

ABSTRACT AND REFERENCES

MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214308

AN EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ELECTROLYTE COMPOSITIONS, CURRENT DENSITY AND DURATION OF THE MICRO-ARC OXIDATION PROCESS ON THE STRUCTURAL-PHASE STATE AND PROPERTIES OF VT3-1 TITANIUM ALLOY (p. 6–15)

Valeria SubbotinaNational Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3882-0368>**Oleg Sobol'**National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4497-4419>**Valery Belozero**National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7623-3658>**Valentin Shnyder**National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2544-4471>**Oleksandr Smyrnov**Hon. Prof. M. S. Bokarius Kharkiv Research Institute of
Forensic Examinations, Kharkiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6398-2855>

It was determined that in an electrolyte containing 1.75 g/L KOH+1 g/L Na_2SiO_3 +2 g/L NaAlO_2 , with an increase in current density from 15 A/dm² to 50 A/dm², the phase composition of the coating changes. In the three-phase state (aluminum titanate, rutile, and amorphous-like phase), with increasing j , instead of an amorphous-like phase, a crystalline mullite phase appears. The hardness of the coating increases from 5400 MPa to 12500 MPa. It was found that, in combination with aluminum titanate, mullite is the basis for achieving high hardness in the coating. The formation of a ceramic micro-arc oxide coating on the surface of the VT3-1 titanium alloy makes it possible to reduce the dry friction coefficient by more than 5 times to $f=0.09$.

The effect of electrolysis conditions during micro-arc oxidation of the VT3-1 alloy (titanium-based) on the growth kinetics, surface morphology, phase-structural state, and physical and mechanical characteristics (hardness, coefficient of friction) of oxide coatings was studied. It was found that the process in the mode of micro-arc discharges is stably implemented on the VT3-1 alloy in an alkaline (KOH) electrolyte with additions of sodium aluminate (NaAlO_2) and liquid glass (Na_2SiO_3). This makes it possible to obtain coatings up to 250 μm thick. In this case, a linear dependence of the coating thickness on the time of the MAO process is observed. The growth rate of the coating increases with increasing current density. The highest growth rate was 1.13 $\mu\text{m}/\text{min}$. It was revealed that in an electrolyte containing 1 g/L KOH+14 g/L NaAlO_2 with an increase in the duration of oxidation from 60 to 180 minutes, the relative content of the high-temperature phase, rutile, increases. In the coatings obtained in the electrolyte 1.75 g/L KOH+1 g/L Na_2SiO_3 +2 g/L

NaAlO_2 , with an increase in the duration of the MAO process, the relative content of the amorphous-like phase decreases and the content of the crystalline phase of mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$) increases.

Keywords: micro-arc oxidation, VT3-1, electrolyte type, growth kinetics, phase composition, wear resistance.

References

- Vereschaka, A., Tabakov, V., Grigoriev, S., Sitnikov, N., Milovich, F., Andreev, N. et. al. (2020). Investigation of the influence of the thickness of nanolayers in wear-resistant layers of Ti-TiN-(Ti,Cr,Al)N coating on destruction in the cutting and wear of carbide cutting tools. *Surface and Coatings Technology*, 385, 125402. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125402>
- Sobol', O. V., Meilekhov, A. A. (2018). Conditions of Attaining a Superhard State at a Critical Thickness of Nanolayers in Multiperiodic Vacuum-Arc Plasma Deposited Nitride Coatings. *Technical Physics Letters*, 44 (1), 63–66. doi: <https://doi.org/10.1134/s1063785018010224>
- Sobol, O., Meylekhov, A., Postelnyk, A. (2018). Computer Simulation of the Processes of Mixing in Multilayer Nitride Coatings with Nanometer Period. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing*, 146–155. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_16
- Mayrhofer, P. H., Mitterer, C., Hultman, L., Clemens, H. (2006). Microstructural design of hard coatings. *Progress in Materials Science*, 51 (8), 1032–1114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2006.02.002>
- Sobol', O. V., Andreev, A. A., Gorban', V. F. (2016). Structural Engineering of Vacuum-ARC Multiperiod Coatings. *Metal Science and Heat Treatment*, 58 (1-2), 37–39. doi: <https://doi.org/10.1007/s11041-016-9961-3>
- Sobol, O. V., Postelnyk, A. A., Meylekhov, A. A., Andreev, A. A., Stolbovoy, V. A. (2017). Structural Engineering of the Multilayer Vacuum Arc Nitride Coatings Based on Ti, Cr, Mo and Zr. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 9 (3), 03003-1–03003-6. doi: [https://doi.org/10.21272/jnep.9\(3\).03003](https://doi.org/10.21272/jnep.9(3).03003)
- Liu, Y., Wan, H., Zhang, H., Chen, J., Fang, F., Jiang, N. et. al. (2020). Engineering Surface Structure and Defect Chemistry of Nanoscale Cubic Co_3O_4 Crystallites for Enhanced Lithium and Sodium Storage. *ACS Applied Nano Materials*, 3 (4), 3892–3903. doi: <https://doi.org/10.1021/acsnm.0c00614>
- Pogrebnyak, A. D., Beresnev, V. M., Bondar, O. V., Abadias, G., Chartier, P., Postol'nyi, B. A. et. al. (2014). The effect of nanolayer thickness on the structure and properties of multilayer TiN/MoN coatings. *Technical Physics Letters*, 40 (3), 215–218. doi: <https://doi.org/10.1134/s1063785014030092>
- Sobol', O. V., Andreev, A. A., Gorban', V. F., Stolbovoy, V. A., Melekhov, A. A., Postelnyk, A. A. (2016). Possibilities of structural engineering in multilayer vacuum-arc ZrN/CrN coatings by varying the nanolayer thickness and application of a bias potential. *Technical Physics*, 61 (7), 1060–1063. doi: <https://doi.org/10.1134/s1063784216070252>
- Mareus, R., Mastail, C., Anđay, F., Brunetière, N., Abadias, G. (2020). Study of columnar growth, texture development and wettability of reactively sputter-deposited TiN, ZrN and HfN thin films at glancing angle incidence. *Surface and Coatings Technology*, 399, 126130. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126130>

11. Sobol, O. V., Dub, S. N., Pogrebnyak, A. D., Mygushchenko, R. P., Postelnyk, A. A., Zvyagolsky, A. V., Tolmachova, G. N. (2018). The effect of low titanium content on the phase composition, structure, and mechanical properties of magnetron sputtered WB₂-TiB₂ films. *Thin Solid Films*, 662, 137–144. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2018.07.042>
12. Moscicki, T., Psiuk, R., Słomińska, H., Levintant-Zayonts, N., Garbiec, D., Pisarek, M. et. al. (2020). Influence of overstoichiometric boron and titanium addition on the properties of RF magnetron sputtered tungsten borides. *Surface and Coatings Technology*, 390, 125689. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125689>
13. Zavareh, M. A., Sarhan, A. A. D. M., Razak, B. B. A., Basirun, W. J. (2014). Plasma thermal spray of ceramic oxide coating on carbon steel with enhanced wear and corrosion resistance for oil and gas applications. *Ceramics International*, 40 (9), 14267–14277. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.06.017>
14. Bajat, J. B., Vasilic, R., Stojadinovic, S., Mišković-Stanković, V. (2013). Corrosion Stability of Oxide Coatings Formed by Plasma Electrolytic Oxidation of Aluminum: Optimization of Process Time. *CORROSION*, 69 (7), 693–702. doi: <https://doi.org/10.5006/0859>
15. Duan, L., Wu, H., Guo, L., Xiu, W., Yu, X. (2020). The effect of phase on microstructure and mechanical performance in TiAlN and TiSiN films. *Materials Research Express*, 7 (6), 066401. doi: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab96f6>
16. Sobol', O. V., Andreev, A. A., Stolbovoi, V. A., Fil'chikov, V. E. (2012). Structural-phase and stressed state of vacuum-arc-deposited nanostructural Mo-N coatings controlled by substrate bias during deposition. *Technical Physics Letters*, 38 (2), 168–171. doi: <https://doi.org/10.1134/s1063785012020307>
17. Sobol, O. V., Andreev, A. A., Gorban, V. F., Meylekhov, A. A., Postelnyk, H. O., Stolbovoy, V. A. (2016). Structural Engineering of the Vacuum Arc ZrN/CrN Multilayer Coatings. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 8 (1), 01042-1–01042-5. doi: [https://doi.org/10.21272/jnep.8\(1\).01042](https://doi.org/10.21272/jnep.8(1).01042)
18. Wang, T., Zhang, J., Li, Y., Gao, F., Zhang, G. (2019). Self-lubricating TiN/MoN and TiAlN/MoN nano-multilayer coatings for drilling of austenitic stainless steel. *Ceramics International*, 45 (18), 24248–24253. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.08.136>
19. Kharanagh, V. J., Sani, M. A. F., Rafizadeh, E. (2013). Effect of current frequency on coating properties formed on aluminised steel by plasma electrolytic oxidation. *Surface Engineering*, 30 (3), 224–228. doi: <https://doi.org/10.1179/1743294413y.0000000190>
20. Belozarov, V., Sobol, O., Mahatlova, A., Subbotina, V., Tabaza, T. A., Al-Qawabeha, U. F., Al-Qawabah, S. M. (2017). The influence of the conditions of microplasma processing (microarc oxidation in anodecathode regime) of aluminum alloys on their phase composition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (89)), 52–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.112065>
21. Subbotina, V., Al-Qawabeha, U. F., Belozarov, V., Sobol, O., Subbotin, A., Tabaza, T. A., Al-Qawabah, S. M. (2019). Determination of influence of electrolyte composition and impurities on the content of α -Al₂O₃ phase in MAO-coatings on aluminum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (102)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.185674>
22. Arbutova, S. S., Butyagin, P. I., Bol'shanin, A. V., Kondratenko, A. I., Vorob'ev, A. V. (2020). Microarc Oxidation of Metal Surfaces: Coating Properties and Applications. *Russian Physics Journal*, 62 (11), 2086–2091. doi: <https://doi.org/10.1007/s11182-020-01950-7>
23. Yetim, A. F., Celik, A., Alsaran, A. (2010). Improving tribological properties of Ti6Al4V alloy with duplex surface treatment. *Surface and Coatings Technology*, 205 (2), 320–324. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.06.048>
24. Budinski, K. G. (1991). Tribological properties of titanium alloys. *Wear*, 151 (2), 203–217. doi: [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(91\)90249-t](https://doi.org/10.1016/0043-1648(91)90249-t)
25. Yetim, A. F., Yildiz, F., Vangolu, Y., Alsaran, A., Celik, A. (2009). Several plasma diffusion processes for improving wear properties of Ti6Al4V alloy. *Wear*, 267 (12), 2179–2185. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2009.04.005>
26. Niinomi, M. (2003). Recent research and development in titanium alloys for biomedical applications and healthcare goods. *Science and Technology of Advanced Materials*, 4 (5), 445–454. doi: <https://doi.org/10.1016/j.stam.2003.09.002>
27. Qin, L., Liu, C., Yang, K., Tang, B. (2013). Characteristics and wear performance of borided Ti6Al4V alloy prepared by double glow plasma surface alloying. *Surface and Coatings Technology*, 225, 92–96. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.02.053>
28. De Viteri, V. S., Barandika, M. G., de Gopegui, U. R., Bayón, R., Zubizarreta, C., Fernández, X. et. al. (2012). Characterization of Ti-C-N coatings deposited on Ti6Al4V for biomedical applications. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 117, 359–366. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2012.09.012>
29. Vásquez, V. Z. C., Özcan, M., Kimpapa, E. T. (2009). Evaluation of interface characterization and adhesion of glass ceramics to commercially pure titanium and gold alloy after thermal- and mechanical-loading. *Dental Materials*, 25 (2), 221–231. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2008.07.002>
30. Özcan, I., Uysal, H. (2005). Effects of silicon coating on bond strength of two different titanium ceramic to titanium. *Dental Materials*, 21 (8), 773–779. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.01.014>
31. Zinelis, S., Tsetsekou, A., Papadopoulos, T. (2003). Thermal expansion and microstructural analysis of experimental metal-ceramic titanium alloys. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 90 (4), 332–338. doi: [https://doi.org/10.1016/s0022-3913\(03\)00493-1](https://doi.org/10.1016/s0022-3913(03)00493-1)
32. Nabavi, H. F., Aliofkhaeaei, M., Rouhaghdam, A. S. (2017). Electrical characteristics and discharge properties of hybrid plasma electrolytic oxidation on titanium. *Journal of Alloys and Compounds*, 728, 464–475. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.09.028>
33. Froes, F. H., Eylon, D., Eichelman, G. E., Burte, H. M. (1980). Developments in Titanium Powder Metallurgy. *JOM*, 32 (2), 47–54. doi: <https://doi.org/10.1007/bf03354547>
34. Curran, J. A., Clyne, T. W. (2006). Porosity in plasma electrolytic oxide coatings. *Acta Materialia*, 54 (7), 1985–1993. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2005.12.029>
35. Gu, Y., Ma, A., Jiang, J., Li, H., Song, D., Wu, H., Yuan, Y. (2018). Simultaneously improving mechanical properties and corrosion resistance of pure Ti by continuous ECAP plus short-duration annealing. *Materials Characterization*, 138, 38–47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2018.01.050>
36. Lederer, S., Lutz, P., Fürbeth, W. (2018). Surface modification of Ti 13Nb 13Zr by plasma electrolytic oxidation. *Surface and Coatings Technology*, 335, 62–71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.12.022>
37. Simka, W., Sadkowski, A., Warczak, M., Iwaniak, A., Dercz, G., Michalska, J., Maciej, A. (2011). Characterization of passive films formed on titanium during anodic oxidation. *Electrochimica Acta*, 56 (24), 8962–8968. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.07.129>

