



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-120-128>
УДК 621.74

Поступила 31.07.2025
Received 31.07.2025

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ, В ТОМ ЧИСЛЕ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИХ ОБРАБОТКОЙ ПАССИВАЦИЕЙ И ЛАКОКРАСОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ

Н. И. УРБАНОВИЧ, К. Э. БАРАНОВСКИЙ, Т. И. БЕНДИК,
В. Г. ДАШКЕВИЧ, Г. Ф. ЛИВШИЦ, Я. С. ПУЗЫНИН,

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65.
E-mail: niurbanovich@bntu.by, baranosky_metolit@bntu.by

В. Г. МАТЫС, Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13А. E-mail: vmatys@belstu.by

В статье представлен краткий обзор ранее полученных авторами результатов исследований химического, гранулометрического состава дисперсного цинкосодержащего отхода (цинковой пыли), образующегося при цинковании труб и последующей их паровой обдувке, влияния технологических параметров, таких как состав смеси, температура термодиффузионного цинкования, на толщину, структуру и свойства цинковых покрытий, полученных методом термодиффузионного цинкования в насыщающих смесях на базе цинкосодержащего отхода. Так как основной функцией цинкового покрытия является защита металла от коррозии, для проведения сравнительных испытаний на коррозионную стойкость в камере соляного тумана были изготовлены образцы цинковых покрытий на базе цинкового порошка и цинкосодержащего отхода производства в установке с вращающимся контейнером. Известно, что с целью повышения коррозионной стойкости цинковые покрытия пассивируют и покрывают лакокрасочным материалом. Часть образцов с цинковыми покрытиями также подвергали дополнительной обработке. Проведение сравнительных испытаний в соляном тумане (в настоящее время испытания продолжаются) на коррозионную стойкость цинковых покрытий позволили установить, что после 300 ч испытаний покрытия, полученные на основе цинкосодержащего отхода, незначительно уступают по защитным свойствам покрытиям на основе стандартного порошка цинка. Дополнительная обработка, а именно пассивация данных покрытий, позволила практически подавить белую коррозию. А применение комплексного лакокрасочного покрытия (пассивация + окрашивание) позволяет обеспечить полную устойчивость к коррозии не менее 300 ч в камере солевого тумана.

Ключевые слова. Термодиффузионное цинкование, покрытие, цинкосодержащий отход производства, коррозионная стойкость, пассивация, лакокрасочный материал.

Для цитирования. Урбанович, Н. И. К вопросу исследования коррозионной стойкости цинковых покрытий, в том числе с дополнительной их обработкой пассивацией и лакокрасочным материалом / Н. И. Урбанович, К. Э. Барановский, Т. И. Бендик, В. Г. Дашкевич, Г. Ф. Лившиц, Я. С. Пузынин, В. Г. Матыс // *Литье и металлургия*. 2025. № 3. С. 120–128. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-120-128>.

ON THE ISSUE OF STUDYING THE CORROSION RESISTANCE OF ZINC COATINGS, INCLUDING THEIR ADDITIONAL TREATMENT WITH PASSIVATION AND PAINT AND VARNISH MATERIAL

N. I. URBANOVICH, K. E. BARANOVSKY, T. I. BENDIK,
V. G. DASHKEVICH, G. F. LIVSHITS, Ya. S. PUZYININ,

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.
E-mail: niurbanovich@bntu.by, baranosky_metolit@bntu.by

V. G. MATYS, Belarusian State Technological University,
Minsk, Belarus, 13A, Sverdlova str. E-mail: vmatys@belstu.by

This paper presents a brief review of the results previously obtained by the authors in their studies of the chemical and granulometric composition of zinc-containing dispersed waste (zinc dust) generated during the galvanizing of pipes and subsequent steam blowing. It also examines the influence of technological parameters such as the mixture composition and the temperature of thermodiffusion galvanizing on the thickness, structure, and properties of zinc coatings produced using thermodiffusion galvanizing in saturating mixtures based on zinc-containing waste. Since the primary function of zinc coatings is corrosion protection, samples of zinc coatings based on both standard zinc powder and production waste were fabricated in

a rotating container unit for comparative corrosion resistance testing in a salt spray chamber. It is well known that to enhance corrosion resistance, zinc coatings are commonly passivated and coated with paint materials. Some of the zinc-coated samples were also subjected to additional treatments. The comparative salt spray chamber testing (ongoing at the time of writing) revealed that after 300 hours of exposure, the coatings produced from zinc-containing waste only slightly underperformed in terms of protective properties compared to those made with standard zinc powder. Additional treatments, specifically passivation, nearly eliminated white rust formation. Furthermore, the use of a combined paint coating system (passivation + painting) ensured complete corrosion resistance for no less than 300 hours in the salt spray chamber. Keywords. Thermal diffusion galvanizing, coating, zinc-containing production waste, corrosion resistance, passivation, paint and varnish material.

