

DOI: 10.47188/0869-5326\_2023\_31\_1\_4

УДК 621.357.7; 544.636/638

## Влияние предварительной подготовки стального электрода на коррозионную стойкость цинкового покрытия

© 2023 И.С. Панкратов<sup>1</sup>, Н.Д. Соловьева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, 410054, Саратов, Политехническая ул., 77. Тел. 8 (845) 299-86-03 e-mail: lgv@sstu.ru

<sup>2</sup> Энгельсский технологический институт, Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, 413100, Энгельс, пл. Свободы, 17. Тел. 8 (845) 355-91-52 e-mail: tepeti@mail.ru

Определено влияние предварительной обработки поверхности стального изделия в потенциостатическом режиме дофазового осаждения на процесс электроосаждения цинка из кислых электролитов. В качестве подложки использовались электроды марки стали Ст3. Для определения потенциала поляризации в режиме дофазового осаждения измерялся равновесный потенциал цинкового электрода в рабочих растворах электролитов. Осаждение проводилось при потенциалах на 50 мВ положительнее равновесного значения. Представлены кривые дофазового осаждения в координатах  $i, t$ ;  $i, 1/\sqrt{t}$  (рис. 1), позволяющие судить о кинетических закономерностях протекания процесса. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа компонентного состава стальных образцов после предварительной дофазовой обработки поверхности (табл. 1), морфологии поверхности электродов, полученной с помощью сканирующей электронной микроскопии (рис. 2), а также диаграммы компонентного состава (рис. 3) свидетельствуют о наличии цинка в составе покрытия, формирующегося на стадии предварительной подготовки. Изучение кинетики дофазового осаждения цинка (табл. 2) показало, что по истечении 1,5–2 с поляризации электрода начинают преобладать диффузионные процессы в твердой фазе, цинк включается в поверхностные слои электрода. Установлено, что предварительная обработка стали в режиме дофазового осаждения сказывается на скорости процесса последующего наращивания цинкового покрытия (рис. 4). Анализ коррозионной стойкости электроосаждённых цинковых покрытий (табл. 3) показал возрастание защитных свойств при проведении предварительной обработки поверхности стального изделия в потенциостатическом режиме дофазового осаждения.

Ключевые слова: электроосаждение; цинкование; предварительная обработка стали; дофазовое осаждение; электролит; потенциостатический режим; коррозионная стойкость.

UDC 621.357.7; 544.636/638

## Influence of preliminary preparation of a steel electrode on the corrosion resistance of a zinc coating

© 2023 I.S. Pankratov<sup>1</sup>, N.D. Solovyova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yu.A. Gagarin Saratov State Technical University, 410054, Saratov, Polytekhnikeskaya st., 77. Tel. 8 (845) 299-86-03 e-mail: lgv@sstu.ru

<sup>2</sup> Engels Technological Institute, Saratov State Technical University named after Yu.A. Gagarin, 413100, Engels, Svobody sq., 17.

Tel. 8 (845) 355-91-52 e-mail: eti@techn.sstu.ru

The influence of pretreatment of the surface of a steel product in the potentiostatic mode of pre-phase deposition on the process of zinc electrodeposition from acidic electrolytes is determined. St3 steel grade electrodes were used as the substrate. To determine the polarization potential in the prephase deposition mode, the equilibrium potential of the zinc electrode in the working electrolyte solutions was measured. The deposition was carried out at potentials 50 mV more positive than the equilibrium value. Pre-phase deposition curves are presented in coordinates  $i, t$ ;  $i, 1/\sqrt{t}$  (Fig. 1), which allow one to judge the kinetic regularities of the process. The results of X-ray fluorescence analysis of the component composition of steel samples after preliminary pre-phase surface treatment (Table 1), the morphology of the electrode surface obtained using scanning electron microscopy (Fig. 2), and the diagrams of the component composition (Fig. 3) indicate the presence of zinc in the composition coating formed at the stage of preliminary preparation. The study of the kinetics of prephase zinc deposition (Table 2) showed that after 1.5–2 s of electrode polarization, diffusion processes in the solid phase begin to predominate, zinc is included in the surface layers of the electrode. It has been established that pre-treatment of steel in the pre-phase deposition mode affects the rate of the process of subsequent growth of the zinc coating (Fig. 4). An analysis of the corrosion resistance of electrodeposited zinc coatings (Table 3) showed an increase in protective properties during pretreatment of the surface of a steel product in the potentiostatic mode of prephase deposition.

Keywords: electrodeposition; galvanizing; steel pretreatment; pre-phase precipitation; electrolyte; potentiostatic mode of deposition; corrosion resistance.

## Введение

Цинкование является востребованным гальваническим процессом для обеспечения защиты стальных изделий от коррозионного разрушения [1]. Этим объясняется большое количество работ, направленных на совершенствование технологического процесса и повышение качества формирующегося покрытия. В частности, изучаются малоконцентрированные, экологически малоопасные электролиты и соответствующие им режимы электролиза [2–8], использование нестационарного электролиза [9,10] и др. Одним из факторов, влияющих на свойства электроосажденного покрытия, является предварительная подготовка материала изделия, на которое наносится осадок. Помимо традиционной предварительной обработки стальной поверхности, включающей обезжиривание, травление и активацию, представляет интерес проведение дополнительной обработки изделия в рабочем электролите цинкования в потенциостатическом режиме дофазового осаждения (ДФО) металла. При этом на электроде формируется монослой осажденного металла (в данном случае цинка) [11], возможно образование сплава металла основы и электроосаждаемого компонента [12–14]. Нанесение монослоя цинка на поверхность стали в потенциостатическом режи-

ме ДФО должно сказаться на кинетике последующего наращивания толщины покрытия и свойствах получаемого гальванического осадка.

Целью данной работы является изучение коррозионной стойкости цинкового покрытия, формирующегося на поверхности стали, после предварительной обработки в режиме ДФО из электролитов различного состава.

## Материалы и методы исследования

Для электроосаждения цинка используются простые и комплексные электролиты [1, 10, 15]. Предварительная дофазовая обработка поверхности стали в потенциостатическом режиме ДФО проводилась в кислом электролите без добавки ПАВ (состав 1) [1] и в электролите, содержащем глицин (Gly), который обладает комплексообразующими буферизирующими свойствами, способен адсорбироваться на поверхности [16–20] (состав 2). Используемые электролиты:

состав 1:

$ZnSO_4$  – 310 г/л,  $Na_2SO_4$  – 33 г/л,  $Al_2(SO_4)_3$  – 30 г/л;

состав 2:

$ZnSO_4$  – 34 г/л,  $Na_2SO_4$  – 71 г/л, Gly – 53 г/л.

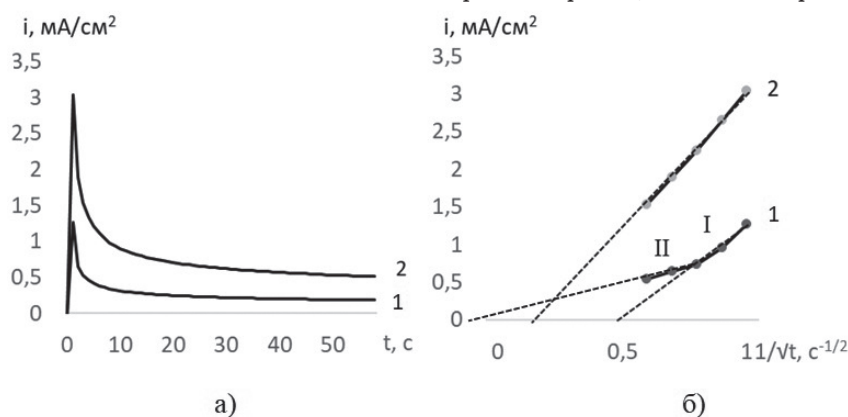
Осаждение цинкового покрытия производилось на стальную подложку марки Ст3 с рабочей поверхностью 1 см<sup>2</sup>. Толщина покрытия состав-

ляла 15 мкм. Рабочая часть подложки изолировалась кислотостойким лаком. Для проведения коррозионных испытаний площадь поверхности цинкового покрытия составляла 5 см<sup>2</sup>.

Подготовка поверхности рабочего электрода состояла из следующих операций: механическое шлифование, обезжиривание в органическом растворителе, травление в растворе HCl концентрацией 50 г/л. Предварительная подготовка поверхности изделия в режиме катодной дофазовой поляризации проводилась в электролите нанесения цинкового покрытия. Для определения потенциалов предварительной обработки поверхности стального электрода проводилось измерение равновесного потенциала ( $E_p$ ) цинкового электрода (цинк марки ЦО) в рабочих электролитах электроосаждения. Потенциал исследуемого образца измерялся относительно хлоридсеребряного электрода. На основе 5 параллельных измерений установлено, что  $E_p$  в электролите 1 составляет -0,977 В, в электролите 2 –  $E_p = -1,000$  В. Для проведения ДФО рабочий потенциал брался на 50 милливольт положительнее равновесного значения и составлял для поляризации в электролите 1 – -0,927 В, в электролите 2 – -0,950 В.

В качестве анода при электроосаждении покрытия использовался цинк марки ЦО.

Осаждение покрытия и изучение кинетики процесса проводилось с помощью потенциостата Elins P-8S при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Осадок цинка наносился в 2х режимах: 1) без предварительной катодной обработки при потенциале -1,2 В, 2) с предварительной поляризацией поверхности в режиме ДФО при потенциале на 50 мВ положительнее равновесного значения, и последующем наращивании покрытия при потенциале -1,2 В.



**Рис. 1.** а)  $i, t$  кривые предварительного дофазового осаждения Zn на стальную подложку из электролита состава: 1 – электролит 1,  $E_{\text{ДФО}} = -0,927$  В, 2 – электролит 2,  $E_{\text{ДФО}} = -0,950$  В; б)  $i, 1/\sqrt{t}$  кривые предварительного дофазового осаждения Zn на стальную подложку из электролита состава: 1 – электролит 1,  $E_{\text{ДФО}} = -0,927$  В, 2 – электролит 2,  $E_{\text{ДФО}} = -0,950$  В

**Fig. 1.** а)  $i, t$  curves of preliminary pre-phase deposition of Zn on a steel substrate from an electrolyte of composition: 1 – electrolyte 1,  $E_{\text{ppd}} = -0.927$  V, 2 – electrolyte 2,  $E_{\text{ppd}} = -0.950$  V; б)  $i, 1/\sqrt{t}$  curves of preliminary pre-phase deposition of Zn on a steel substrate from an electrolyte of composition: 1 – electrolyte 1,  $E_{\text{ppd}} = -0.927$  V, 2 – electrolyte 2,  $E_{\text{ppd}} = -0.950$  V

Состав стальных электродов после ДФО исследовался рентгенофлуоресцентным методом с помощью прибора X-MET 7500. Морфология электроосаждённого цинкового покрытия анализировалась методом сканирующей электронной микроскопии с использованием прибора СММ-2000.

