

## ABSTRACT AND REFERENCES

## MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268175

**DETERMINING DANGEROUS CHEMICALS ON THE SURFACE OF METALLIC HISTORICAL ARTEFACTS**

(p. 6–12)

**Yuliia Vovk**State University of Trade and Economics,  
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0459-0189>**Nina Merezhko**State University of Trade and Economics,  
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3077-9636>**Volodymyr Indutnyi**State University of Trade and Economics,  
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6676-7472>**Kateryna Pirkovich**State University of Trade and Economics,  
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1461-0235>**Yurii Lytvynenko**M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy  
and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6609-0000>

The problem is to determine the threat of chemical damage to a person upon his contact with historical artifacts from metals. For this purpose, experimental studies of the process of accumulation of chemicals on the surface of historical metal products were carried out. The objects of this study were 3 samples of historical cold weapons selected from the museum fund, as well as samples from modern sheet steel.

The blades of museum objects were rubbed with a special ash-free swab, which was burned, and the chemical composition of the residue was determined. This makes it possible to obtain data on compounds from a significant surface area. A list of chemical elements that accumulate on the surface of metallic historical artifacts over time has been established. Theoretically, the possibility of the appearance on the surface of historical artifacts made of iron of such chemical elements as Mercury, Barium, Stibium, Phosphorus, Plumbum (Lead), Thallium, Chromium, Selenium, Cadmium has been theoretically proven. This can pose a threat to the health of museum workers and collectors who are in daily contact with such items.

The results of the experiment are provided with samples of modern steel, which, in order to accelerate the process of elimination of impurity elements, warmed up for 3 hours in a muffle furnace at a temperature of 700 °C. The surface of these samples was studied using an electron microscope, and local emission analysis of the chemical composition was carried out. The obtained results confirm the process of elimination of ions of individual chemical elements from the metal in the process of its heating. We can observe the release of Al, Si, S, K, Ca, Cu ions to the surface. Based on the results obtained, plots are built that describe the change in the chemical composition of the metal surface throughout the history of existence.

The use of the author's method of testing makes it possible to study the problem of safety of handling historical monuments in

general. The results of the study are important for establishing the authenticity of metallic historical artifacts and assessing possible risks in contact with them.

**Keywords:** metallic historical artifacts, hazardous chemicals, chemical composition, X-ray fluorescence analysis.

**References**

1. Indutnyi, V. V., Pikhodiashcha, O. B. (2021). *Ekspertyza pamiatok kultury*. Kyiv: Litera LTD, 516.
2. Indutnyi, V., Merezhko, N., Pirkovich, K. (2019). Studying the authenticity of the golden element from a mongolian warrior's armor by physicalchemical methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (97)), 34–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.157156>
3. Indutnyi, V., Merezhko, N., Pirkovich, K., Andreiev, O. (2021). Identification of patterns of crystal-chemical transformations in historical artifacts made of metals. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (109)), 44–51. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225418>
4. Merezhko, N., Vovk, Y., Indutnyi, V., Pirkovich, K., Davydiuk, V., Andreiev, O. (2021). Devising criteria for the authenticity of historical cold weapons based on X-ray fluorescence analysis of their surface. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (114)), 6–11. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247624>
5. Kikuchi, N. (2020). Development and Prospects of Refining Techniques in Steelmaking Process. *ISIJ International*, 60 (12), 2731–2744. doi: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.isijint-2020-186>
6. Ashkenazi, D., Gitler, H., Stern, A., Tal, O. (2017). Metallurgical investigation on fourth century BCE silver jewellery of two hoards from Samaria. *Scientific Reports*, 7 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/srep40659>
7. Mincu, V., Constantin, N. (2013). Refining steels produced in electric arc furnace. *U.P.B. Sci. Bull., Series B*, 75 (2), 109–116. Available at: [https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev\\_docs\\_arhiva/full80c\\_761668.pdf](https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/full80c_761668.pdf)
8. Mincu, V., Negru, M., Constantin, N. (2012). Increase the Ingots Quality Cast in Vacuum. *Solid State Phenomena*, 188, 339–345. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.188.339>
9. Guerra, M. F., Pagès-Camagna, S. (2019). On the way to the New Kingdom. Analytical study of Queen Ahhotep's gold jewellery (17th Dynasty of Egypt). *Journal of Cultural Heritage*, 36, 143–152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.09.004>
10. Robbiola, L., Blengino, J.-M., Fiaud, C. (1998). Morphology and mechanisms of formation of natural patinas on archaeological Cu–Sn alloys. *Corrosion Science*, 40 (12), 2083–2111. doi: [https://doi.org/10.1016/s0010-938x\(98\)00096-1](https://doi.org/10.1016/s0010-938x(98)00096-1)
11. Scrivano, S., Gómez Tubío, B., Ortega-Feliu, I., Ager, F. J., Paul, A., Respaldiza, M. A. (2017). Compositional and microstructural study of joining methods in archaeological gold objects. *X-Ray Spectrometry*, 46 (2), 123–130. doi: <https://doi.org/10.1002/xrs.2738>
12. Uzlov, K. I. (2015). *Krystalohrafiya, krystalokhimiya ta mineralohiya*. Chastyna II: Konspekt lektsiy Dnipropetrovsk: NMetAU, 52. Available at: [https://nmetau.edu.ua/file/konspekt\\_lektsiy\\_krystalogr\\_ch\\_ii.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/konspekt_lektsiy_krystalogr_ch_ii.pdf)
13. Voroshilov, Yu. V., Pavlishin, V. I. (2011). *Osnovy kristallografii i kristalokhimii. Rentgenografiya kristallov*. Kyiv: KNT, 568.
14. Smyrnov, V. O., Biletskyi, V. S. (2022). *Fizychni ta khimichni osnovy haluzevoho vyrobnytstva*. Lviv: Novyi Svit-2000, 148. Available at: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/56004/1/Book\\_2022\\_Smyrnov\\_Fizychni.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/56004/1/Book_2022_Smyrnov_Fizychni.pdf)
15. Biletskyi, V. S. et al.; Biletskyi, V. S. (Ed.) (2004). *Mala hirnycha entsyklopediya*. Vol. 1. Donetsk: Donbas, 640.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.267264

**SUPPRESSION OF CORROSION ON STAINLESS STEEL 303 WITH AUTOMATIC IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION (A-ICCP) METHOD IN SIMULATED SEAWATER (p. 13–21)**

Hamsir

Hasanuddin University, Bontomarannu Gowa,  
Sulawesi Selatan, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5521-2498>

Onny Sutresman

Hasanuddin University, Bontomarannu Gowa,  
Sulawesi Selatan, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4451-5634>

Hairul Arsyad

Hasanuddin University, Bontomarannu Gowa,  
Sulawesi Selatan, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3356-2846>

Muhammad Syahid

Hasanuddin University, Bontomarannu Gowa,  
Sulawesi Selatan, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8025-4542>

Agus Widyianto

Universitas Negeri Yogyakarta, Karang Gayam,  
Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman,  
Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1554-2561>

One effective method to slow down metal corrosion rate is the impressed current cathodic protection (ICCP) system. The ICCP system is suitable for coastal applications such as piping systems and offshore structures. In this application, metal surfaces tend to be exposed to seawater. Specific concentrations of seawater can accelerate the occurrence of corrosion of metals, even though they are stainless steel types. This study applied the automatic ICCP system to stainless steel 303. Stainless steel 303 will be immersed in simulated seawater at several concentrations of NaCl (27 ppt, 31 ppt, and 35 ppt). The specimens were immersed in NaCl solution for three weeks or about 504 hours at a constant temperature of 38 °C. After the sample has been soaked, quantitative and qualitative measurements were carried out. Quantitative measures include average weight loss, corrosion rate, and potential value. At the same time, the qualitative measurements include macroscopic, Scanning Electron Microscopy (SEM), and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS). Based on quantitative measures, it was found that the difference in average weight loss and corrosion rate for each NaCl concentration was not very significant. The difference of each parameter is less than 0.1 % and 0.22 %, respectively. The potential value quickly reaches a steady state at NaCl concentrations of 27 ppt and 31 ppt in less than 10 seconds. The results of the SEM test showed a change in the metal structure. The oxygen (O) content in the metal after the EDS test showed a decrease in this element up to 35 % at a NaCl concentration of 35 ppt. The decrease in oxygen (O) can slow down the corrosion rate in metals when exposed to seawater.

