

УДК 621.762

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-1-8-18>



Исследование элементного состава титановых металлоотходов методом рентгенофлуоресцентного анализа

Е. В. Агеев^{1✉}, Е. П. Новиков¹, В. О. Переверзев¹, А. Е. Агеева¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: ageev-ev@yandex.ru

Резюме

Целью настоящей работы являлось исследование элементного состава титановых металлоотходов, подлежащих переработке методом электроэрозионного диспергирования в сферические порошки, пригодные для аддитивного производства.

Методы. При постановке экспериментов по рентгенофлуоресцентному анализу химического состава использовали куски прутков металлоотходов титанового сплава неизвестной марки. Для определения элементного состава и процентного содержания элементов в исследуемом сплаве использовался рентгенофлуоресцентный спектрометр Niton Goldd (США). При данном методе на исследуемый образец направляют рентгеновское излучение, получают спектр отраженной волны и осуществляют анализ характеристик спектра вторичного флуоресцентного излучения пробы. При этом электромагнитные волны формируют вторичное рентгеновское излучение, то есть характеристические линии, которые являются характерными для атомов различных элементов и имеют свои индивидуальные особенности. Таким образом определяется элементный состав исследуемого образца, а интенсивность данных линий показывает количественную концентрацию элементов.

Результаты. С помощью портативного спектрометра Niton Goldd установлено, что титановые металлоотходы соответствуют марке сплава ОТ4-0. Полученные данные позволили идентифицировать образцы исследуемых металлоотходов, подлежащих переработке методом электроэрозионного диспергирования в сферические порошки, пригодные для аддитивного производства. В результате сопоставления процентного содержания химических элементов исследуемого металлоотхода и сплава ОТ4-0 по ГОСТ 19807-91 обнаружены незначительные расхождения, связанные с отсутствием в металлоотходе таких элементов, как O, Si, C, N и H. По всей видимости, это различие связано с их возможным присутствием в незначительных количествах до 0,1% или полным отсутствием.

Заключение. Реновация металлоотходов, в том числе металлоотходов титана, будет способствовать ресурсосбережению, импортозамещению и обеспечению технологического суверенитета Российской Федерации.

Ключевые слова: титановые металлоотходы; рентгенофлуоресцентный анализ; элементный анализ.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00317, <https://rscf.ru/project/24-29-00317/>.

Для цитирования: Исследование элементного состава титановых металлоотходов методом рентгенофлуоресцентного анализа / Е. В. Агеев, Е. П. Новиков, В. О. Переверзев, А. Е. Агеева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2024. Т. 14, № 1. С. 8–18. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-1-8-18>

Поступила в редакцию 28.01.2024

Подписана в печать 27.02.2024

Опубликована 26.03.2024

Investigation of the Elemental Composition of Titanium Metal Waste by X-ray Fluorescence Analysis

Evgeny V. Ageev¹ ✉, Evgeny P. Novikov¹, Vladimir O. Pereverzev¹,
Anna E. Ageeva¹

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: ageev-ev@yandex.ru

Abstract

The purpose of this work was to study the elemental composition of titanium metal waste to be processed by the method of electroerosive dispersion into spherical powders suitable for additive manufacturing.

Methods. When conducting experiments on X-ray fluorescence analysis of chemical composition, pieces of metal waste rods of a titanium alloy of an unknown brand were used. An X-ray fluorescence spectrometer Niton Goldd (USA) was used to determine the elemental composition and percentage of elements in the alloy under study. With this method, X-ray radiation is directed at the sample under study, the reflected wave spectrum is obtained and the characteristics of the spectrum of secondary fluorescent radiation of the sample are analyzed. In this case, electromagnetic waves form secondary X-ray radiation, i.e., characteristic lines that are characteristic of atoms of various elements and have their own individual characteristics. Thus, the elemental composition of the sample under study is determined, and the intensity of these lines shows the quantitative concentration of elements.

Results. Using a portable Niton Goldd spectrometer, it was found that titanium metal waste corresponds to the grade of the OT4-0 alloy. The data obtained made it possible to identify samples of the studied metal waste to be processed by the method of electroerosive dispersion into spherical powders suitable for additive manufacturing. As a result of comparing the percentage of chemical elements of the studied metal waste and alloy OT4-0 according to GOST 19807-91, minor discrepancies were found due to the absence of elements such as O, Si, C, N and H. in metal waste. Apparently, this difference is related to their possible presence in small amounts up to 0.1% or complete absence.