For citation. Urbanovich N. I., Baranovsky K. E., Bendik T. I., Dashkevich V. G., Livshits G. F., Puzynin Ya. S., Matys V. G. On the issue of studying the corrosion resistance of zinc coatings, including their additional treatment with passivation and paint and varnish material. *Foundry production and metallurgy*, 2025, no. 3, pp. 120–128. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-120-128>.

Коррозия металлических изделий представляет серьезную проблему, поскольку наносит значительный экономический и экологический ущерб национальным экономикам. Цинкование – один из наиболее распространенных методов защиты стали от коррозии. Среди множества способов формирования цинковых покрытий на сталях основными являются горячее, гальваническое, холодное и термодиффузионное цинкование.

Наиболее высокую прочность связи покрытия с основным материалом получают при термодиффузионном цинковании. В качестве цинкостержащего компонента в порошковых смесях традиционно используют цинковый порошок (ГОСТ 12601-76). Ранее авторами данной статьи показана возможность применения вместо цинкового порошка дисперсного цинкостержащего отхода (цинковой пыли), образующегося при цинковании труб и последующей их паровой обдувке, что позволяет не только снизить стоимость оцинкованных изделий, но и обеспечить рециклинг цинка в промышленный оборот [1–5]. В результате проведенных исследований установлено, что по содержанию цинка отход примерно соответствует порошковому цинку (ГОСТ 12601). Доля чистого цинка в пыли составляет 95 %. Ситовый анализ (ГОСТ 18318-94) цинковой пыли показал, что ее гранулометрический состав в рекомендуемой для термодиффузионного цинкования фракции ≤ 250 мкм, доля которой составляет 87 мас. %, соответствует гранулометрическому составу стандартного порошкового цинка.

Авторами также проведены исследования по влиянию 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, 3–5]. В результате установлено, что изгарь, являющуюся отходом горячего цинкования, можно рекомендовать для использования в составе порошковой композиции в качестве дешевого заменителя цинкостержащего и активирующего компонента.

Поскольку термодиффузионное цинкование можно осуществлять как в стационарном контейнере, так и во вращающемся (шерадизация), проведены исследования по изучению их влиянию на толщину слоев цинкового покрытия, микроструктуру, цвет покрытий, полученных в смесях на основе цинкового порошка и отхода горячего цинкования. Установлено, 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. Показано, что при получении диффузионного цинкового покрытия в подвижном контейнере на основе порошкового цинка или отхода его цвет на изделии получается более темным, чем в стационарном контейнере.

Проведенные исследования позволили выявить следующую закономерность: для получения одинаковой толщины цинкового покрытия при термодиффузионном цинковании во вращающемся контейнере требуется меньше времени выдержки, чем в стационарном. На рис. 1 представлена зависимость роста толщины покрытия от продолжительности цинкования при температуре 410–420 °С и остывания вне печи в стационарном контейнере и вращающемся со скоростью 1 об/мин емкостью 1,8 дм³.

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 ведется от момента выхода печи на заданную температуру) 0,5 ч (не считая времени остывания вне печи) во вращающемся контейнере скорость наращивания покрытия в 1,5 раза выше, чем в стационарном, а при выдержке 1 ч – примерно в 2 раза. По-видимому, интенсификация роста толщины покрытия в подвижном контейнере связана с постоянным контактом

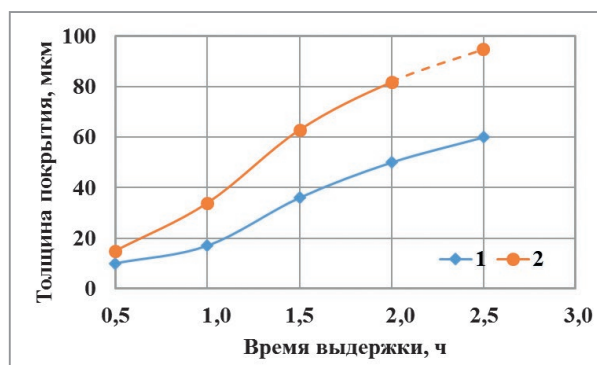


Рис. 1. Зависимость изменения толщины покрытия от продолжительности цинкования в контейнере:
1 – стационарном; 2 – вращающемся

цинкуемой поверхности со свежим цинком, который обновляется в процессе цинкования во вращающемся контейнере в отличие от цинкования в стационарном контейнере.

Так как основной функцией цинкостойкого покрытия является защита металла от коррозии, цель данной работы – проведение сравнительных испытаний на коррозионную стойкость цинковых покрытий, в том числе с нанесенными пассивирующими пленками и лакокрасочным материалом.

Для проведения сравнительных коррозионных испытаний цинковых покрытий с дополнительной их обработкой пассивацией и покраской изготовили цинковые покрытия на базе не только отхода горячего цинкования, но и порошкового цинка. С этой целью, кроме металлоизделий, цинкованию подвергали образцы в виде квадратных пластин из стали Ст3 размером 50×50, толщиной 3,0 мм.

