



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-78-82>  
УДК 621.74

Поступила 26.01.2024  
Received 26.01.2024

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОДИФФУЗИОННОГО ЦИНКОВАНИЯ В СИСТЕМЕ $Zn_{отх}-Al_2O_3$ НА СВОЙСТВА И МИКРОСТРУКТУРУ ПОКРЫТИЯ

Н. И. УРБАНОВИЧ, К. Э. БАРАНОВСКИЙ, В. Г. ДАШКЕВИЧ,

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65.

E-mail: urbanovichbntu@tut.by, baranosky\_metolit@tut.by, vladimir\_dvl@tut.by

А. А. ЖУМАЕВ, Навоийский государственный горно-технологический университет,

г. Навои, Узбекистан, ул. Янубий косачи, 27

*Представлены результаты исследований влияния продолжительности термодиффузионного цинкования, размера частиц отхода горячего цинкования – цинковой пыли в насыщающей смеси на свойства и структуру цинкового покрытия.*

**Ключевые слова.** Покрытие, термодиффузионное цинкование, цинковая пыль, микроструктура, частицы.

**Для цитирования.** Урбанович, Н. И. Исследование влияния технологических параметров термодиффузионного цинкования в системе  $Zn_{отх}-Al_2O_3$  на свойства и микроструктуру покрытия / Н. И. Урбанович, К. Э. Барановский, В. Г. Дашкевич, А. А. Жумаев // *Литье и металлургия*. 2024. № 1. С. 78–82. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-78-82>.

## RESEARCH OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THERMAL DIFFUSION ZINCAMING IN THE $Zn_{oth}-Al_2O_3$ SYSTEM ON THE PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF THE COATING

N. I. URBANOVICH, K. E. BARANOVSKY, V. G. DASHKEVICH,

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.

E-mail: urbanovichbntu@tut.by, baranosky\_metolit@tut.by, vladimir\_dvl@tut.by

A. A. ZHUMAEV, Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan, 27, Janubius Kosachi str.

*This article presents the findings of research on the impact of thermal diffusion galvanizing duration and the particle size of zinc dust waste in the galvanizing mixture on the properties and structure of the zinc coating. The study focuses on coating characteristics, such as microstructure and particle distribution.*

**Keywords.** Coating, thermal diffusion galvanizing, zinc dust, microstructure, particles.

**For citation.** Urbanovich N. I., Baranovsky K. E., Dashkevich V. G., Zhumaev A. A. Research of the influence of technological parameters of thermal diffusion zincaming in the  $Zn_{oth}-Al_2O_3$  system on the properties and microstructure of the coating. *Foundry production and metallurgy*, 2024, no. 1, pp. 78–82. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-78-82>.

Использование цинковых покрытий – один из самых распространенных способов защиты стали от коррозии. Формирование таких покрытий происходит в том числе методом термодиффузионного цинкования. В качестве основного компонента применяют цинковый порошок, производимый в России и дальнем зарубежье. В Республике Беларусь также существуют производства горячего цинкования, в частности на ОАО «Речицкий метизный завод», где, кроме изгари и гартцинка, образуется дисперсный цинксодержащий отход в виде порошка при цинковании труб и последующей их паровой обдувке в количестве около 100 т в год. Использование данного отхода – цинковой пыли  $Zn_{отх}$  в технологических решениях при получении цинковых покрытий позволит не только осуществить рециклинг цинка в промышленный оборот, но и расширить применение метода термодиффузионного цинкования для маломерных деталей сложной конфигурации, в том числе имеющих резьбовые соединения.

Прежде чем предложить применение указанного отхода в качестве цинксодержащего компонента для термодиффузионного цинкования в насыщающих смесях, проведены исследования его химического, фазового, гранулометрического состава, результаты которых отражены в [1].

