

УДК 620.178.311:868

В. А. Ашуйко¹, Л. Н. Новикова¹, В. Г. Матыс¹, Н. И. Урбанович², К. Э. Барановский²¹Белорусский государственный технологический университет²Белорусский национальный технический университет**ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ
ЦИНКСОДЕРЖАЩИХ КРАСОК НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА
ГОРЯЧЕОЦИНКОВАННОЙ СТАЛИ**

В статье приведены результаты потенциометрических определений образцов стали, покрытых цинксодержащими красками. Экспериментальные составы цинксодержащих красок готовили на основе пленкообразователей: жидкого стекла, этилсиликатного и акрилового связующего, которые были предоставлены производителем красок ООО «Гальварекс». Оценку коррозионной стойкости покрытий проводили с использованием потенциодинамического метода. На основании полученных катодных и анодных потенциодинамических кривых определяли токи коррозии образцов и делали вывод о коррозионной устойчивости покрытий.

Ключевые слова: отходы, горячее цинкование, получение, цинксодержащие краски, поляризационные кривые, коррозионная стойкость.

V. A. Ashuyko¹, L. N. Novikova¹, V. G. Matys¹, N. I. Urbanovich², K. E. Baranovskiy²¹Belarusian State Technological University²Belarusian National Technical University**SYNTHESIS AND RESEARCH OF THE CORROSION PROPERTIES
OF ZINC-CONTAINING PAINTS BASED ON HOT-DIP GALVANIZED
STEEL PRODUCT WASTES**

The article presents the results of potentiometric determination of steel samples coated with zinc-containing paints. Experimental compositions of zinc-containing paints were prepared on the basis of film-forming agents: liquid glass, ethyl silicate and acrylic binder, which were provided by the paint manufacturer LLC "Galvarex". Assessment of corrosion resistance of coatings was carried out using the potentiodynamic method. Based on the obtained cathode and anode potentiodynamic curves, the corrosion currents of the samples were determined and the corrosion resistance of the coatings was concluded.

Key words: wastes, hot-dip galvanizing, synthesis, zinc-containing paints, polarization curves corrosion resistance.

Введение. Цинкование считается одним из самых надежных, экономичных и потому распространенных способов защиты железа и стали от коррозии [1]. Горячеоцинкованная сталь применяется в химической промышленности, для изготовления площадок, помостов, решетчатых настилов, лестничных ступеней, ограждений и т. д. Толщина цинкового слоя колеблется от 30 до 100 мкм, обычно – от 45 до 65 мкм.

Недостатками данного способа антикоррозионной защиты признаются такие факторы:

- сравнительно большой расход цинка на выполнение операции;
- определенная неравномерность цинкового слоя;
- возможность обрабатывать только те детали, чьи геометрические параметры не превышают размеров ванны, в которой производится цинкование;
- невозможность получить покрытия ультратонкой толщины (менее 2–3 микрон);

– сложности, возникающие при последующей обработке конструкций, прошедших цинкование по горячей схеме (в частности, они очень плохо поддаются сварке).

Среди способов защиты металлов от коррозии часто используют нанесение на защищаемую поверхность цинкнаполненных красок.

Согласно последним исследованиям ученых уже в ближайшие десятилетия возрастающий дефицит сырьевой базы многих базовых металлов (в том числе и цинка) приведет к резкому повышению их стоимости. В результате этого наблюдается устойчивая тенденция повышения использования лома и отходов цветных металлов. Особенно вышесказанное актуально для Республики Беларусь, которая не имеет своего цинксодержащего сырья, поэтому вынуждена закупать цинксодержащие краски или цинковый порошок для производства красок за рубежом. Однако в Республике Беларусь существуют производства горячего цинкования, в частности ОАО «Речицкий метизный завод». В процессе

горячего цинкования образуются около 100 т в год цинковой пыли, которую можно использовать для получения цинкнаполненных красок, грунтовок.

Цинкнаполненные краски содержат в составе до 96% цинка чистотой 98,00–99,99% и могут защищать сталь от коррозии так же надежно, как при «горячем» способе цинкования. Поэтому способ часто называют холодным цинкованием.

