УДК 621.74

АНАЛИЗ ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ТЕРМОДИФФУЗИОННЫМ НАСЫЩЕНИЕМ В СТАЦИОНАРНОМ И ВРАЩАЮЩЕМСЯ КОНТЕЙНЕРЕ

Н. И. УРБАНОВИЧ, канд. техн. наук, **К. Э. БАРАНОВСКИЙ**, канд. техн. наук
Белорусский национальный технический университет
Н. С. ДУНЯШИН, д-р техн. наук,
А. С. САИДАХМАТОВ, **М. М. АБДУРАХМОНОВ**
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова
А. А. ЖУМАЕВ, канд. техн. наук
Навоийский государственный горно-технологический университет

В работе проведен сравнительный анализ цинковых покрытий, полученных термодиффузионным насыщением в смесях на основе стандартного порошкового цинка и отхода горячего цинкования – цинковой пыли в стационарном контейнере и вращающемся, по параметрам толщины, структуры и цвета покрытия. Установлено, что для получения одинаковой толщины цинкового покрытия при термодиффузионном цинковании во вращающемся контейнере требуется меньше времени выдержки при заданной температуре, чем в стационарном. Установлено, что при получении диффузионного цинкового покрытия в подвижном контейнере его цвет на изделии, получается более темный, чем в стационарном контейнере.

Ключевые слова: *термодиффузионное цинкование, отход горячего цинкования – цинковая пыль, подвижный и неподвижный контейнер.*

ANALYSIS OF ZINC COATINGS OBTAINED BY THERMAL DIFFUSION SATURATION IN A STATIONARY AND ROTATING CONTAINER

N. I. URBANOVICH, Ph. D. in Technical Sciences, **K.E. BARANOUSKI** , Ph. D. in Technical Sciences
Belarusian National Technical University
N. S. DUNYASHIN, Dr. of Engineering Sciences,
A. S. SAIDAKHMATOV, **M. M. ABDURAKHMONOV**
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov
A. A. ZHUMAEV, Ph. D. in Technical Sciences
Navoi State Mining and Technological University

This paper presents a comparative analysis of zinc coatings obtained by thermal diffusion saturation in mixtures based on standard zinc powder and hot-dip galvanizing waste (zinc dust) in a stationary and rotating container, based on coating thickness, structure, and color. It was found that achieving the same zinc coating thickness during thermal diffusion galvanizing in a rotating container requires a shorter holding time at a given temperature than in a stationary container. It was also found that the color of the zinc coating obtained in a rotating container is darker than in a stationary container.

Keywords: *thermal diffusion galvanizing, hot-dip galvanizing waste – zinc dust, mobile and stationary container.*

Термодиффузионная обработка металлических поверхностей цинком получила широкое распространение, так как она обеспечивает надежную антикоррозионную защиту. Термодиффузионное цинкование можно осуществлять в стационарном контейнере, а также во вращающемся.

Целью данной работы является изучение цинковых покрытий, полученных в смесях на основе стандартного цинкового порошка марки ПЦР1 и отходов горячего цинкования в стационарном и вращающемся контейнере по параметрам толщины, структуры и цвета покрытия.

Термодиффузионное цинкование осуществляли в стационарном контейнере, изготовленном из низкоуглеродистой стали с толщиной стенок не менее 3 мм, размер и форма которого выбиралась в соответствии с габаритными размерами и формой обрабатываемых

изделий, и во вращающемся со скоростью 1об/мин. Технологический процесс термодиффузионного цинкования стальных изделий состоял из следующих основных операций:

– подготовка поверхности изделий, удаление смазки и эмульсии после механической обработки с помощью растворителя;

– приготовление насыщающей (порошковой) смеси. В первом случае в состав насыщающей смеси входило 40 % цинкового порошка марки ПЦ1, 59 % инертного наполнителя в виде оксида алюминия и 1 % активатора, во втором – 40 % отхода горячего производства – цинковой пыли размером частиц ≤ 63 мкм, 59,75 % инертного наполнителя в виде оксида алюминия и 0,25 % активатора, в качестве которого использовали изгарь – отход горячего цинкования, содержащего в своем составе в большом количестве хлориды цинка [1]. Перемешивание смеси осуществлялось в лабораторной барабанной шаровой мельнице;

– проведение термодиффузионного цинкования в стационарном контейнере осуществляли в нагревательной печи шахтного типа с карборундовыми нагревателями, а во вращающемся – в специальной лабораторной установке. Продолжительность выдержки исчисляли с момента прогрева контейнера до температуры насыщения;

– выгрузка и очистка изделий. Контейнер выгружали из печи после установленной выдержки, а охлаждение осуществляли до комнатной температуры. Содержимое контейнера выгружали на поддон и извлекали оцинкованные изделия. Оцинкованные изделия очищали от порошковой смеси.