Гранулометрический состав цинковой пыли в размерном диапазоне частиц менее 250 мкм, доля которого 87 мас. %, соответствует фракционному составу стандартного порошкового цинка. В свою очередь химический и фазовый состав данного отхода примерно соответствует порошковому цинку (ГОСТ 12601–76). Доля чистого цинка в пыли составляет 95%. Проведенные исследования отхода горячего цинкования – цинковой пыли показали перспективность его применения в качестве компонента в насыщающих смесях при получении цинковых покрытий химико-термической обработкой.

Авторами данной статьи изучено влияние таких технологических параметров, как состав смеси и температура термодиффузионного цинкования, на структуру, толщину и свойства диффузионных цинковых покрытий, полученных в насыщающих смесях на основе цинковой пыли [1–3]. Результаты исследований позволили установить, что при термодиффузионном цинковании стальных образцов при температуре 450 °С в течение 4 ч на основе системы  $Zn_{отх}-Al_2O_3$  формирующиеся слои покрытия состоят из  $\Gamma$ - и  $\delta$ -фаз, характерных и для цинковых слоев в порошковых средах на основе системы стандартный порошковый цинк  $Zn_{ст}-Al_2O_3$ . Что касается влияния температурного параметра, то повышение температуры термодиффузионного цинкования в системе  $Zn_{отх}-Al_2O_3$  приводит к увеличению толщины покрытия. Формирующиеся слои состоят из  $\Gamma$ -,  $\delta_1$ - и  $\zeta$ -фаз, характерных для цинковых слоев в порошковых средах на основе системы  $Zn_{ст}-Al_2O_3$  в диапазоне 400–550 °С.

Рост толщины покрытия происходит за счет  $\delta_1$ -фазы, причем в диапазоне 450–550 °С – за счет  $\delta_{II}$ -фазы, имеющей столбчатую структуру (полисады), а при 400 °С – за счет  $\delta_{IK}$ -фазы, имеющей в основном мелкокристаллическую компактную структуру.

К технологическим параметрам относится также продолжительность процесса термодиффузионного цинкования.

Исследования влияния времени выдержки на структуру и толщину цинкового слоя, полученного при термодиффузионном насыщении в смеси, состоящей из  $Zn_{отх}-Al_2O_3$ , ранее не проводились. Поэтому в данной работе установление экспериментальной зависимости влияния продолжительности процесса на толщину цинкового покрытия и его структуру при термодиффузионном насыщении в системе  $Zn_{отх}-Al_2O_3$  является одной из задач, которую необходимо решить.

В опытах по определению влияния продолжительности выдержки на толщину и структуру исследуемых покрытий применяли базовую диффузионную смесь, состоящую из 40%  $Zn_{отх}$ , 59% оксида алюминия и 1% хлористого аммония. Исследования проводили на образцах в виде пластин из стали марки Ст3. Термическую обработку осуществляли в муфельной электропечи. Продолжительность выдержки при цинковании от 1 до 4 ч, температура 450 °С. После соответствующей выдержки контейнер с образцами охлаждали на воздухе. Проведенные опыты показали, что длительность выдержки в пределах от 1 до 4 ч изменяет толщину цинкового слоя и способствует росту фаз. Так, толщина слоя при выдержке в течение одного часа составила 20–25 мкм, а при четырехчасовой выдержке – 110 мкм (рис. 1). Данная зависимость носит экспоненциальный характер, а именно: более интенсивный рост слоя происходит после трехчасовой выдержки.