Conclusion. Renovation of metal waste, including titanium metal waste, will contribute to resource conservation, import substitution and ensuring the technological sovereignty of the Russian Federation.

Keywords: titanium metal waste; X-ray fluorescence analysis; elemental analysis.

Conflict of interest: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding: The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 24-29-00317, <https://rscf.ru/project/24-29-00317/>.

For citation: Ageev E. V., Novikov E. P., Pereverzev V. O., Ageeva A. E. Investigation of the Elemental Composition of Titanium Metal Waste by X-ray Fluorescence Analysis. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2024; 14(1): 8–18. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-1-8-18>

Received 28.01.2024

Accepted 27.02.2024

Published 26.03.2024

Введение

Расширяющееся в настоящее время аддитивное производство изделий ставит ряд острых задач, требующих быстрого решения [1]. Основной задачей является отечественное производство сферических порошков требуемой марки мелкими партиями требуемой зернистости [2].

К числу наиболее востребованных аддитивным производством марок сплавов относятся прежде всего титановые сплавы [3]. В настоящее время титановые сплавы получили широкое распространение во многих отраслях промышленности [4]. Высокая востребованность титановых сплавов обусловлена совокупностью их уникальных свойств, которые достигаются благодаря применению в составе этих сплавов дорогостоящих металлов, таких как титан [5]. В современных условиях санкционного давления реновация металлоотходов, в том числе и дорогостоящих титансодержащих, будет способствовать ресурсосбережению, импортозамещению и обеспечению технологического суверенитета Российской Федерации.

Одним из наиболее перспективных методов переработки металлоотходов является электроэрозионное диспергирование [6]. Данный метод в настоящее время в промышленности не применяется, при

этом обладает рядом важных преимуществ: малой тоннажностью (возможность перерабатывать металлоотходы от 1 кг и менее), экологичностью (отсутствие сточных вод и выбросов), низкие затраты энергии (до 1 кВт·ч на 1 кг), мелкой дисперсностью получаемых порошковых материалов (с размером частиц от сотен микрон до наноразмерных) [8].

Электроэрозионное диспергирование металлоотходов титановых сплавов в порошковые материалы с повторным их использованием вызывает большой научный и практический интерес [9]. Однако свойства конечного продукта, т. е. свойства сплава во многом зависят от состава, структуры и свойств исходных компонентов, которые не изучены [10].

Целью настоящей работы являлось исследование элементного состава титановых металлоотходов, подлежащих переработке методом электроэрозионного диспергирования в сферические порошки, пригодные для аддитивного производства.

Материалы и методы

При постановке экспериментов по рентгенофлуоресцентному анализу химического состава использовались куски прутков металлоотходов титанового сплава неизвестной марки (рис. 1).



Рис. 1. Куски титановых металлоотходов

Fig. 1. Pieces of titanium metal waste

В настоящей работе применялся рентгенофлуоресцентный анализ химического состава, поскольку он является самым быстрым и неразрушающим методом анализа [11]. Суть данного метода заключается в анализе характеристик спектра вторичного флуоресцентного излучения пробы, для этого на исследуемый образец направляют рентгеновское излучение и изучают спектр отраженной волны. Вторичное рентгеновское излучение представляет собой электромагнитные волны,

характеристические линии которых являются индивидуальными для атомов различных элементов и имеют свои характерные особенности, благодаря этому удается определить элементный состав исследуемого образца, а интенсивность данных линий позволяет количественно оценить концентрацию веществ [12].

С помощью портативного рентгенофлуоресцентного спектрометра Niton Goldd (США) (рис. 2) были получены данные о фактическом составе сплава.



Рис. 2. Рентгенофлуоресцентный спектрометр Niton Goldd

Fig. 2. Portable Niton Gold Spectrometer

Niton Goldd позволяет определять качественный и количественный состав химических элементов в образце. Наиболее важным и определяющим свойством для использования рентгенофлуоресцентных спектрометров является то, что метод энергетической дисперсии может применяться для анализа образцов, свойства которых должны оставаться неизменными в процессе анализа. Метод диагностирования, используемый рентгенофлуоресцентными спектрометрами, является безопасным для исследуемых образцов, т. к. не обладает разрушающим воздействием [13].

