



Научная статья
05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 669.58
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.019

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИИ АЛЮМИНИЙ-ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ НА СТАЛЬНОМ ЛИСТЕ

Михаил Алексеевич Гурьев ¹, Александр Анатольевич Бердыченко ²,
Алексей Михайлович Гурьев ³, Сергей Геннадьевич Иванов ⁴,
Александр Владимирович Дьяченко ⁵, Наталья Сергеевна Малыгина ⁶

^{1, 2, 3, 4} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

³ Уханьский текстильный университет, Ухань, КНР

^{5, 6} ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

¹ gurievma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9191-1787>

² berd50@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1392-1223>

³ gurievam@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7570-8877>

⁴ serg225582@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5965-0249>

⁵ alvdyachenko@yandex.ru

⁶ natmgn@gmail.com

Аннотация. В работе проведены результаты исследований коррозионного повреждения цинк-алюминиевого покрытия на стальном листе. В результате исследований установлено, что появление пятен чёрного цвета на поверхности цинк-алюминиевого покрытия связаны с вытравливанием цинка из его состава и окислением в результате этого процесса алюминия во влажной кислой среде. Возникновение такой среды может быть связано с присутствием в окружающей атмосфере углекислого газа.

Ключевые слова: коррозия, цинк, алюминий, сталь, коррозионностойкие покрытия.

Благодарности: Пробоподготовка образцов и исследования элементного состава методами РФА и ОЭС, а также структурные исследования методами оптической микроскопии выполнены в Центре коллективного пользования лабораторно-исследовательским оборудованием АлтГТУ. Структурные исследования методами РЭМ и элементный микроанализ выполнены в Центре коллективного пользования микроскопии и рентгеновской спектроскопии Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (Барнаул, Россия).

Для цитирования: Исследование коррозии алюминий-цинкового покрытия на стальном листе / М. А. Гурьев [и др.] // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 146–150. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.019.

Original article

INVESTIGATION OF CORROSION OF ALUMINUM-ZINC COATING ON STEEL SHEET

Mikhail A. Guryev ¹, Alexander A. Berdychenko ², Alexey M. Guriev ³,
Sergey G. Ivanov ⁴, Alexander V. Dyachenko ⁵, Natalia S. Malygina ⁶

^{1, 2, 3, 4} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

³ Wuhan Textile University (CNR), Wuhan, Chinese national Republic

^{5, 6} Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Barnaul, Russia

© Гурьев, М. А., Бердыченко, А. А., Гурьев, А. М., Иванов, С. Г., Дьяченко, А. В.,
Малыгина, Н. С., 2021

¹ gurievma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9191-1787>

² berd50@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1392-1223>

³ gurievam@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7570-8877>

⁴ serg225582@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5965-0249>

⁵ alvdyachenko@yandex.ru

⁶ natmgn@gmail.com

Abstract. In this work, the results of studies of corrosion damage of zinc-aluminum coating on a steel sheet have been carried out. As a result of the research, it was found that the appearance of black spots on the surface of the zinc-aluminum coating is associated with the etching of zinc from its composition and the oxidation of aluminum as a result of this process in a humid acidic environment. The emergence of such an environment may be associated with the presence of carbon dioxide in the atmosphere.

Keywords: corrosion, zinc, aluminum, steel, corrosion-resistant coatings.

Acknowledgements: Sample preparation and elemental composition studies by XRF and NPP methods, as well as structural studies by optical microscopy methods were performed at the Center for Collective Use of Laboratory and Research Equipment of AltSTU. Structural studies using SEM methods and elemental microanalysis were performed at the Center for Collective Use of Microscopy and X-ray Spectroscopy of the Institute of Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia).

For citation: Guriev, M. A., Berdychenko, A. A., Guriev, A. M., Ivanov, S. G., Dyachenko, A. V. & Malygina, N. S. (2021). Investigation of corrosion of aluminum-zinc coating on steel sheet. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 146-150. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.019.

Большая доля производимого цинка используется в качестве защитных покрытий стальных конструкций от коррозии. По коррозионной и механической стойкости цинковые покрытия уступают покрытиям на основе цинк-алюминиевых сплавов [1–8].

В настоящей работе методами оптической и растровой электронной микроскопии исследована причина возникновения чёрных пятен на поверхности рифлёной стали с коррозионностойким цинк-алюминиевым покрытием (рисунок 1).



а



б

Рисунок 1 – Рифлёная сталь с коррозионностойким цинк-алюминиевым покрытием, подверженным коррозии

Figure 1 - Corrugated steel with corrosion-resistant zinc-aluminum coating, subject to corrosion

На исследование предоставлены образцы рифлёной стали толщиной 0,25 мм с коррозионностойким цинк-алюминиевым покрытием. В процессе транспортировки пакетов рифлёной стали в открытых вагонах железнодорожным транспортом края листов в пакетах подверглись коррозии (рисунок 1). Коррозия проявилась в виде пятен чёрного цвета

POLZUNOVSKIY VESTNIK № 4 2021

та, распространяющихся перпендикулярно торцевым краям листов на расстояние до 500 мм и шириной до 150 мм.

Элементный анализ покрытия при помощи рентген-флуоресцентного анализатора «X-MET 7500» (РФА) и оптико-эмиссионного спектрометра «Solaris CCDPlus» (ОЭС) показал, что покрытие представляет собой цинк-

алюминиевое покрытие «Гальфан» с содержанием порядка 55 % Al, 43 % Zn, 2 % Si (таблица 1). Микроструктура покрытия, полученная

при помощи оптической микроскопии, представлена на рисунке 2.

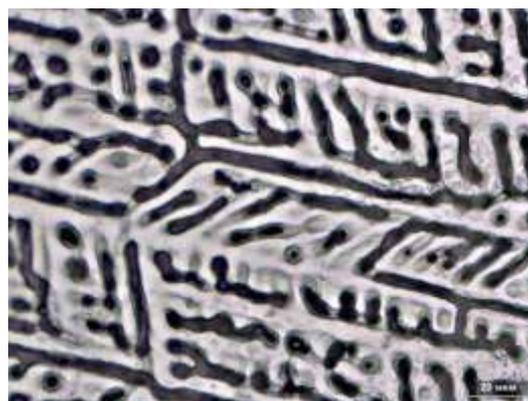
Таблица 1 – Элементный состав покрытия стального листа, %

Table 1 - Elemental composition of the steel sheet coating, %

Метод анализа	Al	Zn	Si
Рентген-флуоресцентный	54,30	44,10	1,60
Оптикоэмиссионный	55,00	43,63	1,37



а



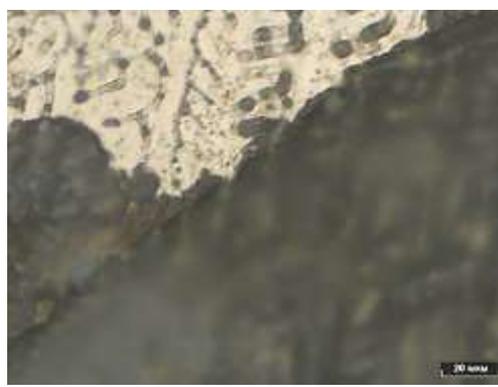
б

Рисунок 2 – Макро- (а) и микроструктура (б) антикоррозионного алюминий-цинкового покрытия на стальном листе

Figure 2 - Macro- (a) and microstructure (b) of anticorrosive aluminum-zinc coating on steel sheet



а



б

Рисунок 3 – Области коррозионных повреждений (черные) и неповрежденные (светлые) области алюминий-цинкового покрытия «Гальфан» при разном увеличении

Figure 3 - Areas of corrosion damage (black) and undamaged (light) areas of aluminum-zinc coating "Galfan" at different magnification

Структура границы области повреждений, расположенная рядом с неповрежденными областями, представлена на рисунке 3.

Исследования, проведенные при помощи растровой электронной микроскопии (РЕМ) с применением энергодисперсионного анализа (ЭДА), показали, что микроструктура поврежденных коррозией участков покрытия

представлена микрокристаллическими образованиями, состоящими, вероятнее всего, из оксидов алюминия (рисунок 4, а), тогда как области, не затронутые коррозией, имеют микроструктуру, характерную для алюминий-цинкового покрытия (рисунок 4, б).

