

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.255482

DEFINITION OF THE ROLE OF POLYVINYL ALCOHOL DURING FORMATION AND IN THE STRUCTURE OF CATHODIC SYNTHESIZED COMPOSITE ELECTROCHROMIC NICKEL HYDROXIDE LAYER: TEMPLATE OR SURFACTANT (p. 6–14)

Vadym Kovalenko

Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8012-6732>

Valerii Kotok

Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8879-7189>

Oleksandra Zima

Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4994-7014>

Rovil Nafeev

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2721-9718>

Volodymyr Verbitskiy

National Pedagogical Dragomanov University, Kyiv, Ukraine
National Ecological and Naturalistic Center for Student Youth,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7045-8293>

Olena Melnyk

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5763-0431>

One of the promising applications of nickel hydroxide is electrochemical electrochromic devices. To significantly improve the characteristics, the role of polyvinyl alcohol (PVA) in the synthesis and structure of composite Ni(OH)₂-PVA films was investigated by studying the effect of its concentration (30, 40, 50 g/l) and polymerization degree (17-99, 24-99, 30-99 types). Adhesion was investigated visually, and electrochemical and electrochromic properties – by cyclic voltammetry with simultaneous recording of optical characteristics. It was shown that at a concentration of 30 g/l, the film peeled off and had weak electrochemical and electrochromic properties. The presence of two cathodic peaks ($E=500-510$ mV and $E=560$ mV) on the cyclic voltammetry showed the presence of nickel hydroxide in the PVA matrix and nickel hydroxide with adsorbed PVA. This indicates the dual role of PVA as a surfactant and as a template. At low concentrations, the role of PVA as a surfactant prevailed. Increasing the concentration led to an increase in the film characteristics by strengthening the role of PVA as a template: at 50 g/l, the film did not peel off and has good electrochemical and electrochromic characteristics.

It is shown that at a low degree of polymerization, PVA (17-99 type) mainly played the role of a surfactant but was also a template. The film cracked and had mediocre characteristics. The use of medium polymerization PVA (24-99 type) gave a film with high adhesion, electrochemical and electrochromic characteristics. It is shown that in this case, PVA performed the function of a template, there was only one cathodic peak on the voltammogram at $E=500-510$ mV. It was found that the use of PVA with a high degree

of polymerization (30-99 type) led to a significant deterioration of the characteristics, including complete peeling of the film. This is probably due to the loss of PVA in the film.

Keywords: nickel hydroxide, electrochromic film, polyvinyl alcohol, template, surfactant, degree of polymerization.

References

- Hall, D. S., Lockwood, D. J., Bock, C., MacDougall, B. R. (2015). Nickel hydroxides and related materials: a review of their structures, synthesis and properties. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 471 (2174), 20140792. doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.2014.0792>
- Kovalenko, V., Kotok, V., Yeroshkina, A., Zaychuk, A. (2017). Synthesis and characterisation of dyeintercalated nickelaluminium layereddouble 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>
- 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>
- Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). The effect of template residual content on supercapacitive characteristics of Ni(OH)₂, obtained by template homogeneous precipitation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (101)), 29–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.181020>
- Kotok, V., Kovalenko, V. (2017). The properties investigation of the faradaic supercapacitor electrode formed on foamed nickel substrate with polyvinyl alcohol using. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (88)), 31–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108839>
- Fomanyuk, S. S., Kolbasov, G. Y., Chernii, V. Y., Tretyakova, I. N. (2017). Gasochromic α,β -Ni(OH)₂ films for the determination of CO and chlorine content. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 244, 717–726. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.01.062>
- Mironyak, M., Volnyanska, O., Labyak, O., Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Development of a potentiometric sensor sensitive to polysorbate 20. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 3–9. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00942>
- Fomanyuk, S. S., Krasnov, Y. S., Kolbasov, G. Y. (2013). Kinetics of electrochromic process in thin films of cathodically deposited nickel hydroxide. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 17 (10), 2643–2649. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-013-2169-1>
- Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). A study of multilayered electrochromic platings based on nickel and cobalt hydroxides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (91)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121679>
- Araceli, M., Vidales-Hurtado, Mendoza, A. (2006). Electrochromic Nickel Hydroxide Thin Films Chemically Deposited. *MRS Proceedings*, 972. doi: <https://doi.org/10.1557/proc-0972-aa09-08>
- Vidales-Hurtado, M. A., Mendoza-Galván, A. (2014). Electrochromic Properties of Nanoporous α and β Nickel Hydroxide Thin Films Obtained by Chemical Bath Deposition. *Journal of Nano Research*, 28, 63–72. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jnanor.28.63>
- Torresi, R. M., Vázquez, M. V., Gorenstein, A., de Torresi, S. I. C. (1993). Infrared characterization of electrochromic nickel hydroxide prepared by homogeneous chemical precipitation. *Thin Sol-*

- id Films, 229 (2), 180–186. doi: [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(93\)90361-r](https://doi.org/10.1016/0040-6090(93)90361-r)
13. Liu, J., Chiam, S. Y., Pan, J., Wong, L. M., Li, S. F. Y., Ren, Y. (2018). Solution layer-by-layer uniform thin film dip coating of nickel hydroxide and metal incorporated nickel hydroxide and its improved electrochromic performance. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 185, 318–324. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.05.044>
 14. Al-Kahlout, A., Pawlicka, A., Aegerter, M. (2006). Brown coloring electrochromic devices based on NiO–TiO₂ layers. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90 (20), 3583–3601. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2006.06.053>
 15. Jiao, Z., Wu, M., Qin, Z., Xu, H. (2003). The electrochromic characteristics of sol-gel-prepared NiO thin film. *Nanotechnology*, 14 (4), 458–461. doi: <https://doi.org/10.1088/0957-4484/14/4/310>
 16. Dalavi, D. S., Devan, R. S., Patil, R. S., Ma, Y.-R., Patil, P. S. (2013). Electrochromic performance of sol-gel deposited NiO thin film. *Materials Letters*, 90, 60–63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.08.108>
 17. Martini, M., Brito, G. E. S., Fantini, M. C. A., Craievich, A. F., Goreinstein, A. (2001). Electrochromic properties of NiO-based thin films prepared by sol-gel and dip coating. *Electrochimica Acta*, 46 (13-14), 2275–2279. doi: [https://doi.org/10.1016/s0013-4686\(01\)00396-6](https://doi.org/10.1016/s0013-4686(01)00396-6)
 18. Ferreira, F. (1996). Electrochromic nickel oxide thin films deposited under different sputtering conditions. *Solid State Ionics*, 86-88, 971–976. doi: [https://doi.org/10.1016/0167-2738\(96\)00236-6](https://doi.org/10.1016/0167-2738(96)00236-6)
 19. Chen, Y., Deng, H., Xu, Z., Luo, D., Zhu, Y., Zhao, S. (2014). Electrochromic Properties of Ni-W Oxide Thin Films by Reactive Magnetron Sputtering. *Energy Procedia*, 57, 1834–1841. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.047>
 20. Crnjak Orel, Z., Hutchins, M. G., McMeeking, G. (1993). The electrochromic properties of hydrated nickel oxide films formed by colloidal and anodic deposition. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 30 (4), 327–337. doi: [https://doi.org/10.1016/0927-0248\(93\)90110-o](https://doi.org/10.1016/0927-0248(93)90110-o)
 21. Sonavane, A. C., Inamdar, A. I., Shinde, P. S., Deshmukh, H. P., Patil, R. S., Patil, P. S. (2010). Efficient electrochromic nickel oxide thin films by electrodeposition. *Journal of Alloys and Compounds*, 489 (2), 667–673. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.09.146>
 22. Chen, N., Su, G., Liu, W., et al. (2014). Electrodeposition and properties of Mn-doped NiO thin films. *Journal of Materials Engineering*, 11, 67–72.
 23. Umeokwonna, N. S., Ekpunobi, A. J., Ekwo, P. I. (2015). Effect of cobalt doping on the optical properties of nickel cobalt oxide nanofilms deposited by electrodeposition method. *International Journal of Technical Research and Applications*, 4 (3), 347–351. Available at: <https://www.ijtra.com/view/effect-of-cobalt-doping-on-the-optical-properties-of-nickel-cobalt-oxide-nanofilms-deposited-by-electrodeposition-method.pdf?paper=effect-of-cobalt-doping-on-the-optical-properties-of-nickel-cobalt-oxide-nanofilms-deposited-by-electrodeposition-method.pdf>
 24. Liao, C.-C. (2012). Lithium-driven electrochromic properties of electrodeposited nickel hydroxide electrodes. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 99, 26–30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.12.001>
 25. Niklasson, G. A., Wen, R.-T., Qu, H.-Y., Arvizu, M. A., Granqvist, C.-G. (2017). (Invited) Durability of Electrochromic Films: Aging Kinetics and Rejuvenation. *ECS Transactions*, 77 (11), 1659–1669. doi: <https://doi.org/10.1149/07711.1659ecst>
 26. Qu, H.-Y., Primetzhof, D., Arvizu, M. A., Qiu, Z., Cindemir, U., Granqvist, C. G., Niklasson, G. A. (2017). Electrochemical Rejuvenation of Anodically Coloring Electrochromic Nickel Oxide Thin Films. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9 (49), 42420–42424. doi: <https://doi.org/10.1021/acssami.7b13815>
 27. Jayashree, R. S., Kamath, P. V. (1999). Factors governing the electrochemical synthesis of α -nickel (II) hydroxide. *Journal of Applied Electrochemistry*, 29 (4), 449–454. doi: <https://doi.org/10.1023/a:1003493711239>
 28. Ragan, D. D., Svedlindh, P., Granqvist, C. G. (1998). Electrochromic Ni oxide films studied by magnetic measurements. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 54 (1-4), 247–254. doi: [https://doi.org/10.1016/s0927-0248\(98\)00076-2](https://doi.org/10.1016/s0927-0248(98)00076-2)
 29. Burmistr, M. V., Boiko, V. S., Lipko, E. O., Gerasimenko, K. O., Gomza, Y. P., Vesnin, R. L. et al. (2014). Antifriction and Construction Materials Based on Modified Phenol-Formaldehyde Resins Reinforced with Mineral and Synthetic Fibrous Fillers. *Mechanics of Composite Materials*, 50 (2), 213–222. doi: <https://doi.org/10.1007/s11029-014-9408-0>
 30. 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>
 31. Kotok, V. A., Kovalenko, V. L., Kovalenko, P. V., Solovov, V. A., Deabate, S., Mehdi, A. et al. (2017). Advanced electrochromic Ni(OH)₂/PVA films formed by electrochemical template synthesis. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12 (13), 3962–3977.
 32. Tan, Y., Srinivasan, S., Choi, K.-S. (2005). Electrochemical Deposition of Mesoporous Nickel Hydroxide Films from Dilute Surfactant Solutions. *Journal of the American Chemical Society*, 127 (10), 3596–3604. doi: <https://doi.org/10.1021/ja0434329>
 33. Gu, W., Liao, L. S., Cai, S. D., Zhou, D. Y., Jin, Z. M., Shi, X. B., Lei, Y. L. (2012). Adhesive modification of indium-tin-oxide surface for template attachment for deposition of highly ordered nanostructure arrays. *Applied Surface Science*, 258 (20), 8139–8145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.05.009>
 34. Kotok, V., Kovalenko, V. (2020). A study of the influence of polyvinyl pyrrolidone concentration in the deposition electrolyte on the properties of electrochromic Ni(OH)₂ films. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (6 (106)), 31–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210857>
 35. Thomas, D., Cebe, P. (2016). Self-nucleation and crystallization of polyvinyl alcohol. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 127 (1), 885–894. doi: <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5811-1>
 36. Aslam, M., Kalyar, M. A., Raza, Z. A. (2018). Polyvinyl alcohol: A review of research status and use of polyvinyl alcohol based nanocomposites. *Polymer Engineering & Science*, 58 (12), 2119–2132. doi: <https://doi.org/10.1002/pen.24855>
 37. Chana, J., Forbes, B., Jones, S. A. (2008). The Synthesis of High Molecular Weight Partially Hydrolysed Poly(vinyl alcohol) Grades Suitable for Nanoparticle Fabrication. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 8 (11), 5739–5747. doi: <https://doi.org/10.1166/jnn.2008.475>
 38. Dunn, A. S., Naravane, S. R. (1980). Structural Differences Between Similar Commercial Grades of Polyvinyl Alcohol-Acetate. *British Polymer Journal*, 12 (2), 75–77. doi: <https://doi.org/10.1002/pi.4980120207>
 39. Kawakami, H., Mori, N., Kawashima, K., Sumi, M. (1963). The relationship between manufacturing conditions of polyvinyl alcohol and the properties polyvinyl alcohol fibers. *Sen'i Gakkaishi*, 19 (3), 192–197. doi: <https://doi.org/10.2115/fiber.19.192>
 40. Henderson, B., Loveridge, N., Robertson, W. R. (1978). A quantitative study of the effects of different grades of polyvinyl alcohol on the activities of certain enzymes in unfixed tissue sections. *The Histochemical Journal*, 10 (4), 453–463. doi: <https://doi.org/10.1007/bf01003008>
 41. Brough, C., Miller, D. A., Keen, J. M., Kucera, S. A., Lubda, D., Williams, R. O. (2015). Use of Polyvinyl Alcohol as a Solubility-Enhancing Polymer for Poorly Water Soluble Drug Delivery (Part 1).

- AAPS PharmSciTech, 17 (1), 167–179. doi: <https://doi.org/10.1208/s12249-015-0458-y>
42. Niu, C., Wu, X., Ren, W., Chen, X., Shi, P. (2015). Mechanical properties of low k SiO₂ thin films templated by PVA. *Ceramics International*, 41, S365–S369. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.03.242>
 43. Ecsedi, Z., Lazău, I., Păcurariu, C. (2007). Synthesis of mesoporous alumina using polyvinyl alcohol template as porosity control additive. *Processing and Application of Ceramics*, 1 (1-2), 5–9. doi: <https://doi.org/10.2298/pac0702005e>
 44. Pon-On, W., Meejoo, S., Tang, I.-M. (2008). Formation of hydroxyapatite crystallites using organic template of polyvinyl alcohol (PVA) and sodium dodecyl sulfate (SDS). *Materials Chemistry and Physics*, 112 (2), 453–460. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2008.05.082>
 45. Miyake, K., Hirota, Y., Uchida, Y., Nishiyama, N. (2016). Synthesis of mesoporous MFI zeolite using PVA as a secondary template. *Journal of Porous Materials*, 23 (5), 1395–1399. doi: <https://doi.org/10.1007/s10934-016-0199-7>
 46. Wanchanthu, R., Thapol, A. (2011). The Kinetic Study of Methylene Blue Adsorption over MgO from PVA Template Preparation. *Journal of Environmental Science and Technology*, 4 (5), 552–559. doi: <https://doi.org/10.3923/jest.2011.552.559>
 47. Parkhomchuk, E. V., Sashkina, K. A., Rudina, N. A., Kulikovskaya, N. A., Parmon, V. N. (2013). Template synthesis of 3D-structured macroporous oxides and hierarchical zeolites. *Catalysis in Industry*, 5 (1), 80–89. doi: <https://doi.org/10.1134/s2070050412040150>
 48. Kabita, B. et. al. (2015). Polypyrrole Nanonetwork Embedded in Polyvinyl Alcohol as Ammonia Gas Sensor. *Res. J. Chem. Sci.*, 5 (5), 61–68.
 49. 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>
 50. Kovalenko, V., Kotok, V. (2017). Study of the influence of the template concentration under homogeneous preprecipitation on the properties of Ni(OH)₂ for supercapacitors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (6 (88)), 17–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.106813>
 51. Kovalenko, V., Kotok, V. (2018). Synthesis of Ni(OH)₂ by template homogeneous precipitation for application in the binderfree electrode of supercapacitor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(12 (94)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.140899>
 52. Kovalenko, V., Kotok, V. (2021). Synthesis of Ni(OH)₂, suitable for supercapacitor application, by the cold template homogeneous precipitation method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(6 (110)), 45–51. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227952>
 53. Kotok, V., Kovalenko, V. (2017). The electrochemical cathodic template synthesis of nickel hydroxide thin films for electrochromic devices: role of temperature. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (11 (86)), 28–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.97371>
 54. 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. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9 (13), 3076–3086.
 55. Kotok, V., Kovalenko, V. (2021). Definition of the influence of pulsed deposition modes on the electrochromic properties of Ni(OH)₂-polyvinyl alcohol films. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (111)), 53–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233510>
 56. Kotok, V. A., Kovalenko, V. L., Zima, A. S., Kirillova, E. A., Burkov, A. A., Kobylinska, N. G., et. al. (2019). Optimization of electrolyte composition for the cathodic template deposition of Ni(OH)₂-based electrochromic films on FTO glass. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14 (2), 344–353.
 57. Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). A study of the effect of tungstate ions on the electrochromic properties of Ni(OH)₂ films. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (95)), 18–24. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.145223>
 58. Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). Investigation of the properties of Ni(OH)₂ electrochromic films obtained in the presence of different types of polyvinyl alcohol. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (6 (94)), 42–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.140560>
 59. POVAL (PVOH). Available at: <https://www.j-vp.co.jp/english/pva>
 60. Basic Physical Properties of PVOH Resin. Available at: https://www.kuraray-poval.com/fileadmin/technical_information/brochures/poval/kuraray_poval_basic_physical_properties_web.pdf

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.255145

SYNTHESIS OF TITANIUM DIOXIDE NANOTUBE DERIVED FROM ILMENITE MINERAL THROUGH POST-HYDROTHERMAL TREATMENT AND ITS PHOTOCATALYTIC PERFORMANCE (p. 15–29)

Ahmad Fauzi

Universitas Indonesia (UI), Beji, Kota Depok,
Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8846-1124>

Latifa Hanum Lalasari

National Research and Innovation Agency (BRIN),
Tangerang Selatan, Indonesia

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

Nofrijon Sofyan

Universitas Indonesia (UI), Beji, Kota Depok,
Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7814-9022>

Alfian Ferdiansyah

Universitas Indonesia (UI), Beji, Kota Depok,
Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1683-9401>

Donanta Dhaneswara

Universitas Indonesia (UI), Beji, Kota Depok,
Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6667-8058>

Akhmad Herman Yuwono

Universitas Indonesia (UI), Beji, Kota Depok,
Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9887-6446>

Ilmenite (FeTiO₃) is a suitable mineral to produce titanium dioxide (TiO₂) for photocatalyst applications. Therefore, this research was conducted to synthesize TiO₂ material from titanium oxysulfate (TiOSO₄) extracted from Indonesia local ilmenite mineral (FeTiO₃) and to modify this material into TiO₂ nanotubes through a hydrothermal process at 150 °C for 24 hours followed by a post-hydrothermal treatment with temperature variations of 80, 100, 120, and 150 °C for 12 hours. The purpose was to investigate the effect of the post-hydrothermal variations on the crystal structure, morphology, and optical properties of the TiO₂ nanotubes produced. It was discovered from the scanning electron microscopy (SEM) observations that the TiO₂ nanotube was successfully derived from the ilmenite precursor. Moreover, the X-Ray diffraction (XRD) analysis

of the nanotube crystal structure showed that post-hydrothermal treatment enhanced the crystallinity of the anatase TiO₂ phase even though the sodium titanate phase was observed to exist in the structure. The increase in the post-hydrothermal temperature from 80 to 150 °C was also discovered to have led to:

1) a reduction in the unit cell volume from 136.37 to 132.31 Å³ and a decrease in the lattice constant *c* from 9.519 to 9.426 Å;

2) an increase in density from 7.783 to 8.081 gr/cm³ as well as in the crystallite size from 19.185 to 25.745 nm;

3) a decrease in the bandgap energy (*E_g*), from 3.33 to 3.02 eV.

These characteristics further indicate the ability of the photocatalytic performance of the nanotubes to enhance the degradation efficiency from 87.69 to 97.11 %. This means the TiO₂ nanotubes extracted from local FeTiO₃ can provide the expected crystal structure and photocatalytic performance.

Keywords: TiO₂ nanotube, post-hydrothermal, crystallite size, bandgap energy, photocatalytic, ilmenite mineral.

References

- Al-Mamun, M. R., Kader, S., Islam, M. S., Khan, M. Z. H. (2019). Photocatalytic activity improvement and application of UV-TiO₂ photocatalysis in textile wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7 (5), 103248. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103248>
- Peralta-Zamora, P., Kunz, A., de Moraes, S. G., Pelegrini, R., de Campos Moleiro, P., Reyes, J., Duran, N. (1999). Degradation of reactive dyes I. A comparative study of ozonation, enzymatic and photochemical processes. *Chemosphere*, 38 (4), 835–852. doi: [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(98\)00227-6](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(98)00227-6)
- Gardiner, D. K., Borne, B. J. (1978). Textile Waste Waters: Treatment and Environmental Effects. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 94 (8), 339–348. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.1978.tb03420.x>
- Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., Ahmad, A. (2010). Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 177 (1-3), 70–80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.047>
- Chen, D., Cheng, Y., Zhou, N., Chen, P., Wang, Y., Li, K. et. al. (2020). Photocatalytic degradation of organic pollutants using TiO₂-based photocatalysts: A review. *Journal of Cleaner Production*, 268, 121725. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121725>
- Humayun, M., Raziq, F., Khan, A., Luo, W. (2018). Modification strategies of TiO₂ for potential applications in photocatalysis: a critical review. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 11 (2), 86–102. doi: <https://doi.org/10.1080/17518253.2018.1440324>
- Nguyen, V. N., Nguyen, N. K. T., Nguyen, P. H. (2011). Hydrothermal synthesis of Fe-doped TiO₂ nanostructure photocatalyst. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 2 (3), 035014. doi: <https://doi.org/10.1088/2043-6262/2/3/035014>
- Liu, N., Chen, X., Zhang, J., Schwank, J. W. (2014). A review on TiO₂-based nanotubes synthesized via hydrothermal method: Formation mechanism, structure modification, and photocatalytic applications. *Catalysis Today*, 225, 34–51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2013.10.090>
- Vu, T. H. T., Au, H. T., Tran, L. T., Nguyen, T. M. T., Tran, T. T. T., Pham, M. T. et. al. (2014). Synthesis of titanium dioxide nanotubes via one-step dynamic hydrothermal process. *Journal of Materials Science*, 49 (16), 5617–5625. doi: <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8274-4>
- Kasuga, T., Hiramoto, M., Hoson, A., Sekino, T., Niihara, K. (1999). Titania nanotubes prepared by chemical processing. *Advanced Materials*, 11 (15), 1307–1311. doi: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1521-4095\(199910\)11:15<1307::aid-adma1307>3.0.co;2-h](https://doi.org/10.1002/(sici)1521-4095(199910)11:15<1307::aid-adma1307>3.0.co;2-h)
- Yuwono, A. H., Ferdiansyah, A., Sofyan, N., Kartini, I., Pujiyanto, T. H., Iskandar, F., Abdullah, M. (2011). TiO₂ Nanotubes of Enhanced Nanocrystallinity and Well-Preserved Nanostructure by Pre-Annealing and Post-Hydrothermal Treatments. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.3667246>
- Samal, S., Mohapatra, B. K., Mukherjee, P. S. (2010). The Effect of Heat Treatment on Titania Slag. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 09 (09), 795–809. doi: <https://doi.org/10.4236/jmmce.2010.99057>
- Subagja, R., Andriyah, L., Lalasari, L. H. (2013). Titanium Dissolution from Indonesian Ilmenite. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, 13, 97–103. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.658.6995&rep=rep1&type=pdf>
- Mackey, T. S. (1994). Upgrading ilmenite into a high-grade synthetic rutile. *JOM*, 46 (4), 59–64. doi: <https://doi.org/10.1007/bf03220676>
- Liang, B., Li, C., Zhang, C., Zhang, Y. (2005). Leaching kinetics of Panzhihua ilmenite in sulfuric acid. *Hydrometallurgy*, 76 (3-4), 173–179. doi: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2004.10.006>
- Ponaryadov, A. V., Kotova, O. B., Tihitih, M., Sun, S. (2020). Natural titanium dioxide nanotubes. *Epitoanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials*, 72 (5), 152–155. doi: <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2020.25>
- Rohmawati, L., Istiqomah, Wulanchayani, E., Haefdea, A., Setyaningsih, W. (2020). Nanocrystalline Titanium Dioxide Nanotube (TDN) by Hydrothermal Method From Tulungagung Mineral Sand. *Proceedings of the International Conference on Research and Academic Community Services (ICRACOS 2019)*. doi: <https://doi.org/10.2991/icracos-19.2020.22>
- Ranjitha, A., Muthukumarasamy, N., Thambidurai, M., Velauthapillai, D., Agilan, S., Balasundaraprabhu, R. (2015). Effect of reaction time on the formation of TiO₂ nanotubes prepared by hydrothermal method. *Optik*, 126 (20), 2491–2494. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jijleo.2015.06.022>
- Camposeco, R., Castillo, S., Navarrete, J., Gomez, R. (2016). Synthesis, characterization and photocatalytic activity of TiO₂ nanostructures: Nanotubes, nanofibers, nanowires and nanoparticles. *Catalysis Today*, 266, 90–101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2015.09.018>
- López Zavala, M. Á., Lozano Morales, S. A., Ávila-Santos, M. (2017). Synthesis of stable TiO₂ nanotubes: effect of hydrothermal treatment, acid washing and annealing temperature. *Heliyon*, 3 (11), e00456. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00456>
- Zulfiqar, M., Omar, A. A., Chowdhury, S. (2016). Synthesis and characterization of single-layer TiO₂ nanotubes. *Advanced Materials Research*, 1133, 501–504. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1133.501>
- Cullity, B. (1978). *Elements of X-Ray Diffraction*. Addison Wesley.
- Tauc, J., Grigorovici, R., Vancu, A. (1966). Optical Properties and Electronic Structure of Amorphous Germanium. *Physica Status Solidi (b)*, 15 (2), 627–637. doi: <https://doi.org/10.1002/pssb.19660150224>
- Viet, P. V., Huy, T. H., You, S.-J., Hieu, L. V., Thi, C. M. (2018). Hydrothermal synthesis, characterization, and photocatalytic activity of silicon doped TiO₂ nanotubes. *Superlattices and Microstructures*, 123, 447–455. doi: <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2018.09.035>
- Kumar, K. V., Porkodi, K., Rocha, F. (2008). Langmuir–Hinshelwood kinetics – A theoretical study. *Catalysis Communications*, 9 (1), 82–84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2007.05.019>
- Rezaee, M., Mousavi Khoie, S. M., Liu, K. H. (2011). The role of brookite in mechanical activation of anatase-to-rutile transformation of nanocrystalline TiO₂: An XRD and Raman spectroscopy study.

- copy investigation. *CrystEngComm*, 13 (16), 5055. doi: <https://doi.org/10.1039/c1ce05185g>
27. Yang, J., Jin, Z., Wang, X., Li, W., Zhang, J., Zhang, S. et al. (2003). Study on composition, structure and formation process of nano-tube $\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{O}_4(\text{OH})_2$. *Dalton Transactions*, 20, 3898. doi: <https://doi.org/10.1039/b305585j>
 28. Yuwono, A. H., Sofyan, N., Kartini, I., Ferdiansyah, A., Pujiyanto, T. H. (2011). Nanocrystallinity enhancement of TiO_2 nanotubes by post-hydrothermal treatment. *Advanced Materials Research*, 277, 90–99. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.277.90>
 29. Djerdj, I., Tonejc, A. M. (2006). Structural investigations of nanocrystalline TiO_2 samples. *Journal of Alloys and Compounds*, 413 (1-2), 159–174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2005.02.105>
 30. Yuwono, A. H., Liu, B., Xue, J., Wang, J., Elim, H. I., Ji, W. et al. (2004). Controlling the crystallinity and nonlinear optical properties of transparent TiO_2 -PMMA nanohybrids. *J. Mater. Chem.*, 14 (20), 2978–2987. doi: <https://doi.org/10.1039/b403530e>
 31. An, Y., Li, Z., Xiang, H., Huang, Y., Shen, J. (2011). First-principle calculations for electronic structure and bonding properties in layered $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$. *Open Physics*, 9 (6). doi: <https://doi.org/10.2478/s11534-011-0072-x>
 32. Moradi, V., Jun, M. B. G., Blackburn, A., Herring, R. A. (2018). Significant improvement in visible light photocatalytic activity of Fe doped TiO_2 using an acid treatment process. *Applied Surface Science*, 427, 791–799. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.09.017>
 33. Asiltürk, M., Sayılkan, E., Arpaç, E. (2009). Effect of Fe^{3+} ion doping to TiO_2 on the photocatalytic degradation of Malachite Green dye under UV and vis-irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 203 (1), 64–71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2008.12.021>
 34. Latifa, H., Yuwono, A. H., Firdiyono, F., Rochman, N. T., Harjanto, S., Suharno, B. (2013). Controlling the Nanostructural Characteristics of TiO_2 Nanoparticles Derived from Ilmenite Mineral of Bangka Island through Sulfuric Acid Route. *Applied Mechanics and Materials*, 391, 34–40. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.391.34>
 35. Chen, W., Guo, X., Zhang, S., Jin, Z. (2007). TEM study on the formation mechanism of sodium titanate nanotubes. *Journal of Nanoparticle Research*, 9 (6), 1173–1180. doi: <https://doi.org/10.1007/s11051-006-9190-6>
 36. Morgan, D. L., Triani, G., Blackford, M. G., Raftery, N. A., Frost, R. L., Waclawik, E. R. (2011). Alkaline hydrothermal kinetics in titanate nanostructure formation. *Journal of Materials Science*, 46 (2), 548–557. doi: <https://doi.org/10.1007/s10853-010-5016-0>
 37. Sreekantan, S., Wei, L. C. (2010). Study on the formation and photocatalytic activity of titanate nanotubes synthesized via hydrothermal method. *Journal of Alloys and Compounds*, 490 (1-2), 436–442. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.10.030>
 38. Kotani, Y., Matsuda, A., Kogure, T., Tatsumisago, M., Minami, T. (2001). Effects of Addition of Poly(ethylene glycol) on the Formation of Anatase Nanocrystals in SiO_2 - TiO_2 Gel Films with Hot Water Treatment. *Chemistry of Materials*, 13 (6), 2144–2149. doi: <https://doi.org/10.1021/cm001419r>
 39. Wang, L.-Q., Baer, D. R., Engelhard, M. H., Shultz, A. N. (1995). The adsorption of liquid and vapor water on $\text{TiO}_2(110)$ surfaces: the role of defects. *Surface Science*, 344 (3), 237–250. doi: [https://doi.org/10.1016/0039-6028\(95\)00859-4](https://doi.org/10.1016/0039-6028(95)00859-4)
 40. Reza, K. M., Kurny, A., Gulshan, F. (2015). Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO_2 : a review. *Applied Water Science*, 7 (4), 1569–1578. doi: <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0367-y>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.255331

IMPROVING THE PROPERTY OF WEAR RATE AND HARDNESS BY ADDING HYBRID NANOMATERIALS TO AA7075 (p. 30–36)

Ali Yousuf Khenyab

Al-Salam University, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9470-417X>

Raad Mohammed Abed

Ministry of Higher Education and Scientific Research,

Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0112-8327>

Ali Raad Hassan

University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8021-4479>

Hussain Jasim M. Al-Alkawi

Bilad Alrafidain University, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2497-3400>

Aluminum alloys have become an essential material in many modern applications, such as automobiles, marines and aviation industries. It is expected that more applications will heavily depend on aluminum alloys to reduce the weight and maintain safety standards, many previous studies have done in this regard. Numerous of these applications' parts could be subjected to different loading and environmental conditions. This includes wearing stress and loss of the surface properties. To address these issues, intensive researches have been conducted aiming to improve aluminum wear resistance. However, there is an increasing demand to provide a comprehensive understanding of the mechanisms of enhancing wear resistance. Preparation of nano-materials combined with aluminum alloy can be made in several known metallurgical methods. One of the most important difficulties and challenges faced in the manufacture of these nano-materials is to obtain a homogeneous mixture that does not have manufacturing defects. The present work aims to process and evaluate the Nano-hybrid composites of with different ratios of (Cu+Ti) mixed with AA7075 by using the liquid stir casting method by using (pin-on-disc) wear testing apparatus.

The results showed when using multiple speeds and different loads in practical experiments, that the volumetric wear loss increase from 2.8 mm^3 to 29.89 mm^3 for zero-Nano and from 0.889 mm^3 to 3.09 mm^3 for 0.8%+0.3% (Cu+Ti) composite at speed 100 to 300 respectively. And from 12.81 mm^3 to 0.889 mm^3 at 25N. The coefficient of friction is reduced with the addition of reinforced material at 0.8%+0.3% (Cu+Ti) composite from 0.172 to 0.05. The hardness (BH) of the prepared composites increases with increasing the amount of hybrid Nano-reinforced materials. The enhancement percentage of 25.4% is attained compared to the matrix material. These additions, which were in certain proportions, improved the mechanical properties.

Keywords: AA7075, nano-hybrid material, wear rate, coefficient of friction, hardness test.

References

1. Sajjadi, S. A., Ezatpour, H. R., Beygi, H. (2011). Microstructure and mechanical properties of Al- Al_2O_3 micro and nano composites fabricated by stir casting. *Materials Science and Engineering: A*, 528 (29-30), 8765–8771. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.08.052>
2. Krishna, M. V., Xavier, A. M. (2014). An Investigation on the Mechanical Properties of Hybrid Metal Matrix Composites. *Procedia Engineering*, 97, 918–924. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.367>

3. Tang, D., Liu, Y., Li, J., Liu, X., Zhou, Q. (2018). Microstructure refinement and magnetic properties enhancement for nanocomposite $\text{RE}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ alloys by Zr additions. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 460, 263–267. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2018.04.013>
4. Li, W., Li, H., Zhu, S., Cui, L. (2018). Simultaneously improved corrosion resistance and magnetic properties of $\alpha\text{-Fe/Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ type nanocomposite magnets by interfacial modification. *Journal of Alloys and Compounds*, 762, 1–7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.05.137>
5. Maleki, A., Taherizadeh, A. R., Issa, H. K., Niroumand, B., Alalfchian, A. R., Ghaei, A. (2018). Development of a new magnetic aluminum matrix nanocomposite. *Ceramics International*, 44 (13), 15079–15085. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.05.141>
6. Wu, Q., Yu, Z., Wu, Y., Gao, Z., Xie, H. (2018). The magnetic and photocatalytic properties of nanocomposites $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnFe}_2\text{O}_4$. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 465, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2018.05.098>
7. Yang, Q., Zhang, W., Yuan, M., Kang, L., Feng, J., Ouyang, J. (2018). Impact of phase dispersion on the magnetic property of a ceramic nanocomposite film. *Ceramics International*, 44 (12), 14323–14326. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.05.039>
8. Daboin, V., Briceño, S., Suárez, J., Gonzalez, G. (2018). Effect of the dispersing agent on the structural and magnetic properties of $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ nanocomposites. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 451, 502–506. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2017.08.043>
9. Vencl, A., Bobic, I., Arostegui, S., Bobic, B., Marinković, A., Babić, M. (2010). Structural, mechanical and tribological properties of A356 aluminium alloy reinforced with Al_2O_3 , SiC and SiC+graphite particles. *Journal of Alloys and Compounds*, 506 (2), 631–639. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.07.028>
10. Nanoshel. Available at: <https://www.nanoshel.com/>
11. Nanjing High Technology Nano Material Co. Available at: <http://www.htnano.com/en/gsj.htm>
12. Girisha, K. B., Chittappa, D. H. C. (2014). Wear performance and hardness property of A356.1 aluminium Alloy Reinforced with Zirconium Oxide Nano Particle. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 3 (6), 725–731.
13. David Raja Selvam, J., Dinaharan, I., Vibin Philip, S., Mashini, P. M. (2018). Microstructure and mechanical characterization of in situ synthesized $\text{AA6061}/(\text{TiB}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)$ hybrid aluminum matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 740, 529–535. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.01.016>
14. Khleif, A. A., Abdulsahib, Y. M., MutierHanon, M. (2017). Studying properties of AL-12wt % SI alloy reinforced with CeO_2 Nano powders prepared by powder metallurgy. *Iraqi journal of mechanical and material engineering*, 17 (1), 87–99. Available at: <https://www.iasj.net/iasj/download/8d95ccdeace48f74>
15. Ravindranath, V. M., Shiva Shankar, G. S., Basavarajappa, S., Sidesh Kumar, N. G. (2017). Dry sliding Wear Behavior of Hybrid aluminum Metal Matrix composite reinforced with Boron carbide and graphite particles. *Materials Today: Proceedings*, 4 (10), 11163–11167. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.08.082>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.255482

ВИЗНАЧЕННЯ РОЛІ ПОЛІВІНІЛОВОГО СПИРТУ ПРИ ФОРМУВАННІ ТА В СТРУКТУРІ КАТОДНО СИНТЕЗОВАНОГО КОМПОЗИТНОГО ЕЛЕКТРОХРОМНОГО ГІДРОКСИДНОНІКЕЛЕВОГО ШАРУ: ТЕМПЛАТ АБО ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНА РЕЧОВИНА (с. 6–14)

В. Л. Коваленко, В. А. Коток, О. С. Зіма, Р. К. Нафєєв, В. В. Вербицький, О. С. Мельник

Одним із перспективних напрямів використання гідроксиду нікелю є електрохімічні електрохромні пристрої. Для суттєвого покращення характеристик було досліджено роль полівінілового спирту (ПВС) при синтезі та в структурі композитних плівок $\text{Ni}(\text{OH})_2$ -ПВС шляхом вивчення впливу його концентрації (30, 40, 50 г/л) та ступеню полімеризації (типи 17-99, 24-99, 30-99). Адгезія досліджувалася візуально, електрохімічні та електрохромні властивості – методом циклічної вольтамперометрії із одночасною фіксацією оптичних характеристик. Показано, що при концентрації 30 г/л плівка відшаровується та має слабкі електрохімічні та електрохромні властивості. Наявність двох катодних піків ($E=500$ – 510 мВ і $E=560$ мВ) на циклічній вольтамперограмі показує наявність гідроксиду нікелю в матриці ПВС та гідроксиду нікелю з адсорбованим ПВС. Це вказує на подвійну роль ПВС – як ПАР та як темплата. При низьких концентраціях роль ПВС як ПАР превалює. Підвищення концентрації призводить до збільшення характеристик плівки за рахунок підсилення ролі ПВС як темплата: при 50 г/л плівка не відшаровується та має добрі електрохімічні та електрохромні характеристики.

Показано, що при низькому ступеню полімеризації ПВС (тип 17-99) переважно грає роль ПАР, однак також є темплатом. Плівка при цьому розтріскується та має посередні характеристики. Використання ПВС середнього ступеня полімеризації (тип 24-99) дозволяє отримати плівку з високими адгезійними, електрохімічними та електрохромними характеристиками. Показано, що в цьому випадку ПВС виконує функцію темплата, на вольтамперограмі є тільки один катодний пік при $E=500$ – 510 мВ. Виявлено, що використання ПВС з високим ступенем полімеризації (тип 30-99) призводить до суттєвого погіршення характеристик, в том числі до повного відшарування плівки. Ймовірно, це пов'язано із збитковою кількістю ПВС в плівці.

Ключові слова: гідроксид нікелю, електрохромна плівка, полівініловий спирт, темплат, ПАР, ступінь полімеризації.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.255145

СИНТЕЗ НАНОТРУБОК ДІОКСИДУ ТИТАНУ З МІНЕРАЛУ ІЛЬМЕНІТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОСТГІДРОТЕРМАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ТА ЇХНІ ФОТОКАТАЛІТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ (с. 15–29)

Ahmad Fauzi, Latifa Hanum Lalasari, Nofrijon Sofyan, Alfian Ferdiansyah, Donanta Dhaneswara, Akhmad Herman Yuwono

Ільменіт (FeTiO_3) є підходящим мінералом для отримання діоксиду титану (TiO_2) для фотокаталізаторів. Тому дане дослідження було проведено для синтезу матеріалу TiO_2 з оксисульфату титану (TiOSO_4), вилученого з місцевого індонезійського мінералу ільменіту (FeTiO_3) та модифікації цього матеріалу в нанотрубки TiO_2 за допомогою гідротермального процесу при 150 °C протягом 24 годин з подальшою постгідротермальною обробкою зі змінами температури 80, 100, 120 і 150 °C протягом 12 годин. Метою роботи було вивчення впливу постгідротермальних змін на кристалічну структуру, морфологію та оптичні властивості отриманих нанотрубок TiO_2 . За допомогою скануючої електронної мікроскопії (SEM) було виявлено, що нанотрубка TiO_2 була успішно отримана з попередника ільменіту. Крім того, рентгеноструктурний аналіз (РСА) кристалічної структури нанотрубки показав, що постгідротермальна обробка підвищує кристалічність фази анатазу TiO_2 , незважаючи на присутність у структурі фази титанату натрію. Було також виявлено, що підвищення постгідротермальної температури з 80 до 150 °C призвело до:

- 1) зменшення обсягу елементарної комірки з 136,37 до 132,31 Å³ та зменшення постійної решітки c з 9,519 до 9,426 Å;
- 2) збільшення щільності з 7,783 до 8,081 г/см³, а також розміру кристалітів з 19,185 до 25,745 нм;
- 3) зменшення ширини забороненої зони (E_g) з 3,33 до 3,02 еВ.

Дані властивості додатково вказують на здатність фотокаталітичних характеристик нанотрубок підвищувати ефективність розкладання з 87,69 до 97,11 %. Це означає, що нанотрубки TiO_2 , вилучені з місцевого FeTiO_3 , можуть забезпечити бажану кристалічну структуру та фотокаталітичні характеристики.

Ключові слова: нанотрубка TiO_2 , постгідротермальний, розмір кристалітів, ширина забороненої зони, фотокаталітичний, мінерал ільменіт.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.255331

ПОКРАЩЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗНОСУ І ТВЕРДОСТІ ШЛЯХОМ ДОДАВАННЯ ГІБРИДНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ В AA7075 (с. 30–36)

Ali Yousuf Khenyab, Raad Mohammed Abed, Ali Raad Hassan, Hussain J. Al-Alkawi

Алюмінієві сплави стали незамінним матеріалом у багатьох сучасних галузях, таких як автомобілі, суднобудування та авіація. Очікується, що більша кількість додатків значною мірою залежатиме від алюмінієвих сплавів для зниження ваги та дотримання стандартів безпеки, у цьому відношенні було проведено безліч попередніх досліджень. Деталі багатьох з цих

додатків можуть зазнавати різних навантажень та умов навколишнього середовища. Це включає навантаження на зношування та втрату властивостей поверхні. Для вирішення цих проблем було проведено інтенсивні дослідження, спрямовані на підвищення зносостійкості алюмінію. Проте зростає потреба у забезпеченні всебічного розуміння механізмів підвищення зносостійкості. Одержання наноматеріалів у поєднанні з алюмінієвим сплавом може здійснюватись кількома відомими металургійними методами. Однією з найважливіших труднощів та завдань, що виникають при виготовленні цих наноматеріалів, є отримання однорідної суміші, яка не має виробничих дефектів. Ця робота спрямована на обробку та оцінку наногібридних композитів з різними співвідношеннями (Cu+Ti), змішаних з AA7075, з використанням методу лиття з перемішуванням рідини з використанням пристрою для випробувань на знос (штифт на диску).

Результати показали, що при використанні кількох швидкостей та різних навантажень у практичних експериментах об'ємні втрати на знос збільшуються з $2,8 \text{ мм}^3$ до $29,89 \text{ мм}^3$ для нуль-нано та з $0,889 \text{ мм}^3$ до $3,09 \text{ мм}^3$ для $0,8\%+0,3\%$ (Cu+Ti) композиту за швидкості від 100 до 300 відповідно. І з $12,81 \text{ мм}^3$ до $0,889 \text{ мм}^3$ за 25Н. Коефіцієнт тертя знижується при додаванні армуючого матеріалу $0,8\% +0,3\%$ (Cu+Ti) композиту з 0,172 до 0,05. Твердість (ВН) отриманих композитів збільшується зі збільшенням кількості наноармованих гібридних матеріалів. Досягається відсоток покращення 25,4% порівняно з матричним матеріалом. Ці добавки у певних пропорціях покращували механічні властивості.

Ключові слова: AA7075, наногібридний матеріал, швидкість зношування, коефіцієнт тертя, випробування на твердість.