



УДК 669.58

ПРАКТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ АНАЛИЗА КОРРОЗИИ ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСКОРЕННЫХ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ

В. М. КОНСТАНТИНОВ, Л. А. АСТРЕЙКО, П. С. МЫШКЕВИЧ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости 65. E-mail: NIL_USI@bntu.by.

Рассмотрено коррозионное поведение анодных цинковых покрытий. Отмечено, что коррозионная стойкость изделий с цинковым покрытием определяется его фазовым и химическим составом и свойствами продуктов коррозии, образующихся на нем, составом основного материала и окружающей агрессивной среды. Подчеркнута эффективность проведения сравнительных ускоренных коррозионных испытаний для объективной оценки надежности и долговечности цинковых и других антикоррозионных покрытий.

Ключевые слова. Цинковые покрытия, микроструктура, продукты коррозии, ускоренные коррозионные испытания.

THE PRACTICAL ASPECT OF CORROSION ANALYSIS OF ZINC COATINGS USING ACCELERATED TESTING METHODS

V. M. KONSTANTINOV, L. A. ASTREYKO, P. S. MYSHKEVICH, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: NIL_USI@bntu.by.

The corrosion behavior of anodic zinc coatings is considered. It is noted that the corrosion resistance of zinc-coated products is determined by the phase and chemical composition of such a coating and the properties of corrosion products formed on it, the composition of the base material and the aggressive environment. The effectiveness of comparative accelerated corrosion tests for an objective assessment of the reliability and durability of zinc and other anticorrosive coatings is emphasized.

Keywords. Zinc coatings, microstructure, corrosion products, accelerated corrosion tests.

Известно, что цинк и его сплавы обеспечивают надежную и долгосрочную защиту стали от коррозии в атмосфере, являясь анодными по отношению к защищаемым стальным изделиям, обеспечивая не только барьерную, но и электрохимическую защиту.

Наиболее часто применяемые способы нанесения цинкового защитного слоя – горячее и термодиффузионное цинкование. Метод горячего цинкования, при котором цинковое покрытие создается путем погружения изделия в расплавленный цинк при температуре 450–480 °С, очень напоминает процесс термодиффузии. В обоих случаях создается диффузионный слой покрытия: 100% Zn; FeZn₁₃, FeZn₇, Fe₃Zn₁₀ после горячего цинкования и FeZn₇, Fe₁₁Zn₄₀, 50% Fe после термодиффузии [1]. Метод получения цинкового покрытия влияет на его структурно-фазовое состояние (рис. 1), содержание цинка на поверхности, кристаллический тип фазы и, как следствие, на коррозионную стойкость покрытия. В реальных условиях эксплуатации различные типы цинковых покрытий могут быть интерпретированы как покрытия с характеристиками, аналогичными свойствам чистого цинка. Тем не менее на коррозионную активность также оказывают влияние состав и физико-химические особенности пленок продуктов коррозии.

Сравнительные испытания проводятся путем сравнения образцов, которые находятся в одинаковых химических и температурных условиях в течение длительного времени. Это помогает провести прогнозирование процесса коррозии конкретных изделий и отдельных узлов механизмов с покрытиями в течение длительных периодов их реального использования в условиях воздействия агрессивной внешней среды.

Как известно, основными продуктами коррозии цинковых покрытий являются оксид ZnO и гидроксид цинка Zn(OH)₂, а также основные соли (рис. 2). Основными характеристиками пленки, влияющими на коррозионную стойкость, будут плотность и электропроводность. Плотный слой оксида с низкой электропроводностью будет создавать механический барьер для диффузии активных компонентов электролита и кислорода и тормозить перенос электронов. Изучение продуктов коррозии после длительного времени

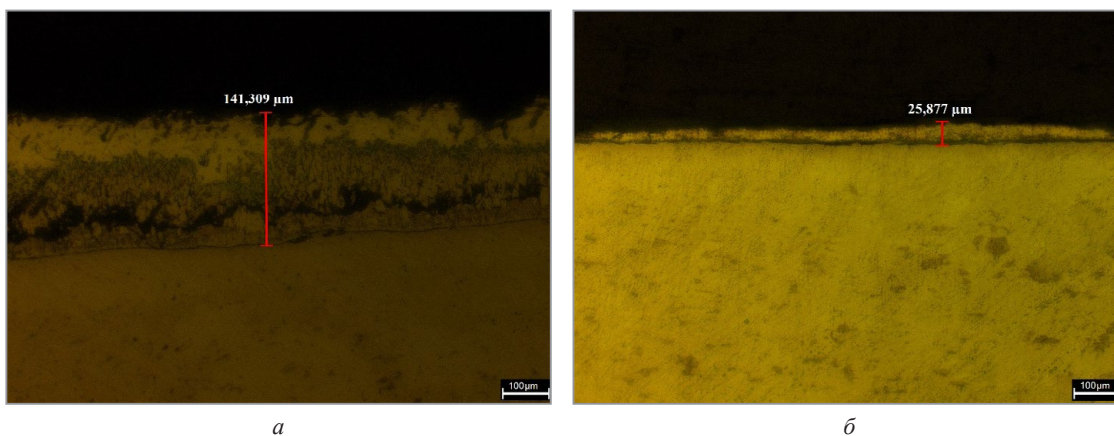


Рис. 1. Микроструктуры цинковых слоев: *а* – микроструктура слоя после горячего цинкования. $\times 200$; *б* – микроструктура слоя после термодиффузионного цинкования. $\times 200$