Термодиффузионное цинкование осуществляли в установке с вращающимся контейнером, наиболее часто применяемой в промышленных условиях, емкостью 1,8 дм³, со скоростью вращения контейнера 1 об/мин. На рис. 2 представлены оцинкованные металлоизделия, полученные в печи для термодиффузионного насыщения с вращающейся ретортой.



Рис. 2. Металлоизделия и пластины после нанесения цинкового покрытия

Визуальная оценка качества внешнего вида показала, что цинковые покрытия не имеют несплошностей, а их поверхность по цвету выглядит матовой темно-серой. Толщина цинкового покрытия на полученных образцах, исследованная с помощью прибора «Константа 5К», в среднем составляет 60–70 мкм.

Металлографический анализ цинковых покрытий осуществляли с помощью комплекса Mikro Vert МИ – 1, SIMAGIS 4М – 00, с программным обеспечением SIAMS. Микрофотографии структур представлены на рис. 3.

Сравнивая микроструктуры полученных цинковых покрытий во вращающемся контейнере в смесях на базе порошкового цинка и цинкового отхода, наблюдаем, что во все случаях диффузионные цинковые покрытия состоят из последовательно чередующихся слоев Г- и δ-фаз. При этом ζ-фазы не наблюдается.

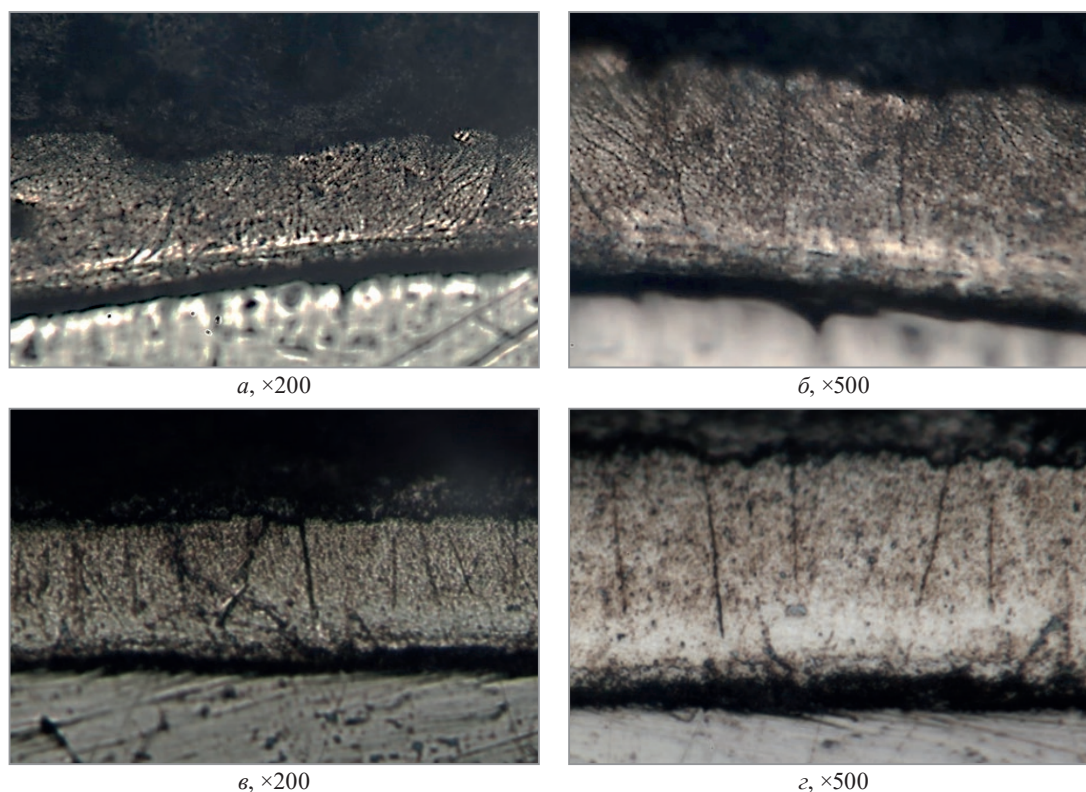


Рис. 3. Микрофотографии структур цинкового покрытия, полученного в установке с вращающимся контейнером:
 а, б – в смеси 50 % $Zn_{ст}$ + 49 % Al_2O_3 + 1 % NH_4Cl ;
 в, з – в смеси 50 % $Zn_{отх}$ + 49,9 % Al_2O_3 + 0,1 % изгарь – отход горячего цинкования

Следует отметить, что Г-фаза во вращающемся контейнере характеризуется повышенной толщиной по сравнению с Г-фазой в покрытии, полученном в стационарном контейнере. При этом также наблюдаются две зоны Г-фазы – светлая и темная. Зона δ-фазы характеризуется мелкокристаллической равноосной структурой.

Таким образом, диффузионные покрытия, полученные в подвижном контейнере в смесях $Zn_{отх}$ – Al_2O_3 и $Zn_{ст}$ – Al_2O_3 , имеют схожее по микроструктуре строение. На рис. 4 показан фрагмент резьбы с термодиффузионным цинковым покрытием, полученным в подвижном контейнере.