**Keywords:** corrosion rate, impressed current cathodic protection (ICCP), simulated seawater, stainless steel 303.

## References

- Roberge, P. R. (2012). Handbook of corrosion engineering. McGraw-Hill Education. Available at: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071750370>
- Xiao, J., Chaudhuri, S. (2011). Predictive modeling of localized corrosion: An application to aluminum alloys. *Electrochimica Acta*, 56 (16), 5630–5641. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.04.019>
- Roberge, P. R. (2008). Corrosion engineering. McGraw-Hill. Available at: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071482431>
- Technical Handbook of Stainless Steels (2021). Atlas Steels. Available at: <https://atlassteels.com.au/wp-content/uploads/2021/08/Atlas-Steels-Technical-Handbook-of-Stainless-Steels-12-08-21.pdf>
- Troconis, B. C., Sharp, S. R., Ozyildirim, H. C., Demarest, C. R., Wright, J., Scully, J. R. (2020). Corrosion-resistant stainless steel strands for prestressed bridge piles in marine atmospheric environments. Available at: <https://trid.trb.org/view/1693224>
- Kaban, A. P. S., Ridhova, A., Priyotomo, G., Elya, B., Maksum, A., Sadeli, Y. et al. (2021). Development of white tea extract as green corrosion inhibitor in mild steel under 1 M hydrochloric acid solution. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (110)), 6–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224435>
- Bai, G., Lu, S., Li, D., Li, Y. (2016). Influences of niobium and solution treatment temperature on pitting corrosion behaviour of stabilised austenitic stainless steels. *Corrosion Science*, 108, 111–124. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2016.03.009>
- Loto, R. T. (2013). Pitting corrosion evaluation of austenitic stainless steel type 304 in acid chloride media. *Journal of Materials and Environmental Science*, 4 (4), 448–459. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/272621606\\_Pitting\\_corrosion\\_evaluation\\_of\\_austenitic\\_stainless\\_steel\\_type\\_304\\_in\\_acid\\_chloride\\_media](https://www.researchgate.net/publication/272621606_Pitting_corrosion_evaluation_of_austenitic_stainless_steel_type_304_in_acid_chloride_media)
- Loto, R. T., Loto, C. A., Popoola, A. P. I., Ranyaoa, M. (2012). Corrosion resistance of austenitic stainless steel in sulphuric acid. *International Journal of Physical Sciences*, 7 (10). doi: <https://doi.org/10.5897/ijps11.1580>
- Ilyasu, I., Yawas, D. S., Aku, S. Y. (2012). Corrosion behavior of austenitic stainless steel in sulphuric acid at various concentrations. *Advances in Applied Science Research*, 3 (6), 3909–3915. Available at: <https://www.primescholars.com/articles/corrosion-behavior-of-austenitic-stainless-steel-in-sulphuric-acid-at-various-concentrations.pdf>
- Xu, L., Xin, Y., Ma, L., Zhang, H., Lin, Z., Li, X. (2021). Challenges and solutions of cathodic protection for marine ships. *Corrosion Communications*, 2, 33–40. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cormcom.2021.08.003>
- Bahekar, P. V., Gadve, S. S. (2017). Impressed current cathodic protection of rebar in concrete using Carbon FRP laminate. *Construction and Building Materials*, 156, 242–251. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.145>
- Evgeny, B., Hughes, T., Eskin, D. (2016). Effect of surface roughness on corrosion behaviour of low carbon steel in inhibited 4 M hydrochloric acid under laminar and turbulent flow conditions. *Corrosion Science*, 103, 196–205. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2015.11.019>
- Zheng, Z. B., Zheng, Y. G., Zhou, X., He, S. Y., Sun, W. H., Wang, J. Q. (2014). Determination of the critical flow velocities for erosion–corrosion of passive materials under impingement by NaCl solution containing sand. *Corrosion Science*, 88, 187–196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.07.043>
- Liang, J., Deng, A., Xie, R., Gomez, M., Hu, J., Zhang, J. et al. (2013). Impact of flow rate on corrosion of cast iron and quality of re-mineralized seawater reverse osmosis (SWRO) membrane product water. *Desalination*, 322, 76–83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.05.001>
- Vasyliov, G. S. (2015). The influence of flow rate on corrosion of mild steel in hot tap water. *Corrosion Science*, 98, 33–39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2015.05.007>
- Kim, Y.-S., Seok, S., Lee, J.-S., Lee, S. K., Kim, J.-G. (2018). Optimizing anode location in impressed current cathodic protection system to minimize underwater electric field using multiple linear regression analysis and artificial neural network methods. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 96, 84–93. doi: <https://doi.org/10.1016/jenganabound.2018.08.012>
- Lauria, D., Minucci, S., Mottola, F., Pagano, M., Petrarca, C. (2018). Active cathodic protection for HV power cables in undersea applica-

- tion. *Electric Power Systems Research*, 163, 590–598. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.11.016>
19. Jeong, J. A., Jin, C. K. (2014). Experimental Studies of Effectiveness of Hybrid Cathodic Protection System on the Steel in Concrete. *Science of Advanced Materials*, 6 (10), 2165–2170. doi: <https://doi.org/10.1166/sam.2014.2061>
  20. Wilson, K., Jawed, M., Ngala, V. (2013). The selection and use of cathodic protection systems for the repair of reinforced concrete structures. *Construction and Building Materials*, 39, 19–25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.05.037>
  21. Qiao, G., Guo, B., Ou, J. (2017). Numerical Simulation to Optimize Impressed Current Cathodic Protection Systems for RC Structures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29 (6). doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0001837](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001837)
  22. Zhu, J.-H., Wei, L., Moahmoud, H., Redaelli, E., Xing, F., Bertolini, L. (2017). Investigation on CFRP as dual-functional material in chloride-contaminated solutions. *Construction and Building Materials*, 151, 127–137. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.213>
  23. Christodoulou, C., Glass, G., Webb, J., Austin, S., Goodier, C. (2010). Assessing the long term benefits of Impressed Current Cathodic Protection. *Corrosion Science*, 52 (8), 2671–2679. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.04.018>
  24. Li, S., Zhang, L., Wang, Y., Hu, P., Jiang, N., Guo, P. et al. (2021). Effect of cathodic protection current density on corrosion rate of high-strength steel wires for stay cable in simulated dynamic marine atmospheric rainwater. *Structures*, 29, 1655–1670. doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.12.028>
  25. Jusoh, S. M., Nik, W. M. N. W., Azman, N. A., Zulkifli, M. F. R. (2020). Corrosion Behavior of Low-Carbon Steel and Stainless Steel 304 Under Two Soil Conditions at Pantai Mengabang Telipot, Terengganu, Malaysia. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 24 (6), 954–969. Available at: [https://mjas.analis.com.my/mjas/v24\\_n6/pdf/Suriani\\_24\\_6\\_14.pdf](https://mjas.analis.com.my/mjas/v24_n6/pdf/Suriani_24_6_14.pdf)
  26. Thomas, S., Ott, N., Schaller, R. F., Yuwono, J. A., Volovitch, P., Sundararajan, G. et al. (2016). The effect of absorbed hydrogen on the dissolution of steel. *Heliyon*, 2 (12), e00209. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00209>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265678

**THE ASSESSMENT OF REFLECTOR MATERIAL DURABILITY FOR CONCENTRATED SOLAR POWER BASED ON ENVIRONMENT EXPOSURE AND ACCELERATED AGING TEST (p. 22–29)**

**Budhi Muliawan Suyitno**

Universitas Pancasila, Jagakarsa-South Jakarta,  
DKI Jakarta, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4384-0352>

**Reza Abdu Rahman**

Universitas Pancasila, Jagakarsa-South Jakarta,  
DKI Jakarta, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8047-6716>

**Hendri Sukma**

Universitas Pancasila, Jagakarsa-South Jakarta,  
DKI Jakarta, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5994-9822>

**Dwi Rahmalina**

Universitas Pancasila, Jagakarsa-South Jakarta,  
DKI Jakarta, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7239-9039>

The reflector durability is essential to maintain suitable photo-to-thermal conversion in concentrated solar power plants. The

present study evaluates the impact of environmental exposure and accelerated aging of the reflector material. The study is conducted to assess the reflector material's durability to withstand environmental exposure and accelerated aging test. The evaluation is conducted using four different reflector materials commonly used in concentrated solar power: stainless steel and silvered-glass mirror (solid-state reflector), aluminum and silvered-polymer film (sheet-based reflector). The environmental exposure and accelerated aging test are conducted for 1,080 hours according to the standard reference of ISO 8565:2011 and ASTM B117–11. The mass loss after exposure is used as a reference to determine the corrosion rate for each reflector. Further observation is conducted by using microscope light to observe the effect of exposure on the surface of the reflector. Each reflector indicates a different corrosion rate which implies different weather resistance for each reflector type. The highest corrosion rate is found on aluminum film, with a value of 295.8 g/m<sup>2</sup>.year. The accelerated aging test through neutral salt spray demonstrates that a metallic reflector has a higher corrosion rate compared to a silvered-glass mirror which uses silicon dioxide as the top coating. Microscope observation demonstrates that suitable protection from soiling elements for the silvered-glass mirror is mainly caused by the presence of silicon dioxide on the top surface of this reflector. The assessment suggests that a suitable coating can be developed to be used for reflector protection. Furthermore, the corrosion mechanism is observed clearly, which can be referred to the synthesis of new reflective material that withstands environment and salt exposure.