Цинкнаполненные краски отличаются долговечностью и используются, как правило, для защиты стальных сооружений, эксплуатируемых в жестких условиях коррозионного воздействия. Широкому использованию цинкнаполненных лакокрасочных покрытий способствует простая технология окраски, допускающая возможность их нанесения на крупногабаритные конструкции в полевых условиях.

Какое-то время после нанесения покрытие еще имеет пористую структуру, пропускающую минимальное количество влаги к железу, и цинксодержащее покрытие защищает железо активным, катодным способом. Но при взаимодействии цинка с влагой и воздухом на его поверхности образуются оксид и гидроксид, происходит уплотнение структуры покрытия, оно перестает пропускать влагу и воздух. Вступает в силу пассивная, барьерная защита. Однако если целостность покрытия будет нарушена (дефекты, царапины, трещины), в силу снова вступает катодная, активная защита [2–4].

При коррозии образуются соединения цинка, которые «залечивают» возникающие дефекты, останавливая процесс коррозии и предотвращая ее дальнейшее проявление.

Из литературных источников [5, 6] известно, что качество покрытия во многом зависит от основного компонента краски – мелкодисперсного порошка (пыли) цинка. Параметры частиц и количественное содержание цинка играют основную роль в качестве покрытия. Показано, что оптимальный размер частиц цинковой пыли, обеспечивающий достижение эффективной электрохимической защиты металла цинксодержащим покрытием и требуемых технологических свойств, составляет 3–15 мкм. Согласно ISO 3549, содержание металлического цинка в пигменте из цинковой пыли должно быть не менее 94%, а общее содержание цинка – не менее 98%. Допускается также присутствие таких примесей, как свинец ($\leq 0,2\%$); кадмий ($\leq 0,1\%$); железо ($\leq 0,05\%$); мышьяк ($\leq 0,0005\%$); хлор ($\leq 0,005\%$); оксид цинка – остальное.

Основная часть. Целью данной работы являются проведение оценки возможности использования отхода горячего цинкования – цинковой пыли – для получения цинкнаполненных

красок и изучение их антикоррозионных свойств.

В работе проведены определения морфологии и размера частиц отхода горячего цинкования – цинковой пыли – с использованием сканирующего электронного микроскопа Vega II LMU. Определение химического состава отхода осуществляли с применением рентгенофлуоресцентного микроанализатора INKA 350.

Результаты исследований показали, что отход (цинковая пыль) представляет собой частицы в основном круглой формы и размером от 3 до 200 мкм (рис. 1).

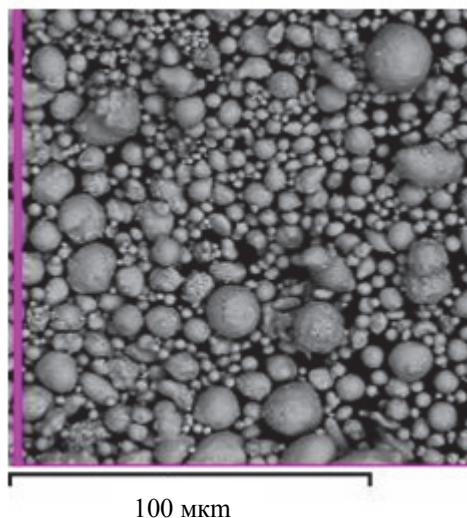


Рис. 1. Отход горячего цинкования – цинковая пыль (морфология и размер частиц)

Анализ состава цинковой пыли позволил установить, что по химическому составу она в основном соответствует требованиям ISO 3549. Присутствие в составе цинковой пыли свинца, содержание которого находится несколько выше допустимого уровня, будет учитываться при разработке окончательных составов цинкнаполненных красок.

Так как для изготовления краски рекомендуется использовать цинковый порошок с размером частиц в диапазоне 3–5 мкм, необходимо было провести рассев цинковой пыли по фракциям. Для отделения более крупной фракции проводили ситовый анализ ручным способом с использованием лабораторных сит. Результаты отсева выглядят следующим образом: 18% составила фракция размером ≥ 100 мкм; размер фракции от 63 до 100 мкм – 9% и 73% – фракция размером ≤ 63 мкм. Цинковую пыль с размером частиц ≤ 63 мкм подвергали дальнейшему отсева с использованием воздушно-центробежного классификатора фирмы «Ламел 777». Результаты отсева по фракциям исходной цинковой пыли представлены на рис. 2.

