

## ABSTRACT AND REFERENCES

## MATERIALS SCIENCE

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.260190**  
**DEVISING RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES**  
**FOR THE PRODUCTION OF CASTING FROM**  
**MAGNESIUM ALLOYS USING WASTE OF**  
**METALLURGICAL ENTERPRISES (p. 6–12)**

**Vadim Shalomeev**

National University «Zaporizhzhia Polytechnic»,  
Zaporizhzhia, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6091-837X>

**Viktor Greshta**

National University «Zaporizhzhia Polytechnic»,  
Zaporizhzhia, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4589-6811>

**Olga Liutova**

National University «Zaporizhzhia Polytechnic»,  
Zaporizhzhia, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6674-7041>

**Svitlana Bovkun**

National University «Zaporizhzhia Polytechnic»,  
Zaporizhzhia, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5478-307X>

Based on the study of the chemical composition and analysis of the physicochemical properties of waste from a number of metallurgical enterprises in the Zaporizhzhia region, the possibility of using waste as charge materials for the production of magnesium-based alloys has been established.

The possibility of using solid salt chlorinator melt (SCM) from ZTMC as a flux in the smelting of magnesium alloy instead of the flux VI-2 has been studied; its effect on the structure and mechanical properties of casting was investigated. The technological possibility of using these chloride wastes in the smelting of the ML5 alloy is shown. It was established that the use of SCM as a flux in the smelting of magnesium alloy contributes to the grinding of the structure and improvement of the mechanical properties of the metal of experimental smelting.

The possibility of modification of foundry magnesium alloy with graphite powder (GP), which is the waste from JSC «Ukrgrafit», is investigated. It is shown that the optimal GP additive in the volume of 0.05...0.3 % contributes to the grinding of metal grain and increases its strength characteristics due to additional strengthening of both solid solution and eutectoid. It is established that carbon changes the parameters of eutectic transformation, as a result of which, with an increase in its concentration in the alloy, the volume of eutectoid of type  $\delta+\gamma$  ( $Mg_4Al_3$ ) decreases markedly.

Testing the proposed waste for the smelting of the M5 alloy showed that no changes in melting technology are required while the environmental safety of the devised technological process meets the established standards; their quality was improved while increasing the strength limit by 25 %, and plasticity by 30 %.

At the same time, the use of waste in the smelting of magnesium alloys can reduce costs in its production, and improve the environmental situation due to the fact that waste is not disposed of at landfills but reused in metallurgical industries.

**Keywords:** magnesium alloy, salt chlorinator melt, flux, modification, graphite powder, microstructure.

### References

- Velikiy, V. I., Yares'ko, K. I., Shalomeev, V. A., Tsvirko, E. I., Vnukov, Y. N. (2014). Prospective Magnesium Alloys with Elevated Level of Properties for the Aircraft Engine Industry. *Metal Science and Heat Treatment*, 55 (9-10), 492–498. doi: <http://doi.org/10.1007/s11041-014-9660-x>
- Wang, H., Yu, Z., Zhang, L., Liu, C., Zha, M., Wang, C., Jiang, Q. (2015). Achieving high strength and high ductility in magnesium alloy using hard-plate rolling (HPR) process. *Scientific Reports*, 5 (1). doi: <http://doi.org/10.1038/srep17100>
- Mahmoud, M. G., Samuel, A. M., Doty, H. W., Valtierra, S., Samuel, F. H. (2017). Effect of Rare Earth Metals, Sr, and Ti Addition on the Microstructural Characterization of A413.1 Alloy. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017. doi: <http://doi.org/10.1155/2017/4712946>
- Shalomeev, V. A., Tsvirko, E. I., Vnukov Yur., N., Morozov, D. A. (2013). New magnesium alloy with promote properties for automobile construction. *Metallurgical and Mining Industry*, 2013 (3), 54–60. Available at: <https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/11-.pdf>
- Wen, K., Liu, K., Wang, Z., Li, S., Du, W. (2015). Effect of microstructure evolution on mechanical property of extruded Mg–12Gd–2Er–1Zn–0.6Zr alloys. *Journal of Magnesium and Alloys*, 3 (1), 23–28. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jma.2014.12.003>
- Cao, H., Huang, M., Wang, C., Long, S., Zha, J., You, G. (2019). Research status and prospects of melt refining and purification technology of magnesium alloys. *Journal of Magnesium and Alloys*, 7 (3), 370–380. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jma.2019.07.002>
- Cizek, L., Rusz, S., Hilser, O., Śliwa, R., Kuc, D., Tański, T., Tkocz, M. (2017). Microstructure and Properties of Selected Magnesium-Aluminum Alloys Prepared for SPD Processing Technology. *Archives of Metallurgy and Materials*, 62 (4), 2365–2370. doi: <http://doi.org/10.1515/amm-2017-0348>
- Li, Y., Wei, Y., Hou, L., Guo, C., Han, P. (2014). Effect of erbium on microstructures and properties of Mg-Al intermetallic. *Journal of Rare Earths*, 32 (11), 1064–1072. doi: [http://doi.org/10.1016/s1002-0721\(14\)60184-8](http://doi.org/10.1016/s1002-0721(14)60184-8)
- Chen, F. (2017). Effect of Graphene on Micro-Structure and Properties of MAO Coating Prepared on Mg-Li Alloy. *International Journal of Electrochemical Science*, 12, 6081–6091. doi: <http://doi.org/10.20964/2017.07.59>
- Zhou, W., Long, T. Z., Mark, C. K. (2007). Hot cracking in tungsten inert gas welding of magnesium alloy AZ91D. *Materials Science and Technology*, 23 (11), 1294–1299. doi: <http://doi.org/10.1179/174328407x213026>
- Wang, J., Wu, Z., Gao, S., Lu, R., Qin, D., Yang, W., Pan, F. (2015). Optimization of mechanical and damping properties of Mg–0.6Zr alloy by different extrusion processing. *Journal of Magnesium and Alloys*, 3 (1), 79–85. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jma.2015.02.001>
- Yoshimoto, S., Yamasaki, M., Kawamura, Y. (2006). Microstructure and Mechanical Properties of Extruded Mg-Zn-Y Alloys with 14H Long Period Ordered Structure. *Materials Transactions*, 47 (4), 959–965. doi: <http://doi.org/10.2320/matertrans.47.959>

13. Guliaev, B. B. (1990). Reshennyye i nereshennyye zadachi teorii liteinykh protsessov. Liteinoe proizvodstvo, 9, 2–3.
14. Tekumalla, S., Seetharaman, S., Almajid, A., Gupta, M. (2014). Mechanical Properties of Magnesium-Rare Earth Alloy Systems: A Review. Metals, 5 (1), 1–39. doi: <http://doi.org/10.3390/met5010001>
15. Altman, M. B., Lebedev, A. A., Chukhrov, M. V. (1969). Plavka i lite legkikh splavov. Moscow: Metallurgiya, 680.
16. Bokang, W., Hantong, L. (2001). Composition and structure of oxide layer on magnesium alloy castings. Special Casting and Nonferrous Alloys, 6, 11–12.
17. Shalomeev, V., Tsivirco, E., Vnukov, Y., Osadchaya, Y., Markovskiy, S. (2016). Development of new casting magnesium-based alloys with increased mechanical properties. Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 4 (1 (82)), 4–10. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.73384>
18. Belikov, S., Shalomeev, V., Tsivirko, E., Aikin, N., Sheyko, S. (2017). Microalloyed magnesium alloys with high complex of properties. Materials Science and Technology Conference and Exhibition 2017. MS and T 2017, 1, 84–91. doi: [http://doi.org/10.7449/2017/mst\\_2017\\_84\\_91](http://doi.org/10.7449/2017/mst_2017_84_91)

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.257841

**DETERMINING THE ROLE OF INDIVIDUAL AND COMBINED CHEMICAL ELEMENTS IN THE PITTING CORROSION PROCESS OF AUSTENITIC FE-CR-NI STEELS (p. 13–19)**

**Valentin Snizhnoi**

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6901-9920>

**Gennadii Snizhnoi**

Zaporizhzhia Polytechnic National University,  
Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1452-0544>

**Sergiy Stepanenko**

Zaporizhzhia Polytechnic National University,  
Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5858-0683>

This paper reports a study into the role of individual (S, P, N, C, Si, Mn, Ni, Cr) and combined ( $Q_1=S$ ,  $Q_2=S+P$ ,  $Q_3=S+P+N$ ,  $Q_4=S+P+N+C$ ,  $Q_5=S+P+N+C+Si$ ,  $Q_6=S+P+N+C+Si+Mn$ ,  $Q_7=S+P+N+C+Si+Mn+Ni$ ,  $Q_8=Q_5+P+N+C+Si+Mn+Ni+Cr$ ) elements in five steel AISI 304 smelting cycles. The correlation between the rate of corrosion  $K$  in chloride-containing media and the specific magnetic susceptibility  $\chi_0$  of austenite (matrix), the low content  $P_8$  of  $\delta$ -ferrite, and the percentage of elements has been established. Taking into consideration the order of arrangement and influence of other present components, a set of the different-shaped graphic models of  $K$  dependences on  $\chi_0$ ,  $P_8$ , and percentage of elements was found. However, the sum of the eight calculated individual and combined elements ( $Q_8$ ) of the models coincides with the sum of the same elements ( $Q=Q_8$ ) of steel smelting samples that were subjected to experimental measurements of  $\chi_0$  and  $P_8$ . The curves of the reported models were compared with experimental dependences of  $K$  on  $\chi_0$ ,  $P_8$ . The positive and negative role of individual and combined elements in the process of pitting resistance of steel smelting cycles has been identified. Given this, it is assumed that the effect exerted on  $K$  by individual and combined elements in the intervals before and after their

critical content may be ambiguous. Hence, one value  $K$  can correspond to several values of the contents of elements,  $\chi_0$ ,  $P_8$ . A proof of that is the coincidence between the calculated models  $K$  of corrosion on the same total content of  $Q_8$  for steel samples determined experimentally. The positive (negative) and ambiguous role of elements in the process of corrosion and the possibility of predicting corrosion tolerance of austenitic steels are assumed. The experimental dependence  $K$  on  $\chi_0$  and  $P_8$  has been established; the greater  $\chi_0$  and  $P_8$ , the lower the corrosion rate  $K$ . The studied steels contained  $\delta$ -ferrite in the low limits of 0.01...0.1 %.

**Keywords:** steel AISI304, corrosion, magnetic susceptibility, ferrite, magnetic moment, nickel, chromium, chloride-containing medium.