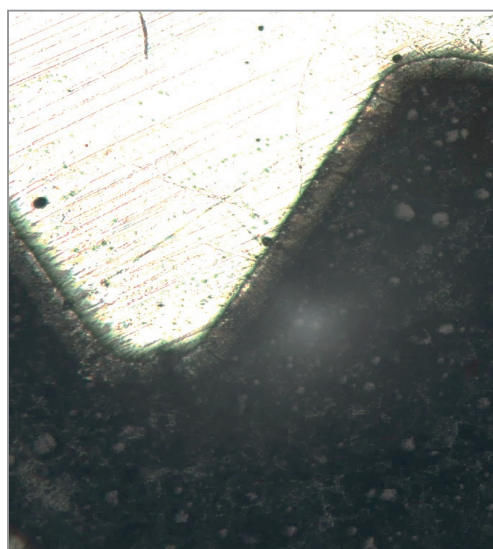


Рис. 4. Фрагмент резьбы с термодиффузионным цинковым покрытием, полученным в подвижном контейнере

Известно, что в целях сохранения декоративных свойств и дополнительного увеличения коррозионной стойкости изделия, покрытые методом термодиффузионного цинкования, подвергают последующей дополнительной обработке поверхности [6–8]. Кроме того, такая обработка призвана замедлить

или предотвратить образование белых продуктов коррозии на поверхностях, подвергаемых воздействию разных атмосфер, соленой воды и т.п.

К дополнительной обработке цинковых покрытий можно отнести пассивацию [8]. Этот метод представляет собой использование тонкого слоя защитного материала, например оксида металла, для создания щита от коррозии. Формируемые при пассивации тонкие оксидно-солевые пленки значительно повышают коррозионную стойкость цинковых покрытий и придают им определенный декоративный вид. Традиционно для пассивации используют хроматные на основе соединений шестивалентного хрома и фосфатные растворы, которые позволяют получать наиболее коррозионно-стойкие пассивационные пленки [8]. Кроме того, пассивные пленки, полученные из хроматных растворов, обладают свойством самозалечивания. Однако соединения шестивалентного хрома экологически чрезвычайно опасны. В данной работе для хроматной пассивации применяли раствор для радужной пассивации «ЭКОМЕТ-ПЦ12» (Россия), обеспечивающий высокую коррозионную стойкость и внешний вид цинковых покрытий в соответствии с требованиями стандарта. Низкая концентрация ионов хрома (VI) в пассивирующем растворе – не более 6 г/л [9].

Согласно ГОСТ Р 9.316-2006, после нанесения цинкового покрытия проводят фосфатирование, а для жестких климатических условий рекомендуется осуществлять дополнительную обработку, в частности, наносить лакокрасочные покрытия. Они в определенной степени влагопроницаемы, т.е. действуют практически как полупроницаемые мембраны. При эксплуатации, особенно в жестких климатических условиях (тропический, морской климат, перепады температуры), за счет осмотического давления влага попадает на поверхность изделия через поры лакокрасочного покрытия и инициирует коррозионные процессы на металлической подложке. Продукты коррозии разрушают адгезионную связь лакокрасочного покрытия и подложки, в результате чего покрытие начинает отслаиваться. При использовании специальных химических средств подготовки поверхности под покраску на подложке формируются конверсионные покрытия, значительно улучшающие физико-механические и защитные свойства последующего слоя лакокрасочного покрытия, увеличивая срок службы окрашенных металлических поверхностей. Следует отметить, что, согласно ASTM D6386–16a [10], наличие хроматного конверсионного покрытия может серьезно ухудшить адгезию некоторых систем лакокрасочного покрытия, поэтому предпочтение следует отдавать фосфатным конверсионным покрытиям. Фосфатная пленка стойка к органическим маслам, смазочным материалам и может служить грунтом для нанесения лакокрасочных материалов.

С целью проведения сравнительных испытаний на коррозионную стойкость на стальные пластины размером 50×50×2,5 мм, изготовленные из стали марки Ст3, и металлоизделия с резьбой наносили цинковые покрытия методом термодиффузионного насыщения во вращающемся контейнере. В одном случае покрытия получали в насыщающей смеси на основе порошкового цинка, в другом – на основе цинксодержащего отхода. Толщина покрытий на пластинах составила 50–60 мкм, а на металлоизделиях с резьбой – 14–17 мкм. Одну часть пластин с цинковыми покрытиями и образцы с резьбовой поверхностью подвергали дополнительной обработке, сущность которой заключалась в нанесении конверсионного хроматного покрытия. На другую часть пластин наносили фосфатное покрытие. При этом на часть пластин, подвергшихся фосфатированию, наносили лакокрасочное покрытие. Пассивацию образцов в виде пластин и металлоизделий с резьбой подвергали хроматной пассивации. Окрашивание пластин с нанесенным фосфатным покрытием производили методом распыления эпоксидной однокомпонентной краски «РЕМ-ПОКС 7605» [11]. Данная краска изготавливается на основе эпоксидной модифицированной смолы, обладающей высокой конечной твердостью и эластичностью. Покрытие обладает хорошими свойствами антикоррозийной защиты и устойчиво к влиянию кислотных и щелочных растворов, содержащей соль воды и агрессивных сточных вод.