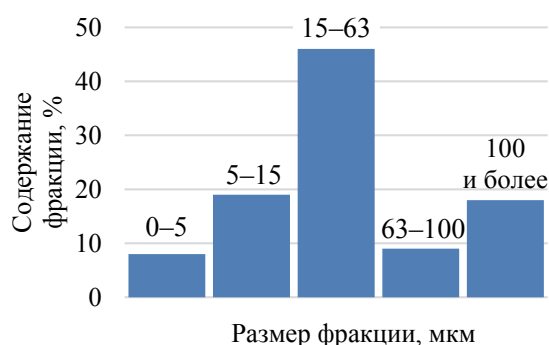


Рис. 2. Фракционный состав отхода горячего цинкования – цинковой пыли

Как видно из рис. 2, цинковая пыль содержит частицы размером ≤ 15 мкм (рис. 3), что составляет порядка 27% от ее фракционного состава. Ее можно рекомендовать для изготовления цинкнаполненных красок.

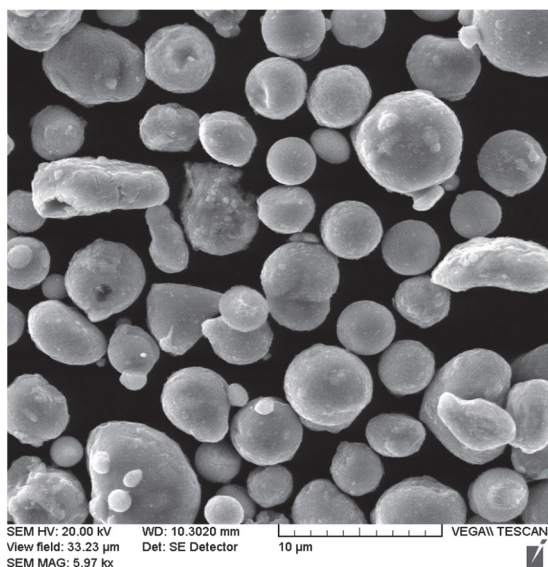


Рис. 3. Отход горячего цинкования – цинковая пыль размером 3–15 мкм

Перед использованием отходов горячего цинкования для получения красок отобранная фракция цинковой пыли подвергалась плющению.

Для оценки коррозионной стойкости покрытий использовался метод снятия катодных и анодных поляризационных кривых и метод импедансной спектроскопии. С целью проведения данных испытаний были получены электроды (20×20 мм), которые вырезались из стального листа толщиной 1,5 мм марки Ст3 с помощью гильотинных ножниц и установок лазерной резки. Поверхность образцов перед нанесением цинксодержащих красок предварительно обрабатывалась в пескоструйном аппарате. Затем образцы обезжиривались в ацетоне, промывались дистиллированной водой и высушивались на воздухе.

Стальные электроды покрывались цинксодержащими составами. Составы композиций и средняя толщина покрытий приведены в табл. 1.

Таблица 1

Состав и толщина покрытий образцов цинксодержащими композициями (условия изготовления – лабораторные; разные партии)

Номер образца и композиции	Форма частиц фракции, 3–15 и 5–15 мкм	Пленкообразователь (связующее)	Средняя толщина пленки, мкм
01; 0.1	Круглая, марка Inst 800, 3–15	Жидкое стекло	89; 92
02; 0.2	Круглая, марка Inst 800, 3–15	Этилсиликатный полимер	72; 50
03; 0.3	Круглая, марка Inst 800, 3–15	Полиакрилат	45; 48
11; 1.1	Отход горячего цинкования, круглая, 5–15	Жидкое стекло	72; 93
12; 1.2	Отход горячего цинкования, круглая, 5–15	Этилсиликатный полимер	48; 46
13; 1.3	Отход горячего цинкования, круглая, 5–15	Полиакрилат	48; 73

Для выявления защитного эффекта связующего на поверхности образца использовали капельный метод. Испытания защитных свойств методом капли проводились с применением раствора уксуснокислого свинца 50 г/дм^3 (ГОСТ 9.302–88). Для этого капля раствора помещалась на поверхность образца и отмечалось время до появления сплошного темного пятна в результате диффузии ионов свинца через связующее к поверхности цинка и протекания реакции контактного выделения свинца.

