



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-124-127>  
УДК 621.785.5

Поступила 06.10.2022  
Received 06.10.2022

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБРАБОТКИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПОРОШКОВЫХ СМЕСЯХ, СОДЕРЖАЩИХ ОТХОДЫ ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ

*В. Г. ДАШКЕВИЧ, П. С. МЫШКЕВИЧ, Н. М. БАРАНКЕВИЧ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости 65. E-mail: nil\_usi@bntu.by*

*В работе рассмотрены технологические особенности термодиффузионного цинкования крепежных изделий в порошковой смеси, содержащей отход горячего цинкования – гартцинк. Отмечены преимущества предварительного флюсования перед термодиффузионным цинкованием. Исследована микроструктура полученных диффузионных слоев на стали марки 40X, отмечены особенности кинетики насыщения и качества получаемых слоев.*

**Ключевые слова.** Крепежные изделия, термодиффузионная обработка, цинкование.

**Для цитирования.** Дашкевич, В. Г. Технологические аспекты обработки стальных изделий в порошковых смесях, содержащих отходы горячего цинкования / В. Г. Дашкевич, П. С. Мышкевич, Н. М. Баранкевич // *Литье и металлургия*. 2023. № 1. С. 124–127. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-124-127>.

## TECHNOLOGICAL ASPECTS OF PROCESSING STEEL PRODUCTS IN POWDER MIXTURES CONTAINING HOT-DIP GALVANIZING WASTE

*V. G. DASHKEVICH, P. S. MYSHKEVICH, N. M. BARANKEVICH, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: nil\_usi@bntu.by*

*The paper considers the technological features of thermodiffusion galvanizing of fasteners in a powder mixture containing the main waste of hot galvanizing it is gartzink. The advantages of preliminary fluxing over thermal diffusion zinc plating are noted. The microstructure of the obtained diffusion layers on steel 40X was studied, the features of the saturation kinetics and the quality of the resulting layers were noted.*

**Keywords.** Fasteners, thermal diffusion treatment, sherardizing.

**For citation.** Dashkevich V. G., Myshkevich P. S., Barankevich N. M. Technological aspects of processing steel products in powder mixtures containing hot-dip galvanizing waste. *Foundry production and metallurgy*, 2023, no. 1, pp. 124–127. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-124-127>.

### Введение

Крепежные элементы являются составной частью конструкции, влияющей на ее конечный срок службы. На качество резьбового соединения влияет множество параметров: свойства исходного материала (катанки), условия холодной обработки, эффекты термической обработки, качество нанесения антикоррозионного покрытия, насыщение водородом и др. [1]. Помимо перечисленных факторов, большое значение для устойчивости конструкции имеют и антикоррозионные свойства. Для снижения угрозы коррозии крепежные элементы с резьбой изготавливают из различных материалов начиная от углеродистой стали, заканчивая легированной сталью, алюминиевыми или титановыми сплавами [2].

Как известно, цинк и сплавы на его основе обеспечивают надежную долговечную защиту стали от атмосферной коррозии за счет электрохимической защиты [3]. Изделия, имеющие на поверхности цинковый слой, не подвержены активной коррозии, основной металл, в частности железо, остается практически «нетронутым».

Наиболее часто применяемые способы нанесения цинкового защитного слоя – горячее и термодиффузионное цинкование. Механизм создания цинкового покрытия методом горячего погружения очень похож на процесс термодиффузии. В обоих случаях создается диффузионный слой покрытия: 100% Zn, FeZn<sub>13</sub>, FeZn<sub>7</sub>, Fe<sub>3</sub>Zn<sub>10</sub> после горячего цинкования и FeZn<sub>7</sub>, Fe<sub>11</sub>Zn<sub>40</sub>, 50% Fe после термодиффузии [4].

В настоящее время уделяется очень большое внимание использованию повторно в производстве вторичных материальных ресурсов (отходов). Это позволяет снижать издержки производства за счет внутренних

резервов. Доля таких вторичных ресурсов для различных производств разная, например, если анализировать предприятия Республики Беларусь, занимающиеся горячим цинкованием, то выясняется, что она достаточно существенна. На предприятиях образуется значительное количество цинксодержащих отходов, которые в основном состоят из соединений  $Fe_nZn_m$  и могут быть эффективно использованы, в частности, при изготовлении специальных смесей для нанесения цинковых покрытий. Гартцинк представляет собой механическую смесь интерметаллических соединений  $Fe_nZn_m$  и твердого раствора железа в цинке [5].

По данным исследований отмечается, что гартцинк может использоваться в качестве компонента насыщающей среды, однако не совсем понятны возможные пределы концентрации, технологические особенности, прежде всего температурно-временные параметры обработки, а также получаемый результат применительно к деталям с резьбой частью. Смесей на основе гартцинка можно использовать без наполнителя (инертной добавки), традиционно применяющегося при процессах термодиффузионной обработки, так как температура плавления гартцинка по сравнению с чистым цинком выше, что позволяет увеличить эффективность регенерации смеси. Исследователи выделяют один существенный недостаток возможного применения гартцинка в насыщающих смесях – необходимость его измельчения с целью получения нужной фракции 5–250 мкм [6]. Существует техническая сложность самого процесса измельчения, также появляется необходимость дополнительных операций размола, отсева и смешивания.

Цель данной работы – выявление преимуществ и недостатков использования гартцинка в качестве насыщающего компонента порошковой смеси для процесса термодиффузионного цинкования крепежных элементов, а также оценка влияния процесса предварительного флюсования обрабатываемой поверхности.

### Материалы и методика исследований

В качестве образцов для проведения термодиффузионного цинкования были выбраны крепежные элементы в виде болтов, изготовленные из конструкционной улучшаемой стали марки 40X. Химический состав, %, стали марки 40X (ГОСТ 2879–2006) приведен ниже.

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,36–0,44	0,17–0,37	0,5–0,8	До 0,3	До 0,035	До 0,035	0,8–1,1	До 0,3

Насыщение проводили при печном нагреве в барабанной электрической печи с вращающейся ретортой. Температура обработки – 410 °С, время проведения цинкования – 1 ч. Для насыщения использовали порошковую смесь на основе гартцинка, т. е. доля гартцинка превышала 50 мас. %. Часть изделий перед процессом цинкования была предварительно обработана в водном растворе флюса Hegaflux 10 при температуре 50 °С в течение 1 мин с целью очистки обрабатываемых поверхностей от загрязнений, оксидных пленок и т. д.

Анализ микроструктуры полученных термодиффузионных слоев проводили на высокотемпературном микроскопе Leica DM2500P.

### Исследование особенностей термодиффузионной обработки

При диффузионном цинковании в порошковых смесях без добавки гартцинка на поверхности стальных изделий образуется традиционный диффузионный слой, представляющий собой железозинковый сплав переменной концентрации, богатый цинком, но по своим свойствам резко отличающийся от металлического цинка [7].

Структура такого слоя хорошо изучена и представляет собой слоистую систему: в глубине слоя является переходная зона от основного металла к самому слою – это  $\alpha$ -фаза – твердый раствор цинка в  $\alpha$ -железе (цинковый феррит) с максимальным содержанием цинка около 10 мас. % (при комнатной температуре 6 мас. %). Следующая за  $\alpha$ -фазой формируется  $\Gamma$ -фаза, которая представляет собой интерметаллическое соединение и может содержать до 28 % Fe. Эта фаза, с одной стороны, граничит с твердым раствором цинка в железе ( $\alpha$ -фазой), а с другой – с  $\delta$ -фазой. Она хорошо обнаруживается под микроскопом до и после травления шлифа. Дельта ( $\delta$ )-фаза также является интерметаллическим соединением, содержание железа в ней от 7 до 11,5 %. Несмотря на высокую микротвердость (порядка 4000 МПа),  $\delta$ -фаза относительно пластична [7].

Внешний вид образцов до и после проведения термодиффузионного цинкования в порошковой смеси на основе гартцинка показан на рис. 1.

Микроструктура слоя в сравнении с традиционным после добавления гартцинка в смесь практически не изменилась (рис. 2). Важным является резкое снижение кинетики насыщения, практически в 2 раза,



Рис. 1. Внешний вид образцов до цинкования (а) и после проведения термодиффузионного цинкования в порошковой смеси на основе гартцинка (б)

толщина слоя после 1 ч обработки составила около 20 мкм. Такое снижение скорости насыщения связано с меньшей диффузионной активностью смеси. По нашему мнению, частично компенсировать этот недостаток можно повышением температуры обработки, что было отмечено выше.

