выражено в диапазоне от 100 до 300 нм.

Выявлено, что методом трехмерной реконструкции поверхности частиц ТССА по алгоритму обработки затемненных и светлых участков изображения могут быть получены сведения о высоте элементов микрорельефа частиц, величине их активной площади и других параметрах, характеризующих взаимодействие частиц с биологическими тканями. Продемонстрировано, что метод сегментации изображения в совокупности с результатами рентгеноспектрального анализа позволяет установить фазовый состав отдельных частиц ТССА.

Список литературы

1. Гришагин В.М. Сварочные аэрозоли: образование, исследование, локализация, применение: монография / Юрг. технол. ин-т. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2011. – 213 с.
2. Измеров Н.Ф., Головкова И.П., Чеботарев А.Г. Современные проблемы медицины труда в горнодобывающей промышленности // Бюл. науч. совета. Медико-экологические проблемы работающих. – 2004. – № 1. – С. 41.
3. Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Сухова А.В. Изучение окислительного метаболизма в профпатологии (обзор литературы) // Медицина труда и пром. экология. – 2004. – № 4. – С. 22–26.
4. Process-dependent characteristics of welding fume particles / K.G. Malmqvist, G. Johansson, M. Bohgard, R.K. Akse/sson // Proceedings of the International Conference on Health Hazards and Biological Effects of Welding Fumes and Gases. – Copenhagen, 1821. – P. 31–47.
5. Evaluation of employees' exposures to welding fumes and powder paint dust during metal furniture manufacturing. Health Hazard Evaluation Report / M. Rodriguez, A. Adebayo, S. Brueck, J. Ramsey; U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and

Health, NIOSH HETA. – Chicago. – № 2007-0199-3075. – URL: <https://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2007-0199-3075.pdf> (дата обращения: 11.18.2016).

6. Luo J.C., Hsu K.H., Shen W.S. Pulmonary function abnormalities and airway irritation symptoms of metal fumes exposure on automobile spot welders // *Am. J. Ind. Med.* – 2006. – № 49(6). – P. 407–416.

7. Dallam C.B., Liu S., Clson D.L. The influence of CaO–CaF₂–SiG₂ welding flux system on the welding of niobium microalloyed HSLA steel // *Welding Journal.* – 1985. – № 64(5). – P. 140–151.

8. Cray C.N., Hewitt P.J., Dare P.R.M. New approach would help control weld fume at source. Part 2. MIG fumes // *Weld. and Met. Fabrication.* – 1982. – № 10. – P. 393–397.

9. Gray C N., Hewitt P. J., Hicks R. The prediction of fume compositions in stainless steel metal inert gas welding / *Welding Institute.* – Abington, 1980. – P. 197–203.

10. Шпирт М.Я., Рубан В.А., Иткин Ю.В. Рациональное использование отходов добычи и обогащения углей. – М.: Недра, 1990. – 224 с.

11. Шаронова О.М., Аншиц Н.Н., Аншиц А.Г. Состав и морфология ферросфер узких фракций, выделенных из разных типов летучих зол // *Неорганические материалы.* – 2013. – Т. 49, № 6. – С. 625–634.

12. Игнатова А.М., Игнатов М.Н. Оценка морфологии, дисперсности, структуры и химического состава твердой составляющей сварочных аэрозолей посредством современных методов исследований // *Науч.-техн. вестник Поволжья.* – 2012. – № 3. – С. 133–138.

13. Принципы прогнозирования состава твердой составляющей сварочного аэрозоля по виду электродного покрытия / Д.А. Кузнецов, А.С. Смолина, Ю.В. Раков, М.Н. Игнатов // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение. Материаловедение.* – 2014. – № 2. – С. 25–34.

14. Характеристика твердой составляющей сварочных аэрозолей различных видов электродных покрытий / Д.А. Кузнецов, А.М. Игнатова, С.В. Наумов, М.Н. Игнатов // *Сварка и диагностика – 2012: сб. докл. науч. техн. конф. / ЗАО «Уральские выставки».* – Екатеринбург, 2012. – С. 110–114.

15. Оценка аэрозолеобразующих компонентов минерального сырья Пермского края для производства электродных покрытий / Д.А. Кузнецов, А.С. Смолина, Ю.В. Раков, М.Н. Игнатов // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение.* – 2014. – № 2. – С. 25–34.

16. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Criteria for a recommended standard: welding, brazing, and thermal cutting / U.S. Department of Health and Human Services (DHHS) Publication. – Cincinnati, 1988. – P. 88–110.

17. Биосовместимые материалы: учеб. пособие / под ред. В.И. Севастьянова, М.П. Кирпичникова / ООО «Медицинское информационное агентство». – М., 2011. – 544 с.

References

1. Grishagin V.M. Svarochnye aerzoli: obrazovanie, issledovanie, lokalizatsiia, primenenie: monografiia [Welding aerosols: education, research, localization, application:

monograph]. Iurginskii tekhnologicheskii ininstitut. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2011, 213 p.

2. Izmerov N.F., Golovkova I.P., Chebotarev A.G. Sovremennye problemy meditsiny truda v gornodobyvaiushchei promyshlennosti [Modern problems of medicine of work in the mining industry]. *Biulleten' nauchnogo soveta. Mediko-ekologicheskie problemy rabotaiushchikh*, 2004, no. 1, p. 41.