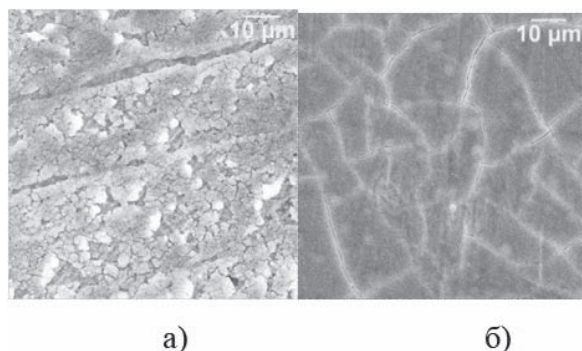
Массовый показатель коррозии цинкового покрытия площадью 5 см<sup>2</sup> определялся по ГОСТ 9.908–85 в 3% растворе NaCl. Предварительная оценка коррозионной стойкости осажденного покрытия осуществлялась по области пассивного состояния на электроде при его потенциодинамической поляризации в 3% растворе NaCl от потенциала погружения в анодную область.

### Результаты и их обсуждение

Предварительная обработка поверхности стали в потенциостатическом режиме дофазовой поляризации в исследуемых электролитах цинкования (рис. 1а) выявила наличие цинка в поверхностных слоях электродов (таблица 1).

Как показали исследования, содержание цинка в поверхностных слоях стали зависит от состава электролита и времени поляризации в режиме ДФО. Уменьшение количества цинка с увеличением времени обработки более 5 минут, вероятно, связано с термодинамической нестабильностью образующегося монослоя [21], приводящей к его растворению. Об образовании цинка на стали в режиме ДФО свидетельствуют морфология и данные элементного состава поверхности, полученные сканирующей электронной микроскопией (рис. 2, 3).

Следует отметить влияние состава электролита на морфологию поверхностного слоя электрода: при поляризации из электролита, содержащего



**Рис. 2.** а) снимок СЭМ подложки после проведения ДФО в течение 5 минут из электролита 1 состава б) снимок СЭМ подложки после проведения ДФО в течение 5 минут из электролита 2 состава

**Fig. 2.** a) SEM image of the substrate after PPD for 5 minutes from electrolyte of 1 composition; b) SEM image of the substrate after PPD for 5 minutes from electrolyte of the 2nd composition

комплексообразователь (глицин), распределение цинка более равномерное (рис. 2б).

С целью изучения кинетики процесса предварительной дофазовой обработки поверхности стали в потенциостатическом режиме анализировались  $i, t$  кривые (рис. 1). Характер данных зависимостей позволяет предположить диффузионные ограничения в скорости процесса и проанализировать участки резкого спада плотности тока в координатах  $i, 1/\sqrt{t}$  (рис. 1б). На кривой из электролита состава 1 наблюдаются прямолинейные участки с разными наклонами. В начальный период времени (участок I) зависимость  $i, 1/\sqrt{t}$  не экстраполируется в начало координат, что может свидетельствовать о влиянии химических процессов на границе раздела фаз на скорость электрохимической реакции. По истечении 1,5–2 с (участок II) начинают преобладать диффузионные ограничения. Образование адатомов происходит со значительным выигрышем в энергии при

образовании связи металл–подложка, нежели при образовании связи между атомами металла. В таких условиях образование трёхмерных зародышей маловероятно, следовательно, адатомы диффундируют в поверхностные слои подложки по вакансионному механизму, о чем свидетельствует экстраполяция в начало координат. Потенциостатическая кривая, полученная при осаждении из электролита состава 2, не имеет перегибов и не экстраполируется в начало координат, из чего можно сделать предположение о преобладающем влиянии химических, в частности адсорбционных, процессов на границе раздела фаз на скорость электрохимической реакции. Расчёт величины адсорбции электроактивных частиц был проведён в соответствии с [22]:

$$\Gamma_e = \frac{i_{t=0}}{n \cdot F \cdot (\delta \ln(i)/\delta t)} \quad (1)$$

где  $i_{t=0}$  – плотность тока при  $t=0$ , полученная при экстраполяции зависимости  $i, \sqrt{t}$  на ось координат ( $A/cm^2$ ),  $\delta \ln(i)/\delta t$  – наклон кривой в координатах  $\ln(i), t$  ( $A/cm^2$ ),  $n$  – число электронов, участвующих в реакции,  $F$  – число Фарадея.