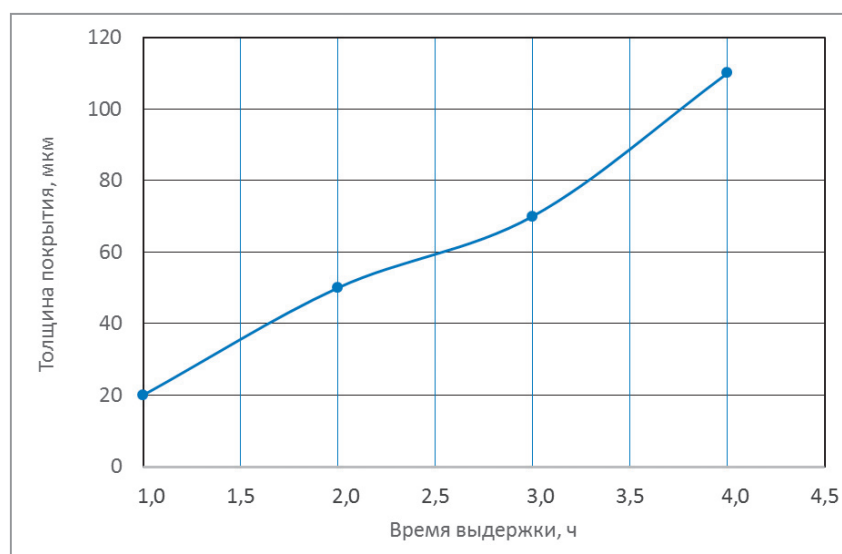
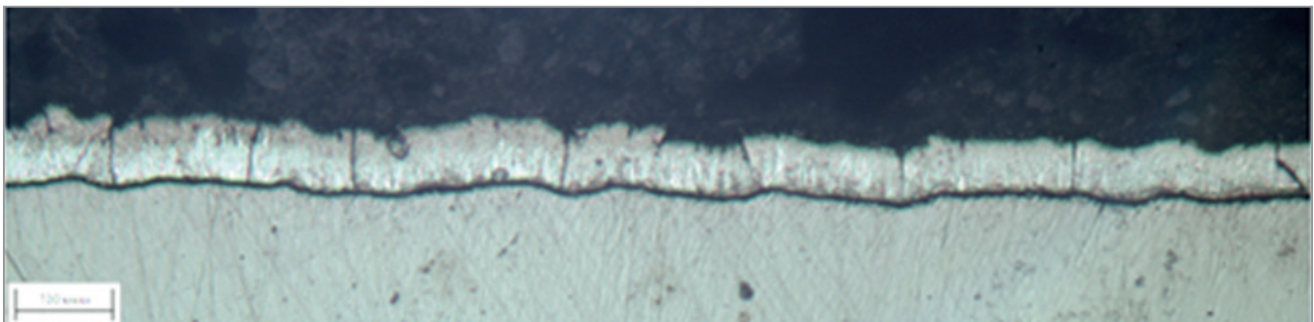


Рис. 1. Влияние времени выдержки на толщину цинкового покрытия при термодиффузионном цинковании в системе  $Zn_{отх}-Al_2O_3$

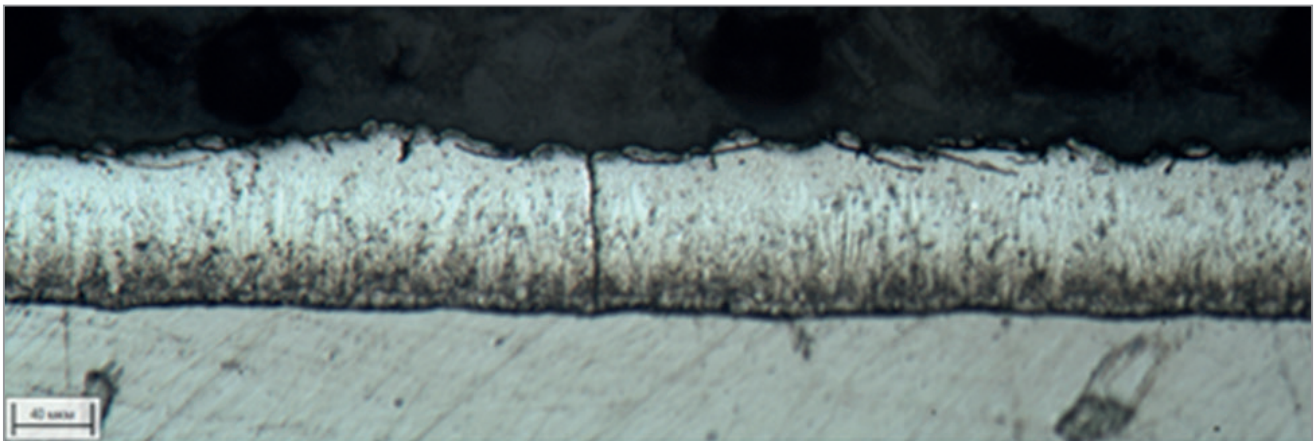
На рис. 2 представлены микрофотографии покрытий, полученных термодиффузионным цинкованием в системе  $Zn_{отх}-Al_2O_3$  при разном времени выдержки.



