

УДК 621.785.5

В. М. Константинов¹, доктор технических наук, профессор,**Л. А. Астрейко²**, кандидат технических наук, доцент,**П. С. Мышкевич³, К. Б. Сорокин⁴**^{1, 2, 3}Белорусский национальный технический университет, пр-т Независимости, 65,
220013 Минск, Республика Беларусь⁴Республиканское дочернее унитарное производственное предприятие «Конус» республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», ул. Заводская, 5, 231300 г. Лида, Республика Беларусь

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТЕРМОДИФФУЗИОННОГО ЦИНКОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПЛОСКОЙ ФОРМЫ

Исследовано влияние состава насыщающих смесей на получаемую толщину диффузионного слоя для деталей различной конфигурации. Проанализирован процесс термодиффузионного цинкования деталей, имеющих плоскую поверхность. Предложен способ повышения свойств получаемых покрытий при использовании металлического балласта из номенклатуры изделий, обрабатываемых на государственном предприятии «Конус». В данной работе использовали детали S-образной формы. Качество полученных покрытий на изделиях плоской формы при использовании балласта улучшилось, о чем свидетельствует равномерный по толщине и структуре цинковый слой. Ускоренные коррозионные испытания в камере соляного тумана следов поражения на исследуемой поверхности металлических пластин, обработанных в смеси на основе порошка цинка ПЦ-1 с добавкой балласта в реторту, не выявили.

Ключевые слова: термодиффузионное цинкование; апробация технологии; диффузионный слой; микроструктура; коррозионные испытания.

Рис. 6. Табл. 2. Библиогр.: 5 назв.

V. M. Konstantinov¹, DSc in Technical Sciences, Professor,**L. A. Astreiko²**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor,**P. S. Myshkevich³, K. B. Sorokin⁴**^{1, 2, 3}Belarusian National Technical University, 65 Nezavisimosti Ave., 220013 Minsk, the Republic of Belarus⁴The Republican Subsidiary Unitary Production Enterprise “Konus” of the Republican Unitary Enterprise “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Agricultural Mechanization”,
5 Zavodskaya Str., 231300 Lida, the Republic of Belarus

QUALITY INCREASING OF FLAT SHAPE STEEL PRODUCTS THERMAL DIFFUSION GALVANIZING

The influence of the saturating mixtures composition on the diffusion layer thickness resulting for the parts of various configurations has been studied. The thermal diffusion galvanizing process of parts with a flat surface has been analyzed. A method to improve the properties of the resulting coatings by using metal ballast from the range of products processed at the Konus state enterprise has been proposed. In this work, S-shaped parts have been used. The quality of the resulting coatings on flat-shaped products when using ballast has been improved, as evidenced by a zinc layer that is uniform in thickness and structure. Accelerated corrosion tests in a salt fog chamber did not reveal any traces of damage on the test surface of metal plates processed in a mixture based on PC-1 zinc powder with the addition of ballast to the retort.

Key words: thermal diffusion galvanizing; technology testing; diffusion layer; microstructure; corrosion tests.

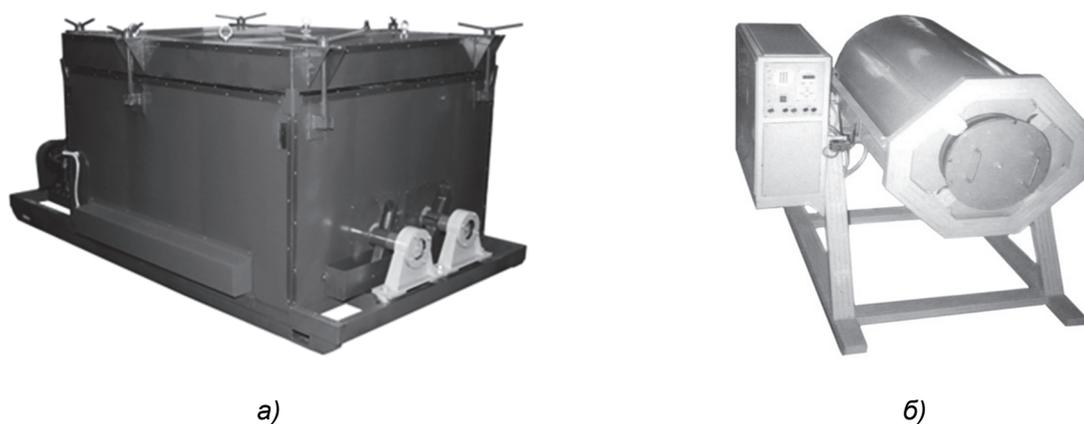
Fig. 6. Table 2. Ref.: 5 titles.