**Keywords:** accelerated aging, concentrated solar power, reflector material, salt spray, soiling.

**References**

1. Kozlov, I., Kovalchuk, V., Klymchuk, O., Dorozh, O., Sigal, A., Aksyonova, I., Elkin, Y. (2022). Assessing the Region'S Energy Provision. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (8 (116)), 13–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255740>
2. Ismail, I., Mulyanto, A. T., Rahman, R. A. (2022). Development of free water knock-out tank by using internal heat exchanger for heavy crude oil. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 77–85. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002502>
3. Tsoy, A., Titlov, O., Granovskiy, A., Koretskiy, D., Vorobyova, O., Tsoy, D., Jamasheva, R. (2022). Improvement of refrigerating machine energy efficiency through radiative removal of condensation heat. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8 (115)), 35–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251834>
4. Petrivskiy, V., Shevchenko, V., Yevseiev, S., Milov, O., Laptiev, O., Bychkov, O. et al. (2022). Development of a modification of the method for constructing energy-efficient sensor networks using static and dynamic sensors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (115)), 15–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252988>
5. Ismail, I., Rahman, R. A., Haryanto, G., Pane, E. A. (2021). The Optimal Pitch Distance for Maximizing the Power Ratio for Savonius Turbine on Inline Configuration. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11 (2), 595–599. Available at: <https://www.ijrer.org/ijrer/index.php/ijrer/article/view/11862/pdf>
6. Rahmalina, D., Rahman, R. A., Ismail. (2022). Increasing the rating performance of paraffin up to 5000 cycles for active latent heat storage by adding high-density polyethylene to form shape-stabilized phase change material. *Journal of Energy Storage*, 46, 103762. doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103762>
7. Wiyono, A., Saw, L. H., Anggrainy, R., Husen, A. S., Purnawan, Rohendi, D. et al. (2021). Enhancement of syngas production via co-gasification and renewable densified fuels (RDF) in an open-top downdraft gasifier: Case study of Indonesian waste. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27, 101205. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101205>

8. Gandidi, I. M., Wiyono, A., Berman, E. T., Pambudi, N. A. (2019). Experimental upgrading of liquid crude oil obtained from calophyllum inophyllum by two-stage pyrolysis. *Case Studies in Thermal Engineering*, 16, 100544. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100544>
9. Mohamad, K., Ferrer, P. (2019). Parabolic trough efficiency gain through use of a cavity absorber with a hot mirror. *Applied Energy*, 238, 1250–1257. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.163>
10. Rahman, R. A., Lahuri, A. H., Ismail, I. (2023). Thermal stress influence on the long-term performance of fast-charging paraffin-based thermal storage. *Thermal Science and Engineering Progress*, 37, 101546. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2022.101546>
11. Rahmalina, D., Adhitya, D. C., Rahman, R. A., Ismail, I. (2021). Improvement the performance of composite PCM paraffin-based incorporate with volcanic ash as heat storage for low-temperature application. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 53–61. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002055>
12. Adanta, D., Syofii, I., Sari, D., Wiyono, A. (2022). Performance of Pico Scale Turgo Turbine in Difference the Nozzle Diameter. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, 15 (1), 130–136. doi: <https://doi.org/10.5293/ijfms.2022.15.1.130>
13. Fernández-García, A., Sutter, F., Fernández-Reche, J., Lüpfer, E. (2017). Mirrors. *The Performance of Concentrated Solar Power (CSP) Systems*, 67–98. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100447-0.000003-1>
14. Zhu, G., Kearney, D., Mehos, M. (2014). On characterization and measurement of average solar field mirror reflectance in utility-scale concentrating solar power plants. *Solar Energy*, 99, 185–202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.11.009>
15. Asselineau, C.-A., Zapata, J., Pye, J. (2015). Integration of Monte-Carlo ray tracing with a stochastic optimisation method: application to the design of solar receiver geometry. *Optics Express*, 23 (11), A437. doi: <https://doi.org/10.1364/oe.23.00a437>
16. Sutter, F., Montecchi, M., von Dahlen, H., Fernández-García, A., Röger, M. (2018). The effect of incidence angle on the reflectance of solar mirrors. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 176, 119–133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.11.029>
17. Usmani, B., Dixit, A. (2016). Impact of corrosion on microstructure and mechanical properties of ZrO<sub>x</sub>/ZrC-ZrN/Zr absorber–reflector tandem solar selective structures. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 157, 733–741. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.07.019>
18. Sutter, F., Meyen, S., Fernández-García, A., Heller, P. (2016). Spectral characterization of specular reflectance of solar mirrors. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 145, 248–254. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.10.030>
19. Sutter, F., Fernández-García, A., Wette, J., Reche-Navarro, T. J., Martínez-Arcos, L. (2019). Acceptance criteria for accelerated aging testing of silvered-glass mirrors for concentrated solar power technologies. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 193, 361–371. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.01.008>
20. Sutter, F., Fernández-García, A., Wette, J., Wiesinger, F. (2017). Assessment of durability and accelerated aging methodology of solar reflectors. *The Performance of Concentrated Solar Power (CSP) Systems*, 169–201. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100447-0.000006-7>
21. Azouzoute, A., Merrouni, A. A., Garoum, M., Bennouna, E. G. (2020). Soiling loss of solar glass and mirror samples in the region with arid climate. *Energy Reports*, 6, 693–698. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.09.051>
22. Wiesinger, F., Sutter, F., Fernández-García, A., Wette, J., Wolfertstetter, F., Hanrieder, N. et al. (2020). Sandstorm erosion on solar reflectors: Highly realistic modeling of artificial aging tests based on advanced site assessment. *Applied Energy*, 268, 114925. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114925>
23. Bellos, E., Tzivanidis, C. (2020). Solar concentrating systems and applications in Greece – A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122855. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122855>
24. Wang, Y., Potter, D., Asselineau, C.-A., Corsi, C., Wagner, M., Caliot, C. et al. (2020). Verification of optical modelling of sunshape and surface slope error for concentrating solar power systems. *Solar Energy*, 195, 461–474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.11.035>
25. Sattler, J. C., Röger, M., Schwarzbözl, P., Buck, R., Macke, A., Raeder, C., Götttsche, J. (2020). Review of heliostat calibration and tracking control methods. *Solar Energy*, 207, 110–132. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.06.030>
26. Hijazi, H., Mokhiamar, O., Elsamni, O. (2016). Mechanical design of a low cost parabolic solar dish concentrator. *Alexandria Engineering Journal*, 55 (1), 1–11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.01.028>
27. Dey, T., Naughton, D. (2019). Nano-porous sol-gel derived hydrophobic glass coating for increased light transmittance through greenhouse. *Materials Research Bulletin*, 116, 126–130. doi: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2019.04.027>
28. Kennedy, C. E., Terwilliger, K. (2005). Optical Durability of Candidate Solar Reflectors. *Journal of Solar Energy Engineering*, 127 (2), 262–269. doi: <https://doi.org/10.1115/1.1861926>
29. Weinstein, L. A., Loomis, J., Bhatia, B., Bierman, D. M., Wang, E. N., Chen, G. (2015). Concentrating Solar Power. *Chemical Reviews*, 115 (23), 12797–12838. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00397>
30. Alex, S., Kumar, P. R., Chattopadhyay, K., Barshilia, H. C., Basu, B. (2019). Thermally evaporated Cu–Al thin film coated flexible glass mirror for concentrated solar power applications. *Materials Chemistry and Physics*, 232, 221–228. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.04.078>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269942**

**PATTERNS IN THE ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF THIN-FILM PHOTOCATALYTIC MATERIALS BASED ON TITANIUM HETEROOXIDE COMPOUNDS (p. 30–39)**

**Mykola Sakhnenko**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5525-9525>

**Iryna Stepanova**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7465-868X>

**Alla Korogodskaya**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1534-2180>

**Ann Karakurkchi**

The National Defence University of Ukraine  
named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1287-3859>