Время появления сплошного темного пятна характеризует пористость покрытия. Чем больше это время, тем меньше пористость связующего и больше его защитный эффект. Результаты трех измерений каждого образца приведены в табл. 2. Для определений выбирались образцы с одинаковой или близкой толщиной покрытия.

Таблица 2

Средние результаты опытов

Номер образца	Среднее время потемнения основания капли, с
0,1	126,33
0,2	13,4
0,3	9,25
1,1	137,28
1,2	15,11
1,3	10,21

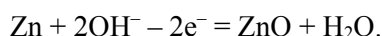
Большее значение среднего времени потемнения основания капли на образцах, покрытых цинксодержащим составом на основе жидкого стекла, по сравнению с красками на основе других связующих, возможно, связано с малой скоростью диффузии ионов Pb^{2+} к поверхности цинка. Пористость покрытия сильно влияет на доступность и смачивание частиц цинка.

Потенциостатическая поляризация применяется при исследованиях металла в пассивном состоянии. Продолжительность выдержки в этом случае определяется по моменту стабилизации анодного тока.

Коррозионные исследования проводили с использованием потенциостата/гальваностата Metrohm Autolab PGSTAT 302N в стандартной трехэлектродной ячейке с боковым креплением рабочего электрода (изучаемый образец), насыщенным хлоридсеребряным электродом сравнения (нхсэ) и вспомогательным платиновым электродом. Для расчетов использовалась программное обеспечение «IPC2000». Все потенциалы в работе пересчитаны в шкалу стандартного водородного электрода.

Электрохимическим методом поляризационных кривых определялись потенциалы и токи коррозии образцов в 3%-ном растворе NaCl. Перед снятием поляризационных кривых образец выдерживался в растворе ~25 мин до установления постоянного значения потенциала. Затем проводилась поляризация образца от стационарного потенциала в катодную область со скоростью 1 мВ/с до потенциала ~ -1,3 В (нхсэ). Далее направление развертки изменялось и электрод поляризовался в анодную область до достижения анодной плотности тока ~0,1 А/см², после чего направление развертки потенциала снова изменялось. Таким образом регистрировалось 2 цикла поляризационных кривых в диапазоне потенциалов от ~ -1,3 до ~ -0,9 В (нхсэ).

Поляризационные кривые изученных образцов в 3%-ном растворе NaCl представлены на рис. 4. Составы цинксодержащих покрытий приведены в табл. 1. На анодных ветвях кривых можно отметить нечетко выраженный максимум тока при потенциалах около -1,25 В (отн. нхсэ), который, вероятно, соответствует реакции образования оксида цинка [7, 8] на восстановленной поверхности цинка после катодной поляризации до -1,3 В:



Плотность тока коррозии и потенциал коррозии определяли методом экстраполяции [9] по пересечению экстраполированных прямолинейных участков тафелевских поляризационных кривых. Определенные таким образом значения потенциалов и тока коррозии усредняли по 2 параллельным опытам.

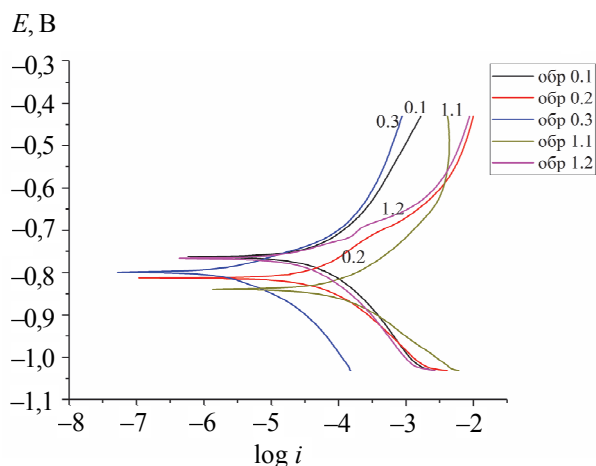


Рис. 4. Катодные и анодные поляризационные кривые, полученные в 3%-ном растворе NaCl, для образцов № 0.1; 0.2; 0.3; 1.1; 1.2, покрытых цинксодержащими составами

Плотности токов коррозии разных образцов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Потенциалы и плотности тока коррозии цинка в 3%-ном растворе NaCl

Номер образца	$E_{корр}$, В	$lg i_{корр}$	$i_{корр}$, А/м ²
0.1	-1,002	-5,8594	0,1382
0.2	-1,012	-6,0733	0,08444
0.3	-1,002	-6,2112	0,06014
1.1	-1,005	-5,9565	0,1105
1.2	-1,005	-6,0680	0,08551
1.3	-1,005	-6,1634	0,06863

Плотность тока коррозии и потенциал коррозии определяли методом экстраполяции [9] по пересечению экстраполированных прямолинейных участков тафелевских поляризационных кривых. Средние значения потенциалов и плотности тока коррозии определяли по 2 параллельным опытам.

При гальваностатическом методе потенциал становится постоянным в течение длительного времени (иногда более 1 сут). Поэтому для всех плотностей тока ограничивались выдержкой 1 ч.

На основании данных электрохимических исследований рассчитывали весовой и глубинный показатели коррозии по формулам [9]:

$$K_m = i_{корр} \cdot q_{Zn} = \frac{i \cdot v \cdot M}{z \cdot F};$$

$$\Pi = \frac{K_m}{\rho} \cdot 8,76,$$

где K_m – весовой показатель коррозии, г/м²·ч; $i_{корр}$ – плотность тока коррозии, А/м²; q_{Zn} – электрохимический эквивалент цинка, г/(А·ч); v – число

молей, моль; M – молярная масса цинка, г/моль; z – число электронов, моль; F – число Фарадея, $F = 26,8$ А·ч/моль; Π – глубинный показатель коррозии, мм/год; ρ – плотность цинка, $\rho = 7,133$ г/см³; 8,76 – коэффициент, учитывающий перевод единиц измерения.

По глубинному показателю коррозии оценивали коррозионную стойкость цинка, пользуясь десятибалльной шкалой (ГОСТ 131819–68). По десятибалльной шкале для оцинкованной стали глубинный показатель коррозии равен 8 баллам стойкости и относится к малостойким покрытиям.

Для цинка весовой и глубинный показатель равны:

$$K_m = 63 \cdot 10^{-2} \cdot 1,22 = \frac{63 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 65,4}{2 \cdot 26,8} = 1,537 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{ч)}$$

$$\Pi = \frac{1,537}{7,133} \cdot 8,76 = 1,88 \text{ мм/год.}$$

Метод электрохимической импедансной спектроскопии (ЭИС) использовался для изучения коррозии образцов в контакте с 3,5%-ным NaCl [10]. Снятие импедансных спектров проводили на потенциостате/гальваностате Autolab PGNST 302N, оснащённом модулем импедансной спектроскопии FRA 32N. Спектры снимали при значении стационарного потенциала через 1 ч после погружения образцов в раствор, диапазон частот измерения составлял 10^6 – 10^{-2} Гц, амплитуда колебаний – 10 мВ, количество точек на декаду колебаний – 10. На рис. 5 приведены характерные спектры импеданса образцов 1.1, 1.2 и 1.3 в 3%-ном растворе NaCl. Метод основан на представлении, что металл с покрытием при погружении в электролит описывается эквивалентной электрической схемой, в которой емкость и сопротивление соединены параллельно, иными словами, в первый момент соприкосновения с электролитом система может рассматриваться как конденсатор с потерями, в котором металл и электролит являются обкладками, а диэлектрической прокладкой – пассивное покрытие.