Введение. Термодиффузионное цинкование (далее — ТДЦ) известно более ста лет и является эффективным методом защиты от коррозии изделий из стали и чугуна. Равномерный антикоррозионный слой (от 15 до 100 мкм и более) формируется в результате насыщения цинком поверхности металлических изделий в порошковой среде при температуре 400...500 °С, причём выбор температурного режима зависит от типа стальных изделий и марки стали. Термодиффузионные цинковые слои по сравнению с гальваническими и металлизационными

покрытиями имеют более прочную (диффузионную) связь с защищаемым металлом вследствие диффузии цинка в покрываемый металл, а постепенное изменение концентрации цинка по толщине покрытия обуславливает менее резкое изменение его свойств [1; 2]. Повышенная коррозионная стойкость (до 1 500 ч в камере соляного тумана) такого слоя объясняется его фазовым и химическим составом. В отличие от гальванического и горячего цинкования доминирующими фазами в обсуждаемом слое являются железо-цинковые интерметаллиды.

Наиболее распространено в промышленности ТДЦ во вращающемся контейнере в барабанных тупиковых печах. Оборудование для ТДЦ в зависимости от технологических решений имеет множество вариантов конструктивного исполнения. В основном это барабанные электропечи, в которых антикоррозионное покрытие формируется в герметично закрытом барабане. Камеры нагрева в таких печах могут быть шахтного типа с вертикальной загрузкой барабана (рисунок 1, а) либо иметь поворотную раму с электромеханическим приводом вращения барабана (см. рисунок 1, б).

В Республике Беларусь за последние годы создано несколько производств по ТДЦ стальных изделий. Традиционно деталями для ТДЦ являются метизные изделия, детали небольших размеров, приблизительно трехмерной симметрии (рисунок 2, а). Ранее разработана технология ТДЦ упругих мелкоразмерных деталей, совмещенная с операцией среднего отпуска (см. рисунок 2, б) [3; 4]. Трехмерная симметрия обсуждаемых изделий позволяет обеспечить перемешивание деталей с насыщающей цинковой порошковой средой и равномерное формирование цинкового слоя на всех деталях обрабатываемой партии.



а — установка для ТДЦ 530-1,5.00.000 шахтного типа с вертикальной загрузкой сменного барабана; б — барабанная печь для ТДЦ MDS 125 с поворотной рамой камеры нагрева

Рисунок 1. — Варианты конструктивного исполнения оборудования для ТДЦ



а — крепежные изделия; б — гроверные шайбы

Рисунок 2. — Стальные детали, традиционно подвергаемые ТДЦ

Расширение номенклатуры стальных изделий для ТДЦ сопряжено с определенными сложностями. Плоские, длинномерные изделия склонны к «залипанию» во вращающемся контейнере. Увеличение массы изделий также может негативно сказаться на их внешнем виде. На качество получаемых покрытий существенно влияет конфигурация поверхности обрабатываемого изделия. Стоит отметить неблагоприятное свойство деталей, имеющих плоскую форму (рисунок 3), «склеиваться» при обработке на относительно малых оборотах вращения реторты. Для обсуждаемой ситуации характерно резко неравномерное цинкование вплоть до отдельных неоцинкованных участков плоских изделий.