Исследование химического состава в участках покрытия (таблица 2), подвержен-

ных коррозии (чёрные пятна), показали, что в них почти полностью отсутствует цинк (неповреждённые участки покрытия содержат порядка 36 % цинка по данным ЭДА, в то время как повреждённые коррозией участки содержат всего порядка 1 % цинка). В то же время повреждённые участки содержат до 70 %

кислорода, тогда как в неповреждённых участках его всего порядка 5 %. Это подтверждает вывод, сделанный на основании исследования микроструктуры повреждённых участков покрытия, что они состоят из оксидов алюминия.

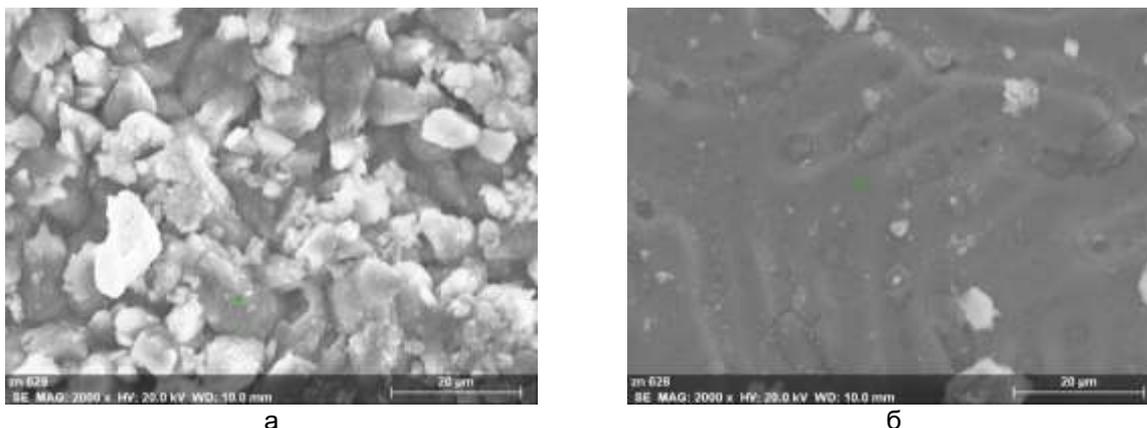


Рисунок 4 – Микроструктура поврежденной коррозией (а) и неповрежденной (б) областей алюминий-цинкового покрытия «Гальфан»

Figure 4 - Microstructure of corrosion-damaged (a) and intact (b) areas of aluminum-zinc coating "Galfan"

Таблица 2 – Элементный состав областей покрытия «Гальфан», представленных на рисунке 4

Table 2 - Elemental composition of the Galfan coating areas shown in Figure 4

Элемент	Участок с коррозией (рисунок 4, а)		Участок без коррозии (рисунок 4, б)	
	вес. %	ат. %	вес. %	вес. %
Кислород	57,74	69,59	2,43	5,14
Алюминий	37,25	26,62	56,80	71,33
Железо	1,29	0,44	3,05	1,85
Цинк	1,24	0,36	36,40	18,86
Кремний	2,48	2,99	1,32	2,82

Проведённые исследования показали, что появление пятен чёрного цвета на поверхности цинк-алюминиевого покрытия связаны с вытравливанием цинка из его состава и окислением в результате этого процесса алюминия во влажной кислой среде. Возникновение такой среды может быть связано с присутствием в окружающей атмосфере углекислого газа [4, 9–10]. Выявить конкретные причины этого явления не представляется возможным из-за отсутствия данных об условиях транспортировки исследованной рифлёной стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Dutra, C.A.M., Codaro, E.N. & Nakazato, R.Z. (2012). Electrochemical Behavior and Corrosion Study of Electrodeposits of Zn and Zn-Fe-Co on Steel *Materials Sciences and Applications*. 3 (6), 348-354.
2. Myeong, H.L., Yeon, W.K., Kyung, M.L., Seung, H.L. & Kyung, M.M. (2013). Electrochemical evaluation of zinc and magnesium alloy coatings deposited on electrogalvanized steel by PVD. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, (23), 876-880.
3. Amini, R., Obidov, Z., Ganiev, I. & Razazi, M. (2012). Potentiodynamical Research of Zn-Al-Mg Alloy System in the Neutral Ambience of NaCl Electrolyte and Influence of Mg on the Structure. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 2 (2), 110-114.