Установлено, что величина адсорбции возрастает при поляризации в электролите, содержащем добавку глицина: в электролите 1  $\Gamma_e = 1,92 \cdot 10^{-8}$  г-экв/ $cm^2$ , в электролите 2  $\Gamma_e = 6,64 \cdot 10^{-8}$  г-экв/ $cm^2$ . Различие в начальных стадиях электровосстановления цинка в период ДФО сказывается на морфологии поверхностного слоя (рис.2).

Прямолинейный ход  $i, 1/\sqrt{t}$  кривых позволил рассчитать величину  $C\sqrt{D}$  в соответствии с уравнением Коттрела:

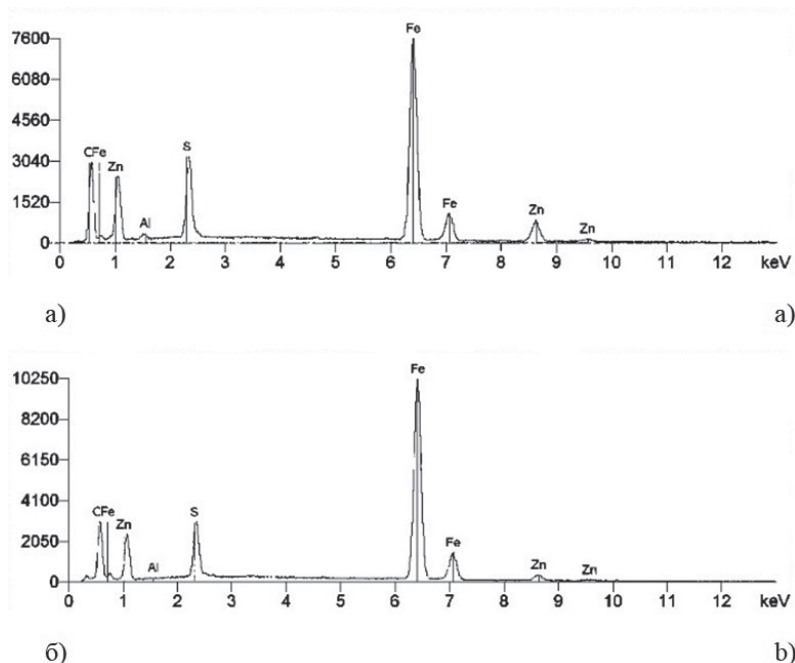
$$C\sqrt{D} = \frac{\Delta i}{\Delta(1/\sqrt{t})} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{nF}, \quad (2)$$

где  $n$  – число электронов,  $F$  – число Фарадея,  $\Delta i/\Delta(1/\sqrt{t})$  – угол наклона прямой  $i, 1/\sqrt{t}$ .

**Таблица 1.** Содержание цинка (масс. %) в составе стальной подложки после поляризации в режиме ДФО из исследуемых электролитов

**Table 1.** The content of zinc (wt.%) in the composition of the steel substrate after polarization in the PPD mode from the studied electrolytes

	1 электролит Bath 1		2 электролит Bath 2	
Содержание Zn в исходном стальном образце, мас.% The content of zinc (wt.%) in the composition of the steel substrate	0		0	
Содержание Zn в стали после ДФО, мас.% The content of zinc (wt.%) in the composition of the steel substrate after polarization in the PPD	5 мин 5 min	1,21±0,12	5 мин 5 min	2,58±0,26
	7 мин 7 min	0,35±0,04	7 мин 7 min	–



**Рис. 3.** а) диаграмма для снимка СЭМ подложки после проведения ДФО в течение 5 минут из электролита 1 состава; б) диаграмма для снимка СЭМ подложки после проведения ДФО в течение 5 минут из электролита 2 состава  
**Fig. 3.** a) diagram for the SEM image of the substrate after DFO for 5 minutes from electrolyte of 1 composition; b) diagram for the SEM image of the substrate after PPD for 5 minutes from an electrolyte of the 2nd composition

**Таблица 2.** Влияние состава электролита цинкования и времени поляризации на величину  $C\sqrt{D}$  при предварительной дофазовой обработке стального электрода  
**Table 2.** Variation of the composition of the galvanizing electrolyte and the polarization time by the value of  $C\sqrt{D}$  during preliminary pre-phase treatment of the steel electrode

		t, c	$C\sqrt{D}$ , моль/см <sup>-2</sup> ·с <sup>-1/2</sup>
		t, s	$C\sqrt{D}$ , mol/cm <sup>-2</sup> ·s <sup>-1/2</sup>
1 электролит Bath 1	1 мин ДФО 1 min	1 – 1,5	$2,82 \cdot 10^{-5}$
		1,5 – 4	$0,92 \cdot 10^{-5}$
	5 мин ДФО 5 min	1 – 1,5	$3,89 \cdot 10^{-5}$
		1,5 – 4	$2,75 \cdot 10^{-5}$
2 электролит Bath 2	1 мин ДФО 1 min	1 – 4	$3,44 \cdot 10^{-5}$
	5 мин ДФО 5 min	1 – 4	$1,70 \cdot 10^{-5}$

Результаты расчета  $C\sqrt{D}$  представлены в таблице 2.