**References**

1. Khoma, M. C. (2021). State and prospects of research development in the field of corrosion and corrosion protection of construction materials in Ukraine: According to the materials of report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, October 27, 2021. Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine, 12, 99–106. doi: <https://doi.org/10.15407/vishn2021.12.099>
2. Biehler, J., Hoche, H., Oechsner, M. (2017). Corrosion properties of polished and shot-peened austenitic stainless steel 304L and 316L with and without plasma nitriding. Surface and Coatings Technology, 313, 40–46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.01.050>
3. Lochyński, P., Domańska, M., Kasprzyk, K. (2019). Corrosion of the chromium-nickel steel screenings and grit separator. Ochrona przed Korozją, 62 (7), 225–235. doi: <https://doi.org/10.15199/40.2019.7.2>
4. Shejko, S., Mishchenko, V., Tretiak, V., Shalomeev, V., Sukhomlin, G. (2018). Formation of the Grain Boundary Structure of Low-Alloyed Steels in the Process of Plastic Deformation. Contributed Papers from MS&T17. doi: [https://doi.org/10.7449/2018/mst\\_2018\\_746\\_753](https://doi.org/10.7449/2018/mst_2018_746_753)
5. Sabooni, S., Rashtchi, H., Eslami, A., Karimzadeh, F., Enayati, M. H., Raeissi, K. et. al. (2017). Dependence of corrosion properties of AISI 304L stainless steel on the austenite grain size. International Journal of Materials Research, 108 (7), 552–559. doi: <https://doi.org/10.3139/146.111512>
6. Ha, H.-Y., Jang, J., Lee, T.-H., Won, C., Lee, C.-H., Moon, J., Lee, C.-G. (2018). Investigation of the Localized Corrosion and Passive Behavior of Type 304 Stainless Steels with 0.2–1.8 wt % B. Materials, 11 (11), 2097. doi: <https://doi.org/10.3390/ma11112097>
7. Tolulope Loto, R. (2017). Study of the Corrosion Resistance of Type 304L and 316 Austenitic Stainless Steels in Acid Chloride Solution. Oriental Journal of Chemistry, 33 (3), 1090–1096. doi: <https://doi.org/10.13005/ojc/330304>
8. Wang, X., Yang, Z., Wang, Z., Shi, Q., Xu, B., Zhou, C., Zhang, L. (2019). The influence of copper on the stress corrosion cracking of 304 stainless steel. Applied Surface Science, 478, 492–498. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.01.291>
9. Loable, C., Viçosa, I. N., Mesquita, T. J., Mantel, M., Nogueira, R. P., Berthomé, G. et. al. (2017). Synergy between molybdenum and nitrogen on the pitting corrosion and passive film resistance of austenitic stainless steels as a pH-dependent effect. Materials Chemistry and Physics, 186, 237–245. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.10.049>
10. Azhazha, V. M., Desnenko, V. A., Ozhigov, L. S., Azhazha, Zh. S., Svehkaryov, I. V., Fedorchenko, A. V. (2009). The use of magnetic methods for investigating the structure evolution

- in austenitic stainless steels after a long-term service at nuclear power plant units. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Ser.: Fizika radiatsionnykh povrezhdeniy i radiatsionnoe materialovedenie*, 94, 241–246. Available at: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/96382/31-Azhazha.pdf?sequence=1>
11. Snizhnoi, G., Snizhnoi, V. (2020). Magnetometric method for investigation the effect of carbon and nitrogen on the corrosion resistance of austenitic chromium-nickel steels. *Aerospace technic and technology*, 7 (167), 47–51. doi: <https://doi.org/10.32620/aktt.2020.7.07>
  12. Narivsky, O., Belikov, S. (2018). Modern ideas about pitting corrosion of corrosion-resistant steels and alloys. *New Materials and Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering*, 2, 14–24. doi: <https://doi.org/10.15588/1607-6885-2018-2-2>
  13. Narivskiy, A. (2013). Laws and mechanisms of corrosion dissolution of steel AISI 304 when working model sediment in waters. *Novi materialy i tekhnolohiyi v metalurhiyi ta mashynobuduvanni*, 1, 39–50. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nmt\\_2013\\_1\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nmt_2013_1_11)
  14. Narivskiy, A. E., Yar-Mukhamedova, G. Sh. (2016). Influence alloying elements and steel AISI 321 structural heterogeneity on the selective dissolution of metals from pitting. *Vesnik KazNU. Seriya fizicheskaya*, 56 (1), 86–96. Available at: <https://bph.kaznu.kz/index.php/zhuzhu/article/view/444>
  15. Bielikov, S. B., Narivskiy, O. E., Khoma, M. S. (2019). Pitinhova koroziya teploobminnykiv v oborotnykh vodakh ta yii prohnozuvannia. *Zaporizhzhia: NU «Zaporizka politekhnika»*, 216. Available at: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/5053>
  16. Belykov, S., Narivskiy, A. (2011). Kinetics of steel AISI 321 and 12X18H10T corrosion process in neutral chloride-containing solutions and corrosion rate. *Novi materialy ta tekhnolohiyi v metalurhiyi ta mashynobuduvanni*, 1, 36–44. Available at: <http://nmt.zntu.edu.ua/article/view/98965/94129>
  17. Narivskiy, O. E., Solidor, N. A. (2011). Corrosion processes and growth rate of AISI 304 and 08X18H10T steel pitting in model circulating waters. *Visnyk Pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu*, 2 (23), 87–97. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vpdy\\_2011\\_23\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vpdy_2011_23_14)
  18. Wang, J., Zhang, L. F. (2017). Effects of cold deformation on electrochemical corrosion behaviors of 304 stainless steel. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 64 (2), 252–262. doi: <https://doi.org/10.1108/acmm-12-2015-1620>
  19. Pisarevskii, L. A., Filippov, G. A., Lipatov, A. A. (2016). Effect of N, Mo, and Si on Local Corrosion Resistance of Unstabilized Cr-Ni and Cr-Mn-Ni Austenitic Steels. *Metallurgist*, 60 (7-8), 822–831. doi: <https://doi.org/10.1007/s11015-016-0372-x>
  20. Lutton Cwalina, K., Demarest, C. R., Gerard, A. Y., Scully, J. R. (2019). Revisiting the effects of molybdenum and tungsten alloying on corrosion behavior of nickel-chromium alloys in aqueous corrosion. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 23 (3), 129–141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2019.03.002>
  21. Osoba, L. O., Elemuren, R. A., Ekpe, I. C. (2016). Influence of delta ferrite on corrosion susceptibility of AISI 304 austenitic stainless steel. *Cogent Engineering*, 3 (1), 1150546. doi: <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1150546>
  22. Ha, H.-Y., Lee, T.-H., Bae, J.-H., Chun, D. (2018). Molybdenum Effects on Pitting Corrosion Resistance of FeCrMnMoNC Austenitic Stainless Steels. *Metals*, 8 (8), 653. doi: <https://doi.org/10.3390/met8080653>
  23. Lu, C., Yi, H., Liu, K. (2021). Effect of Si and Mn on microstructure and tensile properties of austenitic stainless steel. *Rare metal materials and engineering*, 50 (1), 187–194. Available at: [http://ir.imr.ac.cn/handle/321006/161036?mode=full&submit\\_simple>Show+full+item+record](http://ir.imr.ac.cn/handle/321006/161036?mode=full&submit_simple>Show+full+item+record)
  24. Karki, V., Singh, M. (2017). Investigation of corrosion mechanism in Type 304 stainless steel under different corrosive environments: A SIMS study. *International Journal of Mass Spectrometry*, 421, 51–60. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2017.06.001>
  25. Snezhnoy, G. V., Mischenko, V. G., Snezhnoy, V. L. (2009). Integral'nyy fizicheskiy metod identifikatsii a-fazy v austenitnykh khromonikelevykhstalyakh. *Lit'eimetalurgiya*, 3(52), 241–244. Available at: [https://scholar.google.com.ua/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=ru&user=PmqVjMoAAAAJ&citation\\_for\\_view=PmqVjMoAAAAJ:2P1L\\_qKh6hAC](https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=PmqVjMoAAAAJ&citation_for_view=PmqVjMoAAAAJ:2P1L_qKh6hAC)
  26. Mishchenko, V. G., Snizhnoi, G. V., Narivskiy, O. Eh. (2011). Magnetometric investigations of corrosion behaviour of AISI 304 steel in chloride-containing environment. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, 33 (6), 769–774. Available at: <https://mfint.imp.kiev.ua/en/toc/v33/i06.html>
  27. Snizhnoi, G. V. (2013). Dependence of the Corrosion Behavior of Austenitic Chromium-Nickel Steels on the Paramagnetic State of Austenite. *Materials Science*, 49 (3), 341–346. doi: <https://doi.org/10.1007/s11003-013-9620-4>
  28. Ol'shanetskii, V. E., Snezhnoy, G. V., Snezhnoy, V. L. (2018). Special Features of Formation of Martensitic Phases in the Austenite of Chromium-Nickel Steels under Plastic Deformation. *Metal Science and Heat Treatment*, 60 (3-4), 165–171. doi: <https://doi.org/10.1007/s11041-018-0255-9>
  29. Snizhnoi, G., Snizhnoi, V. (2021). Quality control of chrome-nickel steels by the paramagnetic state of austenite. *Aerospace technic and technology*, 3 (171), 79–83. doi: <https://doi.org/10.32620/aktt.2021.3.09>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259858

**RISK ANALYSIS OF EX-SPOOL 16" MOL: AN INSIGHT OF MACHINE LEARNING AND EXPERIMENTAL RESULT (p. 20–33)**

**Taufik Aditiyawarman**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5574-0159>

**Johny Wahyuadi Soedarsono**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6051-2866>

**Agus Paul Setiawan Kaban**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9706-0506>

**Rini Riastuti**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3431-0413>

**Haryo Rahmadani**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5940-8604>

**Mohammad Pribadi**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1369-9469>

**Rizal Tresna Ramdhani**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0760-6438>

**Sidhi Aribowo**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7255-1931>

Suryadi

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2739-7530>

The paper reports the development of a Risk-Based Inspection (RBI)-Machine Learning perspective. The Optical Emission Spectrometry (OES), Tensile and Hardness Test, Scanning Electron Microscope (SEM), Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS), Sulfate Reducing Bacteria Check, and X-Ray Diffraction (XRD) was used to analyze the root cause of the pipeline's failure. Corrosion attack shows at the cross-section microstructure based on SEM results. Carbon, Manganese, Phosphorous, and sulfur's chemical composition is dramatically lower than the standard API 5L Grade X42. Siderite and hematite dominate the composition of the corroded area as a result of CO<sub>2</sub> dissolving in water. In contrast, hematite is generated due to the pipe and outdoor atmosphere reaction. Severe local wall thinning of the sand abrasion causes the degradation of the material's mechanical properties and increases the corrosion rate. This result amplifies by the development of Machine Learning (ML) of Pearson Multicollinear Matrix and Supervised ML (Random Forest, Support Vector Machine, and Linear Regression) to estimate the corrosion degradation of the material. The source of datasets provided by ILI inspection includes the calculated PoF Remaining Useful Life (RuL) as input data, while Probability of Failure (PoF) prediction serves as output data. The Random Forest shows superior predictions of 92.18 %, with the lowest validation loss of 0.0316. The modeling result confirms the experimental outcome. This work demonstrates the implementation strategy to reduce the analysis time, minimize human bias, and serve as a reliable reference tool and guideline to maintain the integrity of the subsea pipelines.

**Keywords:** Root-cause-analysis, Wall thinning, Sand Abrasion, Pearson Multicollinear Matrix, Supervised Machine Learning.

## References

- Gao, J., Yang, P., Li, X., Zhou, J., Liu, J. (2019). Analytical prediction of failure pressure for pipeline with long corrosion defect. *Ocean Engineering*, 191, 106497. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106497>
- Aalirezai, A., Kabir, G. (2021). A bibliometric analysis on oil and gas pipeline failure consequence analysis. *Innovative Infrastructure Solutions*, 6 (4). doi: <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00591-0>
- Zakikhani, K., Nasiri, F., Zayed, T. (2020). A Review of Failure Prediction Models for Oil and Gas Pipelines. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 11 (1). doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ps.1949-1204.0000407](https://doi.org/10.1061/(asce)ps.1949-1204.0000407)
- Aljaroudi, A., Khan, F., Akinturk, A., Haddara, M., Thodi, P. (2015). Risk assessment of offshore crude oil pipeline failure. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 37, 101–109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.07.004>
- Rachman, A., Zhang, T., Ratnayake, R. M. C. (2021). Applications of machine learning in pipeline integrity management: A state-of-the-art review. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 193, 104471. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104471>
- Aditiyawardman, T., Kaban, A. P. S., Soedarsono, J. W. (2022). A Recent Review of Risk-Based Inspection Development to Support Service Excellence in the Oil and Gas Industry: An Artificial Intelligence Perspective. *ASCE-ASME J Risk and Uncert in Engrg Sys Part B MechEngrg*, 9 (1). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4054558>
- Alsahli, M. S., Almasri, M. M., Al-Akhras, M., Al-Issa, A. I., Alawairdhi, M. (2021). Evaluation of Machine Learning Algorithms for Intrusion Detection System in WSN. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12 (5). doi: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2021.0120574>
- Paul SetiawanKaban, A., Mayangsari, W., Syaiful Anwar, M., Maksum, A., Riastuti, R., Aditiyawardman, T., WahyuadiSoedarsono, J. (2022). Experimental and modelling waste rice husk ash as a novel green corrosion inhibitor under acidic environment. *Materials Today: Proceedings*, 62, 4225–4234. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.738>
- 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>
- Kaban, E. E., Maksum, A., Permana, S., Soedarsono, J. W. (2018). Utilization of secang heartwood (*caesalpiniasappan* l) as a green corrosion inhibitor on carbon steel (API 5L Gr. B) in 3.5% NaCl environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105, 012062. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012062>
- Azmi, M. F., Soedarsono, J. W. (2018). Study of corrosion resistance of pipeline API 5L X42 using green inhibitor bawangdayak (*Eleutherineamericana* Merr.) in 1 M HCl. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105, 012061. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012061>
- Leuvinadrie, L. P., Soedarsono, J. W. M. (2021). Pipe stress simulation and failure analysis of carbon steel flange spool in CO<sub>2</sub> gas flow condition. *PROCEEDINGS OF THE 13TH AUN/SEED-NET REGIONAL CONFERENCE ON MATERIALS (RCM 2020) AND THE 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS ENGINEERING AND MANUFACTURING (ICMEM 2020)*. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0070886>
- Bahrami, A., Khouzani, M. K., Harchegani, B. B. (2021). Establishing the root cause of a failure in a firewater pipeline. *Engineering Failure Analysis*, 127, 105474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105474>
- ong, Y., Du, M.-Y., Ma, F.-Q., He, G.-Q., Xue, Y., Jiao, C.-S. et. al. (2020). Failure analysis and prevention of corrosion occurring during storage on steam generator tube sheet for advanced PWR, Part I: Root causes analysis. *Engineering Failure Analysis*, 116, 104710. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104710>
- Yang, Y., Khan, F., Thodi, P., Abbassi, R. (2017). Corrosion induced failure analysis of subsea pipelines. *Reliability Engineering & System Safety*, 159, 214–222. doi: <https://doi.org/10.1016/j.res.2016.11.014>
- Lopez, M. et. al. (2015). Internal corrosion solution for gathering production gas pipelines involving palm oil amide based corrosion inhibitors. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 10, 7166–7179. Available at: <http://www.electrochemsci.org/papers/vol10/100907166.pdf>
- Khera, A., Baniyah, B. B. (2017). Internal Corrosion Predicted and Found in Refined Piggable Product Pipeline Through ICDA. *ASME 2017 India Oil and Gas Pipeline Conference*. doi: <https://doi.org/10.1115/iogpc2017-2449>
- Melo, C., Dann, M. R., Hugo, R. J., Janeta, A. (2020). Optimal locations for non-destructive inspections to verify

- direct assessment of internally corroded pipelines. *Upstream Oil and Gas Technology*, 5, 100008. doi: <https://doi.org/10.1016/j.upstre.2020.100008>
19. Zapevalov, D. N., Vagapov, R. K. (2021). Analysis of regulatory requirements for the assessment of carbon dioxide corrosion at gas production facilities. *Issues of Risk Analysis*, 18 (2), 60–71. doi: <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-60-71>
  20. Wolodko, J., Alemaskin, K., Adane, K. F., Jaimes, V., Lipsett, M. (2019). Development of a novel testing method for characterizing wet sliding abrasion in slurry transport systems. *CORROSION* 2019. Available at: <https://onepetro.org/NACECORR/proceedings-abstract/CORR19/All-CORR19/NACE-2019-13458/127440>
  21. Daniyan, I., Balogun, V., Ererughurie, O. K., Daniyan, L., Oladapo, B. I. (2021). Development of an inline inspection robot for the detection of pipeline defects. *Journal of Facilities Management*, 20 (2), 193–217. doi: <https://doi.org/10.1108/jfm-01-2021-0010>
  22. Rachman, A., Ratnayake, R. M. C. (2019). Machine learning approach for risk-based inspection screening assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, 185, 518–532. doi: <https://doi.org/10.1016/j.res.2019.02.008>
  23. Xie, M., Sutherland, J., Fang, B., Gu, B., Tian, Z. (2020). Impact Analysis of Inline Inspection Accuracy on Pipeline Integrity Planning. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 142 (6). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4047270>
  24. DNV-RP-F101. Corroded Pipelines.
  25. DNV. Risk Based Inspection of Offshore Topsides Static Mechanical Equipment.
  26. Kuhn, M., Johnson, K. (2013). *Applied predictive modeling*. Springer, 600. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6849-3>
  27. Zhang, C., Liu, C., Zhang, X., Almpandis, G. (2017). An up-to-date comparison of state-of-the-art classification algorithms. *Expert Systems with Applications*, 82, 128–150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.04.003>
  28. Brown, I., Mues, C. (2012). An experimental comparison of classification algorithms for imbalanced credit scoring data sets. *Expert Systems with Applications*, 39 (3), 3446–3453. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.09.033>
  29. Rodriguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., Rigol-Sanchez, J. P. (2012). An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 93–104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002>
  30. Furey, T. S., Cristianini, N., Duffy, N., Bednarski, D. W., Schummer, M., Haussler, D. (2000). Support vector machine classification and validation of cancer tissue samples using microarray expression data. *Bioinformatics*, 16 (10), 906–914. doi: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/16.10.906>
  31. Hao, X., Zhao, X., Chen, H., Huang, B., Ma, J., Wang, C., Yang, Y. (2021). Comparative study on corrosion behaviors of ferrite-pearlite steel with dual-phase steel in the simulated bottom plate environment of cargo oil tanks. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 399–411. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.095>
  32. Li, J., Du, C., Liu, Z., Li, X. (2022). Extracellular electron transfer routes in microbiologically influenced corrosion of X80 steel by *Bacillus licheniformis*. *Bioelectrochemistry*, 145, 108074. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2022.108074>
  33. King, R. A., Miller, J. D. A., Smith, J. S. (1973). Corrosion of Mild Steel by Iron Sulphides. *British Corrosion Journal*, 8 (3), 137–141. doi: <https://doi.org/10.1179/000705973798322251>
  34. Li, Y., Feng, S., Liu, H., Tian, X., Xia, Y., Li, M. et. al. (2020). Bacterial distribution in SRB biofilm affects MIC pitting of carbon steel studied using FIB-SEM. *Corrosion Science*, 167, 108512. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2020.108512>
  35. Xie, M., Tian, Z. (2018). A review on pipeline integrity management utilizing in-line inspection data. *Engineering Failure Analysis*, 92, 222–239. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.05.010>
  36. Inman, S., Han, J., Gerard, A., Qi, J., Wischhusen, M., Agnew, S. et. al. (2021). Effect of Mn Content on the Passivation and Corrosion of Al<sub>0.3</sub>Cr<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>MnMo<sub>0.15</sub>Ni<sub>1.5</sub>Ti<sub>0.3</sub> Compositionally Complex Face-Centered Cubic Alloys. *Corrosion*, 78 (1), 32–48. doi: <https://doi.org/10.5006/3906>
  37. Raj, P. N., Raha, B., Sekar, K., Joseph, M. (2021). Effect of Manganese on Synergistic Erosion-Corrosion Characteristics of A890 7A Hyper Duplex Stainless Steels. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 31 (1), 11–23. doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-021-06148-7>
  38. Mondal, K., Sathithsuksanoh, N., Lalvani, S. B. (2020). Electrodeposition and characterization of NiCoP. *SN Applied Sciences*, 2 (12). doi: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03921-6>
  39. Jiang, Z., Guoyong, L., Yuan, Y., Youdong, J., Xue, G. (2020). Improving sulfur corrosion resistance of transformer windings by grain boundary engineering technology. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 27 (3), 1022–1028. doi: <https://doi.org/10.1109/tdei.2020.008735>
  40. Cui, L., Kang, W., You, H., Cheng, J., Li, Z. (2020). Experimental Study on Corrosion of J55 Casing Steel and N80 Tubing Steel in High Pressure and High Temperature Solution Containing CO<sub>2</sub> and NaCl. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 7 (1). doi: <https://doi.org/10.1007/s40735-020-00449-5>
  41. Javidi, M., Bekhrad, S. (2018). Failure analysis of a wet gas pipeline due to localised CO<sub>2</sub> corrosion. *Engineering Failure Analysis*, 89, 46–56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.03.006>
  42. Liu, H., Wei, J., Dong, J., Chen, Y., Wu, Y., Zhou, Y. et. al. (2021). Influence of cementite spheroidization on relieving the micro-galvanic effect of ferrite-pearlite steel in acidic chloride environment. *Journal of Materials Science & Technology*, 61, 234–246. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2020.05.031>
  43. Wang, Z., Zhang, X., Cheng, L., Liu, J., Wu, K. (2021). Role of inclusion and microstructure on corrosion initiation and propagation of weathering steels in marine environment. *Journal of Materials Research and Technology*, 10, 306–321. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.11.096>
  44. Hamidah, I., Solehudin, A., Hamdani, A., Hasanah, L., Khairurrijal, K., Kurniawan, T. et. al. (2021). Corrosion of copper alloys in KOH, NaOH, NaCl, and HCl electrolyte solutions and its impact to the mechanical properties. *Alexandria Engineering Journal*, 60 (2), 2235–2243. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.12.027>
  45. Dwivedi, D., Rowles, M. R., Becker, T., Lepkova, K. (2020). The role of ferrite-cementite interface in formation of hierarchical film on carbon steel in CO<sub>2</sub>-saturated brine. *Applied Surface Science*, 509, 145107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.145107>
  46. Yang, Y., Fan, X., Casillas, G., Peng, Z., Ruan, G., Wang, G. et. al. (2014). Three-Dimensional Nanoporous Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>3</sub>C-Graphene Heterogeneous Thin Films for Lithium-Ion