Результаты расчетов весового K_m и глубинного Π показателя коррозии по полученным спектрам ЭИС для образцов, покрытых цинковыми красками на основе акрилового связующего, приведены в табл. 4. Для расчетов использовали также данные весовых определений.

По мере увеличения несплошности покрытия и появления участков с прямой проводимостью электролит достигает поверхности металла, и измеряемая емкость будет определяться суммой электрической и электрохимической составляющих. Электрическая емкость мала по величине и не зависит от частоты, а электрохимическая

емкость сильно зависит от частоты и возрастает по величине под воздействием электролита NaCl. Сопротивление зависит от частоты переменного тока в том случае, когда покрытие обладает высокими изоляционными свойствами, что характерно для начального момента воздействия электролита на лакокрасочное покрытие и для покрытий с высокими защитными свойствами.

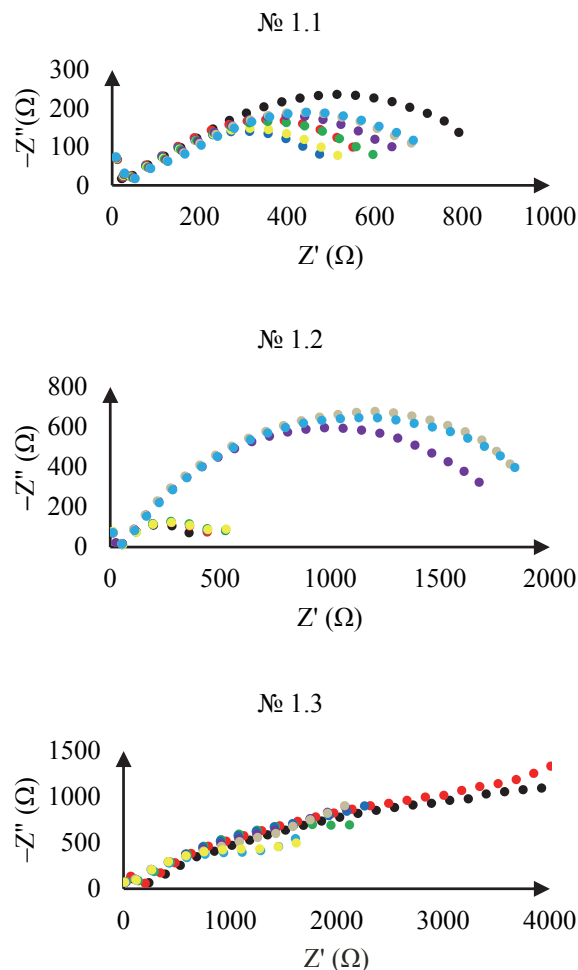


Рис. 5. Импеданс спектры (ЭИС) образцов 1.1, 1.2 и 1.3, полученные через каждый час выдержки в течение восьми часов

Для покрытий с низкими защитными свойствами характерно отсутствие или малая зависимость сопротивления от частоты.

На рис. 5 приведены импеданс спектры (ЭИС) образцов 1.1, 1.2 и 1.3, снятые через каждый час. Как видно из рис. 5, увеличение времени коррозионных испытаний приводит к изменению характера спектров ЭИС. На диаграммах Найквиста помимо первой появляется вторая и другие полуокружности и происходит постепенное увеличение во времени их диаметров, что объясняется увеличением степени экранирования частиц цинка продуктами коррозии.

Таблица 4

**Коррозионная стойкость нескольких образцов, покрытых цинксодержащими составами
в 3%-ном растворе NaCl**

Номер образца	Время опыта τ , ч	Плотность тока коррозии $i_{кор}$, А/м ²	Потеря массы образца Δm , г	Площадь образца S , м ²	Массовый показатель коррозии $K_{m.o}$, г/(м ² ·ч)	Глубинный показатель коррозии Π , мм/год
03	52	0,0615	0,0066	0,006566	0,01933	0,02771
0.3	52	0,0601	0,0088	0,008824	0,02256	0,02374
13	52	0,06218	0,0272	0,006901	0,07580	0,09312
1.3	52	0,06863	0,0307	0,007056	0,08367	0,10279

По результатам определений для данных образцов рассчитан глубинный показатель (табл. 5).

Таблица 5

Плотность тока и глубинный показатель коррозии образцов на основе акрилового связующего

Образец	Время выдержки, ч	Плотность тока коррозии, I , А/см ²	Средний глубинный показатель коррозии Π , мм/год
1.1	2	0,0001878	5,6332
1.1	6	0,0001369	4,1056
1.2	2	0,00007967	2,3895
1.2	6	0,00006989	2,0963
1.3	2	0,000022249	0,6673
1.3	6	0,00002417	0,7248

Заключение. Таким образом, анализ фракционного состава цинковой пыли позволил установить, что размер фракции, представляющий интерес для использования в цинкнаполненных красках, составляет 27% от общей массы отхода. Следует отметить, что отход горячего цинкования – цинковая пыль – является перспективным материалом для изготовления цинксодержащих лакокрасочных покрытий.

Результаты исследования защитных свойств электрохимическим методом показали, что все цинксодержащие составы проявляют высокие антикоррозионные свойства и могут использоваться для защиты стали от коррозии. На основании проведенных определений лучшие антикоррозионные защитные свойства проявили составы на основе акрилового связующего.

Для образцов, покрытых разными цинксодержащими составами, определены плотности токов коррозии, весовые ($K_{m.o}$, г/(м²·ч)) и глубинные показатели коррозии (Π , мм/год), приведенные в табл. 4 и 5.

Литература

1. Сравнение Цинкор-Барьер с другими видами защиты от коррозии [Электронный ресурс] // Сайт компании «Барьер-Цинк». URL: <http://barierzink.by/statie/anticor/sravnenie-s-zinkovaniem/> (дата обращения: 22.10.2019).
2. Forsgren A. Corrosion Control through Organic Coatings. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group LLC, 2006. 167 p.
3. Цинкор – защита металла от коррозии [Электронный ресурс] // Сайт компании «ЦИНКОР». URL: https://zincor-lkm.ru/articles/holodnoe-cinkovanie/obzor_sostavov_holodnogo_tsinkovaniya/#tsink (дата обращения: 22.10.2019).
4. Hare C. H. Zinc-rich primers I: design principles // Journal of Protective Coatings & Linings. 1998. P. 17–38.
5. Павлович А. В., Владенков В. В., Изюмский В. Н. Цинкнаполненные антикоррозионные грунтовки // Лакокрасочная промышленность. 2010. № 3. С. 38–46.
6. Дринберг А. С., Ицко Э. Ф., Калинская Т. В. Антикоррозионные грунтовки. М.: ООО «Пейнт-медиа», 2008. 168 с.
7. Flitt H. J., Schweinsberg D. P. Synthesis, matching and deconstruction of polarization curves for the active corrosion of zinc in aerated near-neutral NaCl solutions // Corrosion Science. 2010. Vol. 52, no. 6. P. 1905–1914.
8. Розенфельд И. Л., Рубинштейн Ф. И., Жигалова К. А. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями. М.: Химия, 1987. С. 56–68.
9. Коррозия и защита металлов: лаб. практикум / сост.: Н. П. Иванова, И. М. Жарский. Минск: БГТУ, 2007. С. 94.
10. Schaefer K., Miszczyk A. Improvement of electrochemical action of zinc-rich paints by addition of nanoparticulate zinc // Corrosion Science. 2013. Vol. 66. P. 380–391.

11. Bierwagen G., Hea L., Tallman D. Time-temperature effects in polymer coatings for corrosion protection as analyzed by EIS, Macromolecular Symposia, Special Issue: Coatings // *Progress in Organic Coatings*. 2002. Vol. 187. P. 909–918.

12. EIS studies of coated metals in accelerated exposure / G. Bierwagen [et al.] // *Progress in Organic Coatings*. 2003. Vol. 46. P. 148–157.

References

1. *Sravnienie Tsinkor-Bar'er s drugimi vidami zashchity ot korrozii* [Comparison of Zinc-Barrier with other types of corrosion protection]. Available at: <http://barierzink.by/statie/anticor/sravnienie-s-zinkovaniem> (accessed 22.10.2019).