а



б



в

Рис. 2. Микрофотографии цинкового покрытия, полученного в системе  $Zn_{отх}-Al_2O_3$  при разном времени выдерживания: а – 1 ч; б – 2 ч; в – 4 ч

Анализ структур показал (рис. 2), что цинковое покрытие состоит из слоев  $\alpha$ -,  $\Gamma$ -,  $\delta_1$ - и  $\zeta$ -фаз. Следует отметить, что рост покрытия с увеличением времени выдержки происходит в основном за счет  $\delta_{II\Gamma}$ -фазы. Продолжительность времени выдержки при термодиффузионном насыщении в системе  $Zn_{отх}-Al_2O_3$  приводит к росту толщины слоя. Причем наиболее интенсивный рост происходит после трехчасовой выдержки и осуществляется за счет увеличения  $\delta_{II\Gamma}$ -фазы. Вместе с тем продолжительность не влияет на структуру цинкового покрытия, которое во всех случаях состоит из слоев  $\alpha$ -,  $\Gamma$ -,  $\delta_1$ - и  $\zeta$ -фазы.

К технологическим параметрам термодиффузионного цинкования также можно отнести размер зерен цинкового порошка в насыщающей смеси и его влияние на качество покрытия, толщину и цвет. Цинковая пыль в размерном диапазоне частиц  $\leq 250$  мкм имеет приблизительно следующий гранулометрический состав, мас. %: фракции менее 63 мкм – не менее 50,0; 63–160 мкм – не более 40,0; 160–250 мкм – не более 10,0. Влияние размера частиц на качество покрытия, толщину и цвет изучали на основе сравнительного анализа цинковой пыли в диапазоне зерен  $\leq 63$  мкм и  $\leq 250$  мкм.

Термодиффузионное цинкование осуществляли по вышеописанной методике в контейнере, насыщающая смесь имела базовый состав: 40%  $Zn_{отх}$ , 59% оксида алюминия и 1% хлористого аммония. На рис. 3 показан внешний вид образцов, покрытия которых получены в насыщающих смесях с цинковой



пылью, имеющей различный размер зерен. Более светлое покрытие получили при применении цинковой пыли с размером частиц  $\leq 63$  мкм.

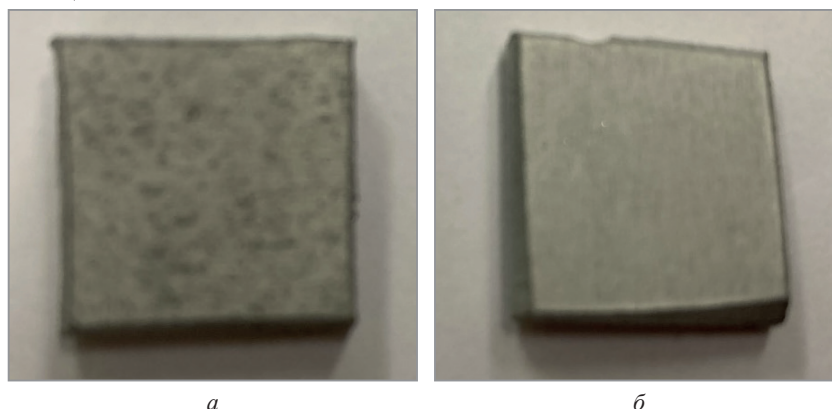


Рис. 3. Внешний вид образцов с цинковым покрытием, полученным в насыщающих смесях с цинковой пылью с размером зерен: *a* –  $\leq 250$  мкм; *б* –  $\leq 63$  мкм

Для оценки степени шероховатости поверхности в зависимости от размера частиц цинковой пыли в насыщающей смеси снимали профилограмму на приборе MarSurfPS1 (рис. 4).

