



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-119-123>  
УДК 620.178

Поступила 24.09.2024  
Received 24.09.2024

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ НА БАЗЕ ЦИНКСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ – ЦИНКОВОЙ ПЫЛИ НА СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЯХ, В ТОМ ЧИСЛЕ С РЕЗЬБОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

*Н. И. УРБАНОВИЧ, К. Э. БАРАНОВСКИЙ, Т. И. БЕНДИК, В. В. МЕЛЬНИЧЕНКО, В. Г. ДАШКЕВИЧ, Г. Ф. ЛИВШИЦ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: pmstm@bntu.by*

*В статье представлены результаты исследований термодиффузионного цинкового покрытия, полученного по технологии, где в качестве цинкового компонента используются отходы, образовавшиеся при обдувке труб после их горячего цинкования, – цинковая пыль, на стальных изделиях, в том числе с резьбовой поверхностью. Цинковые покрытия наносят методом термодиффузионного насыщения в стационарном контейнере в порошковой смеси, состоящей из 40%  $Zn_{\text{отх}}$  + 59%  $Al_2O_3$  + 1%  $NH_4Cl$ . В результате формируются покрытия хорошего внешнего вида, а необходимая толщина, позволяющая обеспечить свинчиваемость парной резьбы, достигается при регулировании времени выдержки.*

**Ключевые слова.** Цинковое покрытие, отходы горячего цинкования, цинковая пыль, резьбовое соединение.

**Для цитирования.** Урбанович, Н. И. Исследование структуры и свойств цинкового покрытия на базе цинксодержащих отходов – цинковой пыли на стальных изделиях, в том числе с резьбовой поверхностью / Н. И. Урбанович, К. Э. Барановский, Т. И. Бендик, В. В. Мельниченко, В. Г. Дашкевич, Г. Ф. Лившиц // *Литье и металлургия*. 2024. № 4. С. 119–123. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-119-123>.

## STUDY OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF ZINC COATING BASED ON ZINC-CONTAINING WASTE – ZINC DUST ON STEEL PRODUCTS, INCLUDING THREADED SURFACES

*N. I. URBANOVICH, K. E. BARANOVSKI, T. I. BENDIK, V. V. MELNICHENKO, V. G. DASHKEVICH, G. F. LIUSHYTS, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: pmstm@bntu.by*

*This paper presents the results of a study on thermodiffusion zinc coatings obtained using a technology where zinc dust – waste from hot-dip galvanizing created during the air blowing of pipes post-galvanization – is used as the zinc component on steel products, including those with threaded surfaces. The technology involves applying zinc coatings to steel products, including threaded surfaces, through thermodiffusion saturation in a stationary container with a powder mixture consisting of 40%  $Zn_{\text{waste}}$ , 59%  $Al_2O_3$ , and 1%  $NH_4Cl$ . This method yields coatings with good appearance, and the desired coating thickness, ensuring compatibility for threading, can be controlled by adjusting the exposure time.*

**Keywords.** Zinc coating, hot-dip galvanizing waste, zinc dust, threaded connection.

**For citation.** Urbanovich N. I., Baranovski K. E., Bendik T. I., Melnichenko V. V., Dashkevich V. G., Liushyts G. F. Study of the structure and properties of zinc coating based on zinc-containing waste – zinc dust on steel products, including threaded surfaces. *Foundry production and metallurgy*, 2024, no. 4, pp. 119–123. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-4-119-123>.

Существуют различные методы нанесения цинкового покрытия на стальные изделия, например гальваническое, горячее, термодиффузионное цинкование. У каждого метода есть свои плюсы и минусы.

Гальваническим цинкованием называется нанесения тонкого слоя цинка на поверхность металлических изделий в растворе электролита. В процессе электролиза цинк растворяется, и его ионы с положительным потенциалом оседают на поверхности основного металла с формированием слоя толщиной от 4 до 20 мкм, с высокой точностью повторяющего контуры изделия. Гальваническим цинкованием покрывают небольшие крепежные детали, чтобы получить гладкие, блестящие на вид изделия. Но их желательно использовать внутри помещений или в мягкой внешней среде, так как данный метод обеспечивает низкий уровень сцепления с металлом, что с течением времени ослабляет антикоррозийный эффект.