Прибор имеет встроенную цифровую видеокамеру для отображения на экране

дисплея площадки измерения с опцией коллиматора (Small Spot) и обеспечивает сверхбыстрое одновременное определение с высокой точностью элементов от Mg до U на площадке 3 мм. Все это он выполняет без применения дополнительных принадлежностей, определение легких элементов (Mg, Al, Si, P, S) в сплавах металлов, включая алюминиевые сплавы, а также в геологических образцах и почвах, пластиках и других образцах [14].

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные данные о качественном и количественном химическом составе образцов исследуемых металлоотходов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования образцов металлоотходов

Table 1. Results of the study of metal waste samples

Химический элемент A chemical element	Процентное содержание, % Percentage content, %	Погрешность измерения, $\pm 2\delta$ Measurement error, 2δ
Ti	94,34	0,35
Al	4,14	0,12
Mn	0,92	0,05
Fe	0,33	0,046
Zr	0,07	0,002
Прочие	0,26	—

Определение марки исследуемых металлоотходов осуществлялось в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 3. Согласно данному алгоритму, было установлено, что прутки металлоотходов изготовлены из сплава ОТ4-0 [15].

Сопоставление процентного содержания химических элементов исследуемого металлоотхода и сплава ОТ4-0 по ГОСТ 19807-91 [16] представлено в таблице 2.

В результате сопоставления процентного содержания химических элементов исследуемого металлоотхода и сплава ОТ4-0 по ГОСТ 19807-91 обнаружены незначительные расхождения, связанные с отсутствием в металлоотходе таких элементов, как O, Si, C, N и H. По всей видимости, это различие связано с их возможным присутствием в незначительных количествах до 0,1% или с полным отсутствием [17; 18].

Поиск по химическому составу материала

Выводимые:	Значение ДО вводить как НОЛЬ	Пример: поиск Fe ДО 5.3% вводить как 0	5.3	Fe
	Если нет MIN-MAX, число вводить в обе ячейки	Пример: поиск Fe = 5.3% вводить как	5.3	Fe

Область поиска: все материалы

Ag	Al	As	B	Be
Bi	C	Ca	Cd	Ce
Cl	Co	Cr	Cu	Fe
H	La	Li	Mg	Mn
Mo	N	Na	Nb	Nd
Ni	O	P	97.80 Pb	98.54 S
1.32 Sb	Si	Sn	Ti	V
W	Y	Zn	Zr	РЗМ

Добавлены новые элементы

Au	Ba	F	Ga	Hg
In	Ir	Pd	Pt	Rh
Se	Ta	Te	Tl	Ru
Al+Mg	Cu+P	Ni+Co		

Выполнить поиск

Поиск.

Произведен поиск материалов, которые соответствуют ВСЕМ критериям ОДНОВРЕМЕННО:

Область поиска: все материалы.				
Хим. состав в % :	Mn 1.1-1.3	Fe 0.3-0.33	Ti 97.5-98.8	Zr 0.005-0.007

Число найденных материалов = 3

Теперь найденные материалы можно не только просматривать по одному, но и сравнивать между собой.

Для сравнения отметьте 2 материала и нажмите кнопку: Сравнить свойства материалов

Титан, сплав титана (3)		
☐ OT4-0	☐ OT4-1	☐ OT4-1св

Характеристика материала OT4-0

Марка :	OT4-0
Классификация :	Титановый деформируемый сплав
Применение:	детали сложной конфигурации, длительно работающие при температуре 300-350°C и кратковременно при температуре 500-600°C ; коррозионная стойкость хорошая; класс по структуре псевдо α
Зарубежные аналоги:	Нет данных

Химический состав в % материала OT4-0
[ГОСТ 19807](#) - 91

Fe	C	Si	Mn	N	Ti	Al	Zr	O	H	Примесей
до 0.3	до 0.1	до 0.12	0.5 - 1.3	до 0.05	96.13 - 98.8	0.4 - 1.4	до 0.3	до 0.15	до 0.012	прочих 0.3

Примечание: Ti - основа; процентное содержание Ti дано приблизительно

Рис. 3. Алгоритм определения марки исследуемого титанового металлоотхода по марочнику сталей и сплавов

Fig. 3. Algorithm for determining the grade of the investigated titanium metal waste according to the grade of steels and alloys

Таблица 2. Сопоставление процентного содержания химических элементов исследуемого металлоотхода и сплава ОТ4-0 по ГОСТ 19807-91

Table 2. Comparison of the percentage of chemical elements of the studied metal waste and alloy OT4-0 according to GOST 19807-91