2. Forsgren A. Corrosion Control through Organic Coatings. Boca Raton, FL, Taylor & Francis Group LLC, 2006. 167 p.

3. *Tsinkor – zashchita metalla ot korrozii* [Zinc-metal protection from corrosion]. Available at: https://zincor-lkm.ru/articles/holodnoe-cinkovanie/obzor_sostavov_holodnogo_tsinkovaniya/#tsink (accessed 22.10.2019).

4. Hare C. H. Zinc-rich primers I: design principles. *Journal of Protective Coatings & Linings*, 1998, pp. 17–38.

5. Pavlovich A. V., Ladenkov V. V., Izyumsky V. N. Cinnabarine anti-corrosive primer. *Lakokrashchnaya promyshlennost'* [Paint and varnish industry], 2010, no. 3, pp. 38–46 (In Russian).

6. Drinberg A. S., Itsko E. F., Kalinskaya T. V. *Antikorrozionnye gruntovki* [Anticorrosive primers]. Moscow, Paint-media LLC, 2008. 168 p.

7. Flitt H. J., Schweinsberg D. P. Synthesis, matching and deconstruction of polarization curves for the active corrosion of zinc in aerated near-neutral NaCl solutions. *Corrosion Science*, 2010, vol. 52, no. 6, pp. 1905–1914.

8. Rosenfel'd I. L., Rubinshtein F. I., Zhigalova K. A. *Zashchita metallov ot korrozii lakokrashchnymi pokryt'yami* [Protection of metals from corrosion by paint and varnish coatings]. Moscow, Khimiya Publ., 1987. Pp. 56–68.

9. *Korroziya i zashchita metallov: laboratornyy praktikum* [Corrosion and protection of metals: workshop]. Comp. N. P. Ivanova, I. M. Zharsky. Minsk, BSTU Publ., 2007. P. 94.

10. Schaefer K., Miszczyk A. Improvement of electrochemical action of zinc-rich paints by addition of nanoparticulate zinc. *Corrosion Science*, 2013, vol. 66, pp. 380–391.

11. Bierwagen G., Hea L., Tallman D. Time-temperature effects in polymer coatings for corrosion protection as analyzed by EIS, Macromolecular Symposia, Special Issue: Coatings. *Progress in Organic Coatings*, 2002, vol. 187, pp. 909–918.

12. Bierwagen G., Tallman D., Li J., Hea L., Jeffcoate C. EIS studies of coated metals in accelerated exposure. *Progress in Organic Coatings*, 2003, vol. 46, pp. 148–157.

Информация об авторах

Ашуйко Валерий Аркадьевич – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ashuiko@belstu.by

Новикова Лариса Николаевна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: novikova@belstu.by

Матыс Владимир Генрихович – кандидат химических наук, доцент кафедры химии, технологии электрохимических производств и материалов электронной техники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: vmatys@belstu.by

Урбанович Наталья Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов». Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, Республика Беларусь). E-mail: urbanovichbntu@tut.by

Барановский Константин Эдуардович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник. Научно-технологический парк Белорусского национального технического университета «Политехник» (220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, Республика Беларусь). E-mail: baranovsky_metolit@tut.by

Information about the authors

Ashuyko Valeriy Arkad'yevich – PhD (Chemistry), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Chemistry, Technology of Electrochemical Industry and Materials of Electronic Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ashuiko@belstu.by

Novikova Larisa Nikolaevna – PhD (Chemistry), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Chemistry, Technology of Electrochemical Industry and Materials of Electronic Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: novikova@belstu.by

Matys Vladimir Genrikhovich – PhD (Chemistry), Assistant Professor, the Department of Chemistry, Technology of Electrochemical Industry and Materials of Electronic Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vmatys@belstu.by

Urbanovich Natalia Ivanovna – PhD (Engineering), Associate Professor, the Department “Powder Metallurgy, Welding and Material Technology”. Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosty Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: urbanovichbntu@tut.by

Baranovskiy Konstantin Eduardovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, Leading Researcher. Science and Technology Park of Belarusian National Technical University “Polytechnic” (65, Nezavisimosty Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: baranovsky_metolit@tut.by

Поступила 11.11.2019