**Olena Skrypnik**

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5392-7374>

**Anatoly Dzheniuk**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6360-9425>

**Oleksandr Halak**

Military Institute of Tank Troops, Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2590-9291>

This paper reports a study the into processes of plasma-electrolyte formation of heterooxidic coatings on titanium alloys for the photocat-

alytic destruction of natural and man-made toxicants. The synthesis of coatings was carried out from aqueous solutions of diphosphates under a galvanostatic mode. For a quantitative description of photocatalytic reactions, the constants of the reaction rate  $k_f$  from the linearized dependences  $\ln(C_t/C_0)$ , where  $C_t$  is the current,  $C_0$  is the initial concentration of the reagent, were calculated. The morphology of the coating surface was investigated by atomic force microscopy, and the results were visualized by reconstruction of the relief in the form of 2D and 3D topographic maps. Morphological features of coatings made of titanium oxide (IV) and heterooxidic composites containing oxides of transition metals were analyzed. It is shown that the specific surface area remains an effective factor in regulating the photocatalytic activity of coatings. The establishment of the morphology of heterooxidic composites, as well as methods for controlling this parameter of the target product, is a constant component of the systematic study of such materials in determining their functional properties. It has been established that compared to oxide-titanium coatings whose surface layers are characterized by a toroidal mesostructure, heterooxidic compositions have a more developed surface, which has a positive effect on their functional properties. Subsequent heat treatment similarly affects the properties of the coating. The speed constants of the photocatalytic decomposition of the methyl yellow-hot azo dye were used to rank coatings of different composition according to their functional properties. Coatings from  $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$  showed the highest catalytic activity among the materials studied –  $k_f$  is  $5.26 \cdot 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ , which is several times higher than the corresponding value for  $\text{TiO}_2$ .

**Keywords:** plasma-electrolyte oxidation, titanium heterooxides, heterooxidic photocatalyst, photocatalyst morphology, azo dye, dopant.

## References

- Karakurkchi, A., Sakhnenko, M., Ved, M., Galak, A., Petrukhin, S. (2017). Application of oxide-metallic catalysts on valve metals for ecological catalysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (89)), 12–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109885>
- Khimach, N. Yu., Polunkin, Ye. V. (2012). Nanostrukturovani katalizatory. *Katalyz y neftekhymiya*, 21, 86–98.
- Ved, M. V. (2017). Functional mixed cobalt and aluminum oxide coatings for environmental safety. *Functional Materials*, 24 (2), 005–310. doi: <https://doi.org/10.15407/fm24.02.303>
- Ved, M. V., Sakhnenko, M. D. (2010). Katalitychni ta zakhysni pokryttia splavamy i skladnymy oksydamy: elektrokhimichniy syntez, prohnouzuvannia vlastyivostei. *Kharkiv: NTU „KhPI”*, 272.
- Halak, O., Menshov, S. (2019). The use of photocatalytic technology for the disintegration of hazardous chemical substances. *International Scientific Conference*. doi: [https://doi.org/10.30525/978-9934-588-11-2\\_9](https://doi.org/10.30525/978-9934-588-11-2_9)
- Kadhim S. H. (2016). Preparation and Characterization of Pure and  $\text{Na}_2\text{O}$  Doped  $\text{Co}_3\text{O}_4$  Spinel Supported Catalyst for Photocatalytic Degradation of Reactive Yellow Dye 145. *International Journal of ChemTech Research*, 9 (12), 754–766. Available at: [https://www.sphinxsai.com/2016/ch\\_vol9\\_no12/2/\(754-766\)V9N12CT.pdf](https://www.sphinxsai.com/2016/ch_vol9_no12/2/(754-766)V9N12CT.pdf)
- Qu, Y., Duan, X. (2013). Progress, challenge and perspective of heterogeneous photocatalysts. *Chem. Soc. Rev.*, 42 (7), 2568–2580. doi: <https://doi.org/10.1039/c2cs35355e>
- Khairy, M., Zakaria, W. (2014). Effect of metal-doping of  $\text{TiO}_2$  nanoparticles on their photocatalytic activities toward removal of organic dyes. *Egyptian Journal of Petroleum*, 23 (4), 419–426. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2014.09.010>
- Iurascu, B., Siminiceanu, I., Vione, D., Vicente, M. A., Gil, A. (2009). Phenol degradation in water through a heterogeneous photo-Fenton process catalyzed by Fe-treated laponite. *Water Research*, 43 (5), 1313–1322. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.12.032>
- Grishina, E. P., Kudryakova, N. O., Rummyantsev, P. A., Zhiron, A. V., Gladly, Yu. P., Belkin, P. N. (2013). Photoelectrochemical properties of oxide films formed by anode plasma electrolytic oxidation on titanium in water solutions. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 49 (1), 83–90. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068375512060026>
- Marci, G., Augugliaro, V., López-Muñoz, M. J., Martín, C., Palmisano, L., Rives, V. et al. (2001). Preparation Characterization and Photocatalytic Activity of Polycrystalline  $\text{ZnO/TiO}_2$  Systems. 2. Surface, Bulk Characterization, and 4-Nitrophenol Photodegradation in Liquid–Solid Regime. *The Journal of Physical Chemistry B*, 105 (5), 1033–1040. doi: <https://doi.org/10.1021/jp003173j>
- Meng, T., Xie, P., Qin, H., Liu, H., Hua, W., Li, X., Ma, Z. (2016).  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  nanowires formed by hydrothermally transforming  $\text{SiO}_2$  spheres in the presence of  $\text{Fe}^{3+}$ : Synthesis, characterization, and catalytic properties. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 421, 109–116. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2016.05.017>
- Kandy, M. M., Gaikar, V. G. (2018). Photocatalytic reduction of  $\text{CO}_2$  using CdS nanorods on porous anodic alumina support. *Materials Research Bulletin*, 102, 440–449. doi: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2018.02.054>
- He, J., Luo, Q., Cai, Q. Z., Li, X. W., Zhang, D. Q. (2011). Microstructure and photocatalytic properties of  $\text{WO}_3/\text{TiO}_2$  composite films by plasma electrolytic oxidation. *Materials Chemistry and Physics*, 129 (1-2), 242–248. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.04.011>
- Paramasivam, I., Jha, H., Liu, N., Schmuki, P. (2012). A Review of Photocatalysis using Self-organized  $\text{TiO}_2$  Nanotubes and Other Ordered Oxide Nanostructures. *Small*, 8 (20), 3073–3103. doi: <https://doi.org/10.1002/sml.201200564>
- Vasilyeva, M. S., Rudnev, V. S., Tarabrina, D. A. (2017). Photocatalytic properties of Zn- and Cd-containing oxide layers on titanium formed by plasma electrolytic oxidation. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 53 (4), 711–715. doi: <https://doi.org/10.1134/s2070205117040232>
- Zaleska, A. (2008). Doped- $\text{TiO}_2$ : A Review. *Recent Patents on Engineering*, 2 (3), 157–164. doi: <https://doi.org/10.2174/187221208786306289>
- Karakurkchi, A. V. (2015). Functional properties of multicomponent galvanic alloys of iron with molybdenum and tungsten. *Functional Materials*, 22 (2), 181–187. doi: <https://doi.org/10.15407/fm22.02.181>
- Zhang, F., Wang, X., Liu, H., Liu, C., Wan, Y., Long, Y., Cai, Z. (2019). Recent Advances and Applications of Semiconductor Photocatalytic Technology. *Applied Sciences*, 9 (12), 2489. doi: <https://doi.org/10.3390/app9122489>
- Xiao, F.-X. (2012). Construction of Highly Ordered  $\text{ZnO-TiO}_2$  Nanotube Arrays ( $\text{ZnO/TNTs}$ ) Heterostructure for Photocatalytic Application. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 4 (12), 7055–7063. doi: <https://doi.org/10.1021/am302462d>
- Fujishima, A., Zhang, X. (2006). Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches. *Comptes Rendus Chimie*, 9 (5-6), 750–760. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crci.2005.02.055>
- Asahi, R., Morikawa, T., Ohwaki, T., Aoki, K., Taga, Y. (2001). Visible-Light Photocatalysis in Nitrogen-Doped Titanium Oxides. *Science*, 293 (5528), 269–271. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1061051>
- Irie, H., Watanabe, Y., Hashimoto, K. (2003). Nitrogen-Concentration Dependence on Photocatalytic Activity of  $\text{TiO}_2\text{-xN}_x$  Powders. *The Journal of Physical Chemistry B*, 107 (23), 5483–5486. doi: <https://doi.org/10.1021/jp030133h>
- Ihara, T. (2003). Visible-light-active titanium oxide photocatalyst realized by an oxygen-deficient structure and by nitrogen doping. *Applied Catalysis B: Environmental*, 42 (4), 403–409. doi: [https://doi.org/10.1016/s0926-3373\(02\)00269-2](https://doi.org/10.1016/s0926-3373(02)00269-2)
- Kudo, A. (2003). Photocatalyst materials for water splitting. *Catalysis Surveys from Asia*, 7, 31–38. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1023480507710>
- Prieto, J. P., Béjar, M. G. (Eds.) (2019). Photoactive inorganic nanoparticles. Surface composition and nanosystem functionality. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/c2017-0-01254-5>

27. Ved', M. V., Sakhnenko, M. D., Bohoyavlens'ka, O. V., Nenastina, T. O. (2008). Modeling of the surface treatment of passive metals. *Materials Science*, 44 (1), 79–86. doi: <https://doi.org/10.1007/s11003-008-9046-6>
28. Sakhnenko, N. D., Ved, M. V., Karakurkchi, A. V. (2017). Nanoscale Oxide PEO Coatings Forming from Diphosphate Electrolytes. *Nanophysics, Nanomaterials, Interface Studies, and Applications*, 507–531. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56422-7\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56422-7_38)
29. Yan, G., Zhang, M., Hou, J., Yang, J. (2011). Photoelectrochemical and photocatalytic properties of N+S co-doped TiO<sub>2</sub> nanotube array films under visible light irradiation. *Materials Chemistry and Physics*, 129 (1-2), 553–557. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.04.063>
30. Yar-Mukhamedova, G. Sh., Sakhnenko, N. D., Ved, M. V. (2020). Nanocomposite electrolytic coatings with defined functional properties. *Almaty: Kazakh University*, 180.
31. Lim, S. Y., Law, C. S., Liu, L., Markovic, M., Hedrich, C., Blick, R. H. et al. (2019). Electrochemical Engineering of Nanoporous Materials for Photocatalysis: Fundamentals, Advances, and Perspectives. *Catalysts*, 9 (12), 988. doi: <https://doi.org/10.3390/catal9120988>
32. Luo, Q., Cai, Q., Li, X., Chen, X. (2014). Characterization and photocatalytic activity of large-area single crystalline anatase TiO<sub>2</sub> nanotube films hydrothermal synthesized on Plasma electrolytic oxidation seed layers. *Journal of Alloys and Compounds*, 597, 101–109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.01.216>
33. Herrmann, J.-M. (2005). Heterogeneous photocatalysis: state of the art and present applications In honor of Pr. R.L. Burwell Jr. (1912–2003), Former Head of Ipatieff Laboratories, Northwestern University, Evanston (Ill). *Topics in Catalysis*, 34 (1-4), 49–65. doi: <https://doi.org/10.1007/s11244-005-3788-2>
34. Vinu, R., Madras, G. (2010). Environmental remediation by photocatalysis. *Journal of the Indian Institute of Science*, 90 (2), 189–230. Available at: <http://journal.iisc.ernet.in/index.php/iisc/article/view/95/92>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269852

#### DEVELOPMENT OF OXIDE COMPOSITE MATERIALS FOR CATHODE ELEMENT OF IT-SOFCs (p. 40–45)

**Iwan Susanto**

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7120-0374>

**Dianta Mustofa Kamal**

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9336-8936>

**Tia Rahmiati**

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7802-9394>

**Vika Rizkia**

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2718-8475>

**Fuad Zainuri**

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8996-281X>

**Belyamin Belyamin**

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9494-0105>

**Sulaksana Permana**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3473-5892>

**Adi Subardi**

Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0867-3624>

**Yen-Pei Fu**

National Dong Hwa University, Hualien, Taiwan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2472-4981>

Investigating the properties of composite oxide for intermediate temperature solid oxide fuel cells (IT-SOFCs) has been done as a new cathode material. Using a solid-state reaction method, the metallic oxide material has been employed to create the composite model system. During the sintering process, a model system of Sm<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.35</sub>Ba<sub>0.15</sub>FeO<sub>3-δ</sub> (SSBF15) was constructed. Thermal gravimetric analysis (TG) was played to utilize the oxygen content and weight loss of the model. In the meantime, the structure of the composite was characterized using X-ray diffraction (XRD), and the conductivity properties were tested by thermal conductivity. The structural design was made possible by the findings, which revealed that the composite model structure exhibited the crystalline structure with perovskite phase. Weight losses during the construction of the structure were reflected in the decomposition and evaporation of the composite's constituent parts. After the calcination process up to 950 °C, the model system's formation oxygen content was obtained of 2.94 in 800 °C. The electrical conductivity maximum obtained in 12.2 S·cm<sup>-1</sup> at 430 °C. At low temperatures, the conductive behavior was affected by the metallic element, while at higher temperatures, it was influenced by the ionic structure. As a result, mixed ionic and electric conductors (MIEC) were extensively utilized in the process of generating the conductive properties. The SSBF15 composite has a good chance of being used as an alternative cathode material with a perovskite single phase for future IT-SOFCs applications based on the structure and conductivity results. Additional testing and observation are required to determine the resistance's value when incorporated into the electrolyte and its heat expansion properties.

**Keywords:** solid oxide fuel cells, cobalt-free cathode composite, perovskite structure, oxygen content, electronic conductivity.

#### References

1. Tan, L., Dong, X., Gong, Z., Wang, M. (2018). Analysis on energy efficiency and CO<sub>2</sub> emission reduction of an SOFC-based energy system served public buildings with large interior zones. *Energy*, 165, 1106–1118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.054>
2. Bompard, E., Napoli, R., Wan, B., Orsello, G. (2008). Economics evaluation of a 5kW SOFC power system for residential use. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33 (12), 3243–3247. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.04.017>
3. Naimaster, E. J., Sleiti, A. K. (2013). Potential of SOFC CHP systems for energy-efficient commercial buildings. *Energy and Buildings*, 61, 153–160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.045>
4. Fernandes, A., Woudstra, T., van Wijk, A., Verhoef, L., Aravind, P. V. (2016). Fuel cell electric vehicle as a power plant and SOFC as a natural gas reformer: An exergy analysis of different system designs. *Applied Energy*, 173, 13–28. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.107>
5. Ramadhani, F., Hussain, M. A., Mokhlis, H., Hajimolana, S. (2017). Optimization strategies for Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) application: A literature survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 460–484. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.052>
6. Jiang, S., Sunarso, J., Zhou, W., Shen, J., Ran, R., Shao, Z. (2015). Cobalt-free SrNb<sub>x</sub>Fe<sub>1-x</sub>O<sub>3-δ</sub> (x=0.05, 0.1 and 0.2) perovskite cathodes for intermediate temperature solid oxide fuel cells. *Journal of Power Sources*, 298, 209–216. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.08.063>
7. Li, C.-H., Hu, S.-H., Tay, K.-W., Fu, Y.-P. (2012). Electrochemical characterization of gradient Sm<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>CoO<sub>3-δ</sub> cathodes on Ce<sub>0.8</sub>Sm<sub>0.2</sub>O<sub>1.9</sub> electrolytes for solid oxide fuel cells. *Ceramics International*, 38 (2), 1557–1562. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.09.041>
8. Wang, S., Feng, Y., Wang, D. (2014). Electrochemical comparison of cobalt-free La<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>Fe<sub>0.9</sub>Mo<sub>0.1</sub>O<sub>3-δ</sub> based cathode materials for interme-