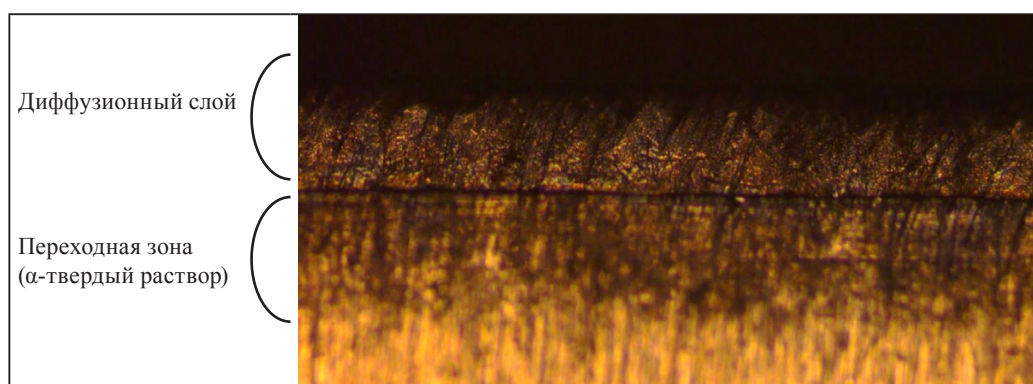


Рис. 2. Микроструктура слоя на стали марки 40Х после термодиффузионного цинкования в смеси с гартцинком без предварительного флюсования поверхности

В резьбовой части крепежных элементов имеются труднодоступные для порошковой насыщающей смеси впадины, насыщение в этих областях идет только газовым методом, контактного взаимодействия практически нет. Кроме того, очистка таких деталей не всегда получается достаточно хорошей. В результате есть предпосылки использования предварительного флюсования для подготовки поверхности перед насыщением.

В результате предварительного флюсования после обработки образцов формируется защитная пленка, которая, во-первых, защищает длительный период поверхность от образования очагов коррозионного повреждения, поэтому процесс термодиффузионного насыщения может проводиться значительно позже, чем подготовка, во-вторых, проявляет свое флюсующе-раскисляющее действие и способствует более активному насыщению, особенно, по нашему мнению, в период прогрева садки.

На рис. 3 показан слой, сформированный на выступающей резьбовой части крепежного элемента, полученный после флюсования в насыщающей среде с гартцинком. Необходимо отметить, что сплошность слоя достаточно хорошая, сколов трещин и отслоений не наблюдается. Сформированная в водном

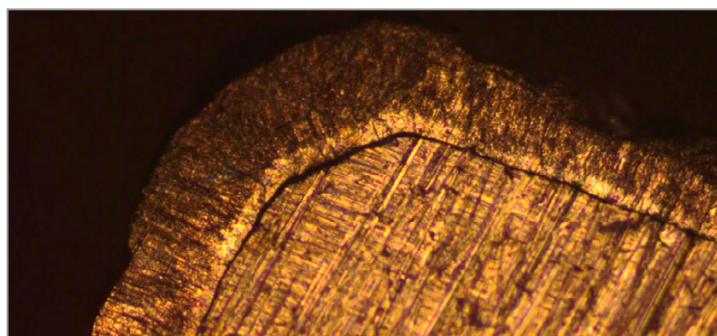


Рис. 3. Микроструктура слоя на стали 40Х после термодиффузионного цинкования в смеси с гартцинком с предварительным флюсованием поверхности

растворе флюса Neгаflux 10 пленка позволила значительно увеличить толщину слоя и несколько изменить структуру. В частности, уменьшилась, практически исчезла переходная зона. Поэтому следует полагать, что в диффузионном слое увеличится доля фаз, богатых цинком, что, очевидно, положительно скажется на коррозионной стойкости изделий.