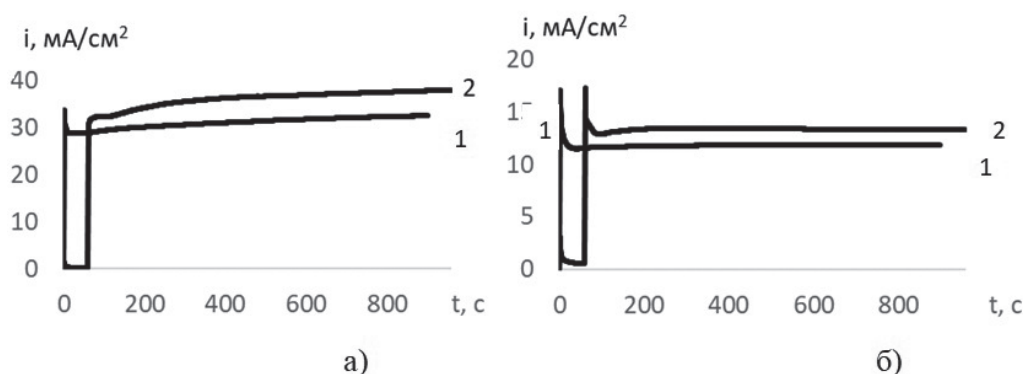
Величина  $C\sqrt{D}$  позволяет предположить твердофазную диффузию цинка в стальную основу электрода. Включение цинка в поверхностные слои подложки сказывается на скорости последующего наращивания слоя цинкового покрытия (рис. 4).

Проведён сравнительный анализ коррозионной стойкости цинковых покрытий, электроосаждённых на стальную основу, подвергнутую предварительной дофазовой обработке в потенциостатическом режиме и в ее отсутствии. Определялась область пассивного состояния ΔE путём

снятия потенциодинамических кривых со скоростью развёртки потенциала 4 мВ/с в 3% растворе NaCl, рассчитывался массовый показатель коррозии ( $K_{\text{масс}}$ ). Результаты представлены в таблице 3.

Установлено, что проведение предварительной дофазовой обработки стальной поверхности в потенциостатическом режиме уменьшает коррозионное разрушение покрытия. Коррозионная стойкость зависит от состава электролита, времени проведения обработки в режиме ДФО. Большая коррозионная стойкость была получена в электролите состава 1 при 3 минутах ДФО и при 5 минутах для электролита состава 2. Покрытие, полученное





**Рис. 4.** а)  $i, t$  кривые электроосаждения Zn на стальную подложку из электролита состава 1 при  $E = -1,2$  В; 1 – без проведения предварительной дофазовой обработки, 2 – после предварительной дофазовой обработки поверхности стали; б)  $i, t$  кривые электроосаждения Zn на стальную подложку из электролита состава 2 при  $E = -1,2$  В; 1 – без проведения предварительной дофазовой обработки, 2 – после предварительной дофазовой обработки поверхности стали

**Fig. 4.** а)  $i, t$  curves of Zn electrodeposition on a steel substrate from electrolyte composition 1 at  $E = -1.2$  V; 1 – without preliminary pre-phase treatment, 2 – after preliminary pre-phase treatment of the steel surface; б)  $i, t$  curves of Zn electrodeposition on a steel substrate from electrolyte composition 2 at  $E = -1.2$  V; 1 – without preliminary pre-phase treatment, 2 – after preliminary pre-phase treatment of the steel surface

Таблица 3. Зависимость коррозионной стойкости Zn покрытия от режима электролиза и состава электролита

Table 3. Dependence of the Corrosion Resistance of the Zn Coating on the Electrolysis Mode and the Electrolyte Composition

Материал подложки	Режим обработки поверхности	Состав электролита			
		Электролит 1 Bath 1		Электролит 2 Bath 2	
		$K_{\text{масс}}, \text{г/см}^2\cdot\text{час}$ $K_{\text{мас}}, \text{g/cm}^2\cdot\text{h}$	$\Delta E, \text{мВ}$ mV	$K_{\text{масс}}, \text{г/см}^2\cdot\text{час}$ $K_{\text{мас}}, \text{g/cm}^2\cdot\text{h}$	$\Delta E, \text{мВ}$ mV
Ст3	Без ДФО	$4,8 \cdot 10^{-5}$	57	$3,5 \cdot 10^{-5}$	42
	ДФО 1 мин	$1,6 \cdot 10^{-5}$	80	$3,5 \cdot 10^{-5}$	34
	ДФО 3 мин	$1,2 \cdot 10^{-5}$	–	$2,7 \cdot 10^{-5}$	–
	ДФО 5 мин	$2,2 \cdot 10^{-5}$	98	$0,08 \cdot 10^{-5}$	72

при использовании предварительной ДФО в течение 5 минут из электролита состава 2, обладает защитной способностью, превышающей данную характеристику цинкового покрытия, осаждённого из аналогичного электролита, с последующим хроматированием:  $K_{\text{масс}}$  хроматированного цинкового покрытия составляет  $0,68 \cdot 10^{-5}$  г/см<sup>2</sup>·час [20].