- diate-temperature solid oxide fuel cells. *Ceramics International*, 40 (4), 6359–6363. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.10.133>
9. Subardi, A., Chen, C.-C., Cheng, M.-H., Chang, W.-K., Fu, Y.-P. (2016). Electrical, thermal and electrochemical properties of  $\text{SmBa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  cathode materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Electrochimica Acta*, 204, 118–127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.04.069>
  10. Baharuddin, N. A., Muchtar, A., Somalu, M. R. (2017). Short review on cobalt-free cathodes for solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (14), 9149–9155. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.04.097>
  11. Mastin, J., Einarsrud, M.-A., Grande, T. (2006). Structural and Thermal Properties of  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_{3-\delta}$ . *Chemistry of Materials*, 18 (25), 6047–6053. doi: <https://doi.org/10.1021/cm061539k>
  12. Ji, H.-I., Hwang, J., Yoon, K. J., Son, J.-W., Kim, B.-K., Lee, H.-W., Lee, J.-H. (2013). Enhanced oxygen diffusion in epitaxial lanthanum–strontium–cobaltite thin film cathodes for micro solid oxide fuel cells. *Energy Environ. Sci.*, 6 (1), 116–120. doi: <https://doi.org/10.1039/c2ee21647g>
  13. Shao, Z., Haile, S. M. (2004). A high-performance cathode for the next generation of solid-oxide fuel cells. *Nature*, 431 (7005), 170–173. doi: <https://doi.org/10.1038/nature02863>
  14. Yang, W., Hong, T., Li, S., Ma, Z., Sun, C., Xia, C., Chen, L. (2013). Perovskite  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ce}_x\text{CoO}_{3-\delta}$  ( $0.05 \leq x \leq 0.15$ ) as Superior Cathodes for Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cells. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 5 (3), 1143–1148. doi: <https://doi.org/10.1021/am3029238>
  15. Wei, B., Lü, Z., Huang, X., Liu, M., Li, N., Su, W. (2008). Synthesis, electrical and electrochemical properties of  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Zn}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-\delta}$  perovskite oxide for IT-SOFC cathode. *Journal of Power Sources*, 176 (1), 1–8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.09.120>
  16. Ling, Y., Zhao, L., Lin, B., Dong, Y., Zhang, X., Meng, G., Liu, X. (2010). Investigation of cobalt-free cathode material  $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.8}\text{Cu}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  for intermediate temperature solid oxide fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (13), 6905–6910. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.04.021>
  17. Liu, H., Zhu, K., Liu, Y., Li, W., Cai, L., Zhu, X. et al. (2018). Structure and electrochemical properties of cobalt-free perovskite cathode materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Electrochimica Acta*, 279, 224–230. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.05.086>
  18. Zhao, L., He, B., Zhang, X., Peng, R., Meng, G., Liu, X. (2010). Electrochemical performance of novel cobalt-free oxide  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.8}\text{Cu}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  for solid oxide fuel cell cathode. *Journal of Power Sources*, 195 (7), 1859–1861. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.09.078>
  19. Pang, S., Wang, W., Chen, T., Shen, X., Wang, Y., Xu, K., Xi, X. (2016). Systematic evaluation of cobalt-free  $\text{Ln}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.8}\text{Cu}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  ( $\text{Ln}=\text{La, Pr, and Nd}$ ) as cathode materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Journal of Power Sources*, 326, 176–181. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.06.134>
  20. Ding, X., Gao, X., Zhu, W., Wang, J., Jiang, J. (2014). Electrode redox properties of  $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  as cobalt free cathode materials for intermediate-temperature SOFCs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39 (23), 12092–12100. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.06.009>
  21. Meng, X., Lü, S., Yu, W. W., Ji, Y., Sui, Y., Wei, M. (2018). Layered perovskite  $\text{LnBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_2\text{O}_{5+\delta}$  ( $\text{Ln}=\text{Pr}$  and  $\text{Nd}$ ) as cobalt-free cathode materials for solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43 (9), 4458–4470. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.01.033>
  22. Ling, Y., Zhang, X., Wang, Z., Wang, S., Zhao, L., Liu, X., Lin, B. (2013). Potentiality of cobalt-free perovskite  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.9}\text{Mo}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  as a single-phase cathode for intermediate-to-low-temperature solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 (33), 14323–14328. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.08.089>
  23. Chen, D., Chen, C., Dong, F., Shao, Z., Ciucci, F. (2014). Cobalt-free polycrystalline  $\text{Ba}_{0.95}\text{La}_{0.05}\text{FeO}_{3-\delta}$  thin films as cathodes for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Journal of Power Sources*, 250, 188–195. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.11.010>
  24. Fu, Y.-P. (2010).  $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.4}\text{Ni}_{0.6}\text{O}_{3-\delta}-\text{Sm}_{0.2}\text{Ce}_{0.8}\text{O}_{1.9}$  as a potential cathode for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (16), 8663–8669. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.05.109>
  25. Ding, X., Kong, X., Wu, H., Zhu, Y., Tang, J., Zhong, Y. (2012).  $\text{SmBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_2\text{O}_{5+\delta}$  and  $\text{SmBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CuFeO}_{5+\delta}$  layered perovskite oxides as cathodes for IT-SOFCs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37 (3), 2546–2551. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.10.080>
  26. Kamal, D. M., Susanto, I., Subarkah, R., Zainuri, F., Zainuri, B., Rahmiati, T. et al. (2021). Design of solid oxide structure on the composite cathode for IT-SOFC. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (112)), 6–11. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239162>
  27. Subardi, A., Liao, K.-Y., Fu, Y.-P. (2019). Oxygen transport, thermal and electrochemical properties of  $\text{NdBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  cathode for SOFCs. *Journal of the European Ceramic Society*, 39 (1), 30–40. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.01.022>
  28. Subardi, A., Susanto, I., Kartikasari, R., Tugino, T., Kuntara, H., Wijaya, A. E. et al. (2021). An analysis of  $\text{SmBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  double perovskite oxide for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (110)), 6–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.226342>
  29. Susanto, I., Kamal, D. M., Ruswanto, S., Subarkah, R., Zainuri, F., Permana, S. et al. (2020). Development of cobalt-free oxide ( $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.8}\text{Cr}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ ) cathode for intermediate-temperature solid oxide fuel cells (IT-SOFCs). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (108)), 15–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217282>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269507

**IDENTIFYING FEATURES IN THE STRUCTURAL AND PHASE COMPOSITION OF THE PRODUCTS OF RECYCLING OF THE SCALE OF HIGH-SPEED CUTTING STEEL BY CARBON THERMAL REDUCTION (p. 46–51)**

**Viacheslav Borysov**

Academician Yuriy Bugay International Scientific and Technical University, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3117-2118>

**Oleksii Torubara**

Academician Yuriy Bugay International Scientific and Technical University, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7174-4611>

**Vadym Volokh**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7975-6377>

**Anatolii Poliakov**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5332-3696>

**Mykhail Yamshinskij**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2293-2939>

**Ivan Lukianenko**

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1043-9688>

**Andrey Andreev**

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5390-6813>

**Tamara Bilko**

National University of Life and Environmental Sciences  
of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3164-3298>

**Dmytro Zhuravel**

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University,  
Zaporizhzhia, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6100-895X>

**Dmytro Ivanchenko**

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6162-8537>

This paper reports a study into the features of the structural-phase composition of products from the carbon-thermal reduction of scale of high-speed steels that yields an alloying additive. This is necessary to determine the technological parameters that reduce the loss of target elements in the process of obtaining and using resource-saving alloying material. The study indicates that when the degree of scale reduction changed from 28 % to 67 % and 81 %, an increase in the manifestation of a solid solution of carbon and alloying elements in the  $\alpha$ -Fe lattice was observed. At the same time, the intensity of the diffraction maxima of FeO and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> decreased. In the reduced products, the presence of Fe<sub>3</sub>C, FeW<sub>3</sub>C, Fe<sub>3</sub>W<sub>3</sub>C, and WC was traced. With an increase in the degree of scale reduction from 28 % to 67 %, the disordered (of “loose” appearance) microstructure was replaced with the formed particles of round and multifaceted shape with different content of alloying elements. At the reduction stage of 81 %, the microstructure had a finely fibrous structure. Based on the suite of studies, the most acceptable degree of reduction of scale of high-speed steel, followed by the use of the obtained material as an alloying additive, is 81 %. At the same time, ensuring the degree of recovery at the level of 67 % would also suffice. This is due to the fact that residual carbon in the form of carbides provides an increased reducing ability and degree of assimilation of alloying elements with the restoration of the residual oxide component in the liquid metal during doping. Spongy microstructure contributes to faster dissolution, in relation to the corresponding standard ferroalloys. This ensures a reduction in the total smelting time and, as a result, a decrease in the energy consumed.

**Keywords:** oxide man-made waste, scale of high-speed steels, carbon-thermal reduction, structural-phase transformations.