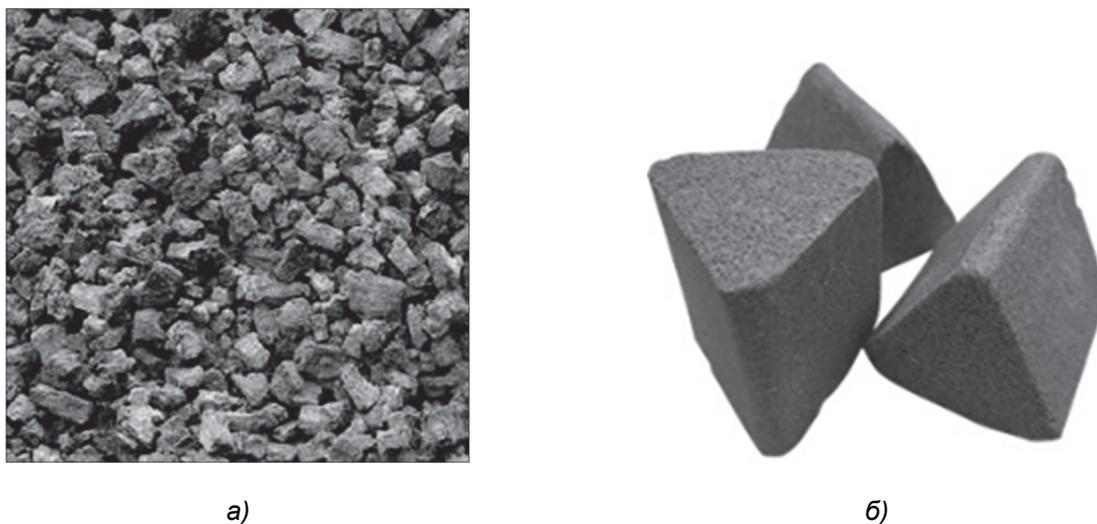
Возможным решением данной проблемы может быть добавка разного рода балласта в реторту (металлическая проволока, керамические галтовочные тела, крупная фракция гартцинка и т. д.), который представлен на рисунке 4.

Из вышесказанного следует, что важным направлением повышения качества и снижения стоимости термодиффузионных цинковых покрытий является интенсификация диффузионных взаимодействий между насыщающим металлом (цинком) и стальной поверхностью насыщаемой детали. Этого можно достигнуть, обоснованно применяя балластные добавки и регулируя количество активного цинка в смеси.



а — стандартные металлические пластины; б — металлические крепежные пластины

Рисунок 3. — Стальные детали, имеющие плоскую форму



а — гартцинк фракцией 0,63...1,00 см; б — керамические галтовочные тела

Рисунок 4. — Балласт для ТДЦ

Материалы и методы исследования. В целях освоения технологии ТДЦ в промышленных условиях проводили исследования по получению необходимой толщины слоя в зависимости от содержания активного цинка в насыщающей смеси и добавки балласта. В качестве деталей для насыщения были выбраны плоские металлические пластины, изготовленные из стали обыкновенного качества марки Ст2. Балластом, в свою очередь, служили детали S-образной формы. Исходными компонентами для диффузионного цинкования являлись порошок цинка марки ПЦ-1 фракцией ≤ 80 мкм и порошок цинка марки ПЦР-1 (ГОСТ 12601-76) зернистостью ≤ 30 мкм. Условно дисперсность используемых смесей можно принять 60...80 мкм, так как основной объем составляет «отработанная» смесь. Составы насыщающих сред и условия получения покрытий приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1. — Составы насыщающих сред и условия получения покрытий

Массовая доля компонентов в насыщающих средах	Режимы ТДЦ	
	T, °C	t, ч
20 % ПЦ-1 + 80 % «отработанной»* смеси	410	2
25 % ПЦР-1 + 75 % «отработанной»* смеси	410	2

Примечание — «отработанная»* смесь —использованная в процессе насыщения смесь, состоящая из смеси порошка цинка марок ПЦ-1 и ПЦР-1.

Насыщение проводили в условиях государственного предприятия «Конус» в печах барабанного типа. Охлаждение проводили с использованием охладителя, вращающегося с определенной скоростью. Анализ микроструктуры полученных термодиффузионных слоев был проведен на высокотемпературном микроскопе Leica DM 2500 P.

Коррозионную стойкость изделий оценивали методом ускоренных коррозионных испытаний в соответствии со стандартом ASTM B 117 в камере соляного тумана Ascott S 120 ip в 5 %-ном растворе соли (NaCl). Продолжительность теста — 168 ч без изменения условий и перерывов. После испытаний была проведена фотофиксация поверхности деталей на предмет выявления очагов коррозионного поражения

Результаты исследования и их обсуждение. Технологические режимы цинкования традиционно подбираются в зависимости от условий эксплуатации покрытий, так как температура, продолжительность процесса и состав смеси влияют при формировании слоя на количественное соотношение фаз и общую толщину [5]. Были изучены два варианта загрузки реторты. Полученные толщины диффузионных слоев представлены в таблице 2.