4. Panossian, Z., Mariaca, L., Morcillo, M., Flores, S., Rocha, J., Peña, J.J., Herrera, F., Corvo, F., Sanchez, M., Rincon, O.T., Pridybailo, G. & Simancas, J. (2005). Steel cathodic protection afforded by zinc, aluminium and zinc/aluminium alloy coatings in the atmosphere. *Surface and Coatings Technology*, 190 (2-3). 244-248.

5. Najafabadi, R.A., Irani, M., Ganiev, I., Obidov, Z., Galfan I and Galfan II (2014). Doped with calcium. *Corrosion Resistant Alloys, Orient J Chem*, 30(3).

6. Persson, D., Thierry, D., Le Bozec, N. (2011). Corrosion product formation on Zn55Al coated steel upon exposure in a marine atmosphere. *Corrosion Science*, 53(2), 720-726.

7. Jiang, G., Liu, G., Shang, T., Qiu, W. (2019). Corrosion Properties of Steel Sheet with Zinc-Base Alloy Coatings. In: *The Minerals, Metals & Materials Series (eds) TMS 2019 148th Annual Meeting & Exhibition Supplemental Proceedings, The Minerals, Metals & Materials Series*, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05861-6_93.

8. Yang, Z., Li, M., Li, Q., Zhang, J., Yuan, X., Wu, G. (2013). Effect of Bath Temperature on Corrosion Behavior of Hot-Dipped 55%Al-Zn-1,6%Si Coated Steel Sheet in NaCl Solution. *EIS-2013*, 217-222. DOI: 10.1002/9781118663547.ch28.

9. Lachowicz, M.M., Lachowicz, M.B. (2017). Intergranular Corrosion of the as Cast Hypoeutectic Zinc-Aluminium Alloy. *Archives of Foundry Engineering*. 3 (17) DOI: 10.1515/afe-2017-0095.

10. Elvins, J., Sullivan, J.H., Spittle, J.A., Worsley, D.A. (2005). Short term predictive testing for cut edge corrosion resistance in zinc-aluminium alloy galvanised steels. *Corrosion Engineering, Science and Technology*. 40(1). DOI 10.1179/174327805X29796.

Информация об авторах

М. А. Гурьев – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. А. Бердыченко – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Современные специальные материалы» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. М. Гурьев – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Начертательная геометрия и графика» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, профессор Уханьского текстильного университета (КНР).

С. Г. Иванов – доктор технических наук, заведующий лабораторией Центра коллективного пользования лабораторно-исследовательским оборудованием Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. В. Дьяченко – научный сотрудник ФГБУН Института водных и экологических проблем СО РАН.

Н. С. Малыгина – кандидат географических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Института водных и экологических проблем СО РАН.

Information about the authors

M. A. Guryev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Equipment, Polzunov Altai State Technical University.

A. A. Berdychenko - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Modern Special Materials, Polzunov Altai State Technical University.

A. M. Guryev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Descriptive Geometry and Graphics, Polzunov Altai State Technical University, Professor of the Wuhan Textile University (CNR).

S. G. Ivanov - Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory of the Center for Shared Use of Laboratory and Research Equipment, Polzunov Altai State Technical University.

A. V. Dyachenko - Researcher at the Institute of Water and Environmental Problems.

N. S. Malygina - Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher at the Institute of Water and Environmental Problems.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 29.10.2021; одобрена после рецензирования 14.11.2021; принята к публикации 26.11.2021.

The article was received by the editorial board on 29 Oct 21; approved after reviewing on 14 Nov 21; accepted for publication on 26 Nov 21.