### Заключение

В результате исследований установлено влияние предварительной дофазовой обработки в потенциостатическом режиме на скорость электроосаждения цинка из кислых растворов изучаемых составов, на коррозионную стойкость формирующегося покрытия. Показано, что процесс электровосстановления цинка в режиме ДФО и его содержание в поверхностных слоях стали зависят от состава электролита. В электролите, содержащем комплексообразующую добавку, в

начальный момент определяющими являются адсорбционные процессы, в простых электролитах – процессы, контролируемые диффузией в твёрдой фазе. Исследование коррозионной стойкости электроосаждённых покрытий показало положительное влияние ДФО на их защитную способность. Сравнение характеристик массового показателя коррозии цинкового покрытия, полученного с использованием предварительного дофазового осаждения, с массовым показателем коррозии хроматированного цинкового покрытия показало, что покрытия обладают сопоставимой защитной способностью, следовательно, использование предварительной обработки при недонапряжении (ДФО) – перспективное направление, позволяющее увеличить защитную функцию цинкового покрытия, снизить экологическую опасность гальванического производства.

## Литература

1. Окулов В.В. Цинкование, Техника и технология. М.: Глобус, 2008 – 232 с.
2. Ившин Я.В. Коррозия цинка в электролитах цинкования при локальном нанесении покрытий // Вестник Казанского технологического университета. 2011. №22. С. 141–144.
3. Киреев С.Ю., Перельгин Ю.П., Ягниченко Н.В. Электроосаждение цинка из кислого лактатного электролита // Гальванотехника и обработка поверхности. 2011. Т.29, №5. С. 30–32.
4. Ботрякова И.Г., Глухов В.Г., Поляков Н.А. Влияние параметров электроосаждения и состава электролита на супергидрофобные свойства цинковых покрытий // Успехи в химии и химической технологии. 2021. №5. С. 68–69.
5. Зудова М.И., Калиниченко М.В. Гальваническая линия цинкования // Инновационная наука. 2020. №6. С. 8–10.
6. Захаров Ю. А., Спицын И. А., Ремзин Е. В. Совершенствование технологического процесса гальванического цинкования деталей транспортно-технологических машин и комплексов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2014. №4 (12). С. 105–111.
7. Захаров Ю.А., Мусатов Г.А. Выбор, контроль и корректировка электролита цинкования восстанавливаемых поверхностей деталей автомобилей // ИВД. 2015. №2–1. С. 2–9.
8. Козик Е. С., Кошелев С. И., Кушнаренко Е. В. Коррозионная стойкость низкоуглеродистых сталей с гальваническими покрытиями // Вестник ОГУ. 2013. №1 (150). С. 182–186.
9. Киреев С. Ю., Янгуразова А. З., Киреева С. Н. Влияние различных режимов нестационарного электролиза на скорость формирования гальванических покрытий металлами и сплавами, их состав и свойства // ИВУЗ ПР Естественные науки. 2017. №4 (20), С. 86–95. DOI: 10.21685/2307–9150–2017–4–7
10. Ялымова Т.Ю., Соловьева Н.Д. Электроосаждение цинковых покрытий в реверсивном режиме в присутствии ПАВ // Гальванотехника и обработка поверхности. 2020. Т. 28, № 1. С. 28–33. DOI: 10.47188/0869–5326\_2020\_28\_1\_28
11. Шафей А.Л., Тагучн С., Арамата Л. Формирование адатомных слоев цинка на Pt(III) Pt(II) в присутствии борной кислоты и хлорид ионов // Электрохимия. 2009. Т. 41, № 2. С. 745–751.

## References

1. Okulov V.V. Tsinkovaniye, Tekhnika i tekhnologiya [Zinc coating, Technique and technology]. Moscow: Globus, 2008 – 232 p. (in Russian)
2. Ivshin YA.V. Korroziya tsinka v elektrolitakh tsinkovaniya pri lokalnom nanesenii pokrytiy [Zinc corrosion in galvanizing electrolytes during local coating]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2011, no. 22, pp. 141–144. (in Russian)
3. Kireev S.Yu., Perelygin Yu.P., Yanichenko N.V. Elektroosazhdeniye tsinka iz kislogo laktatnogo elektrolita [Zinc electrodeposition from acidic lactate electrolyte]. *Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*. 2011, vol.29, no. 5, pp. 30–32. (in Russian)
4. Botryakova I.G., Glukhov V.G., Polyakov N.A. Vliyaniye parametrov elektroosazhdeniya i sostava elektrolita na supergidrofobnyye svoystva tsinkovykh pokrytiy [Influence of electrodeposition parameters and electrolyte composition on superhydrophobic properties of zinc coatings]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2021, no.5, pp. 68–69. (in Russian)
5. Zudova M.I., Kalinichenko M.V. Galvanicheskaya liniya tsinkovaniya [Galvanic galvanizing line]. *Innovatsionnaya nauka*, 2020, no.6, pp. 8–10. (in Russian)
6. Zakharov Yu. A., Spitsyn I. A., Remzin E. V. Sovershenstvovaniye tekhnologicheskogo protsessa galvanicheskogo tsinkovaniya detaley transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov [Improvement of the technological process of galvanic zinc coating of parts of transport and technological machines and complexes]. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve*, 2014, no. 4 (12), pp. 105–111. (in Russian)
7. Zakharov Yu.A., Musatov G.A. Vybora, kontrol i korrekcirovka elektrolita tsinkovaniya vosstanavlivaemykh poverkhnostey detaley avtomobiley [Choice, control and adjustment of electrolyte of galvanizing of restored surfaces of car parts]. *IVD*, 2015, no. 2–1, pp. 2–9. (in Russian)
8. Kozik E. S., Koshelev S. I., Kushnarenko E. V. Korroziionnaya stoykost nizkouglerodistykh staley s galvanicheskimi pokrytiyami [Corrosion resistance of low-carbon steels with galvanic coatings]. *Vestnik OGU*, 2013, no. 1 (150), pp.182–186. (in Russian)
9. Kireev S. Yu., Yangurazova A.Z., Kireeva S.N. Vliyaniye razlichnykh rezhimov nestatsionarnogo elektroliza na skorost formirovaniya galvanicheskikh pokrytiy metallami i splavami, ikh sostav i svoystva [Influence of different modes of non-stationary electrolysis on the rate of formation of galvanic coatings by metals and alloys, their composition and properties]. *IVUZ PR*