На рис. 5 представлены подготовленные образцы для проведения сравнительных испытаний.

Коррозионную стойкость весовым методом определяли с использованием камеры солевого тумана ASCOTT S120iS объемом 120 л. Коррозионные испытания проводились в циклическом режиме, в котором каждый цикл составлял 24 ч и представлял собой 12 ч распыления 5 %-м раствором NaCl со скоростью 6 мл/мин при температуре 35 °С и 12 ч выдержки в камере без распыления при комнатной температуре примерно 25 °С. После каждого цикла проводили осмотр и взвешивание образцов с предварительным высушиванием путем обдува сжатым воздухом. Образцы располагались в камере в керамических держателях под углом примерно 70°. На рис. 6 показаны оцинкованные образцы (пластины) и металлоизделия с резьбой, в том числе дополнительно обработанные пассивирующим раствором, а также лакокрасочным материалом перед их установкой в камеру соляного тумана.



Образец с цинковым покрытием на базе порошкового Zn, полученным в установке диффузионного цинкования с вращающейся ретортой, в системе $50\% \text{Zn}_{\text{ст}} + 49\% \text{Al}_2\text{O}_3 + 1\% \text{NH}_4\text{Cl}$



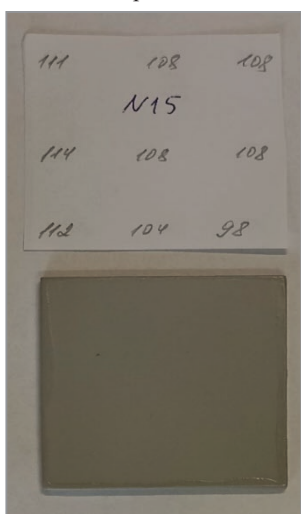
Образец с цинковым покрытием на базе цинковой пыли, полученным в установке диффузионного цинкования с вращающейся ретортой, в системе $50\% \text{Zn}_{\text{отх}} + 49,9\% \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,1\% \text{изгарь}$ – отход горячего цинкования



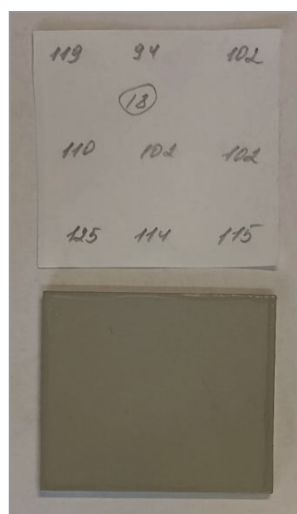
Образец с цинковым + хроматным покрытием на базе порошкового Zn



Образец с цинковым + хроматным покрытием на базе цинковой пыли



Образец с цинковым покрытием + комплексной лакокрасочной системой (фосфатирование и окрашивание грунт-эмалью) на базе порошкового Zn



Образец с цинковым покрытием + комплексной лакокрасочной системой (фосфатирование и окрашивание грунт-эмалью) на базе отхода горячего цинкования

Рис. 5. Внешний вид образцов цинковых покрытий, подготовленных для сравнительных испытаний на коррозионную стойкость



Рис. 6. Оцинкованные образцы и металлоизделия с резьбой перед их установкой в камеру соляного тумана

Оцинкованные образцы без дополнительной обработки, внешний вид которых показан на рис. 7, уже после 24 ч покрылись белыми продуктами коррозии цинка (рис. 7, *а*, *б*). Интенсивность белой коррозии для цинковых покрытий, полученных из стандартного порошка (рис. 7, *а*), была заметно меньше, чем для покрытий, полученных из цинковой пыли – отхода горячего цинкования (рис. 7, *б*). Образцы с дополнительной обработкой в пассивирующем хроматном растворе даже после почти 300 ч выдержки в камере соляного тумана практически не изменили внешнего вида. Можно отметить только следы белой коррозии в углах образцов, показанных на примере покрытий, полученных на базе отхода (рис. 7, *в*). Образцы с лакокрасочными покрытиями после 300 ч вообще не изменили внешнего вида (рис. 7, *г*). На цинковых покрытиях без дополнительной обработки интенсивность белой коррозии со временем практически не менялась и к 300 ч даже стала немного уменьшаться. Это может быть связано с образованием так называемой цинковой патины – плотной пленки из продуктов коррозии цинка. Формирование цинковой патины могло ускорить периодическое высушивание образцов обдувом сжатым воздухом после каждого 24-часового цикла испытаний.