- Batteries. *ACS Nano*, 8 (4), 3939–3946. doi: <https://doi.org/10.1021/nn500865d>
47. Sun, J. B., Zhang, G. A., Liu, W., Lu, M. X. (2012). The formation mechanism of corrosion scale and electrochemical characteristic of low alloy steel in carbon dioxide-saturated solution. *Corrosion Science*, 57, 131–138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.12.025>
48. López, D., Schreiner, W., de Sánchez, S., Simison, S. (2003). The influence of carbon steel microstructure on corrosion layers. *Applied Surface Science*, 207 (1-4), 69–85. doi: [https://doi.org/10.1016/s0169-4332\(02\)01218-7](https://doi.org/10.1016/s0169-4332(02)01218-7)
49. Syugaev, A. V., Lomaeva, S. F., Reshetnikov, S. M., Shuravin, A. S., Sharafieva, E. F., Surnin, D. V. (2008). The effect of the structure-phase state of iron-cementite nanocomposites on local activation processes. *Protection of Metals*, 44 (4), 367–371. doi: <https://doi.org/10.1134/s0033173208040097>
50. Masoumi, M., Béreš, M., Herculano, L. F. G., de Carvalho-PaesLoureiro, R., de Abreu, H. F. G. (2020). Microstructure and Crystallographic Texture Changes under Torsion Loading of Pearlitic Steel Strips. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 29 (11), 7250–7259. doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-020-05232-8>
51. De Carvalho-PaesLoureiro, R., Beres, M., Masoumi, M., Ferreira Gomes de Abreu, H. (2021). The effect of pearlite morphology and crystallographic texture on environmentally assisted cracking failure. *Engineering Failure Analysis*, 126, 105450. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105450>
52. Yuan, Y., Liu, X., Pu, G., Wang, T., Zheng, D. (2021). Temporal and spatial variability of corrosion of high-strength steel wires within a bridge stay cable. *Construction and Building Materials*, 308, 125108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125108>
53. Antunes, R. A., Costa, I., Faria, D. L. A. de. (2003). Characterization of corrosion products formed on steels in the first months of atmospheric exposure. *Materials Research*, 6 (3), 403–408. doi: <https://doi.org/10.1590/s1516-14392003000300015>
54. Kim, B. H., Kim, H., Hyun, M. S., Park, D. H. (1999). Direct electrode reaction of Fe(III)-reducing bacterium, *Shewanella putrefaciens*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 9, 127–131.
55. Xu, Y.-N., Chen, Y. (2020). Advances in heavy metal removal by sulfate-reducing bacteria. *Water Science and Technology*, 81 (9), 1797–1827. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2020.227>
56. Kraus, M., Feuerriegel, S. (2019). Forecasting remaining useful life: Interpretable deep learning approach via variational Bayesian inferences. *Decision Support Systems*, 125, 113100. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113100>
57. Han, Q., Gui, C., Xu, J., Lacidogna, G. (2019). A generalized method to predict the compressive strength of high-performance concrete by improved random forest algorithm. *Construction and Building Materials*, 226, 734–742. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.315>
58. Rijnhart, J. J. M., Twisk, J. W. R., Eekhout, I., Heymans, M. W. (2019). Comparison of logistic-regression based methods for simple mediation analysis with a dichotomous outcome variable. *BMC Medical Research Methodology*, 19 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0654-z>
59. Ahmed, I. A. I., Cheng, W. (2020). The Performance of Robust Methods in Logistic Regression Model. *Open Journal of Statistics*, 10 (01), 127–138. doi: <https://doi.org/10.4236/ojs.2020.101010>
60. Löffler, M., Zhang, A. Y., Zhou, H. H. (2021). Optimality of spectral clustering in the Gaussian mixture model. *The Annals of Statistics*, 49 (5). doi: <https://doi.org/10.1214/20-aos2044>
61. Hasnain, M., Pasha, M. F., Ghani, I., Imran, M., Alzaharani, M. Y., Budiarto, R. (2020). Evaluating Trust Prediction and Confusion Matrix Measures for Web Services Ranking. *IEEE Access*, 8, 90847–90861. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2994222>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259937

**INVESTIGATION OF EVALUATED TEMPERATURE OXIDATION FOR IN-738 LC SUPERALLOY TURBINE BLADE THERMALLY COATED BY AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> USING SLURRY COATING PROCESS (p. 34–41)**

**Naseer Abdulrazzaq Mousa**

University of Baghdad, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2345-7615>

**Bajel Mohammed Alshadeedi**

University of Baghdad, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3927-3634>

**Osam Hassan Attia**

University of Baghdad, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2326-694X>

**Hussein Adel Mahmood**

University of Baghdad, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5895-1576>

**Nor Mariah Adam**

Universiti Putra Malaysia, Selangor Darul Ehsan, Malaysia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7139-0953>

The study aims to investigate the effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Al additions to Nickel-base superalloys as a coating layer on oxidation resistance, and structural behavior of nickel superalloys such as IN 738 LC. Nickel-base superalloys are popular as base materials for hot components in industrial gas turbines such as blades due to their superior mechanical performance and high-temperature oxidation resistance, but the combustion gases' existence generates hot oxidation at high temperatures for long durations of time, resulting in corrosion of turbine blades which lead to massive economic losses. Turbine blades used in Iraqi electrical gas power stations require costly maintenance using traditional processes regularly. These blades are made of nickel superalloys such as IN 738 LC (Inconel 738). Few scientists investigated the impact of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> or Al additions to Nickel-base superalloys as coating layer by using the slurry coating method on oxidation resistance to enhance the Nickel-base superalloy's oxidation resistance. In this study, IN 738 LC is coated with two different coating percentages, the first being (10 Al+90 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) and the second being (40 Al+60 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Scanning Electron Microscope (SEM) and X-Ray Diffraction (XRD) were performed on all samples before and after oxidation. According to the results, SEM images of the surface revealed that the layer of the surface has a relatively moderated porosity value and that some of the coating layers contain micro-cracks. The best surface roughness of specimens coated with 60 % alumina+40 % aluminum was 5.752 nm. Whereas, the surface roughness of specimens coated with 90 % alumina+10 % aluminum was 6.367 nm. Results reveal that alloys

with both  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and Al additions have reported a positive synergistic effect of the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and Al additions on oxidation resistance. Moreover, the  $\text{NiCrAl}_2\text{O}_3$  thermal coating has good oxidation resistance and the effective temperature of anti-oxidation is raised to 1100 °C in turn reducing the maintenance period of turbine blades.

**Keywords:** slurry, coating, aluminizing, turbine blades, oxidation, IN 738 LC, superalloys, surface roughness.

## References

- Basuki, E. A., Prajitno, D. H., Muhammad, F. (2017). Alloys developed for high temperature applications. AIP Conference Proceedings. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4974409>
- Long, H., Mao, S., Liu, Y., Zhan g, Z., Han, X. (2018). Microstructural and compositional design of Ni-based single crystalline superalloys – A review. Journal of Alloys and Compounds, 743, 203–220. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.01.224>
- Goodfellow, A. J. (2018). Strengthening mechanisms in polycrystalline nickel-based superalloys. Materials Science and Technology, 34 (15), 1793–1808. doi: <https://doi.org/10.1080/02670836.2018.1461594>
- Donachie, M. J., Donachie, S. J. (2002). Superalloys. ASM International. doi: <https://doi.org/10.31399/asm.tb.stg2.9781627082679>
- Birks, N., Meier, G. H., Pettit, F. S. (2006). Introduction to the High Temperature Oxidation of Metals. Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9781139163903>
- Jokar, A., Ghadami, F., Azimzadeh, N., Doolabi, D. S. (2021). Slurry Aluminizing Process of the Internal Passageways of Gas Turbine Blades: Investigation of High-Temperature Oxidation Behavior at 1000 °C. SSRN Electronic Journal. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3967530>
- Shao, Y., Xu, J., Wang, H., Zhang, Y., Jia, J., Liu, J. et al. (2019). Effect of Ti and Al on microstructure and partitioning behavior of alloying elements in Ni-based powder metallurgy superalloys. International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials, 26 (4), 500–506. doi: <https://doi.org/10.1007/s12613-019-1757-1>
- Zakeri, A., Masoumi Balashadehi, M. R., Sabour Rouh Aghdam, A. (2021). Development of hybrid electrodeposition/slurry diffusion aluminide coatings on Ni-based superalloy with enhanced hot corrosion resistance. Journal of Composites and Compounds, 2 (5), 1–8. doi: <https://doi.org/10.52547/jcc.3.1.1>
- Maniam, K. K., Paul, S. (2021). Progress in Novel Electrodeposited Bond Coats for Thermal Barrier Coating Systems. Materials, 14 (15), 4214. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14154214>
- Sims, C. T., Stoloff, N. S., Hagel, W. C. (Eds.) (1987). Superalloys II. Wiley.
- Goebel, J. A., Pettit, F. S., Goward, G. W. (1973). Mechanisms for the hot corrosion of nickel-base alloys. Metallurgical Transactions, 4 (1), 261–278. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02649626>
- Gupta, A. K., Immargeon, J. P., Patnaik, P. C. (1989). A review of factors controlling the gas turbine hot section environment and their influence on hot salt corrosion test methods. High Temperature Technology, 7 (4), 173–186. doi: <https://doi.org/10.1080/02619180.1989.11753435>
- Fuhui, W., Hanyi, L., Linxiang, B., Weitao, W. (1989). Hot corrosion of yttrium-modified aluminide coatings. Materials Science and Engineering: A, 120-121, 387–389. doi: [https://doi.org/10.1016/0921-5093\(89\)90792-2](https://doi.org/10.1016/0921-5093(89)90792-2)
- Gleeson, B., Cheung, W. H., Costa, W. D., Young, D. J. (1992). The hot-corrosion behavior of novel CO-deposited chromium-modified aluminide coatings. Oxidation of Metals, 38 (5-6), 407–424. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00665662>
- He, Y.-R., Rapp, R. A., Tortorelli, P. P. (1997). Oxidation-resistant Ge-doped silicide coating on Cr-Cr2Nb alloys by pack cementation. Materials Science and Engineering: A, 222 (2), 109–117. doi: [https://doi.org/10.1016/s0921-5093\(96\)10516-5](https://doi.org/10.1016/s0921-5093(96)10516-5)
- Hsu, H.-W., Tsai, W.-T. (2000). High temperature corrosion behavior of siliconized 310 stainless steel. Materials Chemistry and Physics, 64 (2), 147–155. doi: [https://doi.org/10.1016/s0254-0584\(99\)00264-3](https://doi.org/10.1016/s0254-0584(99)00264-3)
- Zhou, C., Xu, H., Gong, S., Yang, Y., Young Kim, K. (2000). A study on aluminide and Cr-modified aluminide coatings on TiAl alloys by pack cementation method. Surface and Coatings Technology, 132 (2-3), 117–123. doi: [https://doi.org/10.1016/s0257-8972\(00\)00911-7](https://doi.org/10.1016/s0257-8972(00)00911-7)
- Koo, C. H., Yu, T. H. (2000). Pack cementation coatings on Ti3Al–Nb alloys to modify the high-temperature oxidation properties. Surface and Coatings Technology, 126 (2-3), 171–180. doi: [https://doi.org/10.1016/s0257-8972\(00\)00546-6](https://doi.org/10.1016/s0257-8972(00)00546-6)
- Kassim, S. A., Shukri, N. M. M., Zubir, S. A., Seman, A. A., Abdullah, T. K. (2021). Si-Mo-Modified Aluminide Slurry Coating For High Temperature Protection Of Austenitic Stainless Steel. Malaysian Journal of Microscopy, 17 (2). Available at: <https://malaysianjournalofmicroscopy.org/ojs/index.php/mjm/article/view/547>
- Eliaz, N., Shemesh, G., Latanision, R. M. (2002). Hot corrosion in gas turbine components. Engineering Failure Analysis, 9 (1), 31–43. doi: [https://doi.org/10.1016/s1350-6307\(00\)00035-2](https://doi.org/10.1016/s1350-6307(00)00035-2)
- Visuttipitukul, P., Limvanutpong, N., Wangyao, P. (2010). Aluminizing of Nickel-Based Superalloys Grade IN 738 by Powder Liquid Coating. MATERIALS TRANSACTIONS, 51 (5), 982–987. doi: <https://doi.org/10.2320/matertrans.m2009382>
- Shmorgun, V. G., Bogdanov, A. I., Kulevich, V. P., Iskhakova, L. D., Taube, A. O. (2021). Microstructure and phase composition of diffusion coating formed in NiCr alloys by hot-dip aluminizing. Surfaces and Interfaces, 23, 100988. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2021.100988>
- Keyvani, A. (2015). Microstructural stability oxidation and hot corrosion resistance of nanostructured  $\text{Al}_2\text{O}_3$  / YSZ composite compared to conventional YSZ TBC coatings. Journal of Alloys and Compounds, 623, 229–237. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.10.088>
- Lorenzo-Bañuelos, M., Díaz, A., Rodríguez, D., Cuesta, I. I., Fernández, A., Alegre, J. M. (2021). Influence of Atmospheric Plasma Spray Parameters (APS) on the Mechanical Properties of Ni-Al Coatings on Aluminum Alloy Substrate. Metals, 11 (4), 612. doi: <https://doi.org/10.3390/met11040612>
- Keyvani, A., Saremi, M., Sohi, M. H. (2011). An investigation on oxidation, hot corrosion and mechanical properties of plasma-sprayed conventional and nanostructured YSZ coatings. Surface and Coatings Technology, 206 (2-3), 208–216. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.06.036>
- Vadayar, K. S., Rani, S. D. (2013). Hot corrosion behaviour of nickel based superalloys. International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering, 2 (4), 223–227. doi: <https://doi.org/10.47893/ijarme.2013.1090>
- Pakseresht, A. H., Javadi, A. H., Bahrami, M., Khodabakhshi, F., Simchi, A. (2016). Spark plasma sintering of a mul-

tilayer thermal barrier coating on Inconel 738 superalloy: Microstructural development and hot corrosion behavior. *Ceramics International*, 42 (2), 2770–2779. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.11.008>