12. Минин И.В., Соловьева Н.Д. Кинетические закономерности электровосстановления цинка в присутствии ПАВ // Научный обозреватель. 2013. № 10. С. 131–134.
13. Легкая Д.А., Соловьева Н.Д. Роль дофазового осаждения в процессе электроосаждения защитного никелевого покрытия // Коррозия: материалы, защита. 2017. № 7. С. 35 – 39.
14. Легкая Д.А., Соловьева Н.Д., Яковлев А.В. Физико-механические свойства никелевого покрытия, осажденного из сульфатного электролита никелирования с использованием предварительного дофазового осаждения // Журнал прикладной химии. 2017. № 9. С. 1199 – 1204. DOI: 10.1134/S1070427217090129.
15. Перельгин Ю.П., Киреев С.Ю., Ягниченко Н.В. Электрохимическое осаждение цинка из электролита, содержащего молочную кислоту // ИВУЗ ПР Естественные науки. 2013. №2. С. 102–109.
16. Козадеров О. А., Тинаева К. Е., Тинаева А. Е., Бурляев Д. В. Катодное осаждение цинк-никелевых покрытий из низкоконцентрированного аммиачно-хлоридного электролита с высоким содержанием глицина // Конденсированные среды и межфазные границы. 2020. №3. С. 320–326.
17. Бурляев Д. В., Козадеров О. А. Цинк-никелевые сплавные покрытия: кинетика электроосаждения, коррозия и селективное растворение. Обзор // Конденсированные среды и межфазные границы. 2021. №1. С. 3–15.
18. Berezin N. V., Chevela V. V., Mezhevich Z. V., Ivanova V. Yu. Complexation in the system Zinc(II) – Chrome(III) – Nickel(II) – Glycine – Water // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2021. №11, С. 44 – 49.
19. Березин Н.Б. Состояние и поведение глицина в водных растворах. Роль глицинатных комплексов при электроосаждении металлов и сплавов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. С. 355–359.
20. Ченцова Е.В., Почкина С.Ю., Соловьева Н.Д. Влияние режима электролиза на состав сплава цинк-никель-кобальт и его защитные свойства при осаждении из сульфатно-глицинатного электролита // Вестник Казанского технологического университета. 2016. №9. С. 112–114.
21. Гамбург Ю.Д. Кинетика начального этапа роста зародышей при электрокристаллизации металлов // Электрохимия. 2002. Т. 38, № 10. С. Yestestvennyye nauki, 2017, no. 4 (20), pp. 86–95. DOI: 10.21685/2307–9150–2017–4–7 (in Russian)
10. Yalymova TYU., Solovyeva N.D. Elektroosazhdeniye tsinkovykh pokrytiy v reversivnom rezhime v prisutstvii PAV [Electrodeposition of zinc coatings in reverse mode in the presence of surfactants]. *Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*, 2020, vol. 28, no. 1, pp. 28–33. (in Russian). DOI: 10.47188/0869-5326\_2020\_28\_1\_28
11. Shafei A.L., Taguchn S., Aramata L. Formirovaniye adatomnykh sloev tsinka na Pt(III) Pt(II0) v prisutstvii bornoy kisloty i khlorid ionov [Formation of zinc adatom layers on Pt(III) Pt(II0) in the presence of boric acid and chloride ions]. *Elektrokhimiya*. 2009, vol. 41, no. 2, pp. 745–751. (in Russian)
12. Minin I.V., Solovieva N.D. Kineticheskiye zakonomernosti elektrovosstanovleniya tsinka v prisutstvii PAV [Kinetic regularities of zinc electroreduction in the presence of surfactants]. *Nauchny Obozrevatel*, 2013, no. 10, pp. 131–134. (in Russian)
13. Legkaya D.A., Solovieva N.D. Rol dofazovogo osazhdeniya v protsesse elektroosazhdeniya zashchitnogo nikelovogo pokrytiya [The role of prephase deposition in the process of electrodeposition of a protective nickel coating]. *Korroziya: materialy, zashchita*, 2017, no. 7, pp. 35 – 39. (in Russian)
14. Legkaya D.A., Solovieva N.D., Yakovlev A.V. Fiziko-mekhanicheskiye svoystva nikelovogo pokrytiya, osazhdennogo iz sul'fatnogo elektrolita nikelirovaniya s ispol'zovaniyem predvaritel'nogo dofazovogo osazhdeniya [Physico-mechanical properties of nickel coating deposited from sulfate nickel plating electrolyte using preliminary pre-phase deposition]. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 2017, no. 9, pp. 1199 – 1204. DOI: 10.1134/S1070427217090129. (in Russian)
15. Perelygin Yu.P., Kireev S.Yu., Yanichenko N.V. Elektrokhimicheskoye osazhdeniye tsinka iz elektrolita, soderzhashchego molochnyuyu kislotu [Electrochemical deposition of zinc from an electrolyte containing lactic acid]. *IVUZ PR Yestestvennyye nauki*, 2013, no. 2, pp. 102–109. (in Russian)
16. Kozaderov O. A., Tinayeva K. Ye., Tinayeva A. Ye., Burlyayev D. V. Katodnoye osazhdeniye tsink-nikelevykh pokrytiy iz nizkokontsentrirrovannogo ammiachno-khloridnogo elektrolita s vysokim soderzhaniyem glitsina [Cathodic deposition of zinc-nickel coatings from a low-concentration ammonia-chloride electrolyte with a high content of glycine]. *Kondensirovannyye sredy i mezhfaznyye granitsy*, 2020, no.3, pp. 320–326. (in Russian)
17. Burlyayev D. V., Kozaderov O. A. Tsink-nikelevyye splavy pokrytiya: kinetika elektroosazhdeniya, korroziya i selektivnoye rastvoreniye. *Obzor [Zinc-*