Химический элемент A chemical element	Процентное содержание, % Percentage content, %	
	исследуемого сплава The alloy under study	сплава ОТ4-0 по ГОСТ 19807-91 Alloy OT4-0 according to GOST 19807-91
Ti	94,34	91,83 – 95,4
Al	4,14	3,5 – 5
Mn	0,92	0,8 – 2
Fe	0,27	до 0,3
Zr	0,07	до 0,3
O	–	до 0,15
Si	–	до 0,12
C	–	до 0,1
N	–	до 0,05
H	–	до 0,012
Прочие	0,26	0,3

Полученные результаты могут использоваться при разработке технологий упрочнения материалов, изготовленных на основе ресурсосберегающих технологий, с целью повышения их эксплуатационных свойств [19; 20].

Выводы

На основании проведенных исследований, направленных на исследование элементного состава титановых металлоотходов, подлежащих переработке методом электроэрозионного диспергирования

в сферические порошки, пригодные для аддитивного производства, с помощью портативного спектрометра Niton Goldd установлено, что образцы исследуемых металлоотходов соответствуют марке сплава ОТ4-0.

2. Реновация металлоотходов, в том числе металлоотходов титана, будет способствовать ресурсосбережению, импортозамещению и обеспечению технологического суверенитета Российской Федерации.

Список литературы

1. Агеев, Е. В., Агеева Е. В., Алтухов А. Ю. Оценка возможности применения электроэрозионных кобальтохромовых порошков для получения изделий методом аддитивного производства // *Металлург.* 2021. № 12. С. 61–64. https://doi.org/10.52351/00260827_2021_12_61. EDN WLWUBF.
2. Ловшенко Ф. Г., Федосенко А. С., Марукович Е. И. Теоретические и технологические аспекты получения механически легированных порошков для производства покрытий и изделий аддитивными методами // *Литье и металлургия.* 2021. № 4. С. 90–105. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-4-90-105>. EDN ETYEQU.
3. Исследование условий горячей деформации аддитивно выращенных заготовок из титанового сплава ВТ6 с применением конечно-элементного моделирования / А. Н. Кошмин, А. С. Алещенко, П. В. Патрин [и др.] // *Металлург.* 2020. № 11. С. 100–106. EDN WEMEVE.