28. Massalski, T. B. (1988). Binary alloy phase diagrams. *ASM Handbook*, 114–125.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258728**  
**FABRICATION OF MACROCRACK-FREE THICK CHROMIUM DUPLEX PLATING FOR REMANUFACTURING APPLICATIONS (p. 42–51)**

**Taufiqullah**

Bandung Institute of Technology, Bandung, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0495-4031>

**Adhi Setyio Nugroho**

Bandung Institute of Technology, Bandung, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5891-7714>

**Raden Dadan Ramdan**

Bandung Institute of Technology, Bandung, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7037-6087>

**Firmansyah Sasmita**

Bandung Institute of Technology, Bandung, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3713-2341>

**Siti Rodotun**

Bandung Institute of Technology, Bandung, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3628-4650>

**Aditianto Ramelan**

Bandung Institute of Technology, Bandung, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0226-3341>

The remanufacturing process of a hydraulic cylinder rod becomes a challenging prospect in the industrial sector producing heavy equipment. That is because remanufactured components can have the same product quality as new components with a more economical price.

Hard chromium electrodeposition is a well-known technique to provide a protective coating for the cylinder rod so that it has favorable wear and corrosion resistance properties. Associated with remanufacturing applications, the used chromium plating covering the cylinder rod should be removed first before applying the new chromium one. Whereas the removal process often slightly consumes the base metal and fresh thicker chromium should be deposited in order to preserve its original diameter. The main problem is that the thick chromium may experience macrocrack after the baking process at 200 °C. Hence, the observation of as-plated and as-baked thick and hard chromium deposit properties is the novelty of this research.

In this work, the thick and hard chromium plating over a flat carbon steel substrate was produced by the electrodeposition method. A conventional single-layer chromium deposit with a plating current density greater than 40 A/dm<sup>2</sup> shows macrocracks after the baking process at 200 °C for an hour. For the chromium duplex plating composed of two Cr layers, the maximum thickness of the deposit was 261.0±8.5 microns, and the macrocrack was observed. Meanwhile, the as-baked duplex chromium plating composed of a polished Cr-C layer and a Cr layer has a microcrack density of 337±8 cracks/cm and hardness of 924.8±22.2 HV<sub>0.3</sub> without macrocracks. EPMA characterization confirmed the presence of a carbon element in the Cr-C layer, and it is presumed due to carbon co-deposition from formic acid additives.

**Keywords:** hard chromium electrodeposition, remanufacturing, macrocrack, chromium duplex plating, chrome-carbon deposit.

**References**

1. Nnorom, I. C., Osibanjo, O. (2010). Overview of prospects in adopting remanufacturing of end-of-life electronic products in the developing countries. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 1 (3), 328. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/280803728\\_Overview\\_of\\_Prospects\\_in\\_Adopting\\_Remanufacturing\\_of\\_End-of-Life\\_Electronic\\_Products\\_in\\_the\\_Developing\\_Countries](https://www.researchgate.net/publication/280803728_Overview_of_Prospects_in_Adopting_Remanufacturing_of_End-of-Life_Electronic_Products_in_the_Developing_Countries)
2. Yang, Z. (2011). Alternatives to hard chromium plating on piston rods. *Karlstads Universitet*. Available at: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:452803/FULLTEXT01.pdf>
3. Dennis, J. K., Such, T. E. (1993). Nickel and chromium plating. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1533/9781845698638>
4. Araujo, L. S., de Almeida, L. H., dos Santos, D. S. (2019). Hydrogen embrittlement of a hard chromium plated cylinder assembly. *Engineering Failure Analysis*, 103, 259–265. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.04.052>
5. Podgornik, B., Massler, O., Kafexhiu, F., Sedlacek, M. (2018). Crack density and tribological performance of hard-chrome coatings. *Tribology International*, 121, 333–340. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.01.055>
6. Ploypech, S., Metzner, M., dos Santos, C. B., Jearanaisilawong, P., Boonyongmaneerat, Y. (2019). Effects of Crack Density on Wettability and Mechanical Properties of Hard Chrome Coatings. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 72 (4), 929–934. doi: <https://doi.org/10.1007/s12666-018-01553-4>
7. Nguyen, V. P., Dang, T. N., Le, C. C. (2019). Effect of Residual Stress and Microcracks in Chrome Plating Layer to Fatigue Strength of Axle-Shaped Machine Parts. *Applied Mechanics and Materials*, 889, 10–16. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.889.10>
8. Augusto F. Santos, B., E. D. Serenário, M., L. M. F. Pinto, D., A. Simões, T., M. S. Malafaia, A., H. S. Bueno, A. (2019). Evaluation of Micro-Crack Incidence and their Influence on the Corrosion Resistance of Steel Coated with Different Chromium Thicknesses. *Revista Virtual de Química*, 11 (1), 264–274. doi: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190019>
9. Sato, K., Sugio, K., Choi, Y., Sasaki, G., Setiawan, A. R., Ramelan, A. (2019). Fabrication of Cr based electrodeposited composite film using nano ZrO<sub>2</sub> particles on aluminum substrate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 547 (1), 012027. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/547/1/012027>
10. Sheu, H.-H., Lin, M.-H., Jian, S.-Y., Hong, T.-Y., Hou, K.-H., Ger, M.-D. (2018). Improve the mechanical properties and wear resistance of Cr-C thin films by adding Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles. *Surface and Coatings Technology*, 350, 1036–1044. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.02.069>
11. Liang, A., Zhang, J. (2012). Why the decorative chromium coating electrodeposited from trivalent chromium electrolyte containing formic acid is darker. *Surface and Coatings Technology*, 206 (17), 3614–3618. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.02.053>
12. Kurzydowski, K. J., Ralph, B. (1995). The quantitative description of the microstructure of materials. CRC Press, 432.
13. Do Nascimento, M. P., Voorwald, H. J. C. (2008). The significance and determination by image analysis of microcrack



- density in hard chromium plating. *Plating and Surface Finishing*, 95 (4), 36–42.
14. Gabe, D. (1997). The role of hydrogen in metal electrodeposition processes. *Journal of Applied Electrochemistry*, 27 (8), 908–915. doi: <https://doi.org/10.1023/a:1018497401365>
  15. Kasper, C. (1935). Mechanism of chromium deposition from the chromic acid bath. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 14 (6), 693. doi: <https://doi.org/10.6028/jres.014.043>
  16. Snively, C. A. (1947). A Theory for the Mechanism of Chromium Plating; A Theory for the Physical Characteristics of Chromium Plate. *Transactions of The Electrochemical Society*, 92 (1), 537. doi: <https://doi.org/10.1149/1.3071841>
  17. Such, T. E., Partington, M. (1964). The Relation between Cracking and Internal Stress in Microcracked Chromium Deposits. *Transactions of the IMF*, 42 (1), 68–76. doi: <https://doi.org/10.1080/00202967.1964.11869912>
  18. Protsenko, V. S., Gordiienko, V. O., Danilov, F. I. (2012). Unusual «chemical» mechanism of carbon co-deposition in Cr-C alloy electrodeposition process from trivalent chromium bath. *Electrochemistry Communications*, 17, 85–87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2012.02.013>
  19. Hoshino, S., Laitinen, H. A., Hoflund, G. B. (1986). The Electrodeposition and Properties of Amorphous Chromium Films Prepared from Chromic Acid Solutions. *Journal of The Electrochemical Society*, 133 (4), 681–685. doi: <https://doi.org/10.1149/1.2108653>
  20. Hoflund, G. B., Asbury, D. A., Babb, S. J., Grogan, A. L., Laitinen, H. A., Hoshino, S. (1986). A surface study of amorphous chromium films electrodeposited from chromic acid solutions. Part I. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 4 (1), 26–30. doi: <https://doi.org/10.1116/1.573493>
  21. Mandich, N. V., Snyder, D. L. (2011). Electrodeposition of Chromium. *Modern Electroplating*, 205–248. doi: <https://doi.org/10.1002/9780470602638.ch7>
  22. Callister, W. D., Rethwisch, D. G. (2018). *Materials science and engineering: an introduction*. Wiley, 992.
  23. Brenner, A., Burkhead, P., Jennings, C. (1948). Physical properties of electrodeposited chromium. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 40 (1), 31. doi: <https://doi.org/10.6028/jres.040.022>
  24. Robertson, I. M., Sofronis, P., Nagao, A., Martin, M. L., Wang, S., Gross, D. W., Nygren, K. E. (2015). Hydrogen Embrittlement Understood. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 46 (6), 2323–2341. doi: <https://doi.org/10.1007/s11661-015-2836-1>
  25. Senadheera, T. D. (2013). *Accurate Measurement of Hydrogen in Steel*. University of Calgary. doi: <https://doi.org/10.11575/PRISM/24654>
  26. Pressouyre, G. M. (1980). Trap theory of Hydrogen embrittlement. *Acta Metallurgica*, 28 (7), 895–911. doi: [https://doi.org/10.1016/0001-6160\(80\)90106-6](https://doi.org/10.1016/0001-6160(80)90106-6)
  27. Xu, L., Pi, L., Dou, Y., Cui, Y., Mao, X., Lin, A. et. al. (2020). Electroplating of Thick Hard Chromium Coating from a Trivalent Chromium Bath Containing a Ternary Complexing Agent: A Methodological and Mechanistic Study. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8 (41), 15540–15549. doi: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c04529>
  28. Duriagina, Z. A., Romanyshyn, M. R., Kulyk, V. V., Kovbasiuk, T. M., Trostianchyn, A. M., Lemishka, I. A. (2020). The character of the structure formation of model alloys of the Fe-Cr-(Zr, Zr-B) system synthesized by powder metallurgy. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2 (100), 49–57. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.3344>
  29. Duriagina, Z., Kulyk, V., Kovbasiuk, T., Vasylyv, B., Kostyryzh, A. (2021). Synthesis of Functional Surface Layers on Stainless Steels by Laser Alloying. *Metals*, 11 (3), 434. doi: <https://doi.org/10.3390/met11030434>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.260170**  
**INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF ZN-AL LAYERED DOUBLE HYDROXIDES, INTERCALATED WITH NATURAL DYES FROM SPICES, AS A COSMETIC PIGMENTS (p. 52–59)**

**Vadym Kovalenko**

Ukrainian State University  
of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8012-6732>

**Valerii Kotok**

Ukrainian State University  
of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8879-7189>

**Anastasiia Borysenko**

National Ecological and Naturalistic  
Center for Student Youth, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2732-5660>

**Anton Dopira**

National Ecological and Naturalistic  
Center for Student Youth, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9391-3543>

**Anhelina Rezvantseva**

Ukrainian State University  
of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9662-6213>

**Rovil Nafeev**

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2721-9718>

**Volodymyr Verbitskiy**

National Pedagogical Dragomanov University, Kyiv, Ukraine

National Ecological and Naturalistic  
Center for Student Youth, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7045-8293>

**Dmitry Sukhomlyn**

Ukrainian State University  
of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5714-3454>

Pigments are the main components of cosmetics, which determine both toxicity and consumer color characteristics. Zn-Al layered double hydroxides intercalated with anionic food dyes are promising pigments. The best sources of dyes for intercalation are natural ones. The most promising are spices. Natural dyes from spices are often biologically active substances. The parameters of samples of Zn-Al (Zn:Al=3:1) hydroxides intercalated with natural food dyes, synthesized in the medium of aqueous tinctures of saffron and safflower, were studied. The crystal structure of the samples was studied by X-ray phase analysis; color characteristics were studied by spectroscopy and calculation of parameters in the CIE L\*a\*b system.