С целью определения влияния времени выдержки в стационарном и во вращающемся контейнере на толщину покрытия были проведены исследования, результаты которых позволили установить зависимость роста толщины покрытия от продолжительности цинкования при температуре 410–420 °С и остывания вне печи в стационарном контейнере и вращающемся контейнере. Оценку толщины покрытия на полученных образцах осуществляли с помощью прибора «Константа 5К», а также металлографическим методом.

На рисунке 1 представлена зависимость роста толщины покрытия от продолжительности цинкования при температуре 410–420 °С и остывания вне печи в стационарном контейнере и вращающемся контейнере со скоростью 1 об/мин.

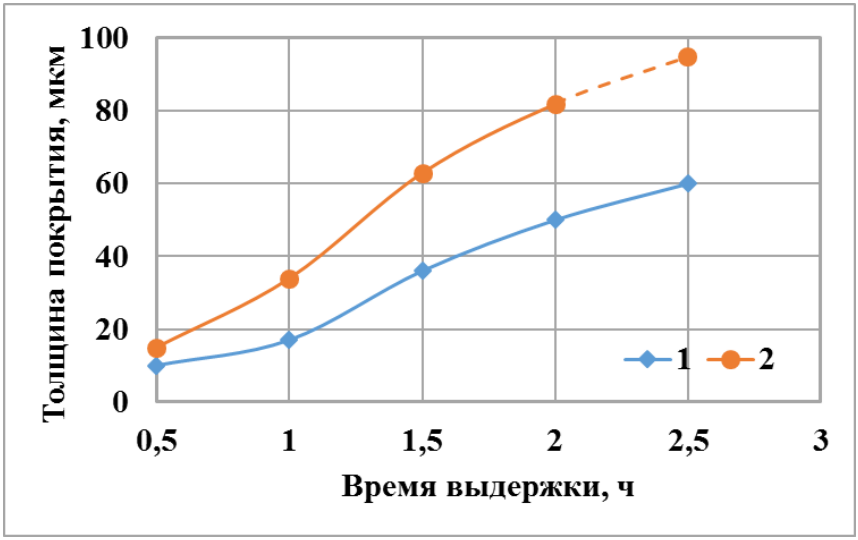


Рисунок 1 – Зависимость изменения толщины покрытия от продолжительности цинкования в стационарном и вращающемся контейнере:
1 – в неподвижном контейнере; *2* – в подвижном контейнере

Проведенные исследования позволили выявить закономерность, которая заключается в том, что для получения одинаковой толщины цинкового покрытия при термодиффузионном цинковании во вращающемся контейнере требуется меньше времени выдержки, чем в стационарном.

Анализ зависимостей показал, что толщина термодиффузионного цинкового покрытия, получаемого во вращающемся и стационарном контейнерах, растет с увеличением времени процесса цинкования. При этом наращивание цинкового слоя во вращающемся контейнере более интенсивное, чем в стационарном. Так, при времени цинкования (отсчет времени от времени выхода печи на заданную температуру) 0,5 ч (не считая время остывания вне печи) во вращающемся контейнере скорость наращивания покрытия в 1,5 раза выше, чем стационарном, а при выдержке 1 ч – примерно в 2 раза. По-видимому, интенсификация роста толщины покрытия в подвижном контейнере связана с тем, что во время вращения контейнера происходит постоянное поступление свежих частиц к поверхности цинкуемых изделий в отличие от процесса в неподвижном контейнере.

Проведение сравнительного визуального анализа по цвету покрытий, которые получали в одном случае в смеси на основе стандартного цинка, в другом – на основе цинковой пыли в стационарном контейнере, показало некоторое цветовое отличие. На рисунке 2 представлены образцы цинковых покрытий, полученных в разных смесях.