4. Различные методы повышения износостойкости титановых сплавов и сравнительный анализ их эффективности применительно к титановому сплаву ВТ23М / С. В. Путырский, А. А. Арисланов, Н. И. Артеменко, А. Л. Яковлев // *Авиационные материалы и технологии*. 2018. № 1(50). С. 19–24. <https://doi.org/10.18577/2071-9240-2018-0-1-19-24>. EDN YNGXOH.
5. Орыщенко А. С., Леонов В. П., Михайлов В. И. Титановые сплавы для глубоководной морской техники // *Вопросы материаловедения*. 2021. № 3(107). С. 238–246. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2021-107-3-238-246>. EDN YOLEKN.
6. Романов И. В., Задорожний Р. Н. Выделение мелкодисперсной фракции порошков, полученных методом электроэрозионного диспергирования // *Технический сервис машин*. 2020. № 3(140). С. 119–127. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2020-58-3-119-127>. EDN CRMZLZ.
7. Агеев Е. В., Хорьякова Н. М., Садова К. В. Выбор оптимального режима электроэрозионного диспергирования отходов сплава ВНЖ-95 в керосине по производительности процесса ЭЭД // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии*. 2020. Т. 10, № 2. С. 8–19. EDN SHATLJ.
8. Агеева Е. В., Локтионова О. Г., Королев М. С. Исследование процесса прессования и спекания шихты свинцово-сурьмянистого сплава ССу-3, полученной электроэрозионным диспергированием // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии*. 2021. Т. 11, № 4. С. 8–21. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2021-11-4-8-21>. EDN KNZWZW.
9. Размерный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамо-титано-кобальтового твердого сплава в керосине / Е. В. Агеев, В. О. Поданов, А. Е. Агеева [и др.] // *Чебышевский сборник*. 2022. Т. 23, № 5(86). С. 161–171. <https://doi.org/10.22405/2226-8383-2022-23-5-161-171>. EDN JGHXZZ.
10. Агеева Е. В., Сабельников Б. Н. Материальный баланс процесса электроэрозионного диспергирования отходов безвольфрамовых твердых сплавов марки КНТ16 в воде дистиллированной // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии*. 2020. Т. 10, № 3. С. 8–19. EDN TDZMEJ.
11. Рентгенофлуоресцентный экспресс-анализ технического тантала и ниобия: от сырья до продукта / Л. Ю. Межевая, М. Н. Филиппов, О. И. Лямина [и др.] // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2023. Т. 89, № 6. С. 5–12. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-6-5-12>. EDN RIVLNB.
12. Ревенко А. Г., Пашкова Г. В. Рентгенофлуоресцентный анализ: современное состояние и перспективы развития // *Журнал аналитической химии*. 2023. Т. 78, № 11. С. 980–1001. <https://doi.org/10.31857/S0044450223110130>. EDN MNFDQX.
13. Исследование элементного состава компонентов резцов дорожной фрезы методом рентгенофлуоресцентного анализа / Л. П. Кузнецова, К. Ю. Кузнецов, В. И. Колмыков, Б. А. Семенихин // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии*. 2023. Т. 13, № 3. С. 44–60. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-3-44-60>. EDN OJONIU.
14. Агеева Е. В., Королев М. С., Воробьев Ю. С. Исследование элементного состава свинцово-сурьмянистых сплавов методом рентгенофлуоресцентного анализа // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии*. 2020. Т. 10, № 4. С. 8–21. EDN AHKNLQ.
15. Гареев И. С., Собко С. А., Писарев М. С. Прогнозирование зоны разрушения сварного соединения пластин из титанового сплава ОТ4 // *Сварочное производство*. 2021. № 3. С. 37–42. <https://doi.org/10.34641/SP.2021.1036.3.011>. EDN KGTYNT.
16. Математическое моделирование процесса упрочняющей обработки титановых сплавов ВТ20 и ОТ4 / А. В. Филонович, И. В. Ворначева, А. А. Чуйченко, Е. А. Болотников // *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2021. Т. 17, № 10(202). С. 476–480. <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2021-17-10-476-480>. EDN KNUDWX.
17. Морозов В. В., Гусев В. Г., Морозов А. В. Влияние режима лазерной обработки на упругость титанового сплава ОТ4 // *Электрометаллургия*. 2022. № 9. С. 2–8. <https://doi.org/10.31044/1684-5781-2022-0-9-2-8>. EDN TRRGSJ.

18. Сураужанов К. О., Тогузов М. З. Перспективные способы переработки хлоридных отходов титанового производства // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. 2020. № 2. С. 46–50. https://doi.org/10.51885/15614212_2020_2_46. EDN LFJBY.

19. Влияние лазерной ударной проковки на мало- и многоцикловую усталость титанового сплава ОТ4-0 / Е. А. Гачегова, Р. Сихамов, Ф. Фенцке [и др.] // Прикладная механика и техническая физика. 2022. Т. 63, № 2(372). С. 182–191. <https://doi.org/10.15372/PMTF20220217>. EDN MOKWTG.

20. Электрохимическая переработка отходов тяжелых вольфрамовых сплавов в растворах карбоната аммония / О. Г. Кузнецова, А. М. Левин, С. В. Конушкин [и др.] // Металлы. 2023. № 1. С. 9–15. DOI 10.31857/S0869573323010020. EDN AKMHRM.

References

1. Ageev E. V., Ageeva E. V., Altukhov A. Yu. Otsenka vozmozhnosti primeneniya elektroerozionnykh kobalt'tokhromovykh poroshkov dlya polucheniya izdelii metodom additivnogo proizvodstva [Assessment of the possibility of using electroerosive cobalt-chromium powders to obtain products by additive manufacturing]. *Metallurg = Metallurg*, 2021, no. 12, pp. 61–64. https://doi.org/10.52351/00260827_2021_12_61. EDN WLWUBF

2. Lovshenko F. G., Fedosenko A. S., Marukovich E. I. Teoreticheskie i tekhnologicheskie aspekty polucheniya mekhanicheski legirovannykh poroshkov dlya proizvodstva pokrytii i izdelii additivnymi metodami [Theoretical and technological aspects of obtaining mechanically alloyed powders for the production of coatings and products by additive methods]. *Lit'e i metallurgiya = Casting and metallurgy*, 2021, no. 4, pp. 90–105. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-4-90-105>. EDN ETYEQU