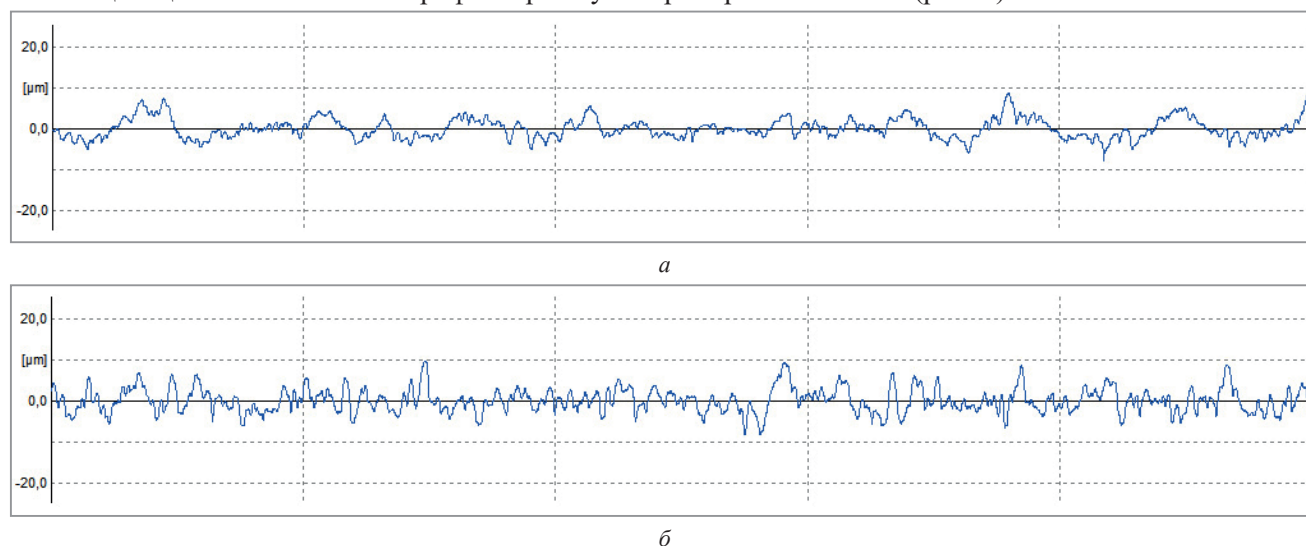


Рис. 4. Профилограмма шероховатости цинковых покрытий, полученных в насыщающих смесях на основе цинковой пыли, имеющей различный размер частиц: *a* –  $\leq 250$  мкм; *б* –  $\leq 63$  мкм

При сравнении образцов цинковых покрытий, полученных при одинаковых температуре и времени выдержки в насыщающих смесях одинакового состава, где отличие состояло только в размере частиц цинковой пыли, выявлено, что более гладким является покрытие на цинковой пыли с размером частиц  $\leq 63$  мкм. Профилограмма шероховатости данного покрытия показывает (рис. 4, *б*), что высота пиков и впадин неровностей в два раза ниже, они имеют относительно меньший шаг на базовой длине, чем покрытие, полученное на цинковой пыли с размером частиц  $\leq 250$  мкм (рис. 4, *а*).

Таким образом, с уменьшением зернистости цинковой пыли в насыщающей смеси качество покрытия улучшается за счет снижения его шероховатости, получается более светлым и гладким.

Микроструктуры цинковых покрытий из насыщающих смесей с цинковой пылью, имеющей различный размер частиц, представлены на рис. 5.