**References**

- Henckens, M. L. C. M., van Ierland, E. C., Driessen, P. P. J., Worrell, E. (2016). Mineral resources: Geological scarcity, market price trends, and future generations. *Resources Policy*, 49, 102–111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.04.012>
- Poliakov, A., Dzyuba, A., Volokh, V., Petryshchev, A., Tsybal, B., Yamshinskij, M. et al. (2021). Identification of patterns in the structural and phase composition of the doping alloy derived from metallurgical waste processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (110)), 38–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.230078>
- Sekiguchi, N. (2017). Trade specialisation patterns in major steel-making economies: the role of advanced economies and the implications for rapid growth in emerging market and developing economies in the global steel market. *Mineral Economics*, 30 (3), 207–227. doi: <https://doi.org/10.1007/s13563-017-0110-2>
- Mechachti, S., Benchiheb, O., Serrai, S., Shalabi, M. (2013). Preparation of iron Powders by Reduction of Rolling Mill Scale. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4 (5), 1467–1472. Available at: <https://www.ijser.org/researchpaper/Preparation-of-Iron-Powders-by-Reduction-Rolling-Mill-Scale.pdf>
- Grigor'ev, S. M., Petrishchev, A. S. (2012). Assessing the phase and structural features of the scale on P6M5Φ3 and P12M3K5Φ2 steel. *Steel in Translation*, 42 (3), 272–275. doi: <https://doi.org/10.3103/s0967091212030059>
- Smirnov, A. N., Petrishchev, A. S., Semiryagin, S. V. (2021). Reduction Smelting of Corrosion-Resistant Steel Waste: Aspects of Structural and Phase Transformations. *Steel in Translation*, 51 (7), 484–489. doi: <https://doi.org/10.3103/s0967091221070093>
- Tsybal, B., Petryshchev, A., Anrieieva, L., Sharovatova, O. (2022). Improving Occupational Safety and Health in the Processing of Metallurgical Waste and Features of their Microstructure Transformation. *Key Engineering Materials*, 925, 187–196. doi: <https://doi.org/10.4028/p-f9x0w1>
- Zhu, H., Li, Z., Yang, H., Luo, L. (2013). Carbothermic Reduction of MoO<sub>3</sub> for Direct Alloying Process. *Journal of Iron and Steel Research International*, 20 (10), 51–56. doi: [https://doi.org/10.1016/s1006-706x\(13\)60176-4](https://doi.org/10.1016/s1006-706x(13)60176-4)
- Ryndiaiev, V., Kholodiuk, O., Khmelovskiy, V., Petryshchev, A., Yushchenko, A., Fesenko, H. et al. (2021). Establishing patterns of the structural-phase transformations during the reduction of tungsten-containing ore concentrate with carbon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (109)), 16–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225389>
- Shveikin, G. P., Kedin, N. A. (2014). Products of carbothermic reduction of tungsten oxides in argon flow. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 59 (3), 153–158. doi: <https://doi.org/10.1134/s0036023614030206>
- Zhao, L., Wang, L., Chen, D., Zhao, H., Liu, Y., Qi, T. (2015). Behaviors of vanadium and chromium in coal-based direct reduction of high-chromium vanadium-bearing titanomagnetite concentrates followed by magnetic separation. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25 (4), 1325–1333. doi: [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(15\)63731-1](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(15)63731-1)
- Ryabchikov, I. V., Belov, B. F., Mizin, V. G. (2014). Reactions of metal oxides with carbon. *Steel in Translation*, 44 (5), 368–373. doi: <https://doi.org/10.3103/s0967091214050118>
- Simonov, V. K., Grishin, A. M. (2013). Thermodynamic analysis and the mechanism of the solid-phase reduction of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with carbon: Part 1. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2013 (6), 425–429. doi: <https://doi.org/10.1134/s0036029513060153>

АНОТАЦІЇ  
MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268175

**ВИЗНАЧЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН НА ПОВЕРХНІ АРТЕФАКТІВ ІСТОРІЇ З МЕТАЛІВ (с. 6–12)**

Ю. Р. Вовк, Н. В. Мережко, В. В. Індутний, К. А. Пірковіч, Ю. О. Литвиненко

Проблема полягає у визначенні загрози хімічного ураження людини при її контакті з артефактами історії з металів. Для цього були проведені експериментальні дослідження процесу накопичення хімічних речовин на поверхні історичних виробів з металів. Об'єктами дослідження було обрано 3 взірці історичної холодної зброї з музейного фонду, а також зразки з сучасної листової сталі.

Леза музейних предметів натиралися спеціальним беззольним тампоном, який спалювався, і визначався хімічний склад залишку. Це дозволяє отримати дані про сполуки зі значної площі поверхні. Встановлено перелік хімічних елементів, які накопичуються на поверхні артефактів історії з металів із плином часу. Теоретично доведена можливість появи на поверхні артефактів історії із заліза таких хімічних елементів, як Ртуть, Барій, Стібій, Фосфор, Плюмбум (Свинець), Талій, Хром, Селен, Кадмій. Це може становити загрозу здоров'ю працівників музеїв та колекціонерів, які повсякденно контактують з такими предметами.

Надано результати експерименту зі зразками сучасної сталі, які, з метою прискорення процесу елімінації домішкових елементів, 3 години прогрівалися в муфельній печі при температурі 700 °С. Поверхня цих зразків вивчалася за допомогою електронного мікроскопу, й проводився локальний емісійний аналіз хімічного складу. Отримані результати підтверджують протікання процесу елімінації іонів окремих хімічних елементів з металу в процесі його прогрівання. Можемо спостерігати виділення на поверхню іонів Al, Si, S, K, Ca, Cu. Ці хімічні елементи мають здатність утворювати шкідливі для людини сполуки при взаємодії з вологою та органічними речовинами поверхні рук. На підставі отриманих результатів представлені графіки, які описують зміну хімічного складу поверхні металу впродовж історії побутування.

Застосування авторської методики опробування дозволяє вивчати проблему безпеки поводження з пам'ятками історії в цілому. Результати дослідження є важливими для встановлення автентичності артефактів історії з металів та оцінки можливих ризиків при контакті з ними.

**Ключові слова:** артефакти історії з металів, небезпечні хімічні речовини, хімічний склад, рентгенофлуоресцентний аналіз.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.267264

**ПРИДУШЕННЯ КОРОЗІЇ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ 303 МЕТОДОМ АВТОМАТИЧНОГО КАТОДНОГО ЗАХИСТУ ЗОВНІШНІМ СТРУМОМ (ІССР) В ШТУЧНІЙ МОРСЬКІЙ ВОДІ (с. 13–21)**

Hamsir, Onny Sutresman, Hairul Arsyad, Muhammad Syahid, Agus Widyianto

Одним із ефективних методів уповільнення швидкості корозії металу є система катодного захисту зовнішнім струмом (ІССР). Система ІССР ефективна для використання у прибережних зонах, таких як трубопровідні системи та морські споруди. В даному випадку металеві поверхні, як правило, піддаються впливу морської води. Певні концентрації морської води можуть прискорити виникнення корозії металів, навіть якщо вони відносяться до типу нержавіючої сталі. У дослідженні застосовувалася автоматична система ІССР для нержавіючої сталі 303. Нержавіюча сталь 303 буде занурена в штучну морську воду за різних концентрацій NaCl (27 ppt, 31 ppt і 35 ppt). Зразки занурювали у розчин NaCl на три тижні або близько 504 годин при постійній температурі 38 °С. Після замочування зразка проводили кількісні та якісні вимірювання. Кількісні показники включають середню втрату ваги, швидкість корозії та значення потенціалу. У той же час якісні вимірювання включають макроскопію, скануючу електронну мікроскопію (SEM) та енергодисперсійну рентгеновську спектроскопію (EDS). На підставі кількісних показників було встановлено, що різниця в середній втраті ваги та швидкості корозії для кожної концентрації NaCl була не дуже істотною. Різниця за кожним параметром становить менше 0,1 % і 0,22 % відповідно. Значення потенціалу швидко досягає стійкого стану за концентрацій NaCl 27 ppt і 31 ppt менш ніж за 10 секунд. Результати SEM-випробувань показали зміну структури металу. Вміст кисню (O) у металі після EDS-випробувань показав зниження даного елемента до 35 % за концентрації NaCl 35 ppt. Зменшення вмісту кисню (O) дозволяє уповільнити швидкість корозії металів під впливом морської води.