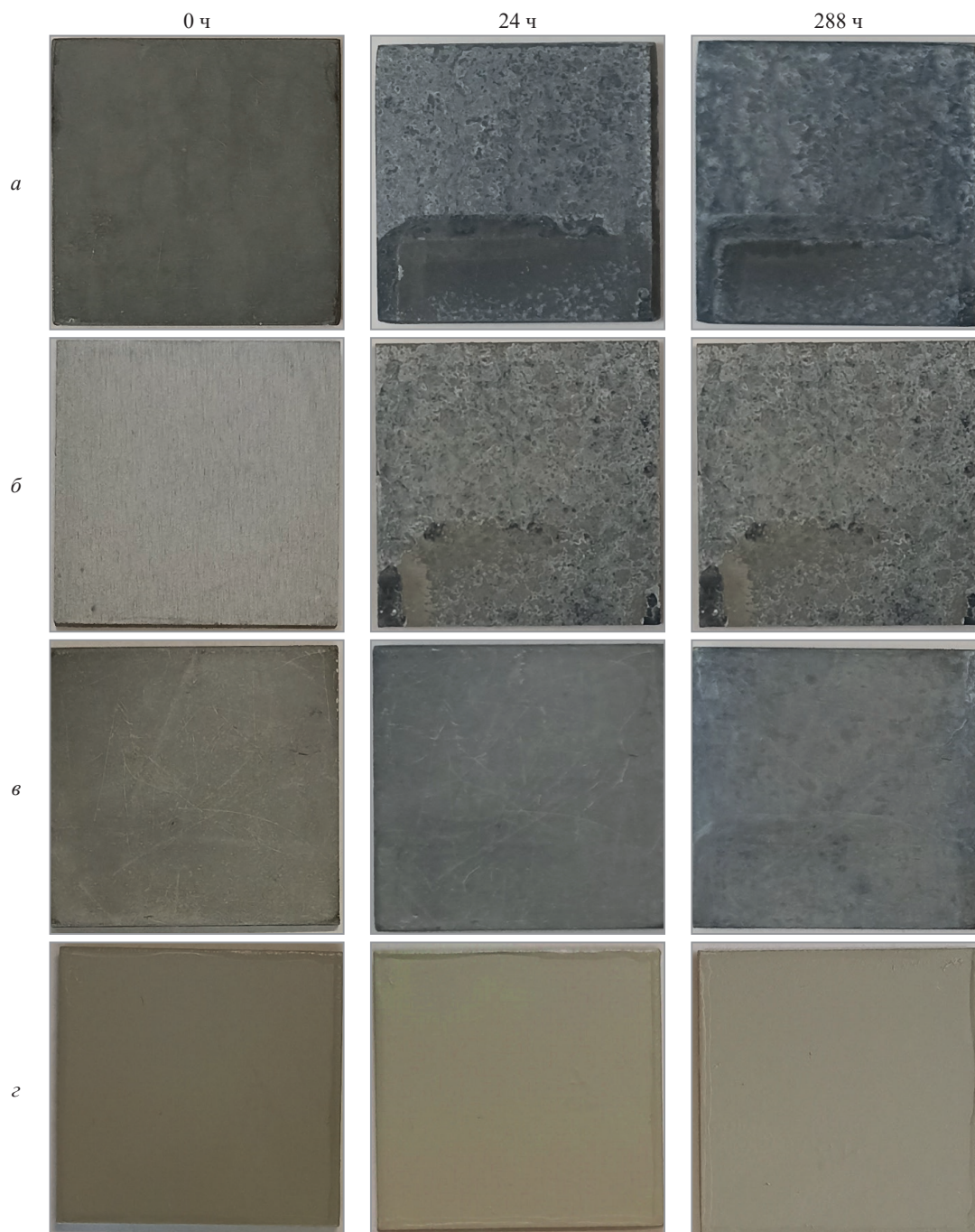


Рис. 7. Внешний вид образцов в зависимости от времени (0, 24, 300 ч) испытаний в камере солевого тумана: *а* – покрытие на порошковом цинке без дополнительного покрытия; *б* – покрытие на базе отхода без дополнительного покрытия; *в* – покрытие на базе отхода + хроматное покрытие; *г* – покрытие на базе отхода + фосфатное покрытие + грунт-эмаль

Оценку коррозионной стойкости некоторых образцов осуществляли по величине прироста их массы. Обычно для оценки скорости коррозии по весовому показателю измеряют потерю массы образцов, но для этого нужно удалять продукты коррозии химической обработкой в специальном растворе. При такой обработке может происходить растворение цинка и повреждение тонкого конверсионного покрытия. Поэтому в процессе коррозионных испытаний проводилось только взвешивание образцов после сушки их сжатым воздухом. Прирост массы происходит вследствие образования на поверхности продуктов коррозии цинка. Это могут быть оксиды, гидроксиды и оксокарбонаты цинка. Также возможно частичное растворение цинка. Для образцов с лакокрасочными покрытиями прирост массы обусловлен поглощением воды полимерным материалом лакокрасочного покрытия, поскольку изменения внешнего вида покрытий не происходило.

Результаты измерений массы образцов цинковых покрытий без дополнительной обработки, с хроматной пассивацией и лакокрасочным покрытием в процессе испытаний представлены на рис. 8.