1273 – 1275. DOI: 10.1023/B:RUEL.0000016339.58450.8d.

22. Новосельский И.М., Хакимов М.Г. Хроноамперометрия никелевого электрода в растворах серной кислоты. Определение величин адсорбции // Электрохимия, 1973. Т.9, №1. С.34–44.

nickel alloy coatings: electrodeposition kinetics, corrosion and selective dissolution. Overview]. *Kondensirovannyye sredy i mezhfaznyye granitsy*, 2021, no.1, pp. 3–15. (in Russian)

18. Berezin N. B., Chevela V. V., Mezhevich Z. V., Ivanova V. Yu. Complexation in the system Zinc(II) – Chrome(III) – Nickel(II) – Glycine – Water. *Izvestiya VUZov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2021, no. 11, pp. 44 – 49. (in Russian)

19. Berezin, N.B. Sostoyaniye i povedeniye glitsina v vodnykh rastvorakh. Rol glitsinatnykh kompleksov pri elektroosazhdenii metallov i splavov [State and behavior of glycine in aqueous solutions. The role of glycinate complexes in the electrodeposition of metals and alloys]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2014, pp. 355–359. (in Russian)

20. Chentsova E.V., Pochkina S.Yu., Solovieva N.D. Vliyaniye rezhima elektroliza na sostav splava tsink–nikel–kobalt i yego zashchitnyye svoystva pri osazhdenii iz sul'fatno–glitsinatnogo elektrolita [Influence of the electrolysis regime on the composition of the zinc-nickel-cobalt alloy and its protective properties during deposition from sulfate-glycinate electrolyte]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, no. 9, pp. 112–114. (in Russian)

21. Gamburg Yu.D. Kinetika nachal'nogo etapa rosta zarodyshey pri elektrokristallizatsii metallov [Kinetics of the initial stage of the growth of nuclei during the electrocrystallization of metals]. *Elektrokhimiya*, 2002, vol. 38, no. 10, pp. 1273 – 1275. DOI: 10.1023/B:RUEL.0000016339.58450.8d. (in Russian)

22. Novoselskiy I.M., Khakimov M.G. Khronoamperometriya nikelovogo elektroda v rastvorakh sernoy kisloty. Opredeleniye velichin adsorbtsii [Chronoamperometry of a Nickel Electrode in Sulfuric Acid Solutions. Determination of adsorption values]. *Elektrokhimiya*, 1973, vol.9, no.1, pp.34–44. (in Russian)

#### Сведения об авторах

**Панкратов Илья Сергеевич** – аспирант, e-mail: [ilya.wolf765@yandex.ru](mailto:ilya.wolf765@yandex.ru) (автор, ответственный за переписку)

**Соловьева Нина Дмитриевна** – профессор, д.т.н., e-mail: [tepeti@mail.ru](mailto:tepeti@mail.ru)

#### Information about authors

**Pankratov Ilya Sergeevich** – Postgraduate student, e-mail: [ilya.wolf765@yandex.ru](mailto:ilya.wolf765@yandex.ru)

**Solovieva Nina Dmitrievna** – Professor, Dr.Sci (Tech), e-mail: [tepeti@mail.ru](mailto:tepeti@mail.ru)

#### Для цитирования

И.С. Панкратов, Н.Д. Соловьева. Влияние предварительной подготовки стального электрода на коррозионную стойкость цинкового покрытия. 2023. Т. 31, № 1. С. 4–12.

DOI: 10.47188/0869-5326\_2023\_31\_1\_4

#### For citation

I.S. Pankratov, N.D. Solovyova. Influence of preliminary preparation of a steel electrode on the corrosion resistance of a zinc coating. *Galvanotekhnika I obrabotka poverkhnosti*, 2023, vol. 31, no. 1, pp. 4–12.

DOI: 10.47188/0869-5326\_2023\_31\_1\_4