Анализ структур показал (рис. 5), что цинковое покрытие состоит из слоев  $\alpha$ -,  $\Gamma$ -,  $\delta_1$ - и  $\zeta$ -фаз. Рост цинкового диффузионного покрытия в насыщающей среде с цинковой пылью с размером частиц  $\leq 250$  мкм происходит в основном за счет роста  $\delta_{1\Pi}$ -фазы, имеющей столбчатую структуру, а с цинковой пылью с размером частиц  $\leq 63$  мкм – за счет роста  $\delta_{1K}$ -фазы, имеющей в основном мелкокристаллическую компактную структуру.

Согласно результатам экспериментов, уменьшение размера частиц цинковой пыли позволяет получить цинковое покрытие с мелкокристаллической компактной структурой.

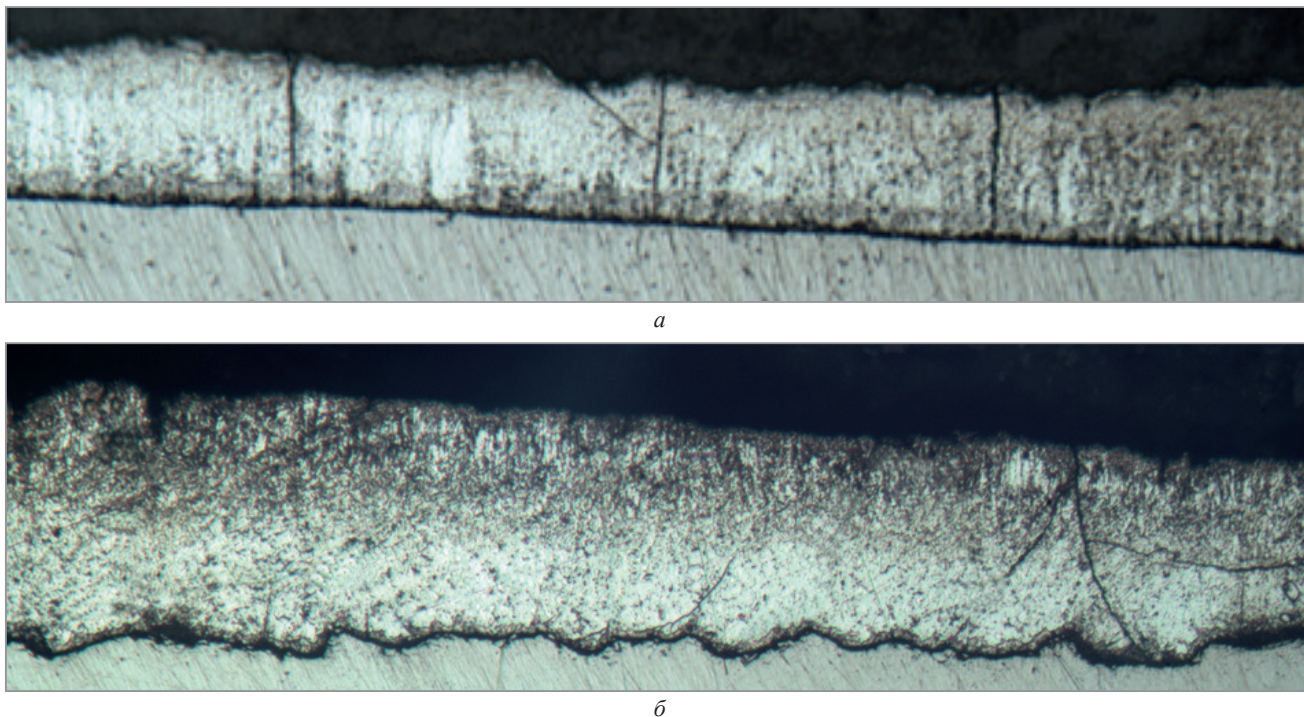


Рис. 5. Микроструктуры цинковых покрытий из насыщающих смесей с цинковой пылью, имеющей размер частиц: а –  $\leq 250$  мкм; б –  $\leq 63$  мкм;  $\times 200$