Значительное увеличение толщины слоя на пластинах, обработанных в смеси на основе порошка цинка ПЦ-1 (фракцией ≤ 80 мкм), можно обусловить добавкой в реторту деталей S-образной формы, что, в свою очередь, служит так называемым балластом и не дает пластинам уплотняться при вращении реторты, в отличие от пластин, обработанных без добавки балласта. Металлический балласт при его многократном использовании также служит дополнительным источником цинка при насыщении.

Т а б л и ц а 2. — Варианты заполнения реторты и полученные толщины диффузионных слоев при режиме цинкования 410 °C, 2 ч

Обрабатываемая номенклатура (плоские металлические пластины), %	Балласт (детали S-образной формы), %	Массовая доля активного цинка в насыщающих средах, %	Получаемая толщина слоя, мкм
70	30	20	Около 60
100	—	25	Менее 15

Визуальные показатели качества слоев соответствуют ГОСТ Р 9.316-2006, цинковые покрытия на деталях имеют одинаковый светло-серый цвет. По результатам сравнительного анализа темплета пластины под микроскопом установлено, что детали имеют равномерный по толщине и структуре цинковый слой с равномерной зоной α -фазы (цинковый феррит) без крупных зерен. Далее тонкая (около 4 мкм) Γ -фаза, хорошо обнаруживаемая под микроскопом до и после травления шлифа, граничащая с твердым раствором цинка в железе (α -фазой) и δ -фазой (рисунок 5).

Были проведены сравнительные коррозионные испытания в камере соляного тумана. После 96 ч коррозионных испытаний отметили наличие участков коррозионного поражения стальной основы на образцах, обработанных в смеси на основе порошка цинка ПЦР-1 без добавления балласта (рисунок 6, а). В период испытаний с 96 до 168 ч отметили увеличение количества очагов коррозионного поражения защитного покрытия.

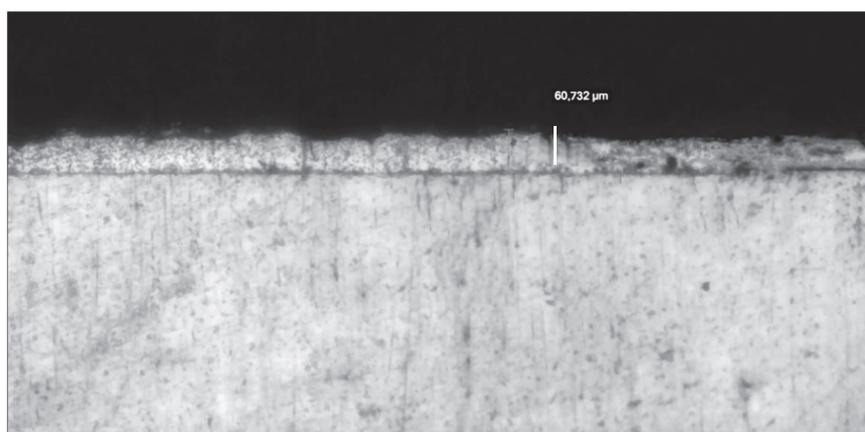
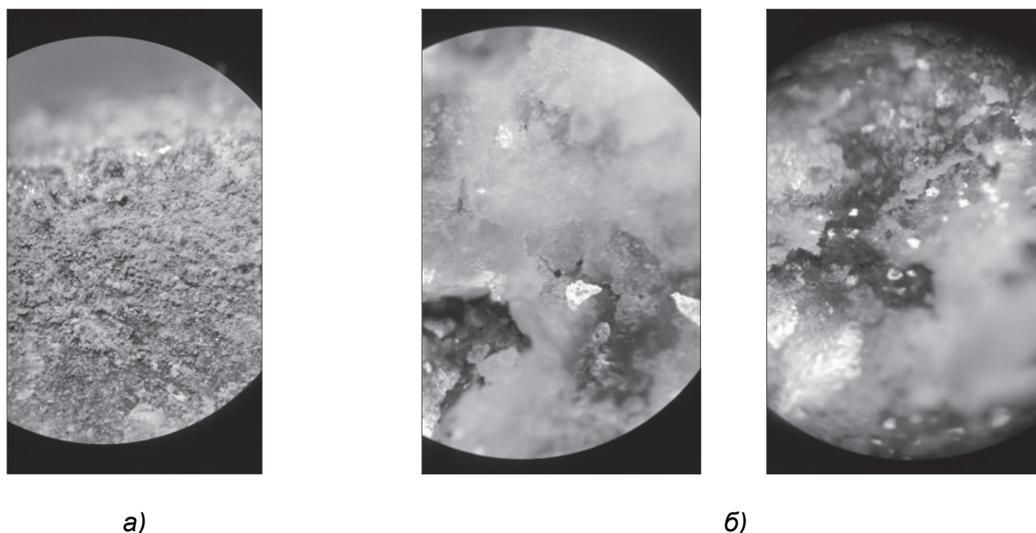