**Ключові слова:** швидкість корозії, катодний захист зовнішнім струмом (ІССР), штучна морська вода, нержавіюча сталь 303.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265678

**ОЦІНКА ДОВГОВІЧНОСТІ МАТЕРІАЛУ ВІДБИВАЧА ДЛЯ КОНЦЕНТРОВАНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ ВПЛИВУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ВИПРОБУВАННЯ НА ПРИСКОРЕНЕ СТАРІННЯ (с. 22–29)**

Budhi Muliawan Suyitno, Reza Abdu Rahman, Hendri Sukma, Dwi Rahmalina

Довговічність рефлектора є важливою для підтримки належного фото-теплого перетворення в концентрованих сонячних електростанціях. У цьому дослідженні оцінюється вплив довкілля та прискореного старіння матеріалу відбивача. Дослідження

проводиться для оцінки стійкості матеріалу відбивача до впливу навколишнього середовища та випробувань на прискорене старіння. Оцінка проводиться з використанням чотирьох різних матеріалів відбивача, які зазвичай використовуються в концентрованій сонячній енергії: дзеркало з нержавіючої сталі та срібного скла (твердотільний відбивач), алюміній та посріблена полімерна плівка (листовий відбивач). Випробування на докілья та прискорене старіння проводиться протягом 1080 годин відповідно до стандартів ISO 8565:2011 та ASTM B117–11. Втрата маси після впливу використовується як зразок для визначення швидкості корозії для кожного відбивача. Подальше спостереження проводиться з використанням світлового мікроскопа для спостереження за ефектом опромінення на поверхні рефлектора. Кожен відбивач показує різну швидкість корозії, що передбачає різну стійкість до атмосферних впливів кожного типу відбивача. Найвища швидкість корозії спостерігається на алюмінієвій плівці зі значенням  $295,8 \text{ г/м}^2$  на рік. Випробування на прискорене старіння в нейтральному сольовому тумані показує, що металевий відбивач має більш високу швидкість корозії порівняно з дзеркалом із срібного скла, в якому як верхнє покриття використовується діоксид кремнію. Спостереження під мікроскопом показує, що відповідний захист дзеркала із срібного скла від забруднень в основному обумовлена наявністю діоксиду кремнію на верхній поверхні цього відбивача. Оцінка показує, що можна розробити відповідне покриття захисту відбивача. Крім того, чітко простежується механізм корозії, що можна віднести до синтезу нового матеріалу, що відбиває, стійкого до впливу навколишнього середовища і солей.

**Ключові слова:** прискорене старіння, концентрована сонячна енергія, матеріал відбивача, сольовий туман, забруднення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269942

### ЗАКОНОМІРНОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО СИНТЕЗУ ТОНКОПЛІВКОВИХ ФОТОКАТАЛІТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ГЕТЕРООКСИДНИХ СПОЛУК ТИТАНУ (с. 30–39)

М. Д. Сахненко, І. І. Степанова, А. М. Корогодська, Г. В. Каракуркчі, О. С. Скрипник, А. В. Дженюк, О. В. Галак

Досліджено процеси плазмо-електролітного формування гетерооксидних покриттів на сплавах титану для фотокаталітичної деструкції природних та техногенних токсикантів. Синтез покриттів проводили з водних розчинів дифосфатів у гальваностатичному режимі. Для кількісного опису фотокаталітичних реакцій розраховано константи швидкості реакції  $k_f$  з лінеаризованих залежностей  $\ln(C_t/C_0)$ , де  $C_t$  – поточна,  $C_0$  – вихідна концентрації реагенту. Морфологію поверхні покриттів досліджено методом атомно-силової мікроскопії, а результати візуалізовано шляхом реконструкції рельєфу у вигляді 2D та 3D топографічних карт. Проаналізовано морфологічні особливості покриттів з оксиду титану (IV) та гетерооксидних композитів, що містять оксиди перехідних металів. Показано, що питома площа поверхні залишається ефективним фактором регулювання фотокаталітичної активності покриттів. Встановлення морфології гетерооксидних композитів, а також методів управління цим параметром цільового продукту є незмінною складовою системного вивчення таких матеріалів при визначенні їх функціональних властивостей. Встановлено, що порівняно з оксидно-титановими покриттями, поверхневі шари яких характеризуються тороїдальною мезоструктурою, гетерооксидні композиції мають більш розвинену поверхню, що позитивно впливає на їх функціональні властивості. Наступна термообробка аналогічним чином впливає на властивості покриття. Константи швидкості фотокаталітичного розкладання азобарвника метилового жовтогогарячого використано для ранжування покриттів різного складу за їх функціональними властивостями. Покриття з  $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$  виявили найвищу каталітичну активність серед досліджених матеріалів –  $k_f$  дорівнює  $5.26 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$ , що в декілька разів перевершує відповідне значення для  $\text{TiO}_2$ .

**Ключові слова:** плазмо-електролітне окиснення, гетерооксиди титану, фотокаталізатор гетерооксидний, морфологія фотокаталізатора, азобарвник, допант.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269852

### РОЗРОБКА ОКСИДНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ КАТОДНОГО ЕЛЕМЕНТУ IT-SOFCs (с. 40–45)

Iwan Susanto, Dianta Kamal, Tia Rahmiati, Vika Rizkia, Fuad Zainuri, Belyamin Belyamin, Sulaksana Permana, Adi Subardi, Yen-Pei Fu

Як новий катодний матеріал було проведено дослідження властивостей композитного оксиду для твердооксидних паливних елементів проміжної температури (ТПЕПТ). Використовуючи метод твердотільної реакції, матеріал оксиду металу був використаний для створення композитної модельної системи. У процесі спікання було побудовано модельну систему  $\text{Sm}_{0,5}\text{Sr}_{0,35}\text{Ba}_{0,15}\text{FeO}_{3-x}$  (SSBF15). Проведено термогравіметричний аналіз (ТГА) для використання вмісту кисню та втрати ваги моделі. Тим часом, структура композиту була охарактеризована за допомогою рентгенівської дифракції (РД), а властивості провідності були перевірені за допомогою теплопровідності. Структурний дизайн став можливим завдяки рішенням, які показали, що складова модельна структура має кристалічну структуру із фазою перовскіту. Втрати ваги при зведенні конструкції відбулися на розкладанні та випаровуванні складових частин композиту. Після процесу прожарювання до  $950 \text{ }^\circ\text{C}$  вміст пластового кисню у модельній системі було отримано 2,94 при  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ . Максимум електропровідності отримано при  $12,2 \text{ С см}^{-1}$  при  $430 \text{ }^\circ\text{C}$ . За низьких температур на провідну поведінку впливав металевий елемент, а при вищих температурах на нього впливала йонна структура. В результаті змішані йонні та електричні провідники (ЗІЕП) широко використовувалися в процесі створення властивостей, що проводять. Композит SSBF15 має хороші шанси на використання як альтернативний катодний матеріал з однофазним перовскітом для майбутніх застосувань ТПЕПТ на основі результатів дослідження структури та провідності. Додаткові випробування та спостереження необхідні для визначення значення опору при включенні в електроліт і його властивостей теплового розширення.

**Ключові слова:** твердооксидні паливні елементи, безкобальтовий катодний композит, структура перовскіту, вміст кисню, електронна провідність.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269507****ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СКЛАДУ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ  
ОКАЛИНИ ШВИДКОРІЖУЧОЇ СТАЛІ ВУГЛЕЦЕВОТЕРМІЧНИМ ВІДНОВЛЕННЯМ (с. 46–51)****В. В. Борисов, О. М. Торубара, В. О. Волох, А. М. Поляков, М. М. Ямшинський, І. В. Лук'яненко, А. М. Андрєєв, Т. О. Білько,  
Д. П. Журавель, Д. В. Іванченко**

Досліджено особливості структурно-фазового складу продуктів вуглецевотермічного відновлення окалини швидкоріжучих сталей з отриманням легуючої добавки. Це необхідно для визначення технологічних параметрів, що забезпечують зменшення втрат цільових елементів в процесі отримання та використання ресурсозберігаючого легуючого матеріалу. Проведені дослідження вказують, що при зміні ступеня відновлення окалини з 28 % до 67 % та 81 % спостерігалось підвищення прояву твердого розчину вуглецю та легуючих елементів в ґратці  $\alpha$ -Fe. Разом з цим, інтенсивність дифракційних максимумів FeO та Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> знижувалась. В продуктах відновлення прослідковувалась присутність Fe<sub>3</sub>C, FeW<sub>3</sub>C, Fe<sub>3</sub>W<sub>3</sub>C та WC. При збільшенні ступеня відновлення окалини з 28 % до 67 % на зміну неупорядкованої ("рихлого" вигляду) мікроструктурі спостерігалось утворення часток округлої та багатогранної форми з різним вмістом легуючих елементів. При ступені відновлення 81 % мікроструктура мала дрібноволокнисту будову. Виходячи з комплексу проведених досліджень, найбільш прийнятний ступінь відновлення окалини швидкоріжучої сталі, з послідовним використанням отриманого матеріалу як легуючої добавки, складає 81 %. При цьому забезпечення ступеня відновлення на рівні 67 % також є достатнім. Це пов'язане з тим, що залишковий вуглець у вигляді карбідів забезпечує підвищену відновну здатність і ступінь засвоєння легуючих елементів з довідновленням залишкової оксидної складової в рідкому металі під час легування. Губчаста мікроструктура сприяє більш швидкому розчиненню, по відношенню до відповідних стандартних феросплавів. Це забезпечує зменшення загального часу плавки і, як наслідок, скорочення витрачених енергоресурсів.

**Ключові слова:** оксидні техногенні відходи, окалина швидкоріжучих сталей, вуглецевотермічне відновлення, структурно-фазові перетворення.