3. Kir'iakov V.A., Pavlovskaiia N.A., Sukhova A.V. Izuchenie okislitel'nogo metabolizma v profpatologii (obzor literatury) [Studying of oxidizing metabolism in professional pathology (the review of literature)]. *Meditsina truda i promyshlennaia ekologiya*, 2004, no. 4, pp. 22–26.

4. Malmqvist K.G., Johansson G., Bohgard M., Akselsson R.K. Process-dependent characteristics of welding fume particles. *Proceedings of the International Conference on Health Hazards and Biological Effects of Welding Fumes and Gases*, Copenhagen, 1982, pp. 31–47.

5. Rodriguez M., Adebayo A., Brueck S., Ramsey J. Evaluation of employees' exposures to welding fumes and powder paint dust during metal furniture manufacturing. *Health Hazard Evaluation Report*, U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH HETA, Chicago, no. 2007-0199-3075, available at: <https://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2007-0199-3075.pdf> (accessed 18 november 2016).

6. Luo J.C., Hsu K.H., Shen W.S. Pulmonary function abnormalities and airway irritation symptoms of metal fumes exposure on automobile spot welders. *Am. J. Ind. Med.*, 2006, no. 49(6), pp. 407–416.

7. Dallam C.B., Liu S., Clson D.L. The influence of CaO–CaF₂–SiO₂ welding flux system on the welding of niobium microalloyed HSLA steel. *Welding journal*, 1985, no. 64(5), pp. 140–151.

8. Cray S.N., Hewitt R.J., Dare P.R.M. New approach would help control weld fume at source. Part 2. MIG fumes. *Weld. and Met. Fabrication*, 1982, no. 10, pp. 393–397.

9. Gray S N., Hewitt P. J., Hicks R. The prediction of fume compositions in stainless steel metal inert gas welding. *Welding Institute*, Abington, 1980, pp. 197–203.

10. Shpirt M.Ia., Ruban V.A., Itkin Iu.V. Ratsional'noe ispol'zovanie otkhodov dobychi i obogashcheniia uglei [Rational use of waste of production and enrichment of coals]. Moscow, Nedra, 1990, 224 p.

11. Sharonova O.M., Anshits N.N., Anshits A.G. Sostav i morfo-logiia ferrosfer uz-kikh fraktsii, vydelenykh iz raznykh tipov letuchikh zol [Structure and morphology a ferrosfer of the narrow fractions allocated from different types of the flying evils]. *Neorganicheskie materialy*, 2013, vol. 49, no. 6, pp. 625–634.

12. Ignatova A.M., Ignatov M.N. Otsenka morfologii, dispers-nosti, struktury i khimicheskogo sostava tverdoi sostavliaiushchei sva-rochnykh aerозolei posredstvom sovremennykh metodov issledovaniia [Assessment of morphology, dispersion, structure and the chemical composition of a firm component of welding aerosols by means of modern methods of researches]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ia*, 2012, no. 3, pp. 133–138.

13. Kuznetsov D.A., Smolina A.S., Rakov Iu.V., Ignatov M.N. Printsipy prognozirovaniia sostava tverdoi sostavliaiushchei svarochnogo aerозolia po vidu elektrodnoho pok-

rytiia [Principles of forecasting of structure of a firm component of a welding aerosol by the form electrode covering]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie. Materialovedenie*, 2014, no. 2, pp. 25–34.

14. Kuznetsov D.A., Ignatova A.M., Naumov S.V., Ignatov M.N. Kharakteristika tverdoi sostavliaiushchei svarochnykh aerazolei razlichnykh vidov elektrodnykh pokrytii [Characteristic of a firm component of welding aerosols of different types of electrode coverings]. *Svarka i diagnostika, sbornik dokladov nauchno-tekhnikeskri konferentsii, ZAO «Ural'skie vystavki»*, Ekaterinburg, 2012, pp. 110–114.

15. Kuznetsov D.A., Smolina A.S., Rakov Iu.V., Ignatov M.N. Otsenka aerazoleo-brazuiushchikh komponentov mineral'nogo sy-r'ia Permskogo kraia dlia proizvodstva elektrodnykh pokrytii [Assessment the aerazoleobrazuyushchikh of components of mineral raw materials of Perm Krai for production of electrode coverings]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2014, no. 2, pp. 25–34.

16. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Criteria for a recommended standard: welding, brazing, and thermal cutting. U.S. Department of Health and Human Services (DHHS) Publication, Cincinnati, 1988, pp. 88–110.

17. Biosovmestimye materialy: uchebnoe posobie [Biocompatible materials: manual]. Ed. V.I. Sevast'ianova, M.P. Kirpichnikova. OOO «Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo». Moscow, 2011, 544 p.

Получено 16.09.16

Об авторах

Игнатова Анна Михайловна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института безопасности труда, производства и человека Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: iampstu@gmail.com.

Верещагин Владимир Иванович (Томск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры технологий силикатных материалов Томского политехнического университета; e-mail: vver@tpu.ru.

About the authors

Anna M. Ignatova (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Senior Researcher, Institut of Safety Labor, Manufactory and Human Health, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: iampstu@gmail.com.

Vladimir I. Vereschagin (Tomsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Silicat Materials, Tomsk Polytechnic University; e-mail: vver@tpu.ru.