Процесс горячего цинкования заключается в том, что металлоизделие предварительно очищают и обезжиривают, а затем помещают в резервуар с расплавленным цинком при температуре 460–480 °С. Продолжительность операции составляет от нескольких десятков секунд до десятков минут. Излишки и сгустки цинка снимают после охлаждения. Горячая обработка сложных конструкций, в том числе резьбовых, расплавленным цинком не обеспечивает равномерности распределения слоя по всей поверхности. При обработке болтов, гаек следует учитывать изменение размеров изделий. Увеличение толщины за счет антикоррозионного слоя сделает невозможным применение элементов крепежа, поэтому может потребоваться дополнительная механическая обработка, например протачивание внутренней резьбы.

Термодиффузионное цинкование – один из методов химико-термической обработки. Заключается в нагреве металлических изделий, упакованных в контейнер вместе с порошковой смесью, до заданной температуры и выдержке при этой температуре до получения требуемой толщины диффузионного слоя. Содержимое контейнера предохраняют от окисления герметизирующим затвором. При термодиффузионной обработке осуществляется насыщение поверхности металлических изделий одним или несколькими элементами. Формирование диффузионного слоя происходит в результате непосредственного контакта поверхности изделий как с частицами порошковой среды, так и с образующейся в контейнере в процессе нагрева и выдержки активной газовой фазой. Термодиффузионный метод обработки металла в отличие от других технологий имеет ряд преимуществ: цинковое покрытие ложится равномерно, а поверхность приобретает хорошую адгезию и стабильные защитные качества; есть возможность регулировать толщину цинкового покрытия, причем в широком диапазоне в зависимости от установленных требований, и таким образом наносить цинковые слои на крепежные изделия.

В настоящее время существует широкий выбор технологий нанесения цинкового покрытия на стальные изделия. Исходя из анализа способов цинкования, следует отметить, что для изделий с резьбовым соединением наиболее приемлемой является технология термодиффузионного цинкования в порошковых средах. Ее особенность и новизна заключается в использовании в составе порошковой смеси в качестве цинксодержащего компонента отходов производства – цинковой пыли, образованной в результате продувки труб после горячего цинкования [1].

Цинкование можно осуществлять как в стационарном контейнере, так и во вращающемся. В ходе исследований использовали стационарный контейнер, внешний вид которого представлен на рис. 1. Размер и форму контейнера выбирали в соответствии с габаритными размерами и формой обрабатываемых изделий, изготавливали из низкоуглеродистой стали с толщиной стенок не менее 3 мм. Технологический процесс термодиффузионного цинкования стальных изделий (болтов, гаек и шайб) состоял из следующих операций:

- подготовка поверхности изделий, в данном случае удаление смазки и эмульсии после механической обработки с помощью растворителя;
- приготовление насыщающей (порошковой) смеси следующего состава: 40% цинковой пыли, 59% инертного наполнителя в виде оксида алюминия и 1% активатора;
- перемешивание смеси в лабораторной барабанной шаровой мельнице;
- загрузка изделий в контейнер и засыпка порошковой смеси.

Так как термодиффузионное цинкование осуществляли с применением стационарного контейнера с плавким затвором, то загрузку и засыпку порошковой смеси проводили с соблюдением следующих требований:

- расстояние между дном контейнера и изделием не менее 30 мм, между стенкой и изделием не менее 15 мм;
- порошковую смесь в контейнере уплотняли путем постукивания молотком по его стенкам;
- слой насыщающей смеси над изделием не менее 30 мм.

Термодиффузионное цинкование проводили в печи шахтного типа с карборундовыми нагревателями.

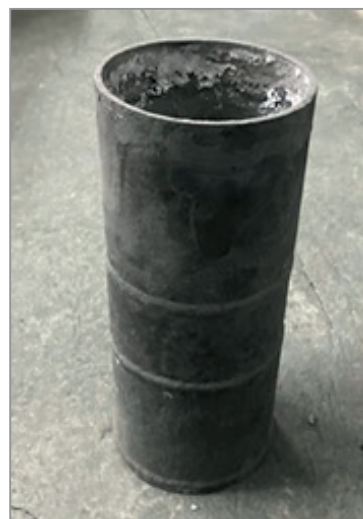


Рис. 1. Внешний вид стационарного контейнера

Регистрацию и регулирование температуры осуществляли с помощью измерительно-регистрационного прибора «Сосна-002». Продолжительность выдержки, составляющей 1 ч, исчисляли с момента прогрева контейнера до температуры насыщения 450 °С. Контейнер выгружали из печи после установленной выдержки, а охлаждение осуществляли до комнатной температуры. Содержимое контейнера выгружали на поддон и извлекали оцинкованные изделия, которые затем очищали от порошковой смеси. На рис. 2 представлен внешний вид полученных изделий.



Рис. 2. Внешний вид стальных изделий, оцинкованных методом термодиффузионного насыщения:  
а – болты; б – гайки; в – шайбы

Следует отметить, что соединение деталей с помощью резьбы широко применяют в машиностроении. Основным типом является метрическая резьба. У большинства типов резьбы по наружному и внутреннему диаметрам предусматриваются зазоры, поля допусков расположены так, что погрешность этих диаметров не препятствует свинчиваемости. Последняя зависит только от точности средних диаметров, шага и угла профиля резьбы. Поля допусков установлены в трех классах точности: точный, средний и грубый, при этом средний предназначен для общего применения. Обозначение поля допуска диаметра резьбы состоит из цифры, определяющей степень точности, и буквы, показывающей основное отклонение, например: 6g, 6H, 4h, 6G. На обычный распространенный крепеж (болты, гайки, шпильки, винты и тому подобное) назначают следующие допуски: 6g – для болта, 6H – для гайки. Посадка с резьбовым соединением обозначается дробью, в числителе которой указывают поле допуска внутренней резьбы, в знаменателе – наружной. Например: M12–6H/6g. Также необходимо отметить, что если в маркировке крепежных изделий не указан размер шага, то данное изделие имеет крупный шаг в соответствии с ГОСТ 8724–2002. Например: M16 – резьба метрическая (буква М) с номинальным диаметром 16 мм и крупным шагом (крупный шаг резьбы болта, гайки, шпильки, винта – 2,0 мм).

Контроль оцинкованных изделий по внешнему виду осуществляли визуально, а по толщине – металлографическим методом и магнитным с помощью магнитного толщиномера. На рис. 3 представлены оцинкованные экспериментальные образцы болта и гайки M12. Это значит, что резьба метрическая с номинальным диаметром 12 мм и крупным шагом (крупный шаг резьбы болта, гайки, шпильки, винта – 2,5 мм). Согласно ГОСТ 16093–81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором», для данного резьбового соединения минимальный посадочный зазор по внутреннему, наружному и среднему диаметрам составляет 42 мкм, а это значит, что покрытие не должно выходить по толщине за рамки посадочного зазора и иметь толщину  $\leq 20$  мкм.



Рис. 3. Внешний вид болта и гайки, оцинкованных методом термодиффузионного насыщения

Анализ качества внешнего вида показал, что полученные покрытия не имеют несплошности, а их поверхность выглядит матовой светло-серой. Требования надлежащего соответствия резьбы болта и гайки приводят к ограничению толщины покрытия, поэтому проводили процедуру свинчивания-развинчивания, которая позволила убедиться, что полученное цинковое покрытие на резьбовых деталях размером М12 не выходит за рамки посадочного зазора. На рис. 4 показаны оцинкованные болт и гайка в сборе.

С целью исследования микроструктуры и толщины цинковых покрытий вырезали фрагменты резьбы болта и гайки (рис. 5) и изготавливали шлифы в заливке на шлифоизготовительном оборудовании Metkon FORCIPOL 1V.



Рис. 4. Оцинкованные болт и гайка в сборе



Рис. 5. Вырезанные фрагменты болта и гайки

Для выявления структуры и толщины цинкового покрытия использовали реактив  $5 \text{ г CrO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 100 \text{ H}_2\text{O}$ .

Работу выполняли с применением поста микроконтроля МК-1 на базе микроскопа МИ-1 и программы обеспечения SIAMS 800 при увеличении 50 на поперечных шлифах после их травления. Микрофотография цинкового покрытия на профиле резьбы болта представлена на рис. 6. Полученное покрытие равномерное, сплошное, имеет в среднем одинаковую толщину по всему контуру резьбы.

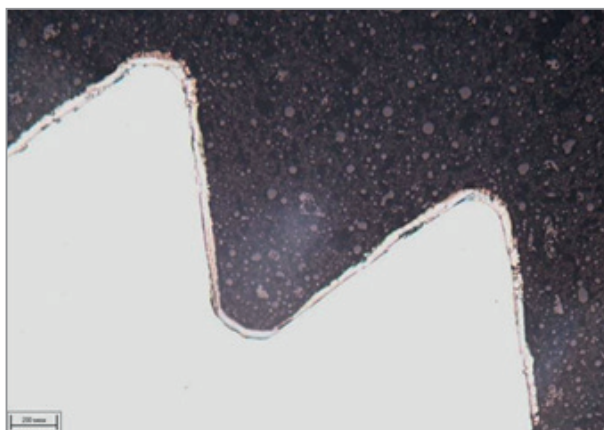


Рис. 6. Микрофотография цинкового покрытия на резьбе болта

Также проведен металлографический анализ толщины и структуры на образце-свидетеле (рис. 7, 8). Покрытие состоит из трех слоев, соответствующих  $\Gamma$ -,  $\delta_1$ -,  $\zeta$ - фазам. Основной является  $\delta_1$ -фаза с равноосной структурой, ее интерметаллические соединения имеют стехиометрический состав, отвечающий формулам:  $\text{FeZn}_{10}$ ,  $\text{FeZn}_7$ . Верхний слой покрытия представляет  $\zeta$ -фазу, соответствующую интерметаллическому соединению  $\text{FeZn}_{13}$ .  $\Gamma$ -фаза, прилегающая к основному металлу, характеризуется интерметаллическим соединением, имеющим стехиометрический состав и отвечающий формулам:  $\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$ ,  $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$ ,  $\text{FeZn}_3$ . В слое основного металла, контактирующего с  $\Gamma$ -фазой, область  $\alpha$ -фазы, т.е. твердого раствора цинка в железе, не проявилась.

Следует отметить, что полученные результаты контроля толщины покрытий на резьбе соответствуют результатам на образцах-свидетелях. При этом толщина покрытия составляет 17–20 мкм. Такая толщина позволяет осуществить процедуру свинчивания-развинчивания гайки с болтом размером М12, т.е. меньше посадочного зазора, соответствующего ГОСТ.

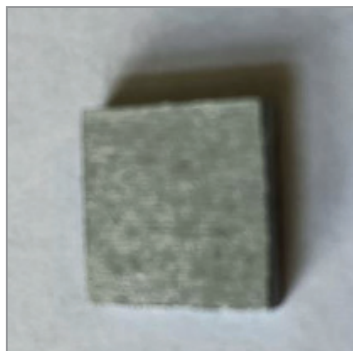
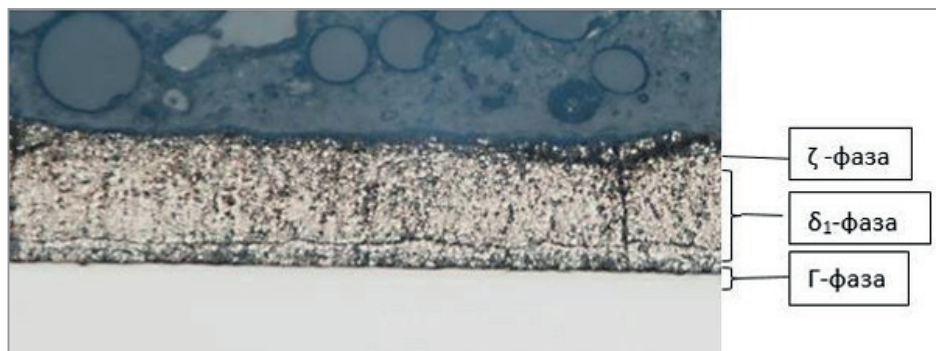


Рис. 7. Образец-свидетель

Рис. 8. Микроструктура цинкового слоя на образце-свидетеле.  $\times 500$ 

### Выводы

1. Установлено, что покрытия, полученные в порошковой смеси, состоящей из 40% цинковой пыли, 59% инертного наполнителя  $Al_2O_3$  и 1% активатора  $NH_4Cl$ , методом термодиффузионного насыщения в стационарном контейнере, не имеют несплошности, а их поверхность выглядит матовой светло-серой.

2. Для получения цинкового покрытия толщиной 17–20 мкм, которая обеспечивает свинчиваемость парной резьбы с номинальным диаметром свыше 11,2 мм, и крупным шагом необходима выдержка 1 ч.

3. Технология нанесения цинковых покрытий на стальные изделия, в том числе с резьбовой поверхностью, методом термодиффузионного насыщения в стационарном контейнере в порошковой смеси вышеуказанного состава формирует покрытия хорошего внешнего вида. Необходимую толщину, обеспечивающую свинчиваемость парной резьбы, можно получить при регулировании времени выдержки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Состав порошковой смеси для термодиффузионного цинкования стальных изделий: патент BY 24325 C1 / Н.И. Урбанович, К.Э. Барановский. – Минск, 2024.07.05.

### REFERENCES

1. **Urbanovich N. I., Baranovsky K. E.** *Sostav poroshkovej smesi dlya termodiffuzionnogo cinkovaniya stal'nyh izdelij* [Composition of powder mixture for thermal diffusion galvanizing of steel products]: patent BY 24325 C1. Minsk, 2024.07.05.