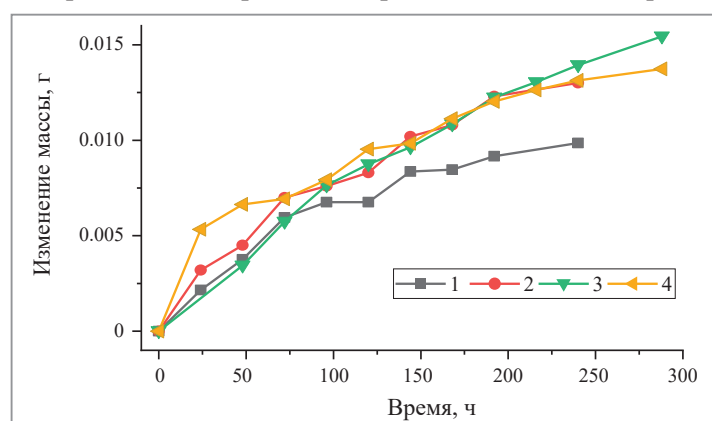


Рис. 8. Зависимость прироста массы образцов от времени нахождения в камере соляного тумана:

1 — покрытие на порошковом цинке без дополнительного покрытия; 2 — покрытие на базе отхода без дополнительного покрытия; 3 — покрытие на базе отхода + хроматное покрытие; 4 — покрытие на базе отхода + фосфатное покрытие + грунт-эмаль

Как можно видеть, характер и величина изменения массы образцов во времени при испытаниях примерно одинаковы. Наименьший прирост массы образцов после 250 ч испытаний отмечался для цинкового покрытия, полученного из порошкового цинка, без дополнительной обработки, а наибольший — для пассивированного в хроматном растворе. Хотя внешний вид пассивированных покрытий практически не изменяется, прирост массы указывает на образование продуктов коррозии на их поверхности.

Для цинковых покрытий без обработки, полученных из отхода, сильная белая коррозия должна соответствовать большому увеличению массы, однако оно сравнимо и даже несколько меньше (рис. 8, график 2), чем для пассивированного образца (рис. 8, график 3), для которого наблюдались только следы белой коррозии. Это можно объяснить тем, что в процессе коррозии цинковых покрытий происходит образование как нерастворимых, так и растворимых продуктов коррозии. Для покрытий без дополнительной обработки растворимых продуктов коррозии должно образовываться меньше, чем для пассивированных покрытий, поскольку для покрытий без дополнительной обработки нерастворимых продуктов белой коррозии образуется больше, чем для пассивированных покрытий, а прирост массы примерно одинаков. Следует отметить, что оценка скорости коррозии в нейтральной солевой среде для цинка весовым методом — достаточно сложная задача, поскольку в нейтральной среде образуются как растворимые, так и нерастворимые продукты коррозии, а удаление нерастворимых продуктов коррозии химическим способом без растворения при этом самого цинка и без повреждения защитных пассивирующих покрытий невозможно.

Цинковые покрытия без дополнительной обработки, полученные на базе порошкового цинка (рис. 8, график 1), имеют на 10–15 % меньший прирост массы, чем такие же покрытия, полученные на базе отхода горячего цинкования (рис. 8, график 2). Это согласуется с внешним видом покрытий, который в случае отхода горячего цинкования указывает на значительно большую степень белой коррозии, чем в случае порошкового цинка.

Испытания оцинкованных образцов будут продолжаться до появления красной коррозии. Образцы, на которых наблюдаются только белые продукты коррозии или вообще не наблюдаются продукты коррозии, продолжают подвергаться испытаниям. Следует отметить, что на представленных образцах до настоящего момента продукты красной коррозии не наблюдались.

Таким образом, проведенные сравнительные испытания в соляном тумане (в настоящее время испытания продолжаются) на коррозионную стойкость цинковых покрытий позволили установить, что после 300 ч испытаний покрытия, полученные на основе цинксодержащего отхода, незначительно уступают по защитным свойствам покрытиям на основе стандартного порошка цинка. Дополнительная обработка, а именно пассивация данных покрытий, позволила практически подавить белую коррозию. А применение комплексного лакокрасочного покрытия (пассивация + окрашивание) обеспечивает полную устойчивость к коррозии не менее 300 ч в камере солевого тумана.