Таким образом, продолжительность времени выдержки при термодиффузионном насыщении в системе  $Zn_{отх}-Al_2O_3$  приводит к росту толщины покрытия, причем наибольшая интенсивность наблюдается после трехчасовой выдержки. Рост покрытия происходит за счет увеличения  $\delta_1$ -фазы. Продолжительность термодиффузионного насыщения не влияет на структуру цинкового покрытия, которое во всех случаях состоит из слоев  $\alpha$ -,  $\Gamma$ -,  $\delta_1$ - и  $\zeta$ -фазы. С уменьшением зернистости цинковой пыли в насыщающей смеси улучшается качество покрытия за счет снижения его шероховатости, оно получается более светлым и гладким. Уменьшение размера частиц цинковой пыли способствует получению мелкокристаллической компактной структуры ( $\delta_{1К}$ ).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование гранулометрического, химического и фазового составов отходов производства горячего цинкования / Н.И. Урбанович [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2021. – № 3. – С. 106–111.
2. Влияние температурного параметра и его продолжительности на толщину цинкового покрытия, структуру при термодиффузионном цинковании в порошковых средах на основе цинсодержащего отхода – гартцинка / Н.И. Урбанович [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2013. – № 3. – С. 99–102.
3. **Урбанович, Н.И.** Влияние температуры на толщину цинкового покрытия при термодиффузионном насыщении в порошковой среде из дисперсного отхода горячего цинкования – цинковой пыли ( $Zn_{отх}$ ) +  $Al_2O_3$  / Н.И. Урбанович, К.Э. Барановский, С.В. Корнеев // *Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрно-пищевом секторе: сб. науч. тр. III Междунар. науч. конф., Ташкент, 20–21 апр. 2023: в 2 ч.* – Ташкент, 2023. – Ч. 1. – С. 105–106.

## REFERENCES

1. **Urbanovich N.I., Baranovsky K.E., Rozenberg E.V., Dashkevich V.G., Lugin V.G.** Issledovanie granulometricheskogo, himicheskogo i fazovogo sostavov othodov proizvodstva gorjachego cinkovaniya [Investigation of granulometric, chemical and phase compositions of hotdip galvanizing wastes]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 3, pp. 106–111.
2. **Urbanovich N.I., Konstantinov V.M., Basalay I.A., Baranovsky K.E., Gorki G.P., Garost A.I., Gegenya D.V.** Vliyanie temperaturnogo parametra i ego prodolzhitel'nosti na tolschchinu cinkovogo pokrytiya, strukturu pri termodiffuzionnom cinkovanii v poroshkovykh sredah na osnove cinsoderzhashchego othoda – gartcinka [The influence of the temperature parameter and its duration on the thickness of zinc coating, its structure while thermal diffusion galvanizing in powder-based environments zinc-containing waste – gartzink]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2013, no 3, pp. 99–102.
3. **Urbanovich N.I., Baranovsky K.E., Korneev S.V.** Vliyanie temperatury na tolschhinu cinkovogo pokrytija pri termodiffuzionnom насыщении в порошковой среде из дисперсного отхода горячего цинкования- цинковой пыли ( $Zn_{отх}$ ) +  $Al_2O_3$  [The influence of temperature on the thickness of zinc coating during thermal diffusion saturation in a powder medium from dispersed waste of hot-dip galvanizing – zinc dust (( $Zn_{отх}$ ) +  $Al_2O_3$ ). *Problemy i perspektivy innovacionnoj tehniki i tehnologij v agrarno-pishhevom sektore: sb. nauch. tr. III Mezhdunar. nauch. konf. = Problems and prospects of innovative equipment and technologies in the agricultural and food sector: collection of scientific works of the III International scientific conf., Tashkent, 20–21 apr. 2023: in 2 vol.* Tashkent, 2023, vol. 1, pp. 105–106.