38. Wei, D., Zhou, Y., Jia, D., Wang, Y. (2008). Chemical treatment of TiO₂-based coatings formed by plasma electrolytic oxidation in electrolyte containing nano-HA, calcium salts and phosphates for biomedical applications. *Applied Surface Science*, 254 (6), 1775–1782. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2007.07.144>
39. Wei, D., Zhou, Y., Jia, D., Wang, Y. (2007). Characteristic and in vitro bioactivity of a microarc-oxidized TiO₂-based coating after chemical treatment. *Acta Biomaterialia*, 3 (5), 817–827. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2007.03.001>
40. Wei, D., Zhou, Y., Wang, Y., Jia, D. (2007). Characteristic of microarc oxidized coatings on titanium alloy formed in electrolytes containing chelate complex and nano-HA. *Applied Surface Science*, 253 (11), 5045–5050. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2006.11.012>
41. Ramazanov, Z. M., Zamalitinova, M. G. (2020). Study of the Properties of Oxide Coatings Formed on Titanium by Plasma Electrolytic Oxidation Method. *Eurasian Chemico-Technological Journal*, 22 (1), 51. doi: <https://doi.org/10.18321/ectj930>
42. Wheeler, J. M., Collier, C. A., Paillard, J. M., Curran, J. A. (2010). Evaluation of micromechanical behaviour of plasma electrolytic oxidation (PEO) coatings on Ti–6Al–4V. *Surface and Coatings Technology*, 204 (21-22), 3399–3409. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.04.006>
43. Khorasani, M., Dehghan, A., Shariat, M. H., Bahrololom, M. E., Javadpour, S. (2011). Microstructure and wear resistance of oxide coatings on Ti–6Al–4V produced by plasma electrolytic oxidation in an inexpensive electrolyte. *Surface and Coatings Technology*, 206 (6), 1495–1502. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.09.038>
44. Yerokhin, A. L., Leyland, A., Matthews, A. (2002). Kinetic aspects of aluminium titanate layer formation on titanium alloys by plasma electrolytic oxidation. *Applied Surface Science*, 200 (1-4), 172–184. doi: [https://doi.org/10.1016/s0169-4332\(02\)00848-6](https://doi.org/10.1016/s0169-4332(02)00848-6)
45. Shi, M., Li, H. (2016). The effect of complexing agent on Ti alloy micro-arc oxidation(MAO) coatings in Ca-P electrolyte. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 52 (5), 900–909. doi: <https://doi.org/10.1134/s2070205116050233>
46. Shabani, M., Zamiri, R., Goodarzi, M. (2015). Study on the Surface Modification of Titanium Alloy by Nanostructure TiO₂ Grown Through Anodic Oxidation Treatment. *Austin Chemical Engineering*, 2 (1), 1015.
47. Xue, W., Wang, C., Chen, R., Deng, Z. (2002). Structure and properties characterization of ceramic coatings produced on Ti–6Al–4V alloy by microarc oxidation in aluminate solution. *Materials Letters*, 52 (6), 435–441. doi: [https://doi.org/10.1016/s0167-577x\(01\)00440-2](https://doi.org/10.1016/s0167-577x(01)00440-2)
48. Sobol', O. V., Shovkoplyas, O. A. (2013). On advantages of X-ray schemes with orthogonal diffraction vectors for studying the structural state of ion-plasma coatings. *Technical Physics Letters*, 39 (6), 536–539. doi: <https://doi.org/10.1134/s1063785013060126>
49. Klopotov, A. A., Abzaev, Yu. A., Potekaev, A. I., Volokitin, O. G. (2012). *Osnovy rentgenostrukturnogo analiza v materialovedenii*. Tomsk: Izd-vo TGASU, 275.
50. Troughton, S. C., Nominé, A., Dean, J., Clyne, T. W. (2016). Effect of individual discharge cascades on the microstructure of plasma electrolytic oxidation coatings. *Applied Surface Science*, 389, 260–269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.07.106>
51. Clyne, T. W., Troughton, S. C. (2018). A review of recent work on discharge characteristics during plasma electrolytic oxidation of various metals. *International Materials Reviews*, 64 (3), 127–162. doi: <https://doi.org/10.1080/09506608.2018.1466492>
52. Belozarov, V., Mahatilova, A., Sobol', O., Subbotina, V., Subbotin, A. (2017). Improvement of energy efficiency in the operation of a thermal reactor with submerged combustion apparatus through the cyclic input of energy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (86)), 39–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96721>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214223

COMPARISON OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES BETWEEN SINGLE QUENCH+TEMPER AND DOUBLE QUENCH+TEMPER OF MEDIUM-CARBON AND CARBONMANGANESE STEEL (p. 15–22)

Yurianto Yurianto

Diponegoro University, Central of Java, Indonesia
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3403-2233>

Sulardjaka Sulardjaka

Diponegoro University, Central of Java, Indonesia
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8273-0469>

Susilo Adi Widyanto

Diponegoro University, Central of Java, Indonesia
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1053-8675>

Padang Yanuar

Semarang State Polytechnic, Central of Java, Indonesia
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0806-9585>

Quenched and tempered steels are needed for highly-stressed structures in military and non-military equipment. This paper was written for studying the structure and properties (hardness and impact energy absorbed) of medium-carbon and carbon-manganese steels before and after Quench+Temper and Double Quenched+Tempered. Because water is cheap and easy to control, it was used as a quenching medium. This study compares the hardness and impact energy absorbed of quenched plus tempered and double quenched plus tempered steels. The results showed that double quenched plus tempered steel hardness was higher than in quenched plus tempered steels. Besides, the grain structure is finer than that of quenched plus tempered steel. The taking of the austenite temperature and holding time is essential because of the hardness at the end of the quenching process. The study aims to obtain hardness and impact energy from quenching+tempering and double quenching+tempering of medium-carbon and carbon-manganese steel for armor steel. In the first step, five specimens were heated at 900 °C (held for 30 minutes), cooled in freshwater and produced Q₉₀₀ Steel. Then, these specimens were heated at 750 °C, 800 °C, 850 °C, and 900 °C, held for 30 minutes and provided Q₉₀₀₊₇₅₀ Steel, Q₉₀₀₊₈₀₀, Q₉₀₀₊₈₅₀ Steel, and Q₉₀₀₊₉₀₀ Steel. These specimens were tempered at 150 °C (held for 30 minutes) and produced Q₉₀₀₊₇₅₀&T Steel, Q₉₀₀₊₈₀₀&T Steel, Q₉₀₀₊₈₅₀&T Steel, Q₉₀₀₊₉₀₀&T Steel. Martensite reached the cooling period 357 °C to 182 °C, tempered at 150 °C (held for 30 minutes). Hardness for double-quenching and tempering is higher than for conventional. The maximum impact energy of double-quenching and tempering heat treatment of Q₉₀₀₊₈₅₀&T steel is suitable for armor steel used.

Keywords: austenitizing, coarsening, compacting, embrittlement, hardening, holding, quenching, refining, softening, tempering.

References

1. Yurianto, Y., Suprihanto, A., Suryo, S. H., Umardani, Y., Yanuar, P. (2020). Effect of austenite temperature and holding time

- to impact energy and wear on HRP steel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (103)), 45–51. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.156798>
2. Lee, W.-S., Su, T.-T. (1999). Mechanical properties and microstructural features of AISI 4340 high-strength alloy steel under quenched and tempered conditions. *Journal of Materials Processing Technology*, 87 (1-3), 198–206. doi: [https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(98\)00351-3](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(98)00351-3)
 3. Shimizu, K., Nishiyama, Z. (1972). Electron microscopic studies of martensitic transformations in iron alloys and steels. *Metallurgical Transactions*, 3 (5), 1055–1068. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02642437>
 4. Das, S. K., Thomas, G. (1969). Structure and mechanical properties of Fe–Ni–Co–C steels. *Trans. ASM*, 62, 659–668.
 5. Krauss, G. (1999). Martensite in steel: strength and structure. *Materials Science and Engineering: A*, 273-275, 40–57. doi: [https://doi.org/10.1016/s0921-5093\(99\)00288-9](https://doi.org/10.1016/s0921-5093(99)00288-9)
 6. Silva, E. P., Pacheco, P. M. C. L., Savi, M. A. (2004). On the thermo-mechanical coupling in austenite–martensite phase transformation related to the quenching process. *International Journal of Solids and Structures*, 41 (3-4), 1139–1155. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2003.09.049>
 7. Ooki, C. (2004). Improving Rolling Contact Fatigue Life of Bearing Steels Through Grain Refinement. *SAE Technical Paper Series*. doi: <https://doi.org/10.4271/2004-01-0634>
 8. Luxenburger, G., Bockelmann, M., Wolf, P., Hanus, F., Cawellius, R., Buchholz, J. (2004). High strength quenched and tempered (Q+T) steels for pressure vessels. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 81 (2), 159–171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2003.11.006>
 9. Madhusudhan Reddy, G., Mohandas, T., Papukutty, K. (1999). Enhancement of ballistic capabilities of soft welds through hardfacing. *International Journal of Impact Engineering*, 22 (8), 775–791. doi: [https://doi.org/10.1016/s0734-743x\(99\)00020-2](https://doi.org/10.1016/s0734-743x(99)00020-2)
 10. Magudeeswaran, G., Balasubramanian, V., Madhusudhanreddy, G. (2008). Hydrogen induced cold cracking studies on armour grade high strength, quenched and tempered steel weldments. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33 (7), 1897–1908. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.01.035>
 11. Balakrishnan, M., Balasubramanian, V., Madhusudhan Reddy, G. (2013). Effect of hardfaced interlayer thickness on ballistic performance of armour steel welds. *Materials & Design*, 44, 59–68. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.06.010>
 12. Lee, K. O., Hong, S. K., Kang, Y. K., Yoon, H. J., Kang, S. S. (2009). Grain refinement in bearing steels using a double-quenching heat-treatment process. *International Journal of Automotive Technology*, 10 (6), 697–702. doi: <https://doi.org/10.1007/s12239-009-0082-5>
 13. Di Schino, A., Guarnaschelli, C. (2009). Effect of microstructure on cleavage resistance of high-strength quenched and tempered steels. *Materials Letters*, 63 (22), 1968–1972. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2009.06.032>
 14. Nishibata, T., Kojima, N. (2013). Effect of quenching rate on hardness and microstructure of hot-stamped steel. *Journal of Alloys and Compounds*, 577, S549–S554. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2011.12.154>
 15. Khani Sanij, M. H., Ghasemi Banadkouki, S. S., Mashreghi, A. R., Moshrefifar, M. (2012). The effect of single and double quenching and tempering heat treatments on the microstructure and mechanical properties of AISI 4140 steel. *Materials & Design*, 42, 339–346. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.06.017>
 16. Yuriyanto, Pratikto, Sonoko, R., Wahyono, Bayuseno, A. P. (2018). Quenching and tempering parameter on Indonesian hot rolled plate steel for armour steel. *MATEC Web of Conferences*, 204, 05001. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820405001>
 17. Sampath, K. (2007). How to Choose Electrodes for Joining High-Strength Steels. *Welding Journal*, 26–28.
 18. *ASM Handbook* (1996). Vol. 6. Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys. Copyright ASM International, 246–247.
 19. Bailey, N., Coe, F. R., Googh, T. G., Hart, P. H. M., Jenkins, N., Pargetter, R. J. (1973). *Welding steels without hydrogen cracking*. Abington Publishing and ASM International.
 20. Lee, H.-G. (1999). *Chemical Thermodynamics For Metals and Materials*. World Scientific Publishing Co Pte Ltd. doi: <https://doi.org/10.1142/p152>
 21. ASTM E23-07a. *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials* (2007). ASTM International, West Conshohocken, PA. doi: <https://doi.org/10.1520/e0023-07a>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214919

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR HOT PRESSING OF RODS MADE FROM 7075 ALUMINUM ALLOY ON A RADIAL-SHEAR MILL OF A NEW DESIGN – NUMERICAL MODELING (p. 23–31)

Serik Mashekov

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9577-2219>

Yerik Nugman

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4537-9440>

Aigerim Masheкова

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6246-9494>

Aimangul Sekerbek

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0404-613X>

Nurbolat Sembayev

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3032-1094>

Symbat Akparova

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0105-9509>

The paper proposes a radial shear mill (RSM) of a new design, which allows manufacturing metal rods of small diameters or wires with a fine-grained structure. The paper presents the results of modeling the evolution of the structure during hot rolling-pressing of aluminum alloy 7075 on the RSM. Mathematical modeling of the technological process was carried out using the MSC.SuperForge, and the empirical Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov equation was used to predict the passage of softening processes. Due to the absence of the coefficients of the Avrami equation, a series of experiments on physical modeling of the rolling-pressing technological process were conducted on an STD 812 torsion rheometer. The experiments were conducted at the temperature range of 250–450 °C and a strain rate of 1.0–20 s⁻¹. By using physical modeling, it was proved that during processing on the RSM, it is necessary to develop a torsional deformation over the entire section of the workpiece, which leads

to effective refinement of the structure. The derived formulas and simulation modeling of the obtained values of the stress-strain state (SSS) were used to simulate the technology of the combined process. Moreover, rational temperature-rate conditions were determined to deform the workpiece on the RSM. It was proved by mathematical modeling that shear deformations develop along the entire section of the workpiece during processing on the RSM, which leads to effective refinement of the structure and the formation of a fine-grained structure in the rods, i. e. products of the required quality are manufactured.

Keywords: aluminum alloy, mathematical modeling, Avrami equations, physical modeling, recrystallization, microstructure.

References

1. Teterin, P. K. (2001). The theory of helical rolling. Moscow: Metallurgy, 368.
2. Galkin, S. P., Kharitonov, E. A., Mikhailov, V. K. (2003). Reversible radial shear rolling. Essence, opportunities, advantages. Research methods. Titanium, 1, 39–43.
3. Bitkov, V. V. (2004). Technology and machines for the production of wire. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 343.
4. Kharitonov, V. A., Manyakin, A. Yu., Chukin, M. V. et al. (2011). Improvement of deformation and tool modes when drawing round wire. Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 174.
5. Kharitonov, V. A., Usanov, M. Yu. (2012). Model of the formation of a nanostructure in a high-carbon wire in the process of radial-shear broaching. Physical and chemical aspects of studying clusters, nanostructures and nanomaterials. Interuniversity collection of scientific papers, 4, 309–313.
6. Usanov, M. Yu. (2018). Improvement of the technology of manufacturing carbon wire based on increasing the efficiency of deformation modes of drawing. Magnitogorsk, 178.
7. Chukin, M. V., Chukin, A. G., Korchunov, M. A. Polyakova, D. G. (2010). Continuous deformation method of forming an ultrafine-grained structure of steel wire. Steel, 6, 96–98.
8. Korchunov, A. G., Chukin, M. V., Polyakova, M. A., Emaleeva, D. G. (2011). Principles of designing a continuous method for obtaining steel wire with an ultrafine-grained structure. Vestnik MGTU named after G.I. Nosov, 1, 43–46.
9. Ko, Y. G., Namgung, S., Shin, D. H., Son, I. H., Rhee, K. H., Lee, D.-L. (2010). Spheroidization of medium carbon steel fabricated by continuous shear drawing. Journal of Materials Science, 45 (17), 4866–4870. doi: <https://doi.org/10.1007/s10853-010-4587-0>
10. Nekrasova, E. O., Kharitonov, V. A. (2013). The use of computer modeling to analyze the process of screw broaching of a billet from high-carbon steel. Procurement production in mechanical engineering, 10, 44–47.
11. Nekrasova, E. O., Kharitonov, V. A. (2014). Possibilities of using a screw broach in the production of high-carbon steel wire with a fine structure. Letters on materials, 4 (1), 25–27.
12. Raab, A. G. (2018). Development of a process for the manufacture of wire from low-carbon steel of increased strength and wear resistance by the combined method of drawing with a shift. Magnitogorsk, 16.
13. Pashinskaya, E., Zavdoveev, A., Varyukhin, V. et. al. (2015). Drawing with shear as an effective method of the control of the structure and the properties for low-carbon steel. Physics and technology of high pressure, 25 (3-4), 47–59.
14. Maksakova, A. A., Olshanetsky, V. E., Pashinskaya, E. G. et. al. (2014). Features of the structure and properties of the wire depending on the degree of deformation during drawing with a shift. New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering, 2, 26–29.
15. Manyakin, A. Yu. (2006). Improving the efficiency of technological processes for the production of wire based on improving the deformation modes of drawing. Magnitogorsk, 18.
16. Kharitonov, V. A., Manyakin, A. Yu. (2001). On the applicability of the process of radial-shear deformation in the production of round wire. Effective technologies for the production of hardware. Magnitogorsk: MSTU, 50–55.
17. Kharitonov, V. A., Korchunov, A. G., Andreev, V. V. (2006). The use of radial-shear broaching in the production of calibrated coil metal. Blank production in mechanical engineering, 11, 34–36.
18. Galkin, S. P., Romantsev, B. A., Kharitonov, E. A. (2015). Realization of the innovative potential of the universal method of RSR. Ferrous metals, 1, 31–38.
19. Filippini, S. A., Ammerling, W. J. (2008). Further developments in wire rod and bar production using the 3-roll technology. Proc. AISTech. Pittsburgh, 2, 5–8.
20. Mashekov, S. A., Nurtazaev, A. E., Masheкова, A. S., Nugman, E. Z., Angarbekov, U. D., Bekbosynova, B. A. (2019). Automated control system of the radial-shear press mechanism of a new design. Scientific research of the SCO countries: synergy and integration. Materials of the International Conference. Beijing, 174–182.
21. Lopatin, N. V., Maradudina, O. N., Dyakonov, G. S. (2011). Analysis of the structure formation and properties of the VT6 alloy during upsetting of the symmetrically truncated conical billets. Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 52 (1), 33–38. doi: <https://doi.org/10.3103/s1067821211010147>
22. Jonsson, M. (2006). An Investigation of Different Strategies for Thermo-mechanical Rolling of Structural Steel Heavy Plates. ISIJ International, 46 (8), 1192–1199. doi: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.46.1192>
23. Grosman, F., Hadasik, E. (2005). Technologiczna plastycznosc metali. Badania plastometryczne. Gliwice, 11–12.
24. Wouters, P., Verlinden, B., McQueen, H. J., Aernoudt, E., Delaey, L., Cauwenberg, S. (1990). Effect of homogenization and precipitation treatments on the hot workability of an aluminium alloy AA2024. Materials Science and Engineering: A, 123 (2), 239–245. doi: [https://doi.org/10.1016/0921-5093\(90\)90289-f](https://doi.org/10.1016/0921-5093(90)90289-f)
25. Verlinden, B., Wouters, P., McQueen, H. J., Aernoudt, E., Delaey, L., Cauwenberg, S. (1990). Effect of different homogenization treatments on the hot workability of aluminium alloy AA2024. Materials Science and Engineering: A, 123 (2), 229–237. doi: [https://doi.org/10.1016/0921-5093\(90\)90288-e](https://doi.org/10.1016/0921-5093(90)90288-e)
26. Soldatkin, A., Golenkov, Yu. et. al. (2000). MSC. SuperForge program as one of the elements of the system of virtual production and product quality management. CAD and Graphics, 7, 11–13.
27. Bernstein, M. L., Dobatkin, S. V., Kaputkina, L. M., Prokoshkin, S. D. (1989). Hot deformation diagrams, structure and properties of steel. Moscow: Metallurgy, 544.
28. Haghdadadi, N., Cizek, P., Beladi, H., Hodgson, P. D. (2017). A novel high-strain-rate ferrite dynamic softening mechanism facilitated by the interphase in the austenite/ferrite microstructure. Acta Materialia, 126, 44–57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.12.045>
29. Liu, C. M., Jiang, S. N., Zhang, X. M. (2005). Continuous dynamic recrystallization and discontinuous dynamic recrystallization in 99.99% polycrystalline aluminum during hot compression. Trans. Nonferrous Met. Soc., 15, 82–86.
30. Dyja, H., Tussupkaliyeva, E., Bajor, T., Laber, K. (2017). Physical Modeling of Plastic Working Conditions for Rods of 7xxx Series Aluminum Alloys. Archives of Metallurgy and Materials, 62 (2), 515–521. doi: <https://doi.org/10.1515/amm-2017-0076>

31. Yi, Y., Fu, X., Cui, J., Chen, H. (2008). Prediction of grain size for large-sized aluminium alloy 7050 forging during hot forming. *Journal of Central South University of Technology*, 15 (1), 1–5. doi: <https://doi.org/10.1007/s11771-008-0001-3>
32. Huang, C.-Q., Deng, J., Wang, S.-X., Liu, L. (2017). An Investigation on the Softening Mechanism of 5754 Aluminum Alloy during Multistage Hot Deformation. *Metals*, 7 (4), 107. doi: <https://doi.org/10.3390/met7040107>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214826

IDENTIFYING THE FEATURES OF STRUCTURAL AND PHASE TRANSFORMATIONS IN PROCESSING THE WASTE OF METALLURGICAL PRODUCTS DOPED WITH REFRACTORY ELEMENTS (p. 32–38)

Vadym Volokh

Luhansk National Agrarian University, Starobilsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7975-6377>

Endar Kim

Luhansk National Agrarian University, Starobilsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0042-7974>

Tetiana Fesenko

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9636-9598>

Artem Petryshchev

National University “Zaporizhzhya Polytechnic”, Zaporizhzhya, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2631-1723>

Sergey Artemev

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9086-2856>

Bohdan Tsymbal

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2317-3428>

Lesia Makarenko

Donbass Institute of Technique and Management Private Higher Educational Establishment “Academician Yuriy Bugay Internationalscientific and Technical University”, Kramatorsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6062-8834>

Andrii Hedzyk

Donbass Institute of Technique and Management Private Higher Educational Establishment “Academician Yuriy Bugay Internationalscientific and Technical University”, Kramatorsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4516-356X>

Volodymyr Slabko

Donbass Institute of Technique and Management Private Higher Educational Establishment “Academician Yuriy Bugay Internationalscientific and Technical University”, Kramatorsk, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5175-3104>

Vasyl Khmelovskiy

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6018-8821>

Phase composition and microstructure of the doping alloy obtained by regenerative smelting of technogenic wastes

were studied. This is necessary to determine technological characteristics that increase the degree of extraction of doping elements during the processing of technogenic raw materials and subsequent use of the alloying material. It was determined that at a Si:C atomic ratio in the charge at a level of 0.05–0.19 (O:C atomic ratio is 1.25), a solid solution of carbon and doping elements in γ -Fe, Fe₃Si, and Fe₅Si₃ was found in the alloy. At Si:C atomic ratio at a level of 0.05 in the alloy, a solid solution of carbon and alloying elements in γ -Fe was dominating with a weak manifestation of Fe₃Si. When the value of Si:C atomic ratio was increased to 0.09, Fe₅Si₃ was found together with Fe₃Si. A gradual increase in Si:C atomic ratio to 0.09, 0.12, and 0.19 led to a higher manifestation of Fe₃Si and Fe₅Si₃. The microstructure of the alloy in the entire studied range of Si:C ratio values in the charge was characterized by the presence of several phases with different contents of doping elements. The content of elements in the studied areas (at. %) was 1.65–52.10 for Ni, 2.80–53.92 for Cr, 0.19–13.48 for Mo, 0.40–12.21 for W, 13.85–33.85 for Nb, 2.40–6.63 for Ti. An increase in Si:C atomic ratio in the charge from 0.05 to 0.19 caused an increase in silicon concentration in the studied areas of the microstructure (from 0.28 at. %) to 6.31 at. %. According to an analysis of the sample areas, carbon content was characterized by figures from 2.07 at. % to 14.23 at. %. Some of the investigated particles with a high content of W, Mo, Nb corresponded to complex carbide compounds with a high probability. Based on the study results, it can be pointed out that the most favorable Si C atomic ratio in the charge is 0.12 (with an O:C atomic ratio of 1.25). The resulting product had a relatively low content of silicon and carbon but was sufficient enough to provide the required reducing and deoxidizing strength of the alloy.

Keywords: oxide technogenic waste, scale of alloy steels, reduction smelting, X-ray phase studies.

References

- Maksimov, E. A., Vasil'ev, V. I. (2016). The Utilization of the Wastes of the Rolling and Pipe-Rolling Shops of the Metallurgical Plants and their Processing. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*, 3, 99–106.
- Grigor'ev, S. M., Petrishchev, A. S. (2012). Assessing the phase and structural features of the scale on P6M5Φ3 and P12M3K5Φ2 steel. *Steel in Translation*, 42 (3), 272–275. doi: <https://doi.org/10.3103/s0967091212030059>
- Demydyk, V. N. (2014). Sustainable development and waste recycling in ferrous metallurgy. *Metall i lit'e Ukrainy*, 8 (255), 36–40.
- Mechachti, S, Benchiheub, O., Serrai, S., Shalabi, M. (2013). Preparation of iron Powders by Reduction of Rolling Mill Scale. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4, 5, 1467–1472.
- Petryshchev, A., Milko, D., Borysov, V., Tsymbal, B., Hevko, I., Borysova, S., Semenchuk, A. (2019). Studying the physical-chemical transformations at resourcesaving reduction melting of chrome-nickelcontaining metallurgical waste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (98)), 59–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160755>
- Petryshchev, A., Braginec, N., Borysov, V., Bratishko, V., Torubara, O., Tsymbal, B. et. al. (2019). Study into the structuralphase transformations accompanying the resourcesaving technology of metallurgical waste processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (100)), 37–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175914>
- Zhao, L., Wang, L., Chen, D., Zhao, H., Liu, Y., Qi, T. (2015). Behaviors of vanadium and chromium in coal-based direct re-

duction of high-chromium vanadium-bearing titanomagnetite concentrates followed by magnetic separation. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25 (4), 1325–1333. doi: [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(15\)63731-1](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(15)63731-1)

8. Ryabchikov, I. V., Belov, B. F., Mizin, V. G. (2014). Reactions of metal oxides with carbon. *Steel in Translation*, 44 (5), 368–373. doi: <https://doi.org/10.3103/s0967091214050118>
9. Zhang, Y., Wei, W., Yang, X., Wei, F. (2013). Reduction of Fe and Ni in Fe-Ni-O systems. *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*, 49 (1), 13–20. doi: <https://doi.org/10.2298/jmmb120208038z>
10. Zhu, H., Li, Z., Yang, H., Luo, L. (2013). Carbothermic Reduction of MoO₃ for Direct Alloying Process. *Journal of Iron and Steel Research International*, 20 (10), 51–56. doi: [https://doi.org/10.1016/s1006-706x\(13\)60176-4](https://doi.org/10.1016/s1006-706x(13)60176-4)
11. Shveikin, G. P., Kedin, N. A. (2014). Products of carbothermal reduction of tungsten oxides in argon flow. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 59 (3), 153–158. doi: <https://doi.org/10.1134/s0036023614030206>
12. Smirnyagina, N. N., Khaltanova, V. M., Kim, T. B., Milonov, A. S. (2012). Thermodynamic modeling of the formation of borides and carbides of tungsten, synthesis, structure and phase composition of the coatings based on them, formed by electron-beam treatment in vacuum. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Fizika*, 55 (12 (3)), 159–163.
13. Borysov, V., Lytvynov, A., Braginet, N., Petryshchev, A., Artemev, S., Tsybmal, B. et. al. (2020). Features of the phase and structural transformations in the processing of industrial waste from the production of highalloyed steels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (105)), 48–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205779>
14. Ackerbauer, S., Krendelsberger, N., Weitzer, F., Hiebl, K., Schuster, J. C. (2009). The constitution of the ternary system Fe–Ni–Si. *Intermetallics*, 17 (6), 414–420. doi: <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2008.11.016>
15. Azimi, G., Shamanian, M. (2010). Effects of silicon content on the microstructure and corrosion behavior of Fe–Cr–C hardfacing alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 505 (2), 598–603. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.06.084>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214533

DESIGN AND STUDY OF NANOMODIFIED COMPOSITE FLUOROPOLYMER MATERIALS FOR TRIBOTECHNICAL PURPOSES (p. 38–48)

Aleksandr Dykha

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3020-9625>

Vladyslav Svidersky

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4816-6977>

Igor Danilenko

Donetsk Institute for Physics and Engineering named after O. O. Galkin of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0016-1045>

Viktor Bilichenko

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsya, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1149-3803>

Yuri Kukurudzyak

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsya, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0347-6533>

Ludmila Kirichenko

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6382-8911>

This paper reports the analytical and experimental studies aimed at designing and modeling fluoropolymer anti-friction materials. The optimal ratios of the total surface of polymer particles to the total surface of filler particles for different brands of fluoropolymer-4 have been determined, as well as the critical concentrations of the modifiers of fluoropolymer anti-friction materials. The calculations of antifriction carboplastics' elasticity modules indicate the existence of adhesion between carbon fiber and polytetrafluoroethylene. When constructing composites that combine high durable and tribotechnical characteristics, it is advisable to combine modifiers with different dispersion and polymer-oligomeric matrices, which enables the implementation of the principle of multilevel modifying. It has been established that the adhesion between carbon fiber and polytetrafluoroethylene can be improved by applying a fluoropolymer coating onto the surface of carbon fibers or by modifying with zirconium oxide nanopowders. The binary fluoropolymer matrix applied to the surface of carbon fiber can be used as an effective base for composite materials. This study has demonstrated that filling polytetrafluoroethylene (PTFE) with coke, carbon fibers (18–19.5 % by weight), and zirconium oxide nanopowders in the amount of up to 2 % by weight produces materials with high mechanical characteristics and durability. It has been shown that the existence of an oligomer component improves the thermodynamic compatibility at the interface and promotes the plasticization of the PTFE boundary layers. Molecular structure with a certain orientation of coke and carbon fiber in the interphase areas is inherent in the materials with improved physical and mechanical properties.

Keywords: anti-friction materials, composite, durability, fluoropolymer coatings, nanopowder, zirconium oxide, carboplastics.

References

1. Petrova, P. N., Okhlopko, A. A., Fedorov, A. L. (2012). Development of polymer tribocomposites on the basis of polytetrafluoroethylene with an elevated wear resistance. *Inorganic Materials: Applied Research*, 3 (4), 329–333. doi: <https://doi.org/10.1134/s2075113312040144>
2. Dykha, A. V., Kuzmenko, A. G. (2016). Distribution of friction tangential stresses in the Courtney-Pratt experiment under Bowden's theory. *Journal of Friction and Wear*, 37 (4), 315–319. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068366616040061>
3. Berladir, K. V., Hovorun, T. P., Bilous, O. A., Baranova, S. V. (2018). The modeling of the composition and properties of functional materials based on polytetrafluoroethylene. *Functional Materials*, 25 (2), 342–347. doi: <https://doi.org/10.15407/fm25.02.342>
4. Marchuk, V. Y., Kindrachuk, M. V., Mirnenko, V. I., Mnat-sakanov, R. G., Kornienko, A. O. (2019). Physical Interpretations of Internal Magnetic Field Influence on Processes in Tribocontact of Textured Dimple Surfaces. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 11 (5), 05013-1–05013-5. doi: [https://doi.org/10.21272/jnep.11\(5\).05013](https://doi.org/10.21272/jnep.11(5).05013)
5. Marchuk, V., Kindrachuk, M., Kryzhanovskiy, A. (2014). System analysis of the properties of discrete and oriented structure surfaces. *Aviation*, 18 (4), 161–165. doi: <https://doi.org/10.3846/16487788.2014.985474>
6. Baziuk, L. V., Sirenko, H. A. (2013). Thermophysical Properties of Metals and Polymer Compositions. *Physics and Chemistry*

- of Solid State, 14 (1), 21–27. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PhKhTT_2013_14_1_4
7. Dykha, A., Sorokaty, R., Makovkin, O., Babak, O. (2017). Calculation-experimental modeling of wear of cylindrical sliding bearings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 51–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109638>
 8. Sorokaty, R., Chernets, M., Dykha, A., Mikosyanchyk, O. (2019). Phenomenological Model of Accumulation of Fatigue Tribological Damage in the Surface Layer of Materials. *Mechanisms and Machine Science*, 3761–3769. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9_371
 9. Sujuan, Y., Xingrong, Z. (2014). Tribological Properties of PTFE and PTFE Composites at Different Temperatures. *Tribology Transactions*, 57 (3), 382–386. doi: <https://doi.org/10.1080/10402004.2013.812759>
 10. Tang, G., Chang, D., Wang, D., He, J., Mi, W., Zhang, J., Wang, W. (2012). Mechanical Property Improvement of Carbon Fiber-Reinforced PTFE Composites by PA6 Filler Dispersion. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 51 (4), 377–380. doi: <https://doi.org/10.1080/03602559.2011.639831>
 11. Yan, Y., Jia, Z., Yang, Y. (2011). Preparation and Mechanical Properties of PTFE/Nano-EG Composites Reinforced with Nanoparticles. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 929–935. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.149>
 12. Kaplun, P. V., Dykha, O. V., Gonchar, V. A. (2018). Contact Durability of 40Kh Steel in Different Media After Ion Nitriding and Nitroquenching. *Materials Science*, 53 (4), 468–474. doi: <https://doi.org/10.1007/s11003-018-0096-0>
 13. Voropaev, V., Skaskevich, A., Avdeychik, S., Eisymont, Y., Juldasheva, G. (2013). Technology of polytetrafluoroethylene-based nanocomposite materials: Structural and morphological aspect. *Applied Technologies and Innovations*, 9 (2), 59–68. doi: <https://doi.org/10.15208/ati.2013.11>
 14. Mashkov, Y. K., Kalistratova, L. F., Kropotin, O. V. (2018). The Development of Methods for Forming Effective Structural Phase States in Polytetrafluoroethylene-Based Polymer Composites. *International Polymer Science and Technology*, 45 (3), 87–90. doi: <https://doi.org/10.1177/0307174x1804500302>
 15. Sviderskiy, V. P., Konstantinova, T. E., Glazunova, V. A., Kirichenko, L. M., Vodjanij, V. I., Zaharchuk, J. O. (2014). Investigation of mechanical and friction properties of polytetrafluoroethylene carboplastics modified by nanopowder zirconium dioxide. *Problems of Tribology*, 2, 103–110. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptl_2014_2_18
 16. Berladir, K. V., Budnik, O. A., Dyadyura, K. A., Sviderskiy, V. A., Kravchenko, Y. O. (2016). Physicochemical principles of the technology of formation of polymer composite materials based on polytetrafluoroethylene - a review. *High Temperature Material Processes An International Quarterly of High-Temperature Plasma Processes*, 20 (2), 157–184. doi: <https://doi.org/10.1615/hightempmatproc.2016017875>
 17. Berladir, K., Sviderskiy, V. (2016). Designing and examining polytetrafluoroethylene composites for tribotechnical purposes with activated ingredients. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (84)), 14–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85095>
 18. Gujrathi, S. M., Dhamande, L. S., Patare, P. M. (2013). Wear Studies on Polytetrafluoroethylene (PTFE) Composites: Taguchi Approach. *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, 3 (2), 47–51. doi: <https://doi.org/10.9756/bijiems.4406>
 19. Aulin, V., Hryniv, A., Lysenko, S., Dykha, A., Zamota, T., Dzyura, V. (2019). Exploring a possibility to control the stressed-strained state of cylinder liners in diesel engines by the tribotechnology of alignment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (99)), 6–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.171619>
 20. Dykha, A., Marchenko, D., Artyukh, V., Zubiikhina-Khaiiat, O., Kurepin, V. (2018). Study and development of the technology for hardening rope blocks by reeling. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (92)), 22–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126196>
 21. Kabat, O. S., Kharchenko, B. G., Derkach, O. D., Artemchuk, V. V., Babenko, V. G. (2019). Polymer composites based on fluoroplastic and method for the production there. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 3, 116–122. doi: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2019-124-3-116-122>
 22. Bastos-Arrieta, J., Muñoz, M., Ruiz, P., Muraviev, D. N. (2013). Morphological changes of gel-type functional polymers after intermatrix synthesis of polymer stabilized silver nanoparticles. *Nanoscale Research Letters*, 8 (1), 255. doi: <https://doi.org/10.1186/1556-276x-8-255>
 23. Buznik, V. M., Vopilov, Y. E., Ivanov, V. K., Sigachev, A. S., Polyakov, V. S., Smirnov, M. A. et al. (2013). Structure of polytetrafluoroethylene powders obtained by photochemical polymerization of gaseous monomer. *Inorganic Materials: Applied Research*, 4 (2), 131–137. doi: <https://doi.org/10.1134/s2075113313020044>
 24. Aleksandr, D., & Dmitry, M. (2018). Prediction the wear of sliding bearings. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (2.23), 4. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.23.11872>
 25. Dykha, A., Makovkin, O. (2019). Physical basis of contact mechanics of surfaces. *Journal of Physics: Conference Series*, 1172, 012003. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1172/1/012003>
 26. Sujuan, Y., Quan, Y., Kunquan, L., Feng, T., Qing, F., Guibin, T., Xing, H. (2018). The Tribological and Sealing Properties of PFA Composites. *International Journal of Polymer Science*, 2018, 1–6. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/2302407>
 27. Salavati-Niasari, M., Ghanbari, D. (2011). Polymeric Nanocomposite Materials. In book: *Advances in Diverse Industrial Applications of Nanocomposites*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/221911330_Polymeric_Nanocomposite_Materials

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214547

DESIGN OF MATED PARTS USING POLYMERIC MATERIALS WITH ENHANCED TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS (p. 49–57)

Anatolii Kobets

Dnipro State Agrarian and Economic University,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2507-7763>

Viktor Aulin

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2737-120X>

Oleksii Derkach

Dnipro State Agrarian and Economic University,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5537-8022>

Dmytro Makarenko

Dnipro State Agrarian and Economic University,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3166-6249>

Andrii Hrynkiv

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4478-1940>

Dmytro Krutous

Dnipro State Agrarian and Economic University,
Dnipro, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0614-3179>

Evgeniy Muranov

Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9148-217X>

This paper reports a comparative study of the polymeric materials operating in conjugation with steel. In agricultural engineering, a significant role in structural materials belongs to polymer composites. This type of material is characterized by the low price, small technological cost, as well as acceptable processing characteristics. It has been found that it is necessary to form, for each type of mated parts, a set of materials that could maximally meet the operational conditions. To describe the operating conditions in more detail, they need to be generalized for the specific tribological and loading characteristics. Based on this, such load regimes were selected that correspond to the movable mated parts in sowing complexes. For these mated parts, it was necessary, in the course of the tribological study, to choose a material with minimal technological deviations but with enhanced tribotechnical characteristics.

The result of this study has established that under the predefined conditions a polymer-composite material with the high-modulus filler PA-6.6+30 % F demonstrates the best tribophysical characteristics compared to the material PA-6.6. The proposed material, in conjugation with steel 1.1191, has a friction coefficient that is 38...41 % lower, while the temperature in the contact area is 8...12 % less, than that in conjugation with the material PA-6.6. Based on the metallographic analysis of friction surfaces, one can argue that a polymer composite with a high-modulus filler creates favorable conditions for their implementation in the moving units of machines.

The results reported here make it possible to analyze and synthesize composite materials primarily for agricultural engineering, taking into consideration their tribological properties. The findings may be particularly interesting for service departments and enterprises producing parts for sowing complexes.

Keywords: polyamide, high-modulus fillers, abrasive resistance, metallography, tribological property, polymer composite, fiberglass.

References

1. Markowska, O., Markowski, T., Sobczyk, M. (2020). Analysis of the mechanical properties of polymer composites for the production of machine parts used as substitutes for elements obtained from metals. *Polimery*, 65 (04), 311–314. doi: <https://doi.org/10.14314/polimery.2020.4.8>
2. Singh, A. K., Siddhartha, Singh, P. K. (2017). Polymer spur gears behaviors under different loading conditions: A review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 232 (2), 210–228. doi: <https://doi.org/10.1177/1350650117711595>
3. Quan, Z., Suhr, J., Yu, J., Qin, X., Cotton, C., Mirotznik, M., Chou, T.-W. (2018). Printing direction dependence of mechanical behavior of additively manufactured 3D preforms and composites. *Composite Structures*, 184, 917–923. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.10.055>
4. Aulin, V., Lyashuk, O., Tykhyi, A., Karpushyn, S., Denysiuk, N. (2018). Influence of Rheological Properties of a Soil Layer Adjacent to the Working Body Cutting Element on the Mechanism of Soil Cultivation. *Acta Technologica Agriculturae*, 21 (4), 153–159. doi: <https://doi.org/10.2478/ata-2018-0028>
5. Kamiya, R., Cheeseman, B. A., Popper, P., Chou, T.-W. (2000). Some recent advances in the fabrication and design of three-dimensional textile preforms: a review. *Composites Science and Technology*, 60 (1), 33–47. doi: [https://doi.org/10.1016/s0266-3538\(99\)00093-7](https://doi.org/10.1016/s0266-3538(99)00093-7)
6. Huang, Z.-M., Zhang, Y.-Z., Kotaki, M., Ramakrishna, S. (2003). A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 63 (15), 2223–2253. doi: [https://doi.org/10.1016/s0266-3538\(03\)00178-7](https://doi.org/10.1016/s0266-3538(03)00178-7)
7. Tekinalp, H. L., Kunc, V., Velez-Garcia, G. M., Duty, C. E., Love, L. J., Naskar, A. K. et. al. (2014). Highly oriented carbon fiber-polymer composites via additive manufacturing. *Composites Science and Technology*, 105, 144–150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2014.10.009>
8. Chong, S., Yang, T. C.-K., Lee, K.-C., Chen, Y.-F., Juan, J. C., Tiong, T. J. et. al. (2020). Evaluation of the physico-mechanical properties of activated-carbon enhanced recycled polyethylene/polypropylene 3D printing filament. *Sādhanā*, 45 (1). doi: <https://doi.org/10.1007/s12046-020-1294-7>
9. Karsli, N. G., Aytac, A. (2013). Tensile and thermomechanical properties of short carbon fiber reinforced polyamide 6 composites. *Composites Part B: Engineering*, 51, 270–275. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.03.023>
10. Aulin, V., Hrynkiv, A., Lysenko, S., Rohovskii, I., Chernovol, M., Lyashuk, O., Zamota, T. (2019). Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (97)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156150>
11. Aulin, V. V., Chernovol, M. I., Pankov, A. O., Zamota, T. M., Panayotov, K. K. (2017). Sowing machines and systems based on the elements of fluidics. *INMATEH - Agricultural Engineering*, 53 (3), 21–28. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85039172369&partnerID=40&md5=2468069fc8914b34091c229527a0cc3e>
12. Aulin, V., Lysenko, S., Lyashuk, O., Hrynkiv, A., Velykodnyi, D., Vovk, Y. et. al. (2019). Wear Resistance Increase of Samples Tribomating in Oil Composite with Geo Modifier KGMF-1. *Tribology in Industry*, 41 (2), 156–165. doi: <https://doi.org/10.24874/ti.2019.41.02.02>
13. Aulin, V., Hrynkiv, A., Lysenko, S., Dykha, A., Zamota, T., Dzyura, V. (2019). Exploring a possibility to control the stressed-strained state of cylinder liners in diesel engines by the tribotechnology of alignment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (99)), 6–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.171619>
14. Savkiv, V., Mykhailyshyn, R., Fendo, O., Mykhailyshyn, M. (2017). Orientation Modeling of Bernoulli Gripper Device with Off-Centered Masses of the Manipulating Object. *Procedia Engineering*, 187, 264–271. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.374>
15. Savkiv, V., Mykhailyshyn, R., Duchon, F., Fendo, O. (2017). Justification of design and parameters of Bernoulli-vacuum gripping device. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 14 (6), 172988141774174. doi: <https://doi.org/10.1177/1729881417741740>

16. Trizuljak, A., Duchoň, F., Rodina, J., Babinec, A., Dekan, M., Mykhailiushyn, R. (2019). Control of a small quadrotor for swarm operation. *Journal of Electrical Engineering*, 70 (1), 3–15. doi: <https://doi.org/10.2478/jee-2019-0001>
17. Aulin, V., Derkach, O., Makarenko, D., Hrynkiv, A., Pankov, A., Tykhyi, A. (2019). Analysis of tribological efficiency of movable junctions “polymericcomposite materials – steel.” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (100)), 6–15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176845>
18. Kass, M. D., Janke, C., Theiss, T., Baustian, J., Wolf, L., Koch, W. (2015). Compatibility Assessment of Plastic Infrastructure Materials with Test Fuels Representing E10 and iBu16. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 8 (1), 95–110. doi: <https://doi.org/10.4271/2015-01-0894>
19. Aulin, V., Hrynkiv, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., Lysenko, S., Holub, D. et. al. (2020). Increasing the Functioning Efficiency of the Working Warehouse of the “UVK Ukraine” Company Transport and Logistics Center. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 22 (2), 3–14. doi: <https://doi.org/10.26552/com.c.2020.2.3-14>
20. Pinto, C., Andrade e Silva, L. G. (2007). Study of ionizing radiation on the properties of polyamide 6 with fiberglass reinforcement. *Radiation Physics and Chemistry*, 76 (11-12), 1708–1710. doi: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2007.05.004>
21. Aulin, V. V., Pankov, A. O., Zamota, T. M., Lyashuk, O. L., Hrynkiv, A. V., Tykhyi, A. A., Kuzyk, A. V. (2019). Development of Mechatronic Module for the Seeding Control System. *INMATEH Agricultural Engineering*, 59 (3), 181–188. doi: <https://doi.org/10.35633/inmateh-59-20>
22. Braun, D., Disselhoff, R., Guckel, C., Illing, G. (2001). Rohstoffliches Recycling von glasfaserverstärktem Polyamid-6. *Chemie Ingenieur Technik*, 73 (3), 183–190. doi: [https://doi.org/10.1002/1522-2640\(200103\)73:3<183::aid-cite183>3.0.co;2-j](https://doi.org/10.1002/1522-2640(200103)73:3<183::aid-cite183>3.0.co;2-j)
23. Bernasconi, A., Davoli, P., Rossin, D., Armanni, C. (2007). Effect of reprocessing on the fatigue strength of a fibreglass reinforced polyamide. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38 (3), 710–718. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2006.09.012>
24. Fu, S.-Y., Mai, Y.-W., Ching, E. C.-Y., Li, R. K. Y. (2002). Correction of the measurement of fiber length of short fiber reinforced thermoplastics. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33 (11), 1549–1555. doi: [https://doi.org/10.1016/s1359-835x\(02\)00114-8](https://doi.org/10.1016/s1359-835x(02)00114-8)
25. Aulin, V., Hrynkiv, A., Lysenko, S., Zamota, T., Pankov, A., Tykhyi, A. (2019). Determining the rational composition of tribologically active additive to oil to improve characteristics of tribosystems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (102)), 52–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184496>
26. Aulin, V., Lyashuk, O., Hrynkiv, A., Lysenko, S., Zamota, T., Vovk, Y. et. al. (2019). Determination of the Rational Composition of the Additive to Oil with the Use of the Katerynivka Friction Geo Modifier. *Tribology in Industry*, 41 (4), 548–562. doi: <https://doi.org/10.24874/ti.2019.41.04.08>
27. Aulin, V., Hrynkiv, A., Lysenko, S., Lyashuk, O., Zamota, T., Holub, D. (2019). Studying the tribological properties of mated materials C61900 - A48-25BC1.25BNo. 25 in composite oils containing geomodifiers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (101)), 38–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179900>
28. Thomason, J. L. (2001). Micromechanical parameters from macromechanical measurements on glass reinforced polyamide 6,6. *Composites Science and Technology*, 61 (14), 2007–2016. doi: [https://doi.org/10.1016/s0266-3538\(01\)00062-8](https://doi.org/10.1016/s0266-3538(01)00062-8)
29. Gnatowski, A., Kijo-Kleczkowska, A., Gołębski, R., Mirek, K. (2019). Analysis of polymeric materials properties changes after addition of reinforcing fibers. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 30 (6), 2833–2843. doi: <https://doi.org/10.1108/hff-02-2019-0107>
30. Ren, L., Chen, J., Lu, Q., Han, J., Wu, H. (2021). Anti-biofouling nanofiltration membrane constructed by in-situ photo-grafting bactericidal and hydrophilic polymers. *Journal of Membrane Science*, 617, 118658. doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118658>
31. Gnatowski, A., Koszkuł, J. (2005). Investigations of the influence of compatibilizer and filler type on the properties of chosen polymer blends. *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163, 52–58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.02.240>
32. Esmaellou, B., Fitoussi, J., Lucas, A., Tcharkhtchi, A. (2011). Multi-scale experimental analysis of the tension-tension fatigue behavior of a short glass fiber reinforced polyamide composite. *Procedia Engineering*, 10, 2117–2122. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.350>
33. Vassilopoulos, A. P., Manshadi, B. D., Keller, T. (2010). Piecewise non-linear constant life diagram formulation for FRP composite materials. *International Journal of Fatigue*, 32 (10), 1731–1738. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2010.03.013>
34. Hrynkiv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O., Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters for a cylinder-piston group in the diesel engine during operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (5 (105)), 19–29. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>
35. Vassilopoulos, A. P., Manshadi, B. D., Keller, T. (2010). Piecewise non-linear constant life diagram formulation for FRP composite materials. *International Journal of Fatigue*, 32 (10), 1731–1738. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2010.03.013>
36. Vassilopoulos, A., Georgopoulos, E., Dionysopoulos, V. (2007). Artificial neural networks in spectrum fatigue life prediction of composite materials. *International Journal of Fatigue*, 29 (1), 20–29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2006.03.004>
37. Faridirad, F., Ahmadi, S., Barmar, M. (2016). Polyamide/Carbon Nanoparticles Nanocomposites: A Review. *Polymer Engineering & Science*, 57 (5), 475–494. doi: <https://doi.org/10.1002/pen.24444>
38. Okumura, T., Sonobe, K., Ohashi, A., Watanabe, H., Watanabe, K., Oyamada, H. et. al. (2020). Synthesis of polyamide-hydroxyapatite nanocomposites. *Polymer Engineering & Science*, 60 (7), 1699–1711. doi: <https://doi.org/10.1002/pen.25414>
39. Marset, D., Dolza, C., Boronat, T., Montanes, N., Balart, R., Sanchez-Nacher, L., Quiles-Carrillo, L. (2020). Injection-Molded Parts of Partially Biobased Polyamide 610 and Biobased Halloysite Nanotubes. *Polymers*, 12 (7), 1503. doi: <https://doi.org/10.3390/polym12071503>
40. Kamerling, S., Schlarb, A. K. (2020). Magnesium hydroxide – A new lever for increasing the performance and reliability of PA66/steel tribosystems. *Tribology International*, 147, 106271. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106271>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210818

CONTROLLER OF FLUORINE-DOPED TIN OXIDE THIN FILMS DEPOSITION VIA CYCLES AND ANNEALING TEMPERATURES BY SPIN COATING TECHNIQUES (p. 57–65)

Tri Arini

Indonesian Institute of Sciences (LIPI),
Tangerang Selatan, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7514-3100>

Latifa Hanum Lalasari

Indonesian Institute of Sciences (LIPI),
Tangerang Selatan, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0648-8655>

Lia Andriyah

Indonesian Institute of Sciences (LIPI),
Tangerang Selatan, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0623-1809>

Nadia Chrisayu Natasha

Indonesian Institute of Sciences (LIPI),
Tangerang Selatan, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2332-2726>

Fariza Eka Yunita

Indonesian Institute of Sciences (LIPI),
Tangerang Selatan, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8615-1392>

Florentinus Firdiyono

Indonesian Institute of Sciences (LIPI),
Tangerang Selatan, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4686-1626>

Adjie Syaputra

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6448-9659>

Amalia Sholehah

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8699-2105>

Achmad Subhan

Indonesian Institute of Sciences (LIPI),
Tangerang Selatan, Indonesia

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0774-9220>

Fluorine-doped tin oxide (FTO) thin films have been deposited by the modified spin coating method at 3000 rpm using tin (II) chloride dehydrate ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) as a precursor, ammonium fluoride (NH_4F) as a dopant and ethanol as a solvent. The aim of this research is to find out the quality of the thin film based on the number of cycles (3, 4, 5, and 6 cycles) and annealing temperature (300, 400 and 500 °C). The variation of annealing temperature and number of cycles can affect the crystal structure of the FTO thin film, crystal size and grain size. Increasing the number of cycles and annealing temperature can lead to larger crystallite size and lower dislocation density, so that electrons between the grains can move easily. The large grain can reduce the grain boundary, increasing the electron mobility and decreasing the resistivity. XRD analysis shows that the structure of SnO_2 polycrystalline with the most dominant crystal plane (110) is formed in this research when compared to the intensity of other structures. The resistivity value decreases with increasing the annealing temperature and number of cycles. In addition, transparency value also decreases along with increasing the annealing temperature and number of cycles. The optimum results of resistivity and transparency values obtained in this research are $1.692 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ and 69.232 % at 500 °C and 5 cycles. These results can be used as a reference for further study to optimize the production of fluorine-doped tin oxide (FTO) thin film with spin coating. Therefore, many factors that affect the production of fluorine-doped tin oxide (FTO) thin film, either dissolving stage or deposition process on the substrate surface still need to be studied deeply to obtain the optimum result.

Keywords: spin coating, number of cycles, annealing temperature, resistivity, transmittance.

References

1. Stadler, A. (2012). Transparent Conducting Oxides – An Up-To-Date Overview. *Materials*, 5 (12), 661–683. doi: <https://doi.org/10.3390/ma5040661>
2. Morris, G. C., McElnea, A. E. (1996). Fluorine doped tin oxide films from spray pyrolysis of stannous fluoride solutions. *Applied Surface Science*, 92, 167–170. doi: [https://doi.org/10.1016/0169-4332\(95\)00224-3](https://doi.org/10.1016/0169-4332(95)00224-3)
3. Moataz, B. S., Mohamed, B. S., Sherif, A. K., Marwa, A. (2016). Preparation and Characterization of Fluorine Tin Oxide Using New Approach of Spray Technique and Electro Spinning Technique. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, 4 (4), 78–81.
4. Afre, R. A., Sharma, N., Sharon, M., Sharon, M. (2018). Transparent Conducting Oxide Films for Various Applications: A Review. *REVIEWS ON ADVANCED MATERIALS SCIENCE*, 53 (1), 79–89. doi: <https://doi.org/10.1515/rams-2018-0006>
5. Zahid, R., Aris, D., Kosim (2018). Preliminary Study Flourine Tin Oxide (FTO) Using Sol-Gel Spin Coating Techniques. *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, 10 (2), 27–30.
6. Shi, X. H., Xu, K. J. (2017). Properties of fluorine-doped tin oxide films prepared by an improved sol-gel process. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 58, 1–7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2016.09.038>
7. George, A., Kumari, P., Soin, N., Roy, S. S., McLaughlin, J. A. (2010). Microstructure and field emission characteristics of ZnO nanoneedles grown by physical vapor deposition. *Materials Chemistry and Physics*, 123 (2-3), 634–638. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.05.029>
8. Agbim, E. G., Ikhioya, I. L., Ekpunobi, A. J. (2019). Syntheses and Characterization of Fluorine Doped Tin Oxide Using Spray Pyrolysis Technique. *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, 11 (3), 70–78.
9. Yu, S., Zhang, W., Li, L., Xu, D., Dong, H., Jin, Y. (2013). Fabrication of p-type SnO_2 films via pulsed laser deposition method by using Sb as dopant. *Applied Surface Science*, 286, 417–420. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.09.107>
10. Brousseau, J.-L., Bourque, H., Tessier, A., Leblanc, R. M. (1997). Electrical properties and topography of SnO_2 thin films prepared by reactive sputtering. *Applied Surface Science*, 108 (3), 351–358. doi: [https://doi.org/10.1016/s0169-4332\(96\)00679-4](https://doi.org/10.1016/s0169-4332(96)00679-4)
11. Hammad, T. M., Hejazy, N. K. (2011). Structural, electrical and optical properties of ATO thin films fabricated by dip coating method. *International Journal of Material Science Innovations*, 7 (4), 209–212.
12. Khan, M. I., Bhatti, K. A., Qindeel, R., Althobaiti, H. S., Alonizan, N. (2017). Structural, electrical and optical properties of multilayer TiO_2 thin films deposited by sol-gel spin coating. *Results in Physics*, 7, 1437–1439. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.03.023>
13. Susilawati, Doyan, A., Mulyadi, L., Hakim, S., Taufik, M., Nazarudin. (2019). Characteristics and Optical Properties of Fluorine Doped SnO_2 Thin Film Prepared by a Sol-Gel Spin Coating. *Journal of Physics: Conference Series*, 1397, 012003. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1397/1/012003>
14. Imawanti, Y. D., Doyan, A., Gunawan, E. R. (2017). Sintesis lapisan tipis (thin film) SnO_2 dan $\text{SnO}_2:\text{Al}$ menggunakan teknik sol-gel spin coating pada substrat kaca dan quartz. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 3 (1). doi: <https://doi.org/10.29303/jppipa.v3i1.49>
15. Goebbert, C., Noninger, R., Aegerter, M. A., Schmidt, H. (1999). Wet chemical deposition of ATO and ITO coatings using

- crystalline nanoparticles redispersable in solutions. *Thin Solid Films*, 351 (1-2), 79–84. doi: [https://doi.org/10.1016/s0040-6090\(99\)00209-6](https://doi.org/10.1016/s0040-6090(99)00209-6)
16. Moradi-Haji Jafan, M., Zamani-Meymian, M.-R., Rahimi, R., Rabbani, M. (2014). The effect of solvents and the thickness on structural, optical and electrical properties of ITO thin films prepared by a sol-gel spin-coating process. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 4 (1). doi: <https://doi.org/10.1007/s40097-014-0089-y>
 17. Subramanian, N. S., Savarimuthu, E., Sanjeeviraja, C., Ramamurthy, S. (2005). Effect of heat treatment temperature on the spin coated fluorine doped tin oxide thin films for solar cell applications. *Transactions-society for the advancement of electrochemical science and technology*, 40 (2), 62–67.
 18. Kahattha, C., Noonuruk, R., Pecharapa, W. (2016). Influence of annealing temperature on optical properties of fluoride doped tin oxide films grown by the sol-gel spin-coating method. *Integrated Ferroelectrics*, 175 (1), 138–145. doi: <https://doi.org/10.1080/10584587.2016.1203646>
 19. Arini, T., Yuwono, A. H., Lalasari, L. H., Sofyan, N., Ramahdita, G., Firdiyono, F. et. al. (2016). The Influence of Deposition Time and Substrate Temperature during the Spray Pyrolysis Process on the Electrical Resistivity and Optical Transmittance of 2 wt% Fluorine-doped Tin Oxide Conducting Glass. *International Journal of Technology*, 7 (8), 1335. doi: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v7i8.7065>
 20. Tran, Q.-P., Fang, J.-S., Chin, T.-S. (2015). Properties of fluorine-doped SnO₂ thin films by a green sol-gel method. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 40, 664–669. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.07.047>
 21. Sengupta, J., Sahoo, R. K., Bardhan, K. K., Mukherjee, C. D. (2011). Influence of annealing temperature on the structural, topographical and optical properties of sol-gel derived ZnO thin films. *Materials Letters*, 65 (17-18), 2572–2574. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2011.06.021>
 22. Trisdianto, C. A., Yuwono, A. H., Arini, T., Sofyan, N., Fikri, D., Lalasari, L. H. (2016). Optical Transmittance, Electrical Resistivity and Microstructural Characteristics of Undoped and Fluorine-doped Tin Oxide Conductive Glass Fabricated by Spray Pyrolysis Technique with Modified Ultrasonic Nebulizer. *International Journal of Technology*, 7 (8), 1316. doi: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v7i8.6885>
 23. Dissanayake, D., Samarasekera, P. Effect of number of layers on structural and optical properties of spin coated CdS films. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Charuni_Dissanayake2/publication/324492653_Effect_of_number_of_layers_on_structural_and_optical_properties_of_spin_coated_CdS_films/links/5ad3c6bfa6fdcc29357ff477/Effect-of-number-of-layers-on-structural-and-optical-properties-of-spin-coated-CdS-films.pdf
 24. Koçyiğit, A., Tatar, D., Battal, A., Ertuğrul, M., Düzgün, B. (2012). Highly efficient optoelectronic properties of doubly doped SnO₂ thin film deposited by spin coating technique. *Journal of Ovonic Research*, 8 (6), 171–178.
 25. Suryanarayana, C., Norton, M. G. (1998). X-Rays and Diffraction. *X-Ray Diffraction*, 3–19. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0148-4_1
 26. Sadikin, S. N., Rahman, M. Y. A., Umar, A. A., Salleh, M. M. (2017). Effect of Spin-Coating Cycle on the Properties of TiO₂ Thin Film and Performance of DSSC. *International Journal of Electrochemical Science*, 12, 5529–5538. doi: <https://doi.org/10.20964/2017.06.57>
 27. Bu, I. Y. Y. (2014). Sol-gel deposition of fluorine-doped tin oxide glasses for dye sensitized solar cells. *Ceramics International*, 40 (1), 417–422. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.06.017>
 28. Adjimi, A., Zeggar, M. L., Attaf, N., Aida, M. S. (2018). Fluorine-Doped Tin Oxide Thin Films Deposition by Sol-Gel Technique. *Journal of Crystallization Process and Technology*, 08 (04), 89–106. doi: <https://doi.org/10.4236/jcpt.2018.84006>
 29. Banyamin, Z., Kelly, P., West, G., Boardman, J. (2014). Electrical and Optical Properties of Fluorine Doped Tin Oxide Thin Films Prepared by Magnetron Sputtering. *Coatings*, 4 (4), 732–746. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings4040732>
 30. Ng, Z.-N., Chan, K.-Y., Tohsophon, T. (2012). Effects of annealing temperature on ZnO and AZO films prepared by sol-gel technique. *Applied Surface Science*, 258 (24), 9604–9609. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.05.156>
 31. Kuo, S.-Y., Chen, W.-C., Cheng, C.-P. (2006). Investigation of annealing-treatment on the optical and electrical properties of sol-gel-derived zinc oxide thin films. *Superlattices and Microstructures*, 39 (1-4), 162–170. doi: <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2005.08.039>
 32. Patil, S. L., Chougule, M. A., Pawar, S. G., Raut, B. T., Sen, S., Patil, V. B. (2011). New process for synthesis of ZnO thin films: Microstructural, optical and electrical characterization. *Journal of Alloys and Compounds*, 509 (41), 10055–10061. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2011.08.030>
 33. Lee, S.-M., Joo, Y.-H., Kim, C.-I. (2014). Influences of film thickness and annealing temperature on properties of sol-gel derived ZnO-SnO₂ nanocomposite thin film. *Applied Surface Science*, 320, 494–501. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.09.099>
 34. Luangchaisri, C., Dumrongrattana, S., Rakkwamsuk, P. (2012). Effect of heat treatment on electrical properties of fluorine doped tin dioxide films prepared by ultrasonic spray pyrolysis technique. *Procedia Engineering*, 32, 663–669. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1324>
 35. Memarian, N., Rozati, S. M., Elamurugu, E., Fortunato, E. (2010). Characterization of SnO₂:F thin films deposited by an economic spray pyrolysis technique. *Physica Status Solidi (c)*, 7 (9), 2277–2281. doi: <https://doi.org/10.1002/pssc.200983738>
 36. Kim, H., Park, H.-H. (2012). A study on the electrical properties of fluorine doped direct-patternable SnO₂ thin films. *Ceramics International*, 38, S609–S612. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.05.108>
 37. Ray, S. C., Karanjai, M. K., Dasgupta, D. (1997). Preparation and study of doped and undoped tin dioxide films by the open air chemical vapour deposition technique. *Thin Solid Films*, 307 (1-2), 221–227. doi: [https://doi.org/10.1016/s0040-6090\(97\)00268-x](https://doi.org/10.1016/s0040-6090(97)00268-x)

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214821

ANTICORROSIVE PROTECTION OF STRUCTURES IN ROBUST DESIGN (p. 66–72)

Oleksandr Gibalenko

Pryazovskiy State Technical University, Mariupol, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2979-5225>

Victoriia Gibalenko

Pryazovskiy State Technical University, Mariupol, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5590-6641>

Olena Bocharova

Pryazovskiy State Technical University, Mariupol, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3993-5842>

The study suggests a method for determining the characteristic and desired values of corrosion resistance indicators to

estimate the reliability parameters of systems of anticorrosive protection of structures (SAPS). The approach is based on developing robust (resistant to external influences) systems for designing measures of primary and secondary protection of metal structures against corrosion. Technological methods of diagnostics and maintenance are substantiated to improve the ways of using the constructions at all stages of their life cycle. Stronger corrosion resistance, that is, resistance to aggressive operating environments, is provided by effective methods of primary and secondary protection of metal structures from corrosion. The design is aimed at developing the provisions of the current standards of EN 1990 on the SAPS. It is established that the proposed requirements are aimed at ensuring the quality of metal structures and are achieved through calculations by the method of limit state design (LSD) using reliability coefficients (EN 1991). Robustness and durability are ensured in accordance with the provisions of EN 1993. The characteristic values of the quality indicators of protective coatings (EN ISO 12944, EN 1461) and structural material (EN 1993-1-4) are used. However, the procedures mean that such operating conditions are limited as for estimating the durability.

The proposed technique will improve the measures for anticorrosive protection of structures based on the robust design. The implementation of the method justifies the design and technological preparation of work to extend the durability of the structures. Effective procedures of primary and secondary protection have been introduced, and the requirements of the ISO 9001 international standards have been implemented.

Keywords: metal structures, durability, robust design, anticorrosive protection, corrosion resistance.

References

- Al-Sherrawi, M. H., Lyashenko, V., Edaan, E. M., Sotnik, S. (2018). Corrosion of Metal Construction Structures. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9 (6), 437–446.
- Cai, Y., Zhao, Y., Ma, X., Zhou, K., Chen, Y. (2018). Influence of environmental factors on atmospheric corrosion in dynamic environment. *Corrosion Science*, 137, 163–175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.03.042>
- Talbot, D. E. J., Talbot, J. D. R. (2018). *Corrosion science and technology*. CRC Press, 596. doi: <https://doi.org/10.1201/9781351259910>
- Ealey, L. A. (1994). *Quality by Design: Taguchi Methods and U.S. Industry*. ASI Press and Irwin Professional Publishing.
- ISO 9001:2015. *Quality management systems – Requirements*. Available at: <https://www.iso.org/standard/62085.html>
- Korolov, V., Filatov, Y., Magunova, N., Korolov, P. (2013). Management of the Quality of Corrosion Protection of Structural Steel Based on Corrosion Risk Level. *Journal of Materials Science and Engineering B*, 3 (11). doi: <https://doi.org/10.17265/2161-6221/2013.11.008>
- Soares, C. G., Garbatov, Y., Zayed, A., Wang, G. (2009). Influence of environmental factors on corrosion of ship structures in marine atmosphere. *Corrosion Science*, 51 (9), 2014–2026. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.05.028>
- Gibalenko, O. (2015). Monitoring of residual resource steel in corrosive environments. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 3 (45), 110–116.
- Korolov, V. P., Vysotsky, Y., Gibalenko, O. M., Korolov, P. V. (2010). Estimation of steel structure corrosion risk level. *Euro-corr-2010. The European Corrosion Congress. From the Earth's Depths to Space Heights*. Moscow, 534.
- Gibalenko, A. N., Korolov, V., Filatov, J. (2014). Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard. *Proceedings of the II Polish-Ukrainian International Conference Aktualnie problemy konstrukcji metalowych (APMK)*. Gdansk, 98–102.
- Akao, Y. (1991). *Hoshin Kanri: Policy Deployment for Successful TQM*. Productivity press.
- Witcher, B. J. (2014). *Hoshin Kanri. Perspectives on Performance*, 11 (1), 16–24.
- Hoshin Kanri: *Policy Deployment for Successful TQM by Yoji Akao (2004-10-12) (1758)*.
- wiklicki, M., Obora, H. (2011). *Hoshin Kanri: policy management in Japanese subsidiaries based in Poland*. *Business, Management and Education*, 9 (2), 216–235. doi: <https://doi.org/10.3846/bme.2011.15>
- New York: American Institute for Steel Classification (2002). *American Rust Standard Guide*, 1, 12.
- Korolov, V. P., Ryzhenkov, O. A., Korolov, P. V. (2019). *Oso-blyvosti rehuliuвання protykorozijnogo zakhystu metalokonstruksiyi promyslovykh ob'ektiv. Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy*, 3, 18–24.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214399

STRENGTH AND CHEMICAL RESISTANCE OF COMPOSITES BASED ON EPOXY RESINS, FILLED WITH GYPSUM IN THE ORIGINAL AND WATER-HARDENED FORMS (p. 73–80)

Dmitro Starokadomsky

Chuiko Institute of Surface Chemistry National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7361-663X>

Dmitry Rassokhin

Pryazovskyi State Technical University, Mariupol, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3479-9485>

Anatoly Ishchenko

Pryazovskyi State Technical University, Mariupol, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6189-7830>

Nadia Sigareva

Chuiko Institute of Surface Chemistry National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7196-6115>

Maria Reshetnyk

National Museum of Natural History at the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5067-7728>

This paper reports the results of studying epoxy compositions with gypsum taken in the form of dispersed powders in the original and water-hardened form. The exact pattern has been shown in the way the introduction of a gypsum additive in the amount of 50 % by weight affects the strength, chemical stability, and morphology of the composites.

Under conventional heat treatment (60–110 °C) of the hardened composites, the maximum stress at compression σ_m and the elasticity module at compression E_c , as well as wear resistance, decrease after the introduction of gypsums (of both types). At the same time, after a hard (destructive) heating at 250–260 °C, the elasticity module E_c of the hardened composites increases. The maximum stress at compression σ_m is also increased. The same applies to the wear resistance, which grows especially noticeably after 250 °C.

The micro-hardness after filling is prone to increase but the fragility of epoxy-gypsum composites does not make it possible to measure it when a punch (a steel hemisphere) penetrates it deeper than 20 μm . However, after the heat treatment at 250–260 °C, the unfilled polymer, on the contrary, is embrittled while the filled ones are plasticized, thus showing a high micro-hardness at significant (30–50 μm) immersion.

The composites with gypsum, in contrast to the unfilled ones, do not disintegrate in acetone and retain integrity at any aging duration (up to 75 days and beyond). In this case, the original gypsum produces a composite with less swelling in acetone than the hardened gypsum. Based on the data from atomic-strength microscopy (ASM) microscopy, the morphologies of the non-filled composite, the composites with the hardened gypsum and original gypsum are different. The original gypsum forms a composite with a more pronounced (possibly crystalline) filler structure; the morphology for the hardened composite reflects the distribution of inert particles; for the unfilled composite (H-composite), only pores are visible against the background of a relatively smooth relief.

Keywords: epoxy composite, gypsum, micro-hardness, chemical resistance, thermal strengthening, strength, morphology, water hardening.

References

- Belov, V. V., Bur'yanov, A. F., Yakovlev, G. I. et. al. (2012). Modifikatsiya struktury i svoystv stroitel'nyh kompozitov na osnove sul'fata kal'tsiya. Moscow, 196. Available at: http://www.ros-gips.ru/images/doc/sulfat_kaltsia.pdf
- Volzhenskiy, A. V. (1986). Mineral'nye vyazhushchie veshchestva. Moscow, 464.
- Starokadomsky, D. L. (2018). Physic-mechanical properties and nano-microstructure of epoxy-composites with cement, chalk and gypsum. *Kompozity i Nanostruktury*, 10 (1 (37)), 39–51. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35085460>
- Starokadomsky, D. L., Ishenko, A. A. (2019). Epoxy Composites Filled with Gypsum (Alabaster G-5): Possible Ways for Strengthening, Stabilization, and Structuration. *Composite Materials for Industry, Electronics, and the Environment*, 25–44. doi: <https://doi.org/10.1201/9780429457937-2>
- Starokadomskiy, D. L. (2015). Kompozity epoksi-polimera s 50 mac.% gipsa, tsementa i mela: otsenka fiziko-mekhanicheskikh svoystv, himicheskoy stoykosti i mikrostruktury. *Visnyk Ukrainskoho materialoznavchoho tovarystva*, 1 (8), 84–98. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/125446/13-StarokadomskyNEW.pdf?sequence=1>
- Starokadomsky, D. (2019). Microfilled Epoxy-Composites, Capable of Thermo-Hardening and Thermo-Plasticization After Hard Heating (200-300 OC) - For "in-Field\Offroad" Use in Bio-, Agro-, Medservice. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 19 (1). doi: <https://doi.org/10.26717/bjstr.2019.19.003257>
- Starokadomsky, D. L., Ischenko, A. A., Rassokhin, D. A., Reshetnyk, M. N. (2019). Epoxy composites for equipment repair with 50 wt% silicon carbide, titanium nitride, cement, gypsum: effects of heat strengthening, strength/durability, morphology, comparison with European commercial analogues. *Kompozity i nanostruktury*, 11 (2 (42)), 85–93.
- Davidenko, V. E., Nesterov, A. A., Lebedev, E. V. (2005). Relaksatsionnoe povedenie kompozitsiy, soderzhashchih strukturiruyushchiysya napolnitel' (gips). *Polimerniy Zhurnal*, 27 (3), 139–142.
- Carvalho, M. A., Calil Júnior, C., Savastano Junior, H., Tubino, R., Carvalho, M. T. (2008). Microstructure and mechanical properties of gypsum composites reinforced with recycled cellulose pulp. *Materials Research*, 11 (4), 391–397. doi: <https://doi.org/10.1590/s1516-14392008000400002>
- Morales-Conde, M. J., Rodríguez-Liñán, C., Pedreño-Rojas, M. A. (2016). Physical and mechanical properties of wood-gypsum composites from demolition material in rehabilitation works. *Construction and Building Materials*, 114, 6–14. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.137>
- Gomes, C. E. M., Sousa, A. K. D., Araujo, M. E. da S. O., Ferreira, S. B., Fontanini, P. (2019). Mechanical and Microstructural Properties of Redispersible Polymer-Gypsum Composites. *Materials Research*, 22 (3). doi: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2018-0119>
- Najim, S. A. Y. T. S., Abdulhussein, A. A. (2011). Physical and Mechanical Properties of PVAc-Gypsum Composite. *Al-Mustansiriyah Journal of Science*, 22 (4), 175–187.
- Sakthieswaran, N., Sophia, M. (2018). Effect of superplasticizers on the properties of latex modified gypsum plaster. *Construction and Building Materials*, 179, 675–691. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.150>
- Çolak, A. (2006). Physical and mechanical properties of polymer-plaster composites. *Materials Letters*, 60 (16), 1977–1982. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2005.12.062>
- Gutiérrez-González, S., Gadea, J., Rodríguez, A., Blanco-Varela, M. T., Calderón, V. (2012). Compatibility between gypsum and polyamide powder waste to produce lightweight plaster with enhanced thermal properties. *Construction and Building Materials*, 34, 179–185. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.061>
- Pundir, A., Garg, M., Singh, R. (2015). Evaluation of properties of gypsum plaster-superplasticizer blends of improved performance. *Journal of Building Engineering*, 4, 223–230. doi: <https://doi.org/10.1016/j.job.2015.09.012>
- Matveeva, L., Pakhtinov, V., Tikhonov, Y. (2019). Study of micromycete destructive power in gypsum and polymeric binding composite construction materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 687, 022031. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/687/2/022031>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214847

DETERMINATION OF THE APPLICABILITY OF Zn-Al LAYERED DOUBLE HYDROXIDE, INTERCALATED BY FOOD DYE ORANGE YELLOW S, AS A COSMETIC PIGMENT (p. 81–89)

Vadym Kovalenko

Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, Ukraine
Vyatka State University, Kirov, Russian Federation
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8012-6732>

Valerii Kotok

Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, Ukraine
Vyatka State University, Kirov, Russian Federation
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8879-7189>

Nail polish, in particular gel nail polish, is the most used cosmetic product. The components of the gel polish, which determine both toxicity and consumer color properties, are pigments. Zn-Al layered double hydroxides intercalated with anionic food dyes are promising pigments for use in gel polish. The parameters of the samples of Orange Yellow S-intercalated Zn-Al (Zn:Al=4:1 and Zn:Al=2:1) hydroxides synthesized at pH=8 and pH=11 were studied. The crystal structure of the samples was studied

by X-ray phase analysis and thermogravimetry, and the pigment properties – by the method of measuring and calculating color characteristics in the CIELab and XYZ systems. The color characteristics of gel nail polish samples prepared using synthesized pigments were studied in a similar way.

X-ray phase analysis and thermogravimetry showed that Zn-Al-Orange Yellow S pigments synthesized at both Zn:Al ratios and pH were layered double hydroxides with the α -Zn(OH)₂ structure. The phenomenon of the decomposition of Zn-Al LDH to ZnO during the synthesis was revealed. As a result, all Zn-Al-Orange Yellow S pigment samples contained both layered double hydroxide and zinc oxide. It was shown that all samples of the Zn-Al-Orange Yellow S pigment obtained at pH 8 and 11 and the ratios Zn:Al=4:1 and Zn:Al=2:1 had high pigment characteristics and are promising for use in gel polish. The samples of gel nail polish with synthesized pigments have a red-orange color (color tone 595–604 nm) with high monochromaticity (color purity 63–75 %) and color saturation (48.7–58.3).

Keywords: Zn-Al layered double hydroxide, pigment, gel polish, intercalation, Orange Yellow S.

References

- Drahl, C. (2008). Nail Polish. *Chemical & Engineering News*, 86 (32), 42. doi: <https://doi.org/10.1021/cen-v086n032.p042>
- Zaichuk, A. V., Amelina, A. A. (2018). Blue-green ceramic pigments in the system Ca–MgO–Al₂O₃–SiO₂–CoO–Cr₂O₃ based on granulated blast-furnace slag. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 6, 120–124. doi: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2018-121-6-120-124>
- Zaychuk, A. V., Belyi, YA. I. (2012). Korichnevye keramicheskie pigmenty na osnove martenovskogo shlaka. *Zhurnal prikladnoy himii*, 85 (10), 1595–1600.
- Zaychuk, A. V., Belyi, Ya. I. (2012). Chernye keramicheskie pigmenty na osnove martenovskogo shlaka. *Steklo i keramika*, 3, 32–37.
- Zaychuk, A., Iovleva, J. (2013). The Study of Ceramic Pigments of Spinel Type with the Use of Slag of Aluminothermal Production of Ferrotitanium. *Chemistry & Chemical Technology*, 7 (2), 217–225. doi: <https://doi.org/10.23939/chcht07.02.217>
- Zaychuk, A. V., Belyi, Ya. I. (2013). Sovershenstvovanie sostavov i svoystv seryh keramicheskikh pigmentov. *Steklo i keramika*, 6, 32–37.
- Zaychuk, A. V., Amelina, A. A. (2017). Poluchenie uvarovitovykh keramicheskikh pigmentov s primeneniem granulirovannogo domennogo shlaka. *Steklo i keramika*, 3, 32–36.
- 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). 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>
- 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>
- Kovalenko, V., Kotok, V. (2018). Comparative investigation of electrochemically synthesized ($\alpha+\beta$) layered nickel hydroxide with mixture of α -Ni(OH)₂ and β -Ni(OH)₂. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (92)), 16–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125886>
- 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>
- 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>
- 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>
- Arizaga, G. G. C., Gardolinski, J. E. F. da C., Schreiner, W. H., Wypych, F. (2009). Intercalation of an oxalatoxonioabate 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>
- 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>
- Kovalenko, V., Kotok, V., Yeroshkina, A., Zaychuk, A. (2017). Synthesis and characterisation of dyeintercalated nickelalu-

- minium 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>
26. 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>
 27. 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>
 28. Carbajal Arizaga, G. G., Puebla Pérez, A. M., Macías Lamas, A. M., Sánchez Jiménez, C., Parra Saavedra, K. J. (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>
 29. 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.jpcc.2009.05.007>
 30. 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>
 31. Nalawade, P., Aware, B., Kadam, V. J., Hirlekar, R. S. (2009). Layered double hydroxides: A review. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 68 (4), 267–272.
 32. 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>
 33. Burmistr, M. V., Boiko, V. S., Lipko, E. O., Gerasimenko, K. O., Gomza, Y. P., Vesnin, R. L. et. al. (2014). Antifriiction 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>
 34. 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>
 35. Shamim, M., Dana, K. (2017). Efficient removal of Evans blue dye by Zn–Al–NO₃ layered double hydroxide. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15 (6), 1275–1284. doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1478-9>
 36. 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>
 37. 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>
 38. Darmograi, 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>
 39. Marangoni, R., Bouhent, M., Taviot-Guého, C., Wypych, F., Leroux, F. (2009). Zn₂Al 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>
 40. 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>
 41. 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>
 42. 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>
 43. 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>
 44. 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>
 45. Hu, M., Lei, L. (2006). Effects of particle size on the electrochemical performances of a layered double hydroxide, [Ni₄Al(OH)₁₀]NO₃. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 11 (6), 847–852. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-006-0231-y>
 46. 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*, 13 (24), 9652–9656.
 47. Kotok, V., Kovalenko, V., Vlasov, S. (2018). Investigation of NiAl 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>
 48. 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>
 49. Xiao-yan, G., Jian-cheng, D. (2007). Preparation and electrochemical performance of nano-scale nickel hydroxide with different shapes. *Materials Letters*, 61 (3), 621–625. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.05.026>
 50. Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Sykchin, A. A., Mudryi, I. A., Ananchenko, B. A., Burkov, A. A. et. al. (2016). Nickel hydroxide obtained by high-temperature two-step synthesis as an effective material for supercapacitor applications. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 21 (3), 683–691. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-016-3405-2>
 51. Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Sykchin, A., Ananchenko, B. A., Chernyad'ev, A. V., Burkov, A. A. et. al. (2020). Al³⁺ 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>
52. Saikia, H., Ganguli, J. N. (2012). Intercalation of Azo Dyes in Ni-Al Layered Double Hydroxides. *Asian Journal of Chemistry*, 24 (12), 5909–5913.
53. Kotok, V. A., Kovalenko, V. L., Solovov, V. A., Kovalenko, P. V., Ananchenko, B. A. (2018). Effect of deposition time on properties of electrochromic nickel hydroxide films prepared by cathodic template synthesis. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13 (9), 3076–3086.
54. 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>
55. 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>
56. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Bifunctional indigocarminintercalated 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>
57. Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). Definition of the aging process parameters for nickel hydroxide in the alkaline medium. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (92)), 54–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127764>
58. Nechayev, Y. A., Nikolenko, N. V. (1988). An adsorption mechanism for supergene gold accumulation. *Geochemistry International*, 25 (11), 52–56.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214308

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ СОСТАВІВ ЕЛЕКТРОЛІТУ, ЩІЛЬНОСТІ СТРУМУ І ТРИВАЛОСТІ ПРОЦЕСУ МІКРОДУГОВОГО ОКСИДУВАННЯ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВИЙ СТАН І ВЛАСТИВОСТІ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ ВТЗ-1 (с. 6–15)

В. В. Субботіна, О. В. Соболев, В. В. Білозеров, В. В. Шнайдер, О. О. Смирнов

Досліджено вплив умов електролізу при мікродуговому оксидуванні сплаву ВТЗ-1 (на основі титану) на кінетику росту, морфологію поверхні, фазово-структурний стан і фізико-механічні характеристики (твердість, коефіцієнт тертя) оксидних покриттів. Встановлено, що процес в режимі мікродугових розрядів стійко реалізується на сплаві ВТЗ-1 в лужному (КОН) електроліті з добавками алюмінату натрію (NaAlO_2) і рідкого скла (Na_2SiO_3). Це дозволяє отримувати покриття товщиною до 250 мкм. При цьому спостерігається лінійна залежність товщини покриття від часу МДО-процесу. Швидкість росту покриття збільшується з підвищенням щільності струму. Найбільша швидкість росту складала 1.13 мкм/хв. Виявлено, що в електроліті який містить 1 г/л КОН+14 г/л NaAlO_2 зі збільшенням тривалості оксидування від 60 до 180 хвилин підвищується відносний вміст високотемпературної фази – рутилу. У покриттях, отриманих в електроліті 1,75 г/л КОН+1 г/л Na_2SiO_3 +2 г/л NaAlO_2 зі збільшення тривалості МДО-процесу зменшується відносний вміст аморфноподібної фази і збільшується вміст кристалічної фази мулліту ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$).

Визначено, що в електроліті який містить 1,75 г/л КОН+1 г/л Na_2SiO_3 +2 г/л NaAlO_2 при збільшенні щільності струму від 15 А/дм² до 50 А/дм² відбувається зміна фазового складу покриття. В 3-х фазному стані (титанат алюмінію, рутил і аморфноподібна фаза) при збільшенні j замість аморфноподібної фази спостерігається поява кристалічної фази мулліту. При цьому твердість покриття збільшується від 5400 МПа до 12500 МПа. Встановлено, що мулліт в поєднанні з титанатом алюмінію є основою досягнення в покритті високої твердості. Формування на поверхні титанового сплаву ВТЗ-1 керамічного мікродугового оксидного покриття дозволяє більш ніж в 5 разів знизити коефіцієнт сухого тертя до величини $f=0.09$.

Ключові слова: Мікродугове оксидування, ВТЗ-1, тип електроліту, кінетика росту, фазовий склад, зносостійкість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214223

ПОРІВНЯННЯ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИ ОДИНАРНОМУ ГАРТУВАННІ І ВІДПУСКУ І ПОДВІЙНОМУ ГАРТУВАННЮ І ВІДПУСКУ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВОЇ І МАРГАНЦЕВО-ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ (с. 15–22)

Yurianto Yurianto, Sulardjaka Sulardjaka, Susilo Adi Widayanto, Padang Yanuar

Загартовані і відпущені сталі необхідні для сильнонапружених конструкцій військової і невійськової техніки. Дана робота присвячена вивченню структури і властивостей (твердості і поглиненої енергії удару) середньовуглецевих і марганцево-вуглецевих сталей до і після одинарного гартування і відпуску і подвійного гартування і відпуску. Оскільки вода дешева і легка в управлінні, її використовували в якості гартівного середовища. У даному дослідженні порівнюються твердість і поглинена енергія удару сталей при одинарному гартуванні і відпуску і подвійному гартуванні і відпуску. Результати показали, що твердість сталей при подвійному гартуванні і відпуску вище, ніж при одинарному гартуванні і відпуску. Крім того, зерниста структура дрібніша, ніж у сталі при одинарному гартуванні і відпуску. Вимірювання температури аустеніту і часу витримки має важливе значення для твердості в кінці процесу гартування. Метою дослідження є отримання твердості та енергії удару від одинарного гартування і відпуску і подвійного гартування і відпуску середньовуглецевої і марганцево-вуглецевої сталі для броньової сталі. На першому етапі п'ять зразків нагрівали при 900 °С (витримували протягом 30 хвилин), охолоджували в прісній воді і отримували сталь Q_{900} . Потім ці зразки нагрівали при 750 °С, 800 °С, 850 °С і 900 °С, витримували протягом 30 хвилин і отримували сталь $Q_{900+750}$, сталь $Q_{900+800}$, сталь $Q_{900+850}$ і сталь $Q_{900+900}$. Ці зразки були відпущені при 150 °С (витримувалися протягом 30 хвилин) і отримували сталь $Q_{900+750}\&T$, сталь $Q_{900+800}\&T$, сталь $Q_{900+850}\&T$, сталь $Q_{900+900}\&T$. Мартенсит досяг періоду охолодження від 357 °С до 182 °С, був відпущений при 150 °С (витримувався протягом 30 хвилин). Твердість при подвійному гартуванні і відпуску вище, ніж при звичайному. Максимальна енергія удару при термообробці подвійним гартуванням і відпуском сталі $Q_{900+850}\&T$ підходить для броньової сталі.

Ключові слова: аустенітизація, укрупнення, ущільнення, окрихчення, зміцнення, витримка, гартування, рафінування, знеміцнення, відпуск.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214919

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ГАРЯЧОГО ПРЕСУВАННЯ ПРУТКІВ З АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ 7075 НА РАДІАЛЬНО-ЗСУВНОМУ СТАНІ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ – ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ (с. 23–31)

S. Mashekov, Y. Nugman, A. Masheкова, A. Sekerbek, N. Sembayev, S. Akparova

Для виготовлення прутків малих діаметрів або дроту запропонований радіально-зсувний стан (РЗС) нової конструкції. Наведено результати моделювання еволюції структури під час гарячої прокатки-пресування алюмінієвого сплаву 7075 на цьому радіально-зсувному стані. Математичне моделювання технологічного процесу прокатки-пресування провели шляхом

застосування програмного продукту MSC.SuperForge, а для прогнозування проходження знеміцнюючих процесів використовували емпіричне рівняння Джонсона-Мела-Аврамі-Колмогорова. У зв'язку з відсутністю коефіцієнтів рівняння Аврамі провели серію експериментів з фізичного моделювання технологічного процесу прокатки-пресування на торсійному пластометрі STD 812. Експерименти провели в діапазоні температур 250–450 °C і швидкості деформації 1,0–20 с⁻¹. Фізичним моделюванням довели, що при обробці на РЗС необхідно розвивати скручуючу деформацію по всьому перетину заготовки, що призводить до ефективного подрібнення структури. Виведено формули та проведено імітаційне моделювання. Отримані на підставі цього значення напружено-деформованого стану використовували для розробки технології суміщеного процесу. У роботі визначені раціональні температурно-швидкісні умови деформування заготовки на РЗС. Встановлено, що температура і інтенсивність деформації, що перевищує критичне значення, а також швидкість деформації є важливими факторами, що впливають на процеси динамічного знеміцнення. Математичним моделюванням довели, що при обробці на РЗС розвиваються зсувні деформації по всьому перетину заготовки, що призводить до ефективного подрібнення структури і формування дрібнозернистої структури в прутках, тобто виготовляється якісна продукція.

Ключові слова: алюмінієвий сплав, математичне моделювання, рівняння Аврамі, фізичне моделювання, рекристалізація, мікроструктура.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214826

ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУКТУРНО-ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ВІДХОДІВ МЕТАЛУРГІЇ ЛЕГОВАНИХ ТУГОПЛАВКИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ (с. 32–38)

В. О. Волох, Є. Д. Кім, Т. Г. Фесенко, А. С. Петрищев, С. Р. Артем'єв, Б. М. Цимбал, Л. Л. Макаренко, А. М. Гедзик, В. М. Слабко, В. С. Хмельовський

Досліджено фазовий склад та мікроструктуру легуючого сплаву, що одержаний за допомогою відновлювальної плавки техногенних відходів. Це необхідно для визначення технологічних характеристик, що забезпечують підвищення ступеня вилучення легуючих елементів під час переробки техногенної сировини та при подальшому використанні легуючого матеріалу. Визначено, що при атомному співвідношенні Si:C в шихті 0,05–0,19 (атомне співвідношення O:C=1,25) в сплаві присутні твердий розчин вуглецю та легуючих елементів в γ -Fe, Fe₃Si та Fe₅Si₃. При атомному співвідношенні Si:C на рівні 0,05 в сплаві переважав твердий розчин вуглецю та легуючих елементів в γ -Fe при слабкому прояві Fe₃Si. При підвищенні значення атомного співвідношення Si:C до 0,09 разом із Fe₃Si було виявлено Fe₅Si₃. Поетапне підвищення атомного співвідношення Si:C до 0,09, 0,12 та 0,19 обумовило посилення прояву Fe₃Si та Fe₅Si₃. Мікроструктура сплаву на всьому дослідженому діапазоні значень співвідношення Si:C в шихті характеризувалася наявністю декількох фаз різного вмісту легуючих елементів. Вміст елементів у досліджених ділянках (% ат.): Ni – 1,65–52,10, Cr – 2,80–53,92, Mo – 0,19–13,48, W – 0,40–12,21, Nb – 13,85–33,85, Ti – 2,40–6,63. Збільшення атомного співвідношення Si:C в шихті з 0,05 до 0,19 обумовило зростання концентрації кремнію в досліджених ділянках мікроструктури (% ат.) з 0,28 до 6,31. Вміст вуглецю, згідно аналізу ділянок зразків, характеризувався показниками (% ат.) від 2,07 до 14,23. Деякі з досліджених часток з підвищеним вмістом W, Mo, Nb з високою імовірністю відповідали комплексним карбідним з'єднанням. Виходячи із проведених досліджень можна зазначити, що найбільш вигідним атомним співвідношенням Si:C в шихті є 0,12 (при атомному співвідношенні O:C=1,25). При цьому отриманий продукт мав відносно низький вміст кремнію та вуглецю, але достатній для забезпечення необхідної відновної та рідкоокислюючої здатності сплаву.

Ключові слова: оксидні техногенні відходи, окалина легуваних сталей, відновна плавка, рентгенофазові дослідження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214533

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ НАНОМОДИФІКОВАНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ ФТОРОПЛАСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ (с. 38–48)

О. В. Диха, В. П. Свідерський, І. А. Даніленко, В. В. Біліченко, Ю. Ю. Кукурудзяк, Л. М. Кириченко

Виконані аналітичні та експериментальні дослідження для конструювання і моделювання фторопластових антифрикційних матеріалів. Визначені оптимальні співвідношення сумарної поверхні частинок полімеру до сумарної поверхні частинок наповнювача для різних марок фторопласту-4 і критичні концентрації модифікаторів фторопластових антифрикційних матеріалів. Розрахунки модулів пружності антифрикційних карбопластиків свідчать про наявність адгезії між вуглецевим волокном і політетрафторетиленом. При створенні композитів, що поєднують високі міцнісні і триботехнічні характеристики, доцільно поєднання модифікаторів різної дисперсності і полімер-олігомерні матриці, що забезпечує реалізацію принципу багаторівневого модифікування. Встановлено, що адгезія між вуглецевим волокном і політетрафторетиленом може бути збільшена в результаті нанесення на поверхню вуглецевих волокон фторопластового покриття або модифікацією нанопорошками оксиду цирконію. Бінарна фторопластова матриця, нанесеного на поверхню вуглецевого волокна, може бути використана як ефективна основа для композиційних матеріалів. Проведені дослідження показали, що наповнення політетрафторетилену (ПТФЕ), коксом, вуглецевими волокнами (18–19,5 мас. %) і нанопорошками оксидів цирконію в кількості до 2 мас. % приводить до отримання матеріалів, що володіють високими механічними характеристиками і зносостійкістю. Показано, що наявність олігомерного компонента підвищує термодинамічну сумісність на межі розділу і сприяє пластифікуванню граничних шарів ПТФЕ. Матеріалам з покращеними фізико-механічними властивостями відповідає молекулярна структура з певною орієнтацією коксу і вуглецевого волокна в міжфазних ділянках.

Ключові слова: антифрикційні матеріали, композит, зносостійкість, фторопластові покриття, нанопорошок, оксид цирконію, карбопластики.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214547

РОЗРОБКА СПРЯЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИКОРИСТАННЯМ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ З ПІДВИЩЕНИМИ ТРИБОТЕХНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ (с. 49–57)

А. С. Кобець, В. В. Аулін, А. Д. Деркач, Д. А. Макаренко, А. В. Гриньків, Д. І. Крутоус, Є. С. Муранов

Проведено порівняльні дослідження полімерних матеріалів, що працюють в спряженнях зі сталлю. В сільськогосподарському машинобудуванні значне місце в конструктивних матеріалах займають полімерні композити. Даний вид матеріалів має низьку вартість, незначні технологічні витрати та володіє доступними переробними характеристиками. Виявлено, що для кожного виду спряжень деталей потрібно формувати набір матеріалів, які максимально відповідатимуть експлуатаційним умовам. Щоб більш детально описати експлуатаційні умови їх потрібно узагальнити конкретними трибологічними та навантажувальними характеристиками. Виходячи з цього, було підібрано навантажувальні режими, які відповідають рухомих спряженням посівних комплексів. Для даних спряжень, під час проведення трибологічних досліджень, необхідно було підібрати матеріал з мінімальними технологічними відхиленнями, але з підвищеними триботехнічними характеристиками.

В результаті дослідження було визначено, що для встановлених умов полімерно-композиційний матеріал з високомодульним наповнювачем PA-6,6+30 % F має кращі трибофізичні характеристики у порівнянні з матеріалом PA-6,6. Запропонований матеріал в спряженні зі сталлю 1.1191 має коефіцієнт тертя на 38...41 %, а температура в зоні контакту на 8...12 % менші ніж в спряженні з матеріалом PA-6,6. За проведенням металографічним аналізом поверхонь тертя можна стверджувати, що полімерний композит з високомодульним наповнювачем створює сприятливі умови для їх впровадження у рухомі вузли машин.

Отримані результати дають можливість аналізувати та синтезувати композитні матеріали передусім для сільськогосподарського машинобудування, враховуючи саме трибологічні властивості. Особливо цікавими можуть бути результати для сервісних служб та підприємств, що виробляють деталі для посівних комплексів.

Ключові слова: поліамід, високомодульні наповнювачі, абразивна стійкість, металографія, трибологічна властивість, полімерний композит, скловолокно.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210818

РЕГУЛЯТОР ОСАДЖЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК ОКСИДУ ОЛОВА, ЛЕГОВАНОГО ФТОРОМ ЗА ДОПОМОГОЮ ЦИКЛІВ І ТЕМПЕРАТУР ВІДПАЛУ МЕТОДОМ ЦЕНТРИФУГУВАННЯ (с. 57–65)

Tri Arini, Latifa Hanum Lalasari, Lia Andriyah, Nadia Chrisayu Natasha, Fariza Eka Yunita, Florentinus Firdiyono, Adjie Syaputra, Amalia Sholehah, Achmad Subhan

Тонкі плівки оксиду олова, легованого фтором (FTO) були нанесені модифікованим методом центрифугування при 3000 об/хв з використанням дегідрату хлориду олова (II) ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) в якості прекурсора, фториду амонію (NH_4F) в якості легуючої добавки і етанолу в якості розчинника. Метою даного дослідження є визначення якості тонкої плівки в залежності від кількості циклів (3, 4, 5 і 6 циклів) і температури відпалу (300, 400 і 500 °C). Зміна температури відпалу і кількості циклів може вплинути на кристалічну структуру тонкої плівки FTO, розмір кристалів і розмір зерен. Збільшення кількості циклів і температури відпалу може призвести до збільшення розміру кристалітів і зниження щільності дислокацій, що дозволяє електронам між зернами легко переміщатися. Велике зерно може зменшити межу зерен, збільшуючи рухливість електронів і зменшуючи питомий опір. Рентгеноструктурний аналіз показує, що в даному дослідженні формується структура полікристалічного SnO_2 з переважаючою кристалічною площиною (110) в порівнянні з інтенсивністю інших структур. Величина питомого опору зменшується зі збільшенням температури відпалу і кількості циклів. Крім того, значення прозорості також зменшується зі збільшенням температури відпалу і кількості циклів. Оптимальні результати значень питомого опору і прозорості, отримані в даному дослідженні, складають $1,692 \times 10^{-2}$ Ом·см і 69,232% при 500 °C і 5 циклах. Ці результати можуть бути використані в якості опорних даних для подальших досліджень з оптимізації отримання тонкої плівки оксиду олова, легованої фтором (FTO) методом центрифугування. Тому багато факторів, що впливають на отримання тонкої плівки оксиду олова, легованої фтором (FTO), будь то стадія розчинення, або процес осадження на поверхню підкладки все ще потребують глибокого вивчення для отримання оптимального результату.

Ключові слова: центрифугування, кількість циклів, температура відпалу, питомий опір, коефіцієнт пропускання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214821

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ ЗАХИЩЕНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ РОБАСТНОМУ ПРОЄКТУВАННІ (с. 66–72)

О. М. Гібаленко, В. А. Гібаленко, О. А. Бочарова

Розроблено методику визначення характеристичних і розрахункових значень показників корозійної стійкості, оцінки параметрів надійності систем протикорозійного захисту конструкцій (СПЗК). Підхід заснований на розвитку робастних (стійких до зовнішніх впливів) систем проектування заходів первинного та вторинного захисту металоконструкцій від корозії. Для вдосконалення способів експлуатації споруд на всіх етапах життєвого циклу обґрунтовуються технологічні прийоми діагностики і технічного обслуговування. Підвищення корозійної стійкості, стійкості до дії агресивних експлуатаційних середовищ забезпечується ефективними способами первинного та вторинного захисту металоконструкцій від корозії. Розробка спрямована на розвиток положень чинних норм EN 1990 до проектування СПЗК.

Встановлено, що запропоновані вимоги спрямовані на забезпечення якості металоконструкцій і виконуються в розрахунках за методом граничних станів з використанням коефіцієнтів надійності (EN 1991). Забезпечення несучої здатності і довговічності здійснюється відповідно до положень норм EN 1993. При цьому використовуються характеристичні значення показників якості захисних покриттів (EN ISO 12944, EN 1461) і матеріалу конструкцій (EN 1993-1-4). Однак використання таких процедур тягне за собою обмеженість даних умов експлуатації для розрахункової оцінки довговічності.

Запропонована методика удосконалила заходи корозійної захищеності конструкцій на основі робастного проектування. Реалізація методики обґрунтовує конструкторську і технологічну підготовку робіт продовження ресурсу конструкцій. Впроваджується ефективні процедури первинного та вторинного захисту, реалізуються вимоги міжнародних стандартів ISO 9001.

Ключові слова: металеві конструкції, довговічність, робастне проектування, антикорозійний захист, корозійна стійкість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214399

МІЦНІСТЬ ТА ХІМРЕЗИСТЕНТНІСТЬ КОМПОЗИТІВ НА БАЗІ ЕПОКСИДНОЇ СМОЛИ, НАПОВНЕНОЇ ГІПСОМ У ВИХІДНІЙ ТА ВОДО-ОТВЕРДЖЕНІЙ ФОРМАХ (с. 73–80)

Д. Л. Старокадомський, Д. О. Рассохін, А. О. Іщенко, Н. В. Сігарьова, М. М. Решетник

Представлені результати дослідження епоксидних композицій з гіпсом, узятим у вигляді дисперсних порошоків в початковому і водо-затверділому стані. Показано, як саме введення 50 мас. % добавки гіпсу впливає на міцність, хімістійкість і морфологію композитів.

При звичайній термообробці (60–110 °С) композитів максимальна напрута при стискуванні σ_m і модуль пружності при стисканні E_c , а також стійкість до стирання знижуються після введення гіпсів (обох типів). У той же час після жорсткого прогріву 250–260 °С композитів модуль пружності E_c підвищується. Також підвищується і максимальна напрута при стискуванні σ_m . Те ж – для стійкості до стирання, яка після 250 °С зростає особливо помітно.

Мікротвердість після наповнення схильна до підвищення, однак крихкість епокси-гіпсових композитів не дозволяє виміряти її при зануреннях пуансона (сталева півсфера) понад 20 мкм. Але після термообробки 250–260 °С навпаки – ненаповнений полімер стає крихким, тоді як наповнені – пластифікуються, показуючи високу мікротвердість при значних (30–50 мкм) зануреннях.

Композити з гіпсом, на відміну від ненаповненого, в ацетоні не розпадаються і зберігають цілісність при будь-якому часі витримки (до 75 діб і далі). При цьому композит із гіпсом, як наповнювачем, має менше набухання в ацетоні, ніж гіпс. Згідно з даними атомно-силової (АСМ) мікроскопії, морфологія композитів ненаповненого та з гіпсом відрізняється. Гіпс формує композит з більш кристалічною структурою наповнювача. Морфологія відображає розподіл інертних частинок; для ненаповненого композиту (Н-композит), де видно лише пори на тлі порівняно гладкого рельєфу. Введення гіпсу в епоксидну смолу змінює консистенцію композиції і морфологію композитів, яка також залежить від типу гіпсу (вихідний напівводний або затверділий двохводний).

Ключові слова: епоксидний композит, гіпс, мікротвердість, хімістійкість, термо-зміцнення, міцність, морфологія, затвердження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214847

ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ Zn-Al ПОДВІЙНО-ШАРОВОГО ГІДРОКСИДУ, ІНТЕРКАЛЬОВАНОГО ХАРЧОВИМ БАРВНИКОМ ORANGE YELLOW S, ЯК КОСМЕТИЧНОГО ПІГМЕНТУ (с. 81–89)

В. Л. Коваленко, В. А. Коток

Лак для нігтів, зокрема гель-лак, є найбільш використовуваним косметичним засобом. Компонентами гель-лаку, які визначають і токсичність, і споживчі колірні властивості, є пігменти. Zn-Al подвійно-шарові гідроксиди, інтеркальовані харчовими барвниками аніонного типу, є перспективними пігментами для використання в гель-лаці. Вивчено параметри зразків Orange Yellow S-інтеркальованих Zn-Al (Zn:Al=4:1 і Zn:Al=4:1) гідроксидів, синтезованих при pH=8 і pH=11. Кристалічна структура зразків вивчена методом рентгенофазового аналізу і термогравиметрії, пігментні властивості – методом вимірювання і розрахунку характеристик кольору в системах CIELab і XYZ. Аналогічно були вивчені характеристики кольору зразків гель-лаку, виготовлених з використанням синтезованих пігментів.

Методами рентгенофазового аналізу і термогравиметрії показано, що Zn-Al-Orange Yellow S пігменти, синтезовані при Zn:Al=4:1, є подвійно-шаровими гідроксидами зі структурою α -Zn(OH)₂. Виявлено явище розпаду Zn-Al ПШГ до ZnO під час синтезу. Як результат, всі зразки Zn-Al – Orange Yellow S пігменту, містять як подвійно-шаровий гідроксид, так і оксид цинку. Показано, що всі зразки Zn-Al – Orange Yellow S пігменту, отримані при pH 8 і 11 та співвідношеннях Zn:Al=4:1 і Zn:Al=2:1, мають високі пігментні характеристики та є перспективними для використанні в гель-лаці. Зразки гель-лаку із синтезованими пігментами мають червоно-оранжевий колір (тон кольору 595–604 нм) із високою монохроматичністю (чистота кольору 63–75 %) та насиченістю кольору (48,7–58,3).

Ключові слова: Zn-Al подвійно-шаровий гідроксид, пігмент, інтеркалювання, гель-лак, Orange Yellow S.