

2. Li, B. Advances in CO<sub>2</sub> capture technology: A patent review / B. Li, Y. Duan, D. Luebke, B. Morreale // Applied Energy. – 2013. – Vol. 102. – P. 1439–1447.

3. Siegelman, R.L. Porous materials for carbon dioxide separations / R.L. Siegelman, E.J. Kim, J.R. Long // Nature Materials. – 2021. – Vol. 20. – P. 1060–1072.

4. Raganati, F. CO<sub>2</sub> Capture by temperature swing adsorption: working capacity as affected by temperature and CO<sub>2</sub> partial pressure / F. Raganati, R. Chirone, P. Ammendola // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2020. – Vol. 59. – P. 3593–3605.

5. Stabler, C. Silicon oxycarbide glasses and glass-ceramics: “All-Rounder” materials for advanced structural and functional applications / C. Stabler, E. Ionescu, M. Graczyk-Zajac, I. Gonzalo-Juan, R. Riedel // Journal of the American Ceramic Society. – 2018. – Vol. 101. – P. 4817–4856.

УДК 620.197.3:620.193:621.357.7

Н.Л. Коцур, А.Д. Скобиола, А.В. Тарасевич, В.Г. Матыс  
БГТУ, г. Минск

### **ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ МОЛИБДАТ- И ВАНАДАТСОДЕРАЩИХ РАСТВОРОВ С ДОБАВКАМИ ТЕТРАЭТОКСИСИЛАНА, НА ГАЛЬВАНИЧЕСКИ ОЦИНКОВАННОЙ СТАЛИ.**

Цель работы – разработка новых экологически безопасных способов пассивации гальванически оцинкованной стали.

Пассивация гальванически оцинкованной стали обычно проводят в растворах на основе соединений хрома, многие из которых относят к токсичным. В настоящее время новые мировые стандарты на финишные покрытия в изделиях машиностроения и электроники ограничивают использование соединений хрома. Разработка способов пассивации гальванически оцинкованной стали без использования соединений хрома является актуальной задачей.

Соединения молибдена, ближайшего аналога хрома, рассматривались как альтернатива хроматам [1, 2]. Однако защитные свойства молибдатных покрытий на порядок ниже хроматных. Соединения ванадия (V) обладая окислительными свойствами и проявляя выраженное ингибирующее действие на процесс коррозии, могут обеспечивать длительный защитный эффект [3, 4]. Ванадаты в составе конверсионных покрытий потенциально могут обеспечивать так называемое свойство «самозалечивание», характерное для хроматных покрытий

на гальванически оцинкованной стали. Хотя пассивацию оцинкованной стали обычно проводят в кислой среде, для защиты от коррозии предпочтительнее использовать щелочные растворы с добавлением кремнийорганических соединений [5].

В данной работе для пассивации цинка использовались щелочные растворы на основе ванадата аммония или молибдата натрия с добавлением тетраэтоксисилана. Задачами работы было изучение зависимости защитных свойств конверсионных покрытий на гальванически оцинкованной стали от условий осаждения и от состава раствора (таблица 1).

Гальванические цинковые покрытия осаждали на образцы стали ст3 из слабокислого аммиакатного электролита цинкования с блескообразующими добавками Chemeta AC-45 при плотности тока 1,5 А/дм<sup>2</sup> в течение 15 мин (толщина покрытия – 6 мкм). Пассивацию оцинкованных образцов проводили либо в молибдат-, либо в ванадатсодержащем растворе (таблица 1). Испытания защитных свойств покрытий проводились выдержкой в 3 %-ном растворе NaCl. Время выдержки составляло 7 суток. В качестве показателей коррозии использовали степень коррозии поверхности (*G*), а также скорость коррозии (*K*), которую определяли по содержанию цинка в растворе. Содержание цинка определяли методом инверсионной вольтамперометрии. Для оценки воспроизводимости определения показателей коррозии проводилось по 2 параллельных опыта.

**Таблица 1 - Компоненты растворов и условия пассивации оцинкованной стали.**

Компонент:		Содержание компонентов раствора, моль/л				
		№1	№2	№3	№4	№5
Активный компонент	NH <sub>4</sub> VO <sub>3</sub>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>		0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Si(OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub> (тетраэтоксисилан)		0,13	0,09	0,09	0,09	0,09
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O (амиловый спирт)		-	-	-	0,18	0,18
pH		11,5	12	10	12	10
Условия пассивации:						
Температура, °C		20, 35, 45	20	20	20	20
Время, с		30 и 60	60	60	60	60

Изучение влияния температуры и времени пассивации на защитные свойства покрытий проводилось для образцов, получаемых в растворе № 1. После выдержки в 3 %-ном NaCl в течение 7 сут (рис. 1) степень коррозии поверхности образцов с конверсионными покрытиями, полученными в молибдатсодержащем растворе, в среднем была

значительно выше, чем образцов с покрытиями, полученными в ванадатсодержащем растворе.