3. Koshmin A. N., Aleshchenko A. S., Patrin P. V., eds. Issledovanie uslovii goryachei deformatsii additivno vyrashchennykh zagotovok iz titanovogo splava VT6 s primeneniem konechno-elementnogo modelirovaniya [Investigation of the conditions of hot deformation of additively grown billets from titanium alloy VT6 using finite element modeling]. *Metallurg = Metallurg*, 2020, no. 11, pp. 100–106. EDN WEMEVE

4. Putyrsky S. V., Arislanov A. A., Artemenko N. I., Yakovlev A. L. Razlichnye metody povysheniya iznosostoikosti titanovykh spлавov i sravnitel'nyi analiz ikh effektivnosti primenitel'no k titanovomu splavu VT23M [Various methods of increasing the wear resistance of titanium alloys and a comparative analysis of their effectiveness in relation to the VT23M titanium alloy]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii = Aviation Materials and Technologies*, 2018, no. 1(50), pp. 19–24. <https://doi.org/10.18577/2071-9240-2018-0-1-19-24>. EDN YNGXOH

5. Oryshchenko A. S., Leonov V. P., Mikhailov V. I. Titanovye splavy dlya glubokovodnoi morskoi tekhniki [Titanium alloys for deep-sea marine engineering]. *Voprosy materialovedeniya = Issues of materials science*, 2021, no. 3(107), pp. 238–246. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2021-107-3-238-246>. EDN YOLEKN

6. Romanov I. V., Zadorozhny R. N. Vydelenie melkodispersnoi fraktsii poroshkov, poluchennykh metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya [Isolation of the fine fraction of powders obtained by the method of electroerosive dispersion]. *Tekhnicheskii servis mashin = Technical service of machines*, 2020, no. 3(140), pp. 119–127. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2020-58-3-119-127>. EDN CRMZLZ

7. Ageev E. V., Khoryakova N. M., Sadova K. V. Vybór optimal'nogo rezhima elektro-erozionnogo dispergirovaniya otkhodov splava VNZh-95 v kerosine po proizvoditel'nosti protsessa EED [The choice of the optimal mode of electroerosive dispersion of waste of the VNZh-95 alloy in kerosene according to the performance of the EDM process]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 8–19. EDN SHATLJ

8. Ageeva E. V., Loktionova O. G., Korolev M. S. Issledovanie protsessa pressovaniya i spekaniya shikhty svintsovo-sur'myanistogo splava SSu-3, poluchennoi elektroerozionnym dispergirovaniem [Inves-

tigation of the pressing and sintering process of a charge of lead-antimony alloy SSu-3 obtained by electroerosion dispersion]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2021, vol. 11, no. 4, pp. 8–21. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2021-11-4-8-21>. EDN KNZWZV

9. Ageev E. V., Podanov V. O., Ageeva A. E., eds. Razmernyi analiz poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem vol'framo-titano-kobal'tovogo tverdogo splava v kerosine [Dimensional analysis of powders obtained by electroerosive dispersion of tungsten-titanium-cobalt-hard alloy in kerosene]. *Chebyshevskii sbornik = Chebyshevsky collection*, 2022, vol. 23, no. 5(86), pp. 161–171. <https://doi.org/10.22405/2226-8383-2022-23-5-161-171>. EDN JGHXZZ

10. Ageeva E. V., Sabelnikov B. N. Material'nyi balans protsessa elektroerozionnogo dispergirovaniya otkhodov bezvol'framovykh tverdykh splavov marki KNT16 v vode distillirovannoi [Material balance of the process of electroerosive dispersion of waste of tungsten-free hard alloys of the KNT16 brand in distilled water]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2020, vol. 10, no. 3, pp. 8–19. EDN TDZMEJ

11. Mezhevaya L. Yu., Filippov M. N., Lyamina O. I., eds. Rentgenofluorestsentnyi ekspress-analiz tekhnicheskogo tantala i niobiya: ot syr'ya do produkta [X-ray fluorescence express analysis of technical tantalum and niobium: from raw materials to product]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov = Factory laboratory. Diagnostics of materials*, 2023, vol. 89, no. 6, pp. 5–12. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-6-5-12>. EDN RIVLNB

12. Revenko A. G., Pashkova G. V. Rentgenofluorestsentnyi analiz: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya [X-ray fluorescence analysis: current state and prospects of development]. *Zhurnal analiticheskoi khimii = Journal of Analytical Chemistry*, 2023, vol. 78, no. 11, pp. 980–1001. <https://doi.org/10.31857/S0044450223110130>. EDN MNFDQX