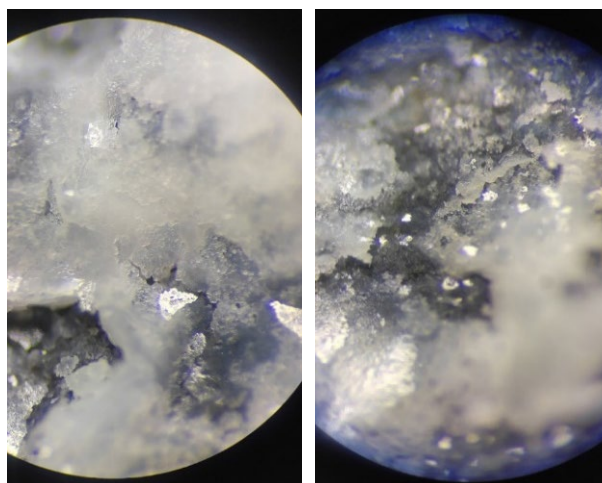
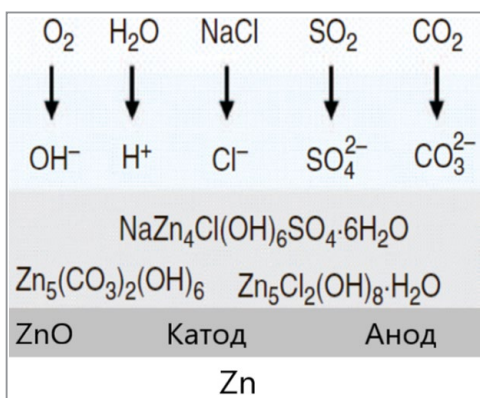


Рис. 2. Продукты коррозии цинкового покрытия: *а* – образование продуктов коррозии цинкового покрытия в условиях морской атмосферы [3]; *б* – пленка основных солей цинка в условиях ускоренных коррозионных испытаний, различимая с применением методов оптической микроскопии. $\times 30$

выдержки (13–16 лет) в различных типах атмосфер показало, что образование основных солей цинка (симоноклеита и гидрoцинкита) значительно улучшает долговременную защиту от коррозии. Присутствие в поверхностной зоне цинковых покрытий атомов металлов позволяет изменять состав продуктов коррозии на оцинкованных изделиях, повышая их стойкость к дальнейшему коррозионному разрушению, снижая интенсивность коррозионного разрушения защитного покрытия в целом [2]. Поэтому для сравнительной оценки коррозионной стойкости цинковых покрытий нужно анализировать структуру и состав материала как обрабатываемого изделия, так и самого покрытия; агрессивность среды, так как это позволит смоделировать условия испытаний, а следовательно, получить наиболее достоверные результаты; температуру эксплуатации изделий с покрытием, потому что она влияет на скорость протекания коррозионных процессов.

Такие факторы, как механические нагрузки, вибрации, трение и другие особенности эксплуатации, могут ускорить коррозию и учитывать их также необходимо как при уже наступившем коррозионном разрушении, так и при процессах прогнозирования срока службы изделия с покрытием.

Сравнительные ускоренные коррозионные испытания (рис. 3) позволяют быстро оценить, сравнить и оптимизировать затраты и в кратчайшие сроки внедрить новые или откорректированные технологии в производство. Например, камера соляного тумана при повышенной температуре (35–50 °C) дает возможность существенно ускорить коррозионное старение материала (ISO 9227).

Из результатов ранее выполненных исследований установлено, что коррозионная стойкость термодиффузионного цинкового покрытия выше в 3–4 раза по сравнению с гальваническим покрытием и в 1,8 раза горячеоцинкованного покрытия (рис. 4). Основной эффект антикоррозионной защиты стальных изделий достигается за счет наличия интерметаллидных фаз в диффузионном слое.

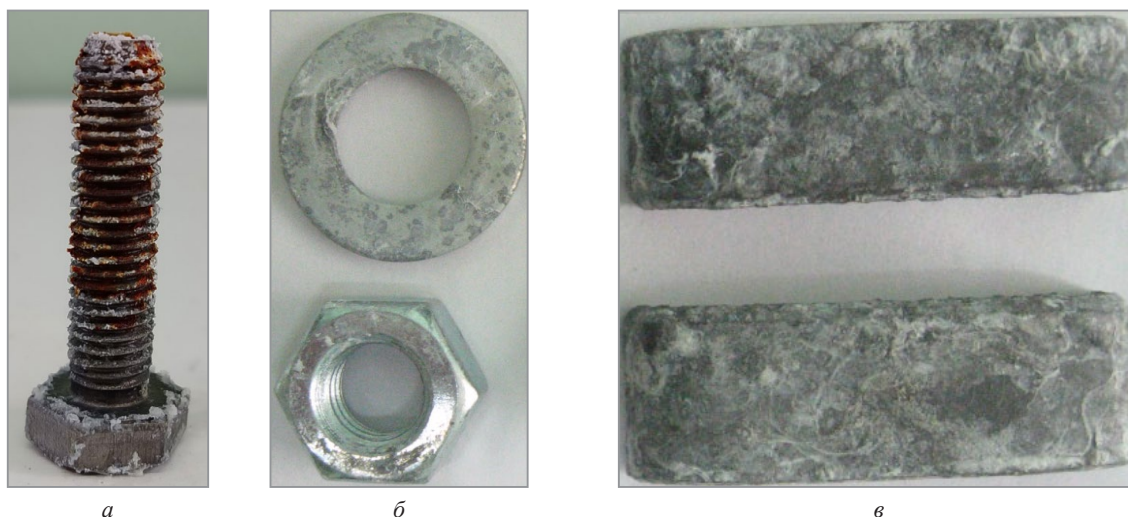


Рис. 3. Состояние поверхности образцов с цинковыми покрытиями после 96 ч ускоренных коррозионных испытаний в камере соляного тумана: *а* – состояние поверхности гальванически оцинкованного образца; *б* – состояние поверхности горяче-оцинкованных образцов; *в* – состояние поверхности образца, оцинкованного термодиффузионным способом

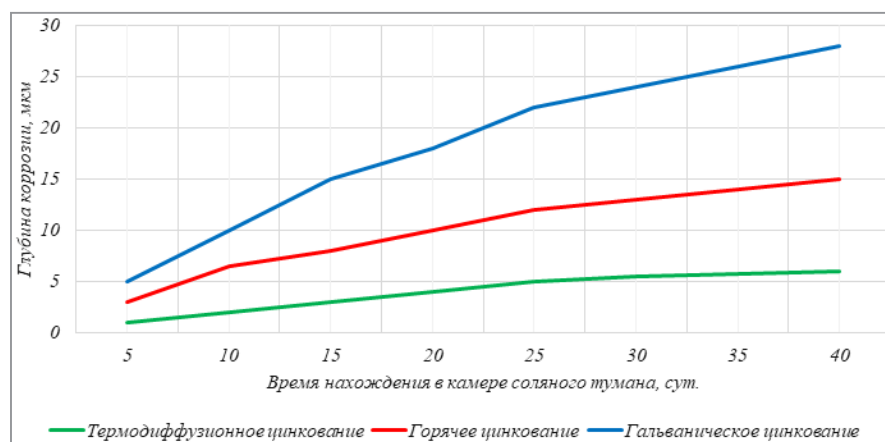


Рис. 4. Кинетика коррозии цинковых покрытий в условиях ускоренных коррозионных испытаний в камере соляного тумана

Испытания на коррозионную стойкость в камере нейтрального соляного тумана проводят по ГОСТ 9.308-85. Таким образом, они позволяют не только оценить за короткий промежуток времени качество новых перспективных покрытий, но и выбрать способы улучшения защитных свойств последних при использовании технологии флюсования, пассивации, фосфатирования и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. **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.
2. **Булойчик, И.А.** Управление составом продуктов коррозии диффузионных покрытий на основе цинка / И.А. Булойчик // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 11-й Междунар. науч.-техн. конф. Т. 1.– Минск: БНТУ, 2013.– С. 361–362.
3. **Gilbert P.T.** The nature of zinc corrosion products. *Journal of The Electrochemical Society*. 1952;99(1): 16–21. <https://doi.org/10.1149/1.2779652>

REFERENCES

1. **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.
2. **Bulojchik I.A.** Upravlenie sostavom produktov korrozii diffuzionnyh pokrytij na osnove cinka [Control of the composition of corrosion products of zinc-based diffusion coatings]. *Nauka – obrazovaniju, proizvodstvu, jekonomike: materialy 11-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii = Science for education, production, economics: materials of the 11th International scientific and technical conference*, Minsk, BNTU Publ., 2013, vol1, pp. 361–362.
3. **Gilbert P.T.** The nature of zinc corrosion products. *Journal of The Electrochemical Society*. 1952;99(1): 16–21. <https://doi.org/10.1149/1.2779652>