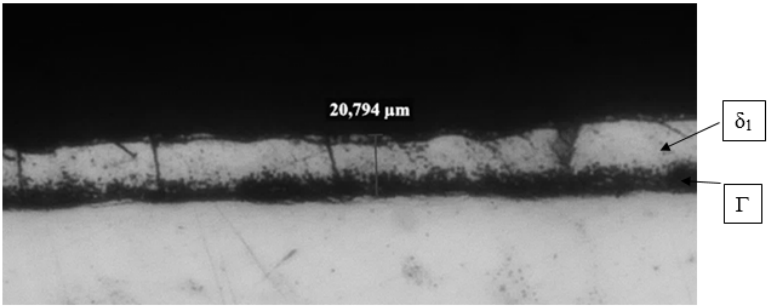
а *б*

Рисунок 2 – Внешний вид цинковых покрытий на стальных образцах, полученных в стационарном контейнере:
а – в насыщающей смеси на основе стандартного цинка; *б* – в насыщающей смеси на основе цинковой пыли

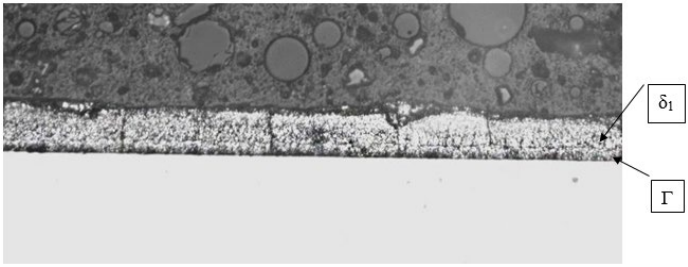
Как видно из рисунка, покрытие, полученное в смеси на основе цинковой пыли, характеризуется более светлым оттенком серого цвета, чем покрытие, полученное на стандартном цинке.

Что касается внешнего вида покрытий, полученных в смесях на основе стандартного цинка и отхода во вращающемся контейнере, то, как показал анализ, цинковые покрытия не имеют несплошности, а их поверхность по цвету в обоих случаях выглядит матовой темно-серой.

На рисунке 3 показаны микрофотографии шлифов цинковых покрытий, полученных в подвижном контейнере и в стационарном на основе отхода горячего цинкования.



а



б

Рисунок 3 – Микроструктура цинкового слоя на образце – свидетеле, ×500:
а – полученного в подвижном контейнере; *б* – в стационарном контейнере

Сравнивая микроструктуры полученных цинковых покрытий во вращающемся контейнере (рисунок 3, *а*) и стационарном контейнере (рисунок 3, *б*), получение более компактной и плотной структуры наблюдается во вращающемся контейнере. При этом во всех случаях диффузионные цинковые покрытия состоят из последовательно чередующихся слоев Г и δ-фаз. Следует отметить, что толщина Г-фазы во вращающемся контейнере увеличилась примерно в 3 раза и составляет 30 % от высоты цинкового покрытия, а в стационарном контейнере эта фаза занимает 8–10 %.

Таким образом, проведен сравнительный анализ цинковых покрытий, полученных термодиффузионным насыщением в смесях на основе стандартного порошкового цинка и отхода горячего цинкования – цинковой пыли в стационарном контейнере и вращающемся, по параметрам толщины, структуры и цвета покрытия.

Выводы. Показано, что толщина термодиффузионного цинкового покрытия, получаемого во вращающемся и стационарном контейнере, растет с увеличением времени процесса цинкования.

Установлено, что для получения одинаковой толщины цинкового покрытия при термодиффузионном цинковании во вращающемся контейнере требуется меньше времени выдержки при заданной температуре, чем в стационарном.

Поуказано, что покрытие, полученное методом термодиффузионного цинкования в порошковой смеси на основе цинковой пыли в стационарном контейнере, характеризуется более светлым матовым оттенком серого цвета, чем покрытие, полученное в стационарном контейнере на стандартном цинке.

Установлено, что при получении диффузионного цинкового покрытия в подвижном контейнере его цвет на изделии получается более темный, чем в стационарном контейнере.

Показано, что диффузионные цинковые покрытия, полученные во вращающемся контейнере и стационарном, состоят из последовательно чередующихся слоев Г и δ-фаз, при этом более компактная и плотная структура наблюдается при диффузионном насыщении во вращающемся контейнере.

Список литературы

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

References

1. Patent BY 24325 C1. *Sostav poroshkovoj smesi dlya termodiffuzionnogo cincovaniya* [Composition of powder mixture for thermal diffusion galvanizing of steel products]: publ.: 2024.07.05 / Urbanovich N. I., Baranovsky K. E. – 1 p.

Поступила 27.10.2025
Received 27.10.2025