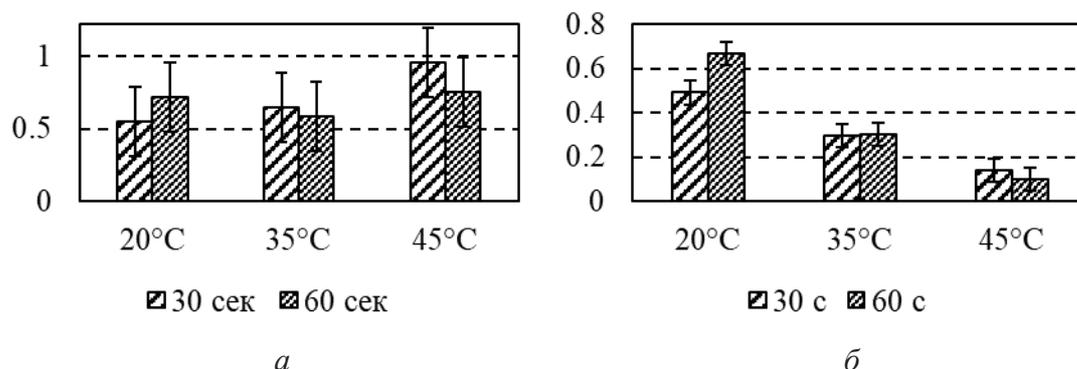


Рисунок 1 - Степень коррозионных поражений после 7 сут выдержки в 3 %-ном NaCl:

*a* – молибдатсодержащие покрытия; *б* – ванадатсодержащие покрытия

Степень коррозии молибдатсодержащих покрытий не зависит от температуры и времени пассивации и характеризуется большой дисперсией (рис. 1, *a*). Степень коррозии ванадатсодержащих покрытий заметно уменьшается с увеличением температуры пассивации, не зависит от времени пассивации и характеризуется малой дисперсией (рис. 1, *б*).

Были рассчитаны коэффициенты линейных уравнений регрессии, связывающих степень коррозии с температурой и временем пассивации (таблица 2), которые показывают наличие зависимости степени коррозии от температуры пассивации только для ванадатсодержащих растворов (допустимый уровень значимости меньше 0,01).

Таблица 2 – Коэффициенты, критерии значимости и допустимые уровни значимости  $\alpha_{\text{доп}}$  линейных уравнений регрессии, связывающих степень коррозии с факторами

Факторы	Конверсионные покрытия					
	молибдатсодержащие			ванадатсодержащие		
	коэф	критерий	$\alpha_{\text{доп}}$	коэф	критерий	$\alpha_{\text{доп}}$
Температура пассивации	$8,1 \cdot 10^{-3}$	0,57	0,59	<b>-0,018</b>	<b>4,91</b>	<b>0,003</b>
Время пассивации	$-1,1 \cdot 10^{-3}$	0,12	0,91	$1,6 \cdot 10^{-3}$	0,61	0,57

Средняя скорость коррозии  $K$  цинка, определенная по измерениям содержания цинка в 3 % NaCl после 7 сут выдержки, представлена на рис. 2. Следует отметить, что в среднем скорость коррозии молибдатсодержащих покрытий (рис. 2, *a*) в несколько раз выше, чем скорость коррозии ванадатсодержащих покрытий (рис. 2, *б*). Для молибдатсодержащих покрытий можно отметить закономерное снижение скорости коррозии цинка при увеличении времени пассивации. Для ванадатсодержащих покрытий скорость коррозии, определенная по со-

держанию цинка в коррозионной среде, практически не зависит от условий пассивации.

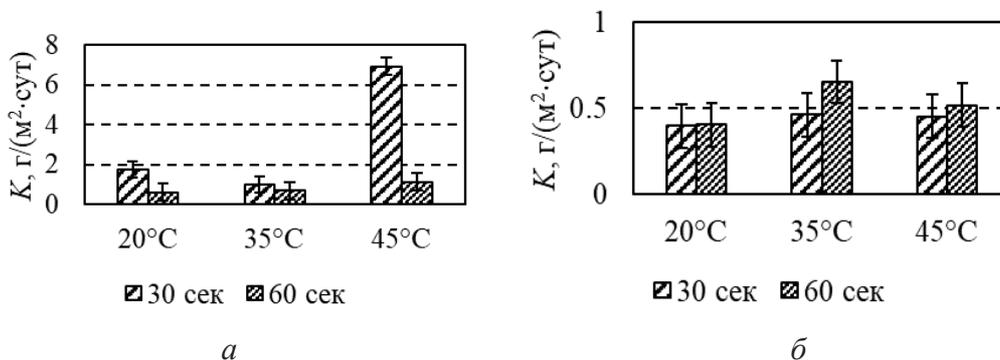


Рисунок 2 - Скорость коррозии цинка после 7 сут выдержки в 3 %-ном NaCl: *а* – молибдатсодержащие покрытия; *б* – ванадатсодержащие покрытия.

Влияние pH раствора пассивации и добавления амилового спирта на степень коррозии показано на рис. 3. С учетом случайных погрешностей зависимости степени коррозии от данных факторов не наблюдается.

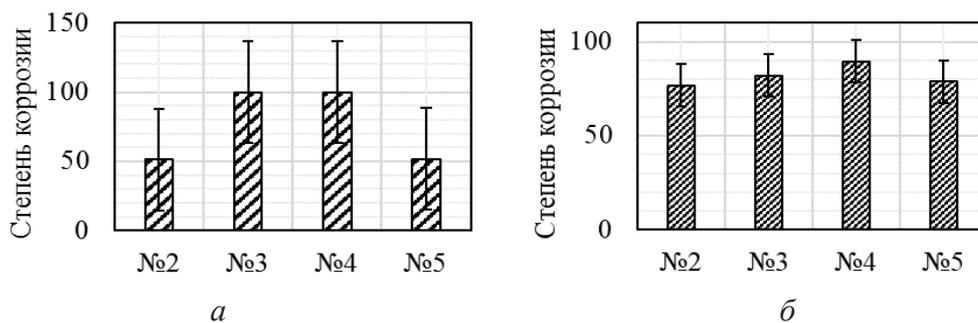


Рисунок 3 - Степень коррозионных поражений (%) после 7 сут выдержки образцов в 3 %-ном NaCl для покрытий, полученных в растворах №№ 2-5 (таблица 1): *а* – молибдатсодержащие покрытия; *б* – ванадатсодержащие покрытия.

Таким образом, установлена зависимость степени коррозии ванадатсодержащих покрытий от температуры пассивации: с увеличением температуры пассивации степень коррозии уменьшается. Степень коррозии не зависит от времени пассивации и pH раствора в исследованных диапазонах pH. Скорость коррозии цинка, определенная по измерениям содержания цинка, уменьшается с увеличением времени пассивации для молибдатсодержащих покрытий и практически не зависит от температуры пассивации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Properties of zinc coatings electrochemically passivated in sodium molybdate. / N. E. Akulich [et al.] // Surface and Interface Analysis. – 2018. – Vol. 50, № 12–13. – P. 1310–1318.

2. Tang, P. T. Molybdate based passivation of zinc / P. T. Tang, G. Bech-Nielsen, P. Møller // Transactions of the Institute of Metal Finishing. – 1997. – Vol. 75, № 4. – P. 144–148.

3. Akulich, N. E. A study of conversion coatings on vanadium/galvanic zinc / N. E. Akulich, I. M. Zharskii, N. P. Ivanova // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. – 2017. – Vol. 53, № 3. – P. 503–510.

4. A vanadium-based conversion coating as chromate replacement for electrogalvanized steel substrates / Z. Zou [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2011. – Vol. 509, № 2. – P. 503–507.

УДК 621.793

А.А. Бондарук<sup>1</sup>, Д.И. Тишкевич<sup>1</sup>, Т.И.Зубарь<sup>1</sup>,  
А.А. Роткович<sup>1</sup>, С.А. Герман<sup>1,2</sup>, А.А. Труханов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-практический центр НАН Беларуси  
по материаловедению, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

## ВЛИЯНИЕ ГАЛЬВАНОСТАТИЧЕСКОГО И ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМОВ НА МИКРОСТРУКТУРУ ПЛЕНОК ВИСМУТА

**Введение.** Современная микро- и наноэлектроника обусловлена бурным развитием функциональных устройств, которые используются в различных областях. В связи с этим одним из важных требований являются пути повышения стабильности их функционирования не только в нормальных, но и в экстремальных условиях (температура, влажность, воздействие ионизирующего излучения (ИИ) и др.). Так, например, электронные устройства, применяемые в авиационной, аэрокосмической, атомной промышленности, работают в критических условиях, подвергаясь радиационному воздействию естественного и искусственного происхождения (электроны, гамма-излучение, тяжелые заряженные частицы и др.).

Свинец является наиболее распространенным материалом, используемым для радиационной защиты. Однако, несмотря на то, что он недорогой, нельзя забывать о его главном недостатке – высокой токсичности. Альтернативой свинцу может стать висмут, который находится рядом в таблице Менделеева и имеет такие же высокие значения плотности. Висмут нетоксичен и имеет низкую себестоимость, а широкие технологические возможности его производства делают весьма актуальным его использование в качестве материала радиационной защиты. В данной работе представлены исследования влияния условий электроосаждения Вi на параметры микроструктуры