Рисунок 5. — Микроструктура слоя металлической пластины после ТДЦ в смеси на основе порошка цинка ПЦР-1 с добавлением балласта, $\times 100$



а — участок коррозионного поражения на поверхности пластины, обработанной в смеси на основе порошка цинка ПЦР-1 без добавления балласта; **б** — пленка основных солей цинка на поверхности пластины, обработанной в смеси на основе порошка цинка ПЦР-1 с добавлением балласта

Рисунок 6. — Внешний вид стальных оцинкованных образцов после 168 ч ускоренных коррозионных испытаний в камере соляного тумана

Установлено, что после 168 ч испытаний фрагментов разрушения защитных цинковых покрытий и диффузионных слоев на пластинах, обработанных в смеси на основе порошка ПЦ-1 с добавлением балласта, не обнаружено. Исследуемые детали характеризуются формированием плотной защитной пленки (см. рисунок 6, б). Площадь поражения поверхности составила менее 3 %.

Заключение. Предложены и опробованы в промышленных условиях пути повышения качества термодиффузионных цинковых слоев на стальных плоских деталях, состоящие в рациональном применении цинксодержащего балласта (до 30 %) и увеличении доли активного цинка в насыщающей среде (до 25 %).

Это позволило уменьшить (до 10 %) или полностью исключить наличие необработанных стальных поверхностей при серийном производстве, получить более толстые и равномерные слои с мелкозернистым цинковым ферритом, а также обеспечить требуемую коррозионную стойкость. Существенное значение для обеспечения отсутствия глубоких царапин, сколов термодиффузионного цинкового слоя имеет форма балластной добавки.

Список цитированных источников

1. *Проскуркин, Е. В.* Диффузионные цинковые покрытия: свойства, области применения : справочник / Е. В. Проскуркин, В. А. Геловани, А. Н. Сонк ; под ред. Е. В. Проскуркина, Д. А. Сухомлина. — М. : Наука, 2017. — 311 с.
2. *Константинов, В. М.* Антикоррозионные цинковые покрытия на стальных изделиях: перспективы термодиффузионных покрытий / В. М. Константинов, Н. И. Иваницкий, Л. А. Астрейко // *Литье и металлургия*. — 2013. — № 4 (73). — С. 107—110.
3. *Константинов, В. М.* Влияние термодиффузионного цинкования на эксплуатационные свойства термически обработанных стальных изделий / В. М. Константинов, И. А. Булойчик // *Литье и металлургия*. — 2020. — № 4. — С. 131—138.
4. *Булойчик, И. А.* Анализ изменения структурообразования интерметаллидных слоев на основе цинка при цинковании термоупрочненных стальных изделий диффузионным способом из газовой фазы / И. А. Булойчик // *Вестн. БарГУ. Сер. «Технические науки»*. — 2021. — Вып. 10. — С. 12—16.
5. Термодинамическое моделирование процесса формирования термодиффузионных цинковых покрытий при использовании новых насыщающих сред / Б. Б. Хина [и др.] // *Современные технологии, качество и инновации : Междунар. науч. конф., Киченев, 29 мая — 1 июня 2003 г.* — Кишинев, 2003. — С. 98.

Поступила в редакцию 08.04.2024.