13. Kuznetsova L. P., Kuznetsov K. Yu., Kolmykov V. I., Semenikhin B. A. Issledovanie elementnogo sostava komponentov reztsov dorozhnoi frezy metodom rentgenofluorestsentnogo analiza [Investigation of the elemental composition of the components of road milling cutters by X-ray fluorescence analysis]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 44–60. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-3-44-60>. EDN OJOHIU

14. Ageeva E. V., Korolev M. S., Vorobyov Yu. S. Issledovanie elementnogo sostava svintsovo-sur'myanistykh splavov metodom rentgenofluorestsentnogo analiza [Investigation of the elemental composition of lead-antimony alloys by X-ray fluorescence analysis]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2020, vol. 10, no. 4, pp. 8–21. EDN AHKNLQ

15. Gareev I. S., Sobko S. A., Pisarev M. S. Prognozirovaniye zony razrusheniya svarnogo soedineniya plastin iz titanovogo splava OT4 [Forecasting the fracture zone of the welded joint of plates made of titanium alloy OT4]. *Svarochnoe proizvodstvo = Welding production*, 2021, no. 3, pp. 37–42. <https://doi.org/10.34641/SP.2021.1036.3.011>. EDN KGTYNT

16. Filonovich A. V., Vornacheva I. V., Chuichenko A. A., Bolotnikov E. A. Matematicheskoe modelirovaniye protsessa uprochnyayushchei obrabotki titanovykh splavov VT20 i OT4 [Mathematical modeling of the process of hardening treatment of titanium alloys VT20 and OT4]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*, 2021, vol. 17, no. 10(202), pp. 476–480. <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2021-17-10-476-480>. EDN KNUDWX

17. Morozov V. V., Gusev V. G., Morozov A. V. Vliyanie rezhima lazernoi obrabotki na uprugost' titanovogo splava OT4 [Influence of the laser treatment mode on the elasticity of titanium alloy OT4]. *Elektrometallurgiya = Electrometallurgy*, 2022, no. 9, pp. 2–8. <https://doi.org/10.31044/1684-5781-2022-0-9-2-8>. EDN TRRGSJ

18. Surauzhanov K. O., Toguzov M. Z. Perspektivnye sposoby pererabotki khloridnykh otkhodov titanovogo proizvodstva [Promising methods of processing chloride waste from titanium production]. *Vest-*

nik Vostochno-Kazakhstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva = Bulletin of the D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, 2020, no. 2, pp. 46–50. https://doi.org/10.51885/15614212_2020_2_46. EDN LFJJB Y

19. Gacheгова Е. А., Сикхамов Р., Фентзке Ф., eds. Vliyanie lazernoi udarnoi prokovki na malo- i mnogotsiklovuyu ustalost' titanovogo splava OT4-0 [The effect of laser impact forging on small- and multi-cycle fatigue of titanium alloy OT4-0]. *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika = Applied Mechanics and technical physics*, 2022, vol. 63, no. 2(372), pp. 182–191. <https://doi.org/10.15372/PMTF20220217>. EDN MOKWTG

20. Kuznetsova O. G., Levin A. M., Konushkin S. V., eds. Elektrokhimicheskaya pererabotka ot-khodov tyazhelykh vol'framovykh splavov v rastvorakh karbonata [Electrochemical processing of waste of heavy tungsten alloys in solutions of ammonium carbonate]. *Metally = Metals*, 2023, no. 1, pp. 9–15. <https://doi.org/10.31857/S0869573323010020>. EDN AKMHRM

Информация об авторах / Information about the Authors

Агеев Евгений Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageev_ev@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3862-8624

Evgeny V. Ageev, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technology of Materials and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageev_ev@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3862-8624

Новиков Евгений Петрович, начальник отдела научно-аналитической деятельности, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: evgeniy-novikov-92@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8819-699X

Evgeny P. Novikov, Head of the Department of Scientific and Analytical Activities, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: evgeniy-novikov-92@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8819-699X

Переверзев Владимир Олегович, аспирант кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: pereverzev.vladimir2013@yandex.ru

Vladimir O. Pereverzev, Post-Graduate Student of the Department of Materials Technology and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: pereverzev.vladimir2013@yandex.ru

Агеева Анна Евгеньевна, студент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageevaanna2004@yandex.ru, SPIN-код: 6687-3804

Anna E. Ageeva, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageevaanna2004@yandex.ru, SPIN-код: 6687-3804