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. Анализ способов получения цинксодержащих покрытий с применением отходов производства горячего цинкования / Н. И. Урбанович [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2021. – № 2. – С. 87–93.
3. Исследование влияния состава насыщающих смесей со стандартным цинковым порошком и цинковой пылью на изменение размеров и массы стальных образцов при термодиффузионном их цинковании / Н. И. Урбанович [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2023. – № 2. – С. 107–110.
4. Исследование влияния технологических параметров термодиффузионного цинкования в системе $Zn_{отх}-Al_2O_3$ на свойства и микроструктуру покрытия / Н. И. Урбанович [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2024. – № 1. – С. 78–82.
5. Состав порошковой смеси для термодиффузионного цинкования стальных изделий: патент № 24325 Респ. Беларусь, С23С 10/28 / Н. И. Урбанович, К. Э. Барановский.
6. **Проскуркин, Е. В.** Цинкование: справочник / Е. В. Проскуркин, В. А. Попович, А. Т. Мороз. – М.: Металлургия, 1988. – С. 427.
7. Способ получения защитных покрытий: пат. 2148678 РФ, МПК7 С 23 С 10/36, 10/60, 22/00 / И. В. Фишберг; заявитель И. В. Фишберг. – № 98120846/02; заявл. 20.11.1998, опубл. 10.05.2000 // *Официальный бюл. Рос. агентства по патентам и товарным знакам*. – 2000. – № 36. – С. 32.
8. ГОСТ Р 9.316-2006 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия термодиффузионные цинковые. Общие требования и методы контроля. Введ. 21.09.2006. – М.: Стандартинформ, 2020. – 17 с.
9. Официальный сайт компании НПП «Экомет» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ecomet.ru>.
10. Standard Practice for Preparation of Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coated Iron and Steel Product and Hardware Surfaces for Painting ASTM D6386-16a, s.5 <https://www.standards.ru/document/6883035.aspx>
11. Официальный сайт ООО «Рем-Колор» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rem-color.by>

REFERENCES

1. **Urbanovich N. I., Baranovsky K. E., Rosenberg E. V.** [et al.] Issledovanie granulometricheskogo, himicheskogo i fazovogo sostavov othodov proizvodstva goryachego cinkovaniya [Investigation of granulometric, chemical and phase compositions of hotdip galvanizing wastes]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 3, pp. 106–111.
2. **Urbanovich N. I., Baranovsky K. E., Rozenberg E. V.** [et al.] Analiz sposobov polucheniya cinksoderzhashchih pokrytij s primeneniem othodov proizvodstva goryachego cinkovaniya [Analysis of methods for obtaining zinc-containing coatings using hot-dip galvanizing production waste]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 2, pp. 87–93.
3. **Urbanovich N. I., Baranovsky K. E., Bendik T. I.** [et al.] Issledovanie vliyaniya sostava насыshchayushchih smesey so standartnym cinkovym poroshkom i cinkovoy pyl'yu na izmenenie razmerov i massy stal'nyh obrazcov pri termodiffuzionnom ih cinkovanii [Study of the influence of the composition of saturating mixtures with standard zinc powder and zinc dust on changes in the sizes and mass of steel specimens during their thermal diffusion zinc coating]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2023, no. 2, pp. 107–110.
4. **Urbanovich N. I., Baranovsky K. E., Dashkevich V. G.** [et al.] Issledovanie vliyaniya tekhnologicheskikh parametrov termodiffuzionnogo cinkovaniya v sisteme $Zn_{отх}-Al_2O_3$ na svoystva i mikrostrukturu pokrytiya [Study of the influence of technological parameters of thermal diffusion galvanizing in the $Zn_{отх}-Al_2O_3$ system on the properties and microstructure of the coating]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2024, no. 1, pp. 78–82.
5. **Urbanovich N. I., Baranovsky K. E.** Sostav poroshkovoj smesi dlya termodiffuzionnogo cinkovaniya stal'nyh izdelij: patent № 24325 Rесп. Belarus', S23S 10/28 [Composition of the powder mixture for thermal diffusion galvanizing of steel products: patent No. 24325 Republic of Belarus, C23C 10/28].
6. **Proskurkin E. V., Popovich V. A., Moroz A. T.** Cinkovanie: spravochnik [Galvanizing: Handbook]. Moscow, Metallurgiya, 1988, p. 427.
7. **Fishberg I. V.** Sposob polucheniya zashchitnyh pokrytij: pat. 2148678 RF, МПК7 S 23 S 10/36, 10/60, 22/00. – № 98120846/02; заявл. 20.11.1998, опубл. 10.05.2000 [Method for producing protective coatings: patent. 2148678 Russian Federation, IPC7 C 23 C 10/36, 10/60, 22/00 – No. 98120846/02; declared. 20.11.1998, published. 10.05.2000]. *Oficial'nyj byul. Ros. agentstva po patentam i tovarnym znakam = Official Bulletin of the Russian Patent and Trademark Agency*, 2000, no. 36, pp. 32.
8. ГОСТ Р 9.316-2006 Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Pokrytiya termodiffuzionnye cinkovye. Obshchie trebovaniya i metody kontrolya. Vved. 21.09.2006 [Unified system of protection against corrosion and aging. Thermodiffusion zinc coatings. General requirements and control methods]. Moscow, Standartinform, 2020, p. 17.
9. Official website of the company NPP «Ekomet» [Electronic resource]. Access mode: <https://www.ecomet.ru>.
10. Standard Practice for Preparation of Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coated Iron and Steel Product and Hardware Surfaces for Painting ASTM D6386-16a, s. 5 <https://www.standards.ru/document/6883035.aspx>
11. Official website of ООО «Rem-Color» [Electronic resource]. Access mode: <https://rem-color.by>