The possibility of synthesizing Zn-Al colored layered double hydroxides intercalated with natural dyes in the medium of saffron and safflower tinctures was shown. X-ray phase analysis showed that both pigment samples were layered double hydroxides with the  $\alpha$ -Zn(OH)<sub>2</sub> structure. For the pigment intercalated with saffron dye, the phenomenon of partial decomposition of Zn-Al LDH to ZnO during synthesis was revealed. The color characteristics of the samples were studied. Zn-Al LDH pigment synthesized in a saffron tincture had a bright yellow color determined by intercalated saffron carotenoids (crocin and crocetin). It was suggested that safflower dye flavonoids were partially hydrolyzed (red ones – cartamine and cartamide, and yellow – Safflor Yellow A), which led to the formation of a dark orange-brown color of the sample. The prospects of using Zn-Al LDH intercalated with saffron food dyes as a cosmetic pigment were shown.

**Keywords:** Zn-Al layered double hydroxide, cosmetic pigment, intercalation, saffron, safflower, color, carotenoids, flavonoids.

### References

- Kesavan Pillai, S., Kleyi, P., de Beer, M., Mudaly, P. (2020). Layered double hydroxides: An advanced encapsulation and delivery system for cosmetic ingredients-an overview. *Applied Clay Science*, 199, 105868. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105868>
- Viseras, C., Sánchez-Espejo, R., Palumbo, R., Liccardi, N., García-Villén, E., Borrego-Sánchez, A. et. al. (2021). Clays in cosmetics and personal-care products. *Clays and Clay Minerals*, 69 (5), 561–575. doi: <https://doi.org/10.1007/s42860-021-00154-5>
- Khan, A. I., Ragavan, A., Fong, B., Markland, C., O'Brien, M., Dunbar, T. G. et. al. (2009). Recent Developments in the Use of Layered Double Hydroxides as Host Materials for the Storage and Triggered Release of Functional Anions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48 (23), 10196–10205. doi: <https://doi.org/10.1021/ie9012612>
- Mandal, S., Tichit, D., Lerner, D. A., Marcotte, N. (2009). Azoic Dye Hosted in Layered Double Hydroxide: Physicochemical Characterization of the Intercalated Materials. *Langmuir*, 25 (18), 10980–10986. doi: <https://doi.org/10.1021/la901201s>
- Mandal, S., Lerner, D. A., Marcotte, N., Tichit, D. (2009). Structural characterization of azoic dye hosted layered double hydroxides. *Zeitschrift Für Kristallographie*, 224 (5-6), 282–286. doi: <https://doi.org/10.1524/zkri.2009.1150>
- Wang, Q., Feng, Y., Feng, J., Li, D. (2011). Enhanced thermal- and photo-stability of acid yellow 17 by incorporation into layered double hydroxides. *Journal of Solid State Chemistry*, 184 (6), 1551–1555. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2011.04.020>
- Liu, J. Q., Zhang, X. C., Hou, W. G., Dai, Y. Y., Xiao, H., Yan, S. S. (2009). Synthesis and Characterization of Methyl-Red/Layered Double Hydroxide (LDH) Nanocomposite. *Advanced Materials Research*, 79-82, 493–496. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.79-82.493>
- Tian, Y., Wang, G., Li, F., Evans, D. G. (2007). Synthesis and thermo-optical stability of o-methyl red-intercalated Ni-Fe layered double hydroxide material. *Materials Letters*, 61 (8-9), 1662–1666. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.07.094>
- Hwang, S.-H., Jung, S.-C., Yoon, S.-M., Kim, D.-K. (2008). Preparation and characterization of dye-intercalated Zn-Al-layered double hydroxide and its surface modification by silica coating. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 69 (5-6), 1061–1065. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2007.11.002>
- Tang, P., Deng, F., Feng, Y., Li, D. (2012). Mordant Yellow 3 Anions Intercalated Layered Double Hydroxides: Preparation, Thermo- and Photostability. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51 (32), 10542–10545. doi: <https://doi.org/10.1021/ie300645b>
- Tang, P., Feng, Y., Li, D. (2011). Fabrication and properties of Acid Yellow 49 dye-intercalated layered double hydroxides film on an alumina-coated aluminum substrate. *Dyes and Pigments*, 91 (2), 120–125. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2011.03.012>
- Tang, P., Feng, Y., Li, D. (2011). Improved thermal and photostability of an anthraquinone dye by intercalation in a zinc–aluminum layered double hydroxides host. *Dyes and Pigments*, 90 (3), 253–258. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2011.01.007>
- Burmistr, M. V., Boiko, V. S., Lipko, E. O., Gerasimenko, K. O., Gomza, Y. P., Vesnin, R. L. et. al. (2014). Antifriction and Construction Materials Based on Modified Phenol-Formaldehyde Resins Reinforced with Mineral and Synthetic Fibrous Fillers. *Mechanics of Composite Materials*, 50 (2), 213–222. doi: <https://doi.org/10.1007/s11029-014-9408-0>
- Kovalenko, V., Kotok, V. (2017). Selective anodic treatment of W(WC)-based superalloy scrap. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (85)), 53–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91205>
- Shamim, M., Dana, K. (2017). Efficient removal of Evans blue dye by Zn–Al–NO<sub>3</sub> layered double hydroxide. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15 (6), 1275–1284. doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1478-9>
- Mahjoubi, F. Z., Khalidi, A., Abdennouri, M., Barka, N. (2017). Zn–Al layered double hydroxides intercalated with carbonate, nitrate, chloride and sulphate ions: Synthesis, characterisation and dye removal properties. *Journal of Taibah University for Science*, 11 (1), 90–100. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2015.10.007>
- Pahalagedara, M. N., Samaraweera, M., Dharmarathna, S., Kuo, C.-H., Pahalagedara, L. R., Gascón, J. A., Suib, S. L. (2014). Removal of Azo Dyes: Intercalation into Sonochemically Synthesized NiAl Layered Double Hydroxide. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118 (31), 17801–17809. doi: <https://doi.org/10.1021/jp505260a>
- Darmograj, G., Prelot, B., Layrac, G., Tichit, D., Martin-Gassin, G., Salles, F., Zajac, J. (2015). Study of Adsorption and Intercalation of Orange-Type Dyes into Mg–Al Layered Double Hydroxide. *The Journal of Physical Chemistry C*, 119 (41), 23388–23397. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b05510>
- Marangoni, R., Bouhent, M., Taviot-Guého, C., Wypych, F., Leroux, F. (2009). Zn<sub>2</sub>Al layered double hydroxides intercalated and adsorbed with anionic blue dyes: A physico-chemical characterization. *Journal of Colloid and Interface Science*, 333 (1), 120–127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.02.001>
- El Hassani, K., Beakou, B. H., Kalnina, D., Oukani, E., Anouar, A. (2017). Effect of morphological properties of layered double hydroxides on adsorption of azo dye Methyl Orange: A comparative study. *Applied Clay Science*, 140, 124–131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.02.010>
- Abdellaoui, K., Pavlovic, I., Bouhent, M., Benhamou, A., Barriga, C. (2017). A comparative study of the amaranth

- azo dye adsorption/desorption from aqueous solutions by layered double hydroxides. *Applied Clay Science*, 143, 142–150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.03.019>
22. Santos, R. M. M. dos, Gonçalves, R. G. L., Constantino, V. R. L., Santilli, C. V., Borges, P. D., Tronto, J., Pinto, F. G. (2017). Adsorption of Acid Yellow 42 dye on calcined layered double hydroxide: Effect of time, concentration, pH and temperature. *Applied Clay Science*, 140, 132–139. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.02.005>
  23. Bharali, D., Deka, R. C. (2017). Adsorptive removal of congo red from aqueous solution by sonochemically synthesized NiAl layered double hydroxide. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5 (2), 2056–2067. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.04.012>
  24. Ahmed, M. A., brick, A. A., Mohamed, A. A. (2017). An efficient adsorption of indigo carmine dye from aqueous solution on mesoporous Mg/Fe layered double hydroxide nanoparticles prepared by controlled sol-gel route. *Chemosphere*, 174, 280–288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.147>
  25. Arizaga, G. G. C., Gardolinski, J. E. F. da C., Schreiner, W. H., Wypych, F. (2009). Intercalation of an oxalatoxonionate complex into layered double hydroxide and layered zinc hydroxide nitrate. *Journal of Colloid and Interface Science*, 330 (2), 352–358. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.10.025>
  26. Andrade, K. N., Pérez, A. M. P., Arizaga, G. G. C. (2019). Passive and active targeting strategies in hybrid layered double hydroxides nanoparticles for tumor bioimaging and therapy. *Applied Clay Science*, 181, 105214. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105214>
  27. Kovalenko, V., Kotok, V., Yeroshkina, A., Zaychuk, A. (2017). Synthesis and characterisation of dyeintercalated nickel-aluminium layered double hydroxide as a cosmetic pigment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (89)), 27–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109814>
  28. Cursino, A. C. T., Rives, V., Arizaga, G. G. C., Trujillano, R., Wypych, F. (2015). Rare earth and zinc layered hydroxide salts intercalated with the 2-aminobenzoate anion as organic luminescent sensitizer. *Materials Research Bulletin*, 70, 336–342. doi: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2015.04.055>
  29. Mironyak, M., Volnyanska, O., Labyak, O., Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Development of a potentiometric sensor sensitive to polysorbate 20. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 3–9. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00942>
  30. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). «Smart» anticorrosion pigment based on layered double hydroxide: construction and characterization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (100)), 23–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176690>
  31. Carbajal Arizaga, G. G., Sánchez Jiménez, C., Parra Saavedra, K. J., Macías Lamas, A. M., Puebla Pérez, A. M. (2016). Folate-intercalated layered double hydroxide as a vehicle for cyclophosphamide, a non-ionic anti-cancer drug. *Micro & Nano Letters*, 11 (7), 360–362. doi: <https://doi.org/10.1049/mnl.2016.0106>
  32. Ghotbi, M. Y., Hussein, M. Z. bin, Yahaya, A. H., Rahman, M. Z. A. (2009). LDH-intercalated d-gluconate: Generation of a new food additive-inorganic nanohybrid compound. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 70 (6), 948–954. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2009.05.007>
  33. Hong, M.-M., Oh, J.-M., Choy, J.-H. (2008). Encapsulation of Flavor Molecules, 4-Hydroxy-3-Methoxy Benzoic Acid, into Layered Inorganic Nanoparticles for Controlled Release of Flavor. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 8 (10), 5018–5021. doi: <https://doi.org/10.1166/jnn.2008.1385>
  34. Rajamathi, M., Vishnu Kamath, P., Seshadri, R. (2000). Polymorphism in nickel hydroxide: role of interstratification. *Journal of Materials Chemistry*, 10 (2), 503–506. doi: <https://doi.org/10.1039/a905651c>
  35. Kotok, V., Kovalenko, V., Malyshev, V. (2017). Comparison of oxygen evolution parameters on different types of nickel hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (89)), 12–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109770>
  36. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Influence of the carbonate ion on characteristics of electrochemically synthesized layered ( $\alpha+\beta$ ) nickel hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (97)), 40–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155738>
  37. Solovov, V., Kovalenko, V., Nikolenko, N., Kotok, V., Vlasova, E. (2017). Influence of temperature on the characteristics of Ni(II), Ti(IV) layered double hydroxides synthesised by different methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (85)), 16–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.90873>
  38. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Anionic carbonate activation of layered ( $\alpha+\beta$ ) nickel hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (99)), 44–52. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169461>
  39. Nalawade, P., Aware, B., Kadam, V. J., Hirlekar, R. S. (2009). Layered double hydroxides: A review. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 68, 267–272. Available at: <https://www.hazemsakeek.net/wp-content/uploads/2021/06/LDH.pdf>
  40. Delhoyo, C. (2007). Layered double hydroxides and human health: An overview. *Applied Clay Science*, 36(1-3), 103–121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.06.010>
  41. Solovov, V. A., Nikolenko, N. V., Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Burkov, A. A., Kondrat'ev, D. A. et. al. (2018). Synthesis of Ni(II)-Ti(IV) Layered Double Hydroxides Using Coprecipitation At High Supersaturation Method. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 24 (13), 9652–9656. Available at: [http://www.arpnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2018/jeas\\_1218\\_7500.pdf](http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_1218_7500.pdf)
  42. Kotok, V., Kovalenko, V., Vlasov, S. (2018). Investigation of Ni-Al hydroxide with silver addition as an active substance of alkaline batteries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (93)), 6–11. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133465>
  43. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Investigation of characteristics of double Ni-Co and ternary Ni-Co-Al layered hydroxides for supercapacitor application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (98)), 58–66. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.164792>
  44. Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Sykchin, A., Ananchenko, B. A., Chernyad'ev, A. V., Burkov, A. A. et. al. (2020). Al<sup>3+</sup> Additive in the Nickel Hydroxide Obtained by High-Temperature Two-Step Synthesis: Activator or Poisoner for Chemical Power Source Application? *Journal of The Electrochemical Society*, 167 (10), 100530. doi: <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ab9a2a>
  45. Saikia, H., Ganguli, J. N. (2012). Intercalation of Azo Dyes in Ni-Al Layered Double Hydroxides. *Asian Journal of Chemistry*, 24 (12), 5909–5913. Available at: <https://asian->

- journalofchemistry.co.in/User/ViewFreeArticle.aspx?ArticleID=24\_12\_134
46. Kotok, V., Kovalenko, V. (2017). Electrochromism of Ni(OH)<sub>2</sub> films obtained by cathode template method with addition of Al, Zn, Co ions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (87)), 38–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103010>
  47. Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). A study of multilayered electrochromic platings based on nickel and cobalt hydroxides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (91)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121679>
  48. Kovalenko, V., Kotok, V. (2018). Influence of ultrasound and template on the properties of nickel hydroxide as an active substance of supercapacitors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (93)), 32–39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133548>
  49. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Tartrazine-intercalated Zn–Al layered double hydroxide as a pigment for gel nail polish: synthesis and characterisation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (105)), 29–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205607>
  50. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Bifunctional indigocarmine-intercalated NiAl layered double hydroxide: investigation of characteristics for pigment and supercapacitor application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (104)), 30–39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201282>
  51. Tariq, N., Majeed, M. I., Hanif, M. A., Rehman, R. (2020). Pholi (Wild Safflower). *Medicinal Plants of South Asia*, 557–569. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102659-5.00041-0>
  52. Alihosseini, F., Sun, G. (2011). Antibacterial colorants for textiles. *Functional Textiles for Improved Performance, Protection and Health*, 376–403. doi: <https://doi.org/10.1533/9780857092878.376>
  53. Saito, K. (1994). Is carthamine a single component? *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 110 (8), 270–273. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.1994.tb01655.x>
  54. Radcliffe, L. B. (1897). On carthamin: the colouring matter of safflower. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 13 (8), 158–160. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.1897.tb00121.x>
  55. Sasaki, M., Takahashi, K. (2021). Complete Assignment of the <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR Spectra of Carthamin Potassium Salt Isolated from *Carthamus tinctorius* L. *Molecules*, 26 (16), 4953. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules26164953>
  56. Takahashi, Y., Miyasaka, N., Tasaka, S., Miura, I., Urano, S., Ikura, M. et. al. (1982). Constitution of two coloring matters in the flower petals of *L. Tetrahedron Letters*, 23 (49), 5163–5166. doi: [https://doi.org/10.1016/s0040-4039\(00\)85786-x](https://doi.org/10.1016/s0040-4039(00)85786-x)
  57. Golkar, P. (2018). Inheritance of carthamin and carthamidin in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Genetics*, 97 (1), 331–336. doi: <https://doi.org/10.1007/s12041-018-0909-9>
  58. Dehariya, R., Dixit, A. K. (2015). A Review on Potential Pharmacological Uses of *Carthamus tinctorius* L. *World Journal of Pharmaceutical Sciences*, 3 (8), 1741–1746. Available at: <https://wjpsonline.com/index.php/wjps/article/view/potential-pharmacological-uses-carthamus-tinctorius/1086>
  59. Dehariya, R., Chandrakar, J., Dubey, S., Ojha, K., Dixit, A. K. (2020). Scavenging and metal chelating potential of *Carthamus tinctorius* L. extracts. *Current Botany*, 11, 43–50. doi: <https://doi.org/10.25081/cb.2020.v11.6009>
  60. Khan, M., Hanif, M. A., Ayub, M. A., Jilani, M. I., Shahid Chatha, S. A. (2020). Saffron. *Medicinal Plants of South Asia*, 587–600. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102659-5.00043-4>
  61. Heydari, M., zare, M., Badie, M. R., Watson, R. R., Talebnajad, M. R., Afarid, M. (2022). Crocin as a vision supplement. *Clinical and Experimental Optometry*, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1080/08164622.2022.2039554>
  62. Siddiqui, S. A., Ali Redha, A., Snoeck, E. R., Singh, S., Simal-Gandara, J., Ibrahim, S. A., Jafari, S. M. (2022). Anti-Depressant Properties of Crocin Molecules in Saffron. *Molecules*, 27 (7), 2076. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules27072076>
  63. Hatziagapiou, K., Nikola, O., Marka, S., Koniari, E., Kakouri, E., Zografaki, M.-E. et. al. (2022). An In Vitro Study of Saffron Carotenoids: The Effect of Crocin Extracts and Dimethylcrocetin on Cancer Cell Lines. *Antioxidants*, 11 (6), 1074. doi: <https://doi.org/10.3390/antiox11061074>
  64. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Determination of the applicability of ZnAl layered double hydroxide, intercalated by food dye Orange Yellow S, as a cosmetic pigment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (107)), 81–89. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214847>
  65. Kovalenko, V., Kotok, V. (2021). The determination of synthesis conditions and color properties of pigments based on layered double hydroxides with Co as a guest cation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (114)), 32–38. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247160>
  66. Kovalenko, V., Borysenko, A., Kotok, V., Nafeev, R., Verbitskiy, V., Melnyk, O. (2022). Determination of the dependence of the structure of Zn-Al layered double hydroxides, as a matrix for functional anions intercalation, on synthesis conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (115)), 12–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252738>
  67. Kovalenko, V., Borysenko, A., Kotok, V., Nafeev, R., Verbitskiy, V., Melnyk, O. (2022). Determination of technological parameters of Zn-Al layered double hydroxides, as a matrix for functional anions intercalation, under different synthesis conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (116)), 25–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254496>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.260190

**РОЗРОБКА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЛИТВА З МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ (с. 6–12)****В. А. Шаломєєв, В. Л. Грешта, О. В. Лютова, С. А. Бовкун**

На основі дослідження хімічного складу та аналізу фізико-хімічних властивостей відходів низки металургійних підприємств Запорізького регіону встановлено можливість використання відходів в якості шихтових матеріалів для виробництва сплавів на основі магнію.

Вивчено можливість використання твердого розплаву солявого хлоратора (PCX) ЗТМК як флюса при виплавці магнієвого сплаву замість флюсу ВІ-2 та досліджено його вплив на структуру та механічні властивості литва. Показано технологічну можливість застосування даних хлоридних відходів при виплавці сплаву МЛ5. Встановлено, що застосування PCX в якості флюсу при виплавці магнієвого сплаву сприяє подрібненню структури та покращенню механічних властивостей металу дослідних плавків.

Досліджено можливість модифікування ливарного магнієвого сплаву графітовим порошком (ПГ), що є відходом АГ «Укрграфіт». Показано, що оптимальна присадка ПГ у кількості 0,05...0,3 % сприяє подрібненню зерна металу та підвищенню його характеристик міцності внаслідок додаткового зміцнення як твердого розчину, так і евтектоїду. Встановлено, що вуглець змінює параметри евтектичного перетворення, внаслідок чого зі збільшенням його концентрації у сплаві кількість евтектоїду типу  $\delta+\gamma$  ( $Mg_4Al_3$ ) помітно зменшується.

Опробування запропонованих відходів для виплавки сплаву МЛ5 показало, що не потрібно жодних змін в технології проведення плавки, а екологічна безпека розробленого техпроцесу відповідає встановленим нормам, а також поліпшено їх якість та підвищено межу міцності на 25 %, а пластичність – на 30 %.

При цьому, використання відходів при виплавці магнієвих сплавів дозволяє знизити витрати при його виробництві, поліпшити екологію за рахунок того, що відходи не утилізуються на полігонах, а повторно використовуються у металургійних виробництвах.

**Ключові слова:** магнієвий сплав, розплав солявого хлоратора, флюс, модифікування, графітовий порошок, мікроструктура

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.257841

**ВИЗНАЧЕННЯ РОЛІ ІНДИВІДУАЛЬНИХ І КОМБІНОВАНИХ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ПРОЦЕСІ ПІТІНГОВОЇ КОРОЗІЇ АУСТЕНІТНИХ Fe-Cr-Ni СТАЛЕЙ (с. 13–19)****В. Л. Сніжної, Г. В. Сніжної, С. М. Степаненко**

Проведено дослідження ролі індивідуальних (S, P, N, C, Si, Mn, Ni, Cr) і комбінованих ( $Q_1=S$ ,  $Q_2=S+P$ ,  $Q_3=S+P+N$ ,  $Q_4=S+P+N+C$ ,  $Q_5=S+P+N+C+Si$ ,  $Q_6=S+P+N+C+Si+Mn$ ,  $Q_7=S+P+N+C+Si+Mn+Ni$ ,  $Q_8=Q_5+P+N+C+Si+Mn+Ni+Cr$ ) елементів в п'яти плавках сталі AISI 304. Встановлено кореляційний зв'язок між швидкістю K корозії в хлоридовмісних середовищах і питомою магнітною сприйнятливостю  $\chi_0$  аустеніту (матриці), низьким вмістом  $P_\delta$   $\delta$ -фериту, процентним вмістом елементів. Враховуючи порядок розташування і вплив інших присутніх компонентів, виявлено множину різної форми графічних моделей залежностей K від  $\chi_0$ ,  $P_\delta$  і процентним вмістом елементів. Однак сума восьми розрахованих індивідуальних і комбінованих елементів ( $Q_8$ ) моделей співпадає з сумою тих же елементів ( $Q_8$ ) зразків плавків сталі, які піддавалися експериментальним вимірам  $\chi_0$  і  $P_\delta$ . Порівнюються криві представлених моделей з експериментальними залежностями K від  $\chi_0$ ,  $P_\delta$ . Виявлена позитивна і негативна роль індивідуальних і комбінованих елементів у процесі пітінготривкості плавків сталі. Завдяки цьому, припускається, що вплив на K індивідуальних та комбінованих елементів в інтервалах до і після їх критичних вмістів може бути неоднозначним. Звідси одному значенню K може відповідати декілька значень вмісту елементів,  $\chi_0$ ,  $P_\delta$ . Доказом цього є збіг розрахованих моделей K корозії від того ж сумарного вмісту  $Q_8$  для зразків сталі визначеного експериментально. Припускається позитивна (негативна) і неоднозначна роль елементів в процесі корозії та можливість прогнозування корозійної тривкості аустенітних сталей. Встановлено експериментальну залежність K від  $\chi_0$  і  $P_\delta$ , чим більше  $\chi_0$  і  $P_\delta$ , тим менше швидкість корозії K. Досліджувані сталі містили  $\delta$ -фериту у низьких межах 0,01...0,1 %.

**Ключові слова:** сталь AISI304, корозія, магнітна сприйнятливість, ферит, магнітний момент, нікель, хром, хлоридовмісне середовище.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259858

**АНАЛІЗ РИЗИКУ EX-SPOOL 16" MOL: ПОГЛЯД НА МАШИННЕ НАВЧАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ (с. 20–33)****Taufik Aditiyawarman, Johny Wahyuadi Soedarsono, Agus Paul Setiawan Kaban, Rini Riastuti, Haryo Rahmadani, Mohammad Pribadi, Rizal Tresna Ramdhani, Sidhi Aribowo**

В статті описано розробку концепції перевірки, на основі ризиків та машинного навчання, для можливості наслідків відмови трубопроводів. Для аналізу першопричини відмови трубопроводу використовували оптичну емісійну спектроскопію, тест на розтягування і твердість, скануючий електронний мікроскоп, енергодисперсійну рентгенівську спектроскопію, перевірку сульфатредуючих бактерій і рентгенівську дифракцію. Корозійна дія проявляється на мікроструктурі поперечного перерізу за результатами скануючого електронного мікроскопа. Хімічний склад вуглецю, марганцю, фосфору та сірки значно нижчий, ніж у стандартного API 5L класу X42. У складі корродованої ділянки переважають сидерит та гематит внаслідок розчинення  $CO_2$  у воді. Навпаки, гематит утворюється через реакції труби та зовнішньої атмосфери. Сильне локальне стоншування стінки в результаті піскоструминного стирання викликає погіршення механічних властивостей матеріалу і збільшує швидкість корозії. Цей результат посилюється за рахунок розробки машинного навчання мультиколінійної матриці Пірсона та контрольованого машинного навчання (випадковий ліс, метод опорних векторів та лінійна регресія) для оцінки корозійної деградації матеріалу. Джерело наборів даних, надане інспекцією ІІІ, включає розрахунковий термін корисного використання прогнозу ймовірності відмови в термін корисного використання, що зали-

шився, як вхідні дані, тоді як прогноз ймовірності відмови служить як вихідні дані. Випадковий ліс показує чудові прогнози 92,18% із найменшими втратами перевірки 0,0316. Результат моделювання підтверджує результати експерименту. Ця робота демонструє стратегію впровадження, що дозволяє скоротити час аналізу, звести до мінімуму вплив людського фактора та служити надійним довідковим інструментом та керівництвом для підтримки цілісності підводних трубопроводів.

**Ключові слова:** аналіз першопричин, стоншення стін, стирання піском, мультиколінеарна матриця Пірсона, контрольоване машинне навчання.

**DOI:** 10.15587/1729-4061.2022.259937

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРАХУНОЧНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ОКИСЛЕННЯ ЛОПАСТІВ ТУРБИНИ З СУПЕРСПЛАВУ IN-738 LC З ТЕРМІЧНИМ ПОКРИТТЯМ $Al_2O_3$ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОЦЕСУ ШЛАМОВОГО ПОКРИТТЯ (с. 34–41)

**Naseer A. Mousa, Bajel M. Alshadeedi, Osam H. Attia, Hussein A. Mahmood, Nor Mariah Adam**

Дослідження спрямоване на вивчення впливу добавок  $Al_2O_3$  та Al у суперсплави на основі нікелю, як шару покриття, на стійкість до окислення та структурну поведінку нікелевих суперсплавів, таких як IN 738 LC. Суперсплави на основі нікелю популярні як базові матеріали для гарячих компонентів промислових газових турбін, таких як лопатки, через їх чудові механічні характеристики та стійкість до високотемпературного окислення, але наявність продуктів згоряння викликає гаряче окислення при високих температурах протягом тривалого часу. Це призводить до корозії лопаток турбіни, що призводить до величезних економічних втрат. Лопатки турбін, які використовуються на іракських газових електростанціях, потребують регулярного дорогого обслуговування з використанням традиційних процесів. Ці леза, виготовлені із суперсплавів нікелю, таких як IN 738 LC (Inconel 738). Деякі вчені досліджували вплив добавок  $Al_2O_3$  або Al у суперсплави на основі нікелю, як шару покриття, з використанням методу покриття суспензією на стійкість до окислення для підвищення стійкості до окислення суперсплаву на основі нікелю. У цьому дослідженні на IN 738 LC нанесено покриття з двома різними відсотковими вмістами покриття, перше з яких становить (10 Al+90  $Al_2O_3$ ), а друге – (40 Al+60  $Al_2O_3$ ). Скануючий електронний мікроскоп (SEM) та рентгенівська дифракція (XRD) були виконані для всіх зразків до та після окислення. За результатами SEM-зображень поверхні встановлено, що поверхневий шар має відносно помірне значення пористості, а деякі шари покриття містять мікротріщини. Найкраща шорсткість поверхні зразків, покритих 60 % оксиду алюмінію + 40 % алюмінію, становила 5752 нм. Тоді як шорсткість поверхні зразків, покритих 90 % оксиду алюмінію + 10 % алюмінію, становила 6367 нм. Результати показують, що сплави з добавками як  $Al_2O_3$ , так і Al, показали позитивний синергетичний ефект добавок  $Al_2O_3$  і Al на стійкість до окислення. Крім того, термічне покриття  $NiCrAl_2O_3$  має хорошу стійкість до окислення, а ефективна температура антиокислення підвищена до 1100 °C, що, у свою чергу, скорочує період обслуговування лопаток турбіни.

**Ключові слова:** шлам, покриття, алітування, турбінні лопатки, окисдування, IN 738 LC, суперсплави, шорсткість поверхні.

**DOI:** 10.15587/1729-4061.2022.258728

### ВИГОТОВЛЕННЯ ТОВСТОГО ДВОШАРОВОГО ХРОМОВОГО ПОКРИТТЯ БЕЗ МІКРОТРИЩИН ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ВИРОБІВ (с. 42–51)

**Taufiqullah, Adhi Setyo Nugroho, Raden Dadan Ramdan, Firmansyah Sasmita, Siti Rodotun, Aditianto Ramelan**

Процес відновлення штока гідроциліндра стає складним завданням у промисловому секторі, що виробляє важке обладнання. Це пов'язано з тим, що відновлені компоненти можуть мати таку ж якість, як і нові компоненти за нижчої вартості.

Електроосадження твердого хрому є відомим методом отримання захисного покриття для штока циліндра, що надає йому сприятливих властивостей зносо- і корозійної стійкості. Під час відновлювальних робіт спочатку слід видалити старе хромове покриття штока циліндра перед нанесенням нового. У процесі видалення часто незначно знімається основний метал і для збереження його початкового діаметра слід нанести свіжий більш товстий шар хрому. Основна проблема полягає в тому, що після процесу випалу при 200 °C на товстому шарі хрому можливе утворення макротріщин. Отже, визначення властивостей товстих та твердих свіжоосаджених і свіжообпалених хромових покриттів є особливістю даного дослідження.

У роботі методом електроосадження було отримано товсте і тверде хромове покриття на плоскій підкладці з вуглецевої сталі. При щільності струму осадження більше 40 А/дм<sup>2</sup> після випалу при 200 °C протягом години на звичайному одношаровому хромовому покритті з'являються макротріщини. Для двошарового хромового покриття, що складається з двох шарів Cr, максимальна товщина напilenня складала 261,0×8,5 мкм, і спостерігалось утворення макротріщин. Тим часом, обпалене двошарове хромове покриття, що складається з полірованого шару Cr-C і шару Cr, має щільність мікротріщин 337×8 тріщин/см і твердість 924,8×22,2 HV<sub>0,3</sub> без утворення макротріщин. Аналіз ЕПМА підтвердив наявність вуглецевого елемента в шарі Cr-C, і передбачається, що це пов'язано із сумісним осадженням вуглецю з добавок мурашиної кислоти.

**Ключові слова:** електроосадження твердого хрому, відновлення, макротріщина, двошарове хромове покриття, хромовуглецеве покриття.

**DOI:** 10.15587/1729-4061.2022.260170

### ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК Zn-Al ПОДВІЙНО-ШАРОВИХ ГІДРОКСИДІВ, ІНТЕРКАЛЬОВАНИХ ПРИРОДНИМИ БАРВНИКАМИ ЗІ СПЕЦІЙ, ЯК КОСМЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ (с. 52–59)

**В. Л. Коваленко, В. А. Коток, А. Ю. Борисенко, А. Ю. Доппа, А. О. Резванцева, Р. К. Нафєєв, В. В. Вербицький, Д. А. Сухомлин**

Пігменти є основними компонентами косметичних засобів, які визначають і токсичність, і споживчі колірні властивості. Zn-Al подвійно-шарові гідроксиди, інтеркальовані харчовими барвниками аніонного типу, є перспективними косметичними пігментами. Найкращими джерелами барвників для інтеркалювання є природними. Найбільш перспективними є прянощі. Природні барвники

із складу прянощів часто є біологічно-активними речовинами. Досліджені параметри зразків Zn-Al (Zn:Al=3:1) гідроксидів, інтеркальованих природними харчовими барвниками, синтезованих в середовищі водних настоїв шафрана та сафлора. Кристалічна структура зразків вивчена методом рентгенофазового аналізу, характеристики кольору – методом спектроскопії та розрахунку параметрів в системі CIE L\*a\*b.

Показана можливість синтезу забарвлених Zn-Al подвійно-шарових гідроксидів, інтеркальованих природними барвниками, в середовищі настоїв шафрана та сафлора. Методом рентгенофазового аналізу, показано що обидва зразка пігментів є подвійно-шаровими гідроксидами зі структурою  $\alpha$ -Zn(OH)<sub>2</sub>. Для пігменту, інтеркальованого барвниками шафрана, виявлено явище часткового розпаду Zn-Al ПШГ до ZnO під час синтезу. Визначено характеристики кольору зразків. Zn-Al ПШГ пігмент, синтезований в настій шафрану, має яскраво-жовтий колір, визначаємий інтеркальованими каротиноїдами шафрана (кроцином та кроцетином). Висловлено припущення щодо часткового гідролізу флавоноїдів-барвників сафлора (красних – картаміна та картамідіна, та жовтого – Safflor Yellow A), що призвело до формування темного оранжево-коричневого кольору зразка. Показана перспективність використання Zn-Al ПШГ, інтеркальованих харчовими барвниками шафрану, в якості косметичного пігменту.

**Ключові слова:** Zn-Al подвійно-шаровий гідроксид, косметичний пігмент, інтеркалювання, шафран, сафлор, каротиноїди, флавоноїди.