### Выводы

Проанализированы некоторые технологические аспекты применения отходов горячего цинкования в качестве основного компонента порошковых насыщающих смесей. Отмечены преимущества и недостатки такого варианта синтеза смеси. Анализ микроструктуры на конструкционной стали марки 40X после обработки в смеси с гартцинком не показал существенных отличий, кроме толщины слоя, которая заметно снизилась, практически в 2 раза. Изменение отмечено лишь для условий предварительного флюсования. На образцах, подвергнутых такой обработке, улучшилось качество слоя. Поэтому представляется перспективным применение флюсования, особенно для деталей с резьбовыми элементами и сложной конфигурацией. Кроме того, при нарушениях периодичности обработки, т.е. когда детали после очистки длительное время находятся в окислительной атмосфере воздуха, такая пленка является консервационной, сохраняя изделие в подготовленном к термодиффузии состоянии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Szlapa I.** Influence of corrosion on chosen mechanical properties of fasteners – comparison of anticorrosion properties of zinc coatings. Doctor dissertation. WBMil ATH Bielsko-Biała, 2017.
2. **Jedrzejczyk D., Szlapa I., Skotnicki W., Waś-Solipiwo J., Jurasz Z.** Thermal diffusion as the alternative of hot-dip zinc coating for fasteners // 26<sup>th</sup> international conference on Metallurgy and materials. Metal 2017. May 24–26. 2017. Brn. P. 1059–1064.
3. **Константинов, В.М.** Анализ рынка цинка и цинковых отходов для получения антикоррозионных покрытий / В.М. Константинов, Д.В. Гегеня, М.И. Богданчик // *Металлургия: республ. межвед. сб. науч. тр.* Минск: БНТУ, 2015. Вып. 36. С. 272–283.
4. **Evans D.W.** Next generation technology for corrosion protection in ground support elements // 2014 Coal Operators' Conference, 12–14 February 2014. The University of Wollongong, Northfields Ave. Australia. P. 177–185.
5. **Константинов, В.М.** Создание синтетических насыщающих смесей для ТДЦ из отходов горячего цинкования / В.М. Константинов, Д.В. Гегеня // *Создание новых и совершенствование действующих технологий и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий.* Минск: БГТУ, 2014. С. 132–134.
6. **Урбанович, Н.И.** Влияние содержания насыщающего компонента в системе гартцинк –  $Al_2O_3$  на толщину покрытия, изменения размеров и массы образцов при термодиффузионном цинковании / Н.И. Урбанович, О.С. Комаров, В.И. Волосатиков, А.И. Лецко // *Литье и металлургия.* 2011. № 2. С. 54–56.
7. metal-archive.ru [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://metal-archive.ru/cinkovye-pokrytiya/48-diffuzionnoe-cinkovanie-parofazovym-metodom.html> Дата доступа: 29.09.2022.

### REFERENCES

1. **Szlapa I.** Influence of corrosion on chosen mechanical properties of fasteners – comparison of anticorrosion properties of zinc coatings, Doctor dissertation, WBMil ATH Bielsko-Biała, 2017.
2. **Jedrzejczyk D., Szlapa I., Skotnicki W., Waś-Solipiwo, J., Jurasz, Z.** Thermal diffusion as the alternative of hot-dip zinc coating for fasteners, 26<sup>th</sup> international conference on Metallurgy and materials, Metal 2017, May 24–26, 2017, Brno, Czech Republic, pp. 1059–1064.
3. **Konstantinov V.M., Gегenja D.V., Bogdanchik M.I.** Analiz rynka cinka i cinkovyh othodov dlja poluchenija antikorrozionnyh pokrytij [Analysis of the zinc and zinc waste market for anti-corrosion coatings]. *Metallurgija: respublikanskij mezhdомstvennyj sbornik nauchnyh trudov = Metallurgy: republican interdepartmental collection of scientific papers.* Minsk, BNTU Publ., 2015, vyp. 36, pp. 272–283.
4. **Evans D.W.** Next generation technology for corrosion protection in ground support elements, 2014 Coal Operators' Conference, 12–14 February 2014, The University of Wollongong, Northfields Ave, Australia, pp. 177–185.
5. **Konstantinov V.M., Gегenja D.V.** Sozdanie sinteticheskikh nasyshhajushhh smesej dlja TDC iz othodov gorjachego cinkovaniya [Creation of synthetic saturating mixtures for TDCs from hot-dip galvanizing waste]. *Sozdanie novyh i sovershenstvovanie dejstvujushhh tehnologij i oborudovaniya nanesenija gal'vanicheskikh i ih zameshhajushhh pokrytij = Creation of new and improvement of existing technologies and equipment for applying galvanic and their replacement coatings.* Minsk, BGTU Publ. 2014, pp. 132–134.
6. **Urbanovich N.I., Komarov O.S., Volosatikov V.I., Lecko A.I.** Vlijanie soderzhanija nasyshhajushhego komponenta v sisteme gartcink –  $Al_2O_3$  na tolshhinu pokrytija, izmenenie razmerov i massy obrazcov pri termодiffuzionnom cinkovanii [The influence of the content of the saturating component in the system hardzinc –  $Al_2O_3$  on the thickness of the coating, the change in the size and weight of the samples during thermal diffusion zinc plating]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy,* 2011, no. 2, pp. 54–56.
7. <https://metal-archive.ru/cinkovye-pokrytiya/48-diffuzionnoe-cinkovanie-parofazovym-metodom.html>.