

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242503

**REVEALING SPECIFIC FEATURES OF STRUCTURE
FORMATION IN COMPOSITES BASED ON
NANOPOWDERS OF SYNTHESIZED ZIRCONIUM
DIOXIDE (p. 6–19)**

Edwin Gevorkyan

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0521-3577>

Volodymyr Nerubatskyi

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4309-601X>

Volodymyr Chyshkala

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8634-4212>

Oksana Morozova

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7397-2861>

Peculiarities of formation of microstructure in composites based on chemically synthesized zirconium nanopowders obtained by the method of decomposition from fluoride salts were considered. Hydrofluoric acid, concentrated nitric acid, aqueous ammonia solution, metallic zirconium, and polyvinyl alcohol were used. It was established that the reduction of porosity in nanopowders in the sintering process is the main problem in the formation of high-density materials.

Analysis of various initial nanopowders, their morphology, and features of sintering by the method of hot pressing with direct transmission of electric current was made. Peculiarities of obtaining the composites based on them with the addition of Al₂O₃ nanopowders applying the electric sintering method were considered. It was shown that the increase in the content of alumina nano additives leads to an increase in strength and crack resistance of the samples due to simultaneous inhibition of abnormal grain growth and formation of a finer structure with a high content of tetragonal phase.

The influence of sintering modes on the formation of the microstructure of zirconium nanopowders has been studied for different contents of alumina additives. Electric current promotes the surface activity of nanopowders and its variable value promotes partial fragmentation of agglomerated grains thus affecting the composite structure.

Physical-mechanical properties of the obtained samples, optimal compositions of mixtures, and possibilities of improving some parameters were determined. It was found that nanopowders of zirconium dioxide obtained by the method of decomposition from fluoride salts are quite suitable for the production of composite materials with high physical and mechanical properties. They can compete with imported analogs and enable obtaining of crack resistance of 7.8 MPa·m^{1/2} and strength of 820 MPa.

Keywords: zirconium dioxide, composite materials, consolidation, microstructure, alumina, sintering, crack resistance.

References

1. Gevorkyan, E. S., Vovk, R. V., Sofronov, D. S., Nerubatskyi, V. P., Morozova, O. M. (2021). The composite material based on synthesized zirconium oxide nanopowder for structural appliance. 17th Edition of Advanced Nano Materials. Aveiro, 267. Available at: <http://repo.knmu.edu.ua/handle/123456789/29324>
2. Von Steyern, P. V., Carlson, P., Nilner, K. (2005). All-ceramic fixed partial dentures designed according to the DC-Zirkon® technique. A 2-year clinical study. *Journal of Oral Rehabilitation*, 32 (3), 180–187. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2004.01437.x>
3. Chevalier, J., Gremillard, L., Deville, S. (2007). Low-Temperature Degradation of Zirconia and Implications for Biomedical Implants. *Annual Review of Materials Research*, 37 (1), 1–32. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.matsci.37.052506.084250>
4. Schmitt, J., Goellner, M., Wichmann, M., Reich, S. (2012). Zirconia posterior fixed partial dentures: 5-year clinical results of a prospective clinical trial. *The International journal of prosthodontics*, 25 (6), 585–589. Available at: https://www.researchgate.net/publication/232706570_Zirconia_Posterior_Fixed_Partial_Dentures_5-Year_Clinical_Results_of_a_Pro prospective_Clinical_Trial
5. Roe, P., Kan, J. Y. K., Rungcharassaeng, K., Won, J. B. (2011). Retrieval of a Fractured Zirconia Implant Abutment Using a Modified Crown and Bridge Remover: A Clinical Report. *Journal of Prosthodontics*, 20 (4), 315–318. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1532-849x.2011.00696.x>
6. Gevorkyan, E. S., Nerubatskyi, V. P., Mel'nik, O. M. (2010). Goryachee pressovanie nanoporoshkov sostava ZrO₂-5%Y₂O₃. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademiyi zaliznychnoho transportu*, 119, 106–110.
7. Hannink, R. H. J., Kelly, P. M., Muddle, B. C. (2004). Transformation Toughening in Zirconia-Containing Ceramics. *Journal of the American Ceramic Society*, 83 (3), 461–487. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.2000.tb01221.x>
8. Morozova, O. M., Timofeeva, L. A., Chyshkala, V. A., Gevorkyan, E. S., Nerubatskyi, V. P., Rutskyi, M. (2021). Improvement of metrological support of a new material composition based on zirconium dioxide. Abstracts of the 2nd International Scientific and Technical Conference «Intelligent Transport Technologies». Kharkiv: USURT, 154–155. Available at: <http://repo.knmu.edu.ua/handle/123456789/28604>
9. Chyshkala, V. O., Lytovchenko, S. V., Gevorkyan, E. S., Nerubatskyi, V. P., Morozova, O. M. (2021). Mastering the processes of synthesis of oxide compounds with the use of a powerful source of fast heating of the initial ingredients. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu*, 196, 118–128. Available at: https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2021/04/tht_zbirn_196.pdf
10. Marek, I. O., Ruban, O. K., Redko, V. P., Danylenko, M. I., Dudnik, O. V. (2017). Nanokrystalichni poroshky na osnovi ZrO₂ dlia vyhotovlennia kompozytiv, stiykykh do protsesu starinnia. *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*, 15 (1), 91–98. Available at: https://www.imp.kiev.ua/nanosys/media/pdf/2017/1/nano_vol15_iss1_p0091p0098_2017.pdf
11. Sokolov, I. E., Fomichev, V. V., Zakalyukin, R. M., Kopylova, E. V., Kumskov, A. S., Mozhchil, R. N., Ionov, A. M. (2021). Synthesis of nanosized zirconium dioxide, cobalt oxide and related phases in supercritical CO₂ fluid. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Khimiya Khimicheskaya Tekhnologiya*, 64 (5), 35–43. doi: <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216405.6060>
12. McLaren, E. A., Maharishi, A., White, S. N. (2021). Influence of yttria content and surface treatment on the strength of translucent zirconia materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.07.001>
13. Markandan, K., Chin, J. K., Tan, M. T. T. (2014). Study on Mechanical Properties of Zirconia-Alumina Based Ceramics. *Applied*

- Mechanics and Materials, 625, 81–84. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.625.81>
14. Boniecki, M., Sadowski, T., Gołębiewski, P., Węglarz, H., Piątkowska, A., Romaniec, M. et. al. (2020). Mechanical properties of alumina/zirconia composites. *Ceramics International*, 46 (1), 1033–1039. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.09.068>
 15. Li, Q., Hao, X., Gui, Y., Qiu, H., Ling, