

**АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ,  
ПОЛУЧЕННЫХ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ  
ДИФфуЗИОННОГО ЦИНКОВАНИЯ, В ТОМ ЧИСЛЕ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ОТХОДОВ**

**Н. И. УРБАЛОВИЧ**, канд. техн. наук,  
**К. Э. БАРАНОВСКИЙ**, канд. техн. наук,  
**М. А. СУДНИКОВ, П. С. МЫШКЕВИЧ**  
Белорусский национальный технический университет

*В работе представлены результаты анализа свойств цинковых покрытий, полученных разными методами диффузионного цинкования, в том числе с использованием отходов горячего цинкования – цинковой пыли и изгари. Установлено, что более высокую твердость имеют покрытия, полученные термодиффузионным цинкованием в порошковой среде, где в качестве цинксодержащего компонента применяли вторичный отход. Показано, что прочность сцепления покрытия, полученного с применением цинксодержащих отходов, не уступает другим диффузионным цинковым покрытиям.*

***Ключевые слова:** диффузионное цинкование, твердость покрытия, прочность сцепления, отход горячего цинкования, цинковая пыль, изгарь*

**ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF ZINC COATINGS  
OBTAINED BY VARIOUS METHODS OF DIFFUSION  
GALVANIZING, INCLUDING THE USE  
OF SECONDARY WASTE**

**N. I. URBANOVICH**, Ph. D. in Technical Sciences,  
**K. E. BARANOVSKY**, Ph. D. in Technical Sciences,  
**M. A. SUDNIKOV, P. S. MYSHKEVICH**  
Belarusian National Technical University

*The paper presents the results of the analysis of the properties of zinc coatings obtained by different methods of diffusion galvanizing, including the use of hot-dip galvanizing waste - zinc dust and dross. It has been established that coatings obtained by thermal diffusion galvanizing in a powder medium, where secondary waste was used as a zinc-containing component, have higher hard-*

ness. It has also been shown that the adhesion strength of the zinc coating to the base metal obtained using zinc-containing production waste is not inferior to other diffusion zinc coatings.

**Keywords:** diffusion galvanizing, coating hardness, adhesion strength, hot-dip galvanizing waste, zinc dust, ash

В последние годы широкое применение находят диффузионные защитные цинковые покрытия. К диффузионным цинковым покрытиям в основном относят покрытия, которые получены методом горячего цинкования, т. е. в расплаве цинка и методом термодиффузионного цинкования, т. е. путем химико-термической обработки в порошковых средах на основе цинка. Авторами данной статьи предлагается использовать для получения цинкового покрытия методом термодиффузионного цинкования в качестве цинксодержащего компонента отход производства – цинковую пыль, образованную в результате продувки труб после их горячего цинкования [1]. В связи с этим цель данной работы – проведение анализа механических свойств цинковых покрытий, полученных разными методами и в различных порошковых средах по результатам их сравнительных испытаний.

С целью проведения сравнительного анализа механических свойств цинковых покрытий, полученных разными методами диффузионного цинкования, покрытия наносили на образцы из стали марки Ст3. Метод термодиффузионной обработки осуществляли с применением различных порошковых сред. Составы насыщающих сред и условия получения покрытий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы насыщающих сред и условия получения покрытий

Массовая доля компонентов в насыщающих средах, %	Условия ХТО	
	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{ч}$
50 % порошок цинка (ПЦ1) + 49 % $\text{Al}_2\text{O}_3$ + + 1 % $\text{NH}_4\text{Cl}$	420	1,5
50 % цинковая пыль + 50 % $\text{Al}_2\text{O}_3$ + + 0,1% изгарь цинка	420	1,5

Для получения сравнимых между собой экспериментальных данных термодиффузионная обработка проводилась при одинаковом расположении образцов в контейнере. Упакованный контейнер загружали в электрическую муфельную печь шахтного типа, разогревая до требуемой температуры.

После проведения процесса диффузионного насыщения контейнер выгружали из печи, охлаждали на воздухе до комнатной температуры и распаковывали.

На рисунке 1 представлен внешний вид образцов после термодиффузионного цинкования.

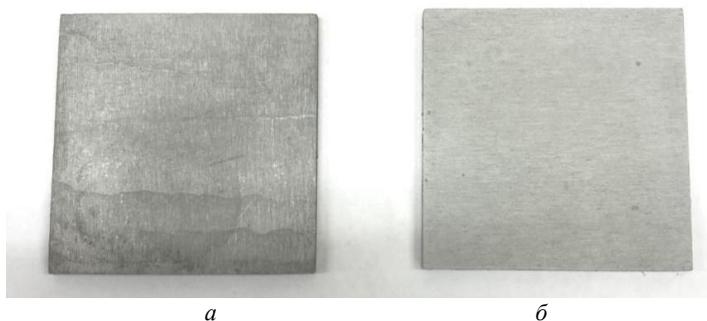


Рисунок 1 – Внешний вид образцов после цинкования:  
*a* – в порошковом цинке марки ПЦР-1; *б* – в цинковой пыли

Следует отметить, что цинковое покрытие на образце, полученном на стандартном цинке, характеризуется более темным цветом, чем на цинковой пыли.

На рисунке 2 представлен внешний вид образцов, цинковые покрытия которых получены на участке термодиффузионного цинкования ОАО «Конус», г. Лида. Технология термодиффузионного цинкования заключалась в нанесении покрытия на стальные образцы во вращающемся контейнере. При этом использовался цинковый порошок марки ПЦ1, температура цинкования составляла 410–420 °С, время цинкования – 1,5 ч.

Анализ цвета покрытия, полученных образцов, показал, что они характеризуются темно-серым цветом.

На рисунке 3 представлены образцы покрытий, полученные на этом же заводе методом горячего цинкования.

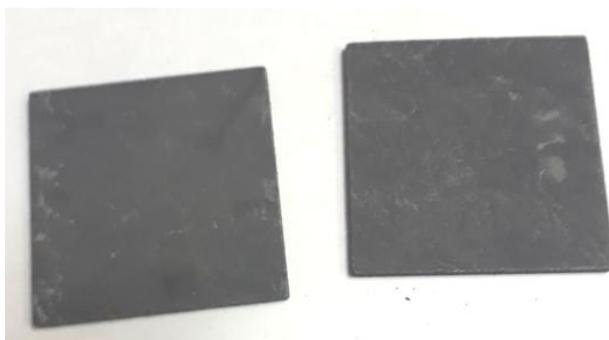


Рисунок 2 – Внешний вид образцов после цинкования в заводских условиях во вращающемся контейнере



Рисунок 3 – Внешний вид образцов после горячего цинкования (после обработки в ванне с жидким цинком)

Цинковое покрытие, нанесенное методом горячего цинкования, имеет блестящий серебристый цвет. Толщину цинковых покрытий, полученных разными методами диффузионного цинкования, измеряли магнитным толщиномером «Константа К5», представляющим собой multifunctional прибор для измерения толщины различных покрытий. Данный прибор позволяет измерять покрытия всех типов, в том числе цинковые, хромовые, кадмиевые и т. д.

Толщина покрытия, полученного методом термодиффузионного цинкования в порошковой смеси с применением в качестве цинкодержателя компонента порошкового цинка марки ПЦ1, составила 30–40 мкм, а в порошковой смеси с цинковой пылью – 25–35 мкм.

На образцах, изготовленных в заводских условиях, покрытие, полученное методом термодиффузионного цинкования в подвижном контейнере, имеет толщину 50–60 мкм, а покрытие, полученное методом горячего цинкования, имеет толщину около 100 мкм.

На рисунке 4 приведена гистограмма, на которой показаны результаты замеров твердости цинкового покрытия в зависимости от применяемой технологии диффузионного цинкования. Оценку твердости слоев производили путем определения микротвердости по ГОСТ 9450-76 на приборе ПМТ-3 при нагрузке 25 г.

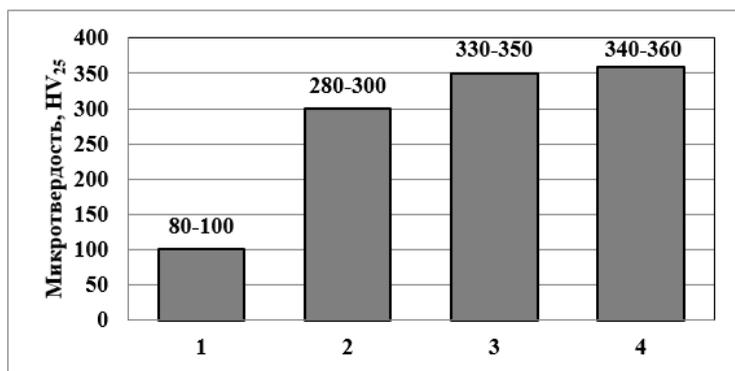


Рисунок 4 – Величина микротвердости цинковых покрытий, полученных по разным технологиям:

- 1 – горячее цинкование;
- 2 – термодиффузионное покрытие, полученное на цинковом порошке ПЦ1 в заводских условиях;
- 3 – термодиффузионное покрытие на цинковом порошке ПЦ1 в стационарном контейнере;
- 4 – термодиффузионное покрытие, полученное на цинковой пыли и изгари цинка в стационарном контейнере

Таким образом, результаты анализа микротвердости цинковых покрытий показали, что твердость покрытия, полученного при термодиффузионном цинковании с использованием отходов горячего цинкования – цинковой пыли и изгари, несколько превышает твердость цинкового покрытия, полученного в смеси с применением цинкового порошка марки ПЦ1. Самую низкую твердость имеет покрытие, полученное методом горячего цинкования.

Также в данной работе были проведены испытания цинковых покрытий на прочность их сцепления с основным металлом, кото-

рая определяется согласно ГОСТ 9.302–88 «Покрyтия металличе-ские и неметаллические неорганические. Методы контроля». ГОСТ 9.302–88 предлагает следующие методы контроля прочности сцепления: крацевание, навивка, растяжение, нанесение сетки царапин, нагрев, изменение температур, вдавливание. Наиболее подходящим для полученной толщины покрытия является метод нагрева, который, кроме того, является и наиболее простым. При проведении контроля образцы (детали) нагревают до 190 °С, выдерживают при данной температуре в течение 1 ч и охлаждают на воздухе. После контроля не должно быть вздутий или отслаивания покрытия.

Образцы (детали) с разными цинковыми покрытиями были помещены в печь, нагретую до 190 °С. В печи при этом размещали: плоский образец с термодиффузионным покрытием, полученным на отходах производства; плоский образец с термодиффузионным покрытием – на цинковом порошке марки ПЦ1; гайку М16 с термодиффузионным покрытием – на отходах производства; гайку М16 с термодиффузионным покрытием, полученным в заводских условиях; пластину с покрытием – горячим цинкованием в ванне с жидким цинком (рисунок 5).

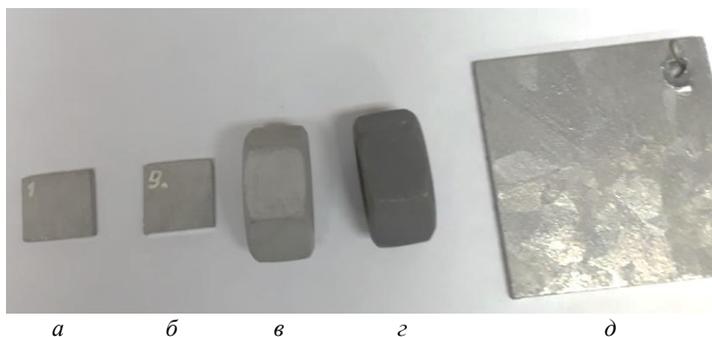


Рисунок 5 – Образцы (детали) экспериментальной партии, с разными цинковыми покрытиями после испытаний на прочность сцепления:

- а* – плоский образец с термодиффузионным покрытием на отходах производства;
- б* – плоский образец с термодиффузионным покрытием на эталонном цинковом порошке;
- в* – гайка М16 с термодиффузионным покрытием на отходах производства;
- з* – гайка М16 термодиффузионным покрытием, полученным в заводских условиях;
- д* – пластина с покрытием горячим цинкованием в ванне с жидким цинком

Как видно из рисунка 5, на всех образцах покрытий, полученных разными методами диффузионного цинкования, после испытаний на прочность сцепления методом нагрева по ГОСТ 9.302–88 отсутствуют вздутие, отслаивание покрытий, обдирка и шелушение покрытия, что соответствует норме для прочности сцепления по ГОСТ 9.316-2006. Результаты испытаний по данному показателю приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение адгезии (прочности сцепления) диффузионных покрытий методом нагрева по ГОСТ 9.302-88 «Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля» и соответствие требованиям ГОСТ 9.316-2006

Наименование покрытия и способ его получения	Контроль на вздутия и отслаивания по ГОСТ 9.302–88	Показатели качества покрытия после проведения испытаний, (норма) по ГОСТ 9.316-2006	Результаты испытаний на адгезию (прочность сцепления)
1	2	3	4
Плоский образец с термодиффузионным покрытием на отходах производства (цинковой пыли и изгари цинка)	на образце отсутствует вздутие и отслаивание покрытий	на образце отсутствует отслаивание, обдирка или шелушение покрытия	норма, покрытие прошло испытание по ГОСТ 9.302–88 и соответствует требованиям ГОСТ 9.316-2006
Плоский образец с термодиффузионным покрытием на эталонном цинковом порошке	на образце отсутствует вздутие и отслаивание покрытий	на образце отсутствует отслаивание, обдирка или шелушение покрытия	норма, покрытие прошло испытание по ГОСТ 9.302–88 и соответствует требованиям ГОСТ 9.316-2006
Гайка М16 с термодиффузионным покрытием на отходах производства (цинковой пыли и изгари цинка)	на детали отсутствует вздутие и отслаивание покрытий	на детали отсутствует отслаивание, обдирка или шелушение покрытия	норма, покрытие прошло испытание по ГОСТ 9.302–88 и соответствует требованиям ГОСТ 9.316-2006

Окончание таблицы 2

1	2	3	4
Гайка М16 с термодиффузионным покрытием, полученным в заводских условиях	на детали отсутствует вздутие и отслаивание покрытий	на детали отсутствует отслаивание, обдирка или шелушение покрытия	норма, покрытие прошло испытание по ГОСТ 9.302–88 и соответствует требованиям ГОСТ 9.316-2006
Пластина с покрытием горячим цинкованием в ванне с жидким цинком	на пластине отсутствует вздутие и отслаивание покрытий	на пластине отсутствует отслаивание, обдирка или шелушение покрытия	норма, покрытие прошло испытание по ГОСТ 9.302–88 и соответствует требованиям ГОСТ 9.316-2006

Анализ результатов испытаний покрытий по прочности сцепления к основному металлу показал, что все покрытия соответствуют норме по ГОСТ 9.316-2006. Термодиффузионное покрытие, полученное на отходах производства, не уступает другим видам покрытий и может использоваться в промышленности.

**Выводы.** Установлено, что твердость покрытия, полученного при термодиффузионном цинковании с использованием отходов горячего цинкования – цинковой пыли и изгари, несколько превышает твердость цинкового покрытия, полученного в смеси с применением цинкового порошка марки ПЦ1. Самую низкую твердость имеет покрытие, полученное методом горячего цинкования.

Показано, что прочность сцепления покрытия, полученного с применением цинксодержащих отходов, не уступает другим диффузионным цинковым покрытиям.

Таким образом установлено, что термодиффузионное покрытие, полученное на отходах производства, может использоваться в промышленности.

### Список литературы

**1. Состав** порошковой смеси для термодиффузионного цинкования стальных изделий : Патент ВУ 24325 С1 / Н. И. Урбанович, К. Э. Барановский, опубл. 2024.07.05.

## References

**1. Composition** of powder mixture for thermal diffusion galvanizing of steel products : Patent BY 24325 C1 / N. I. Urbanovich, K. E. Baranovsky, Publ. 2024.07.05.

*Поступила 15.11.2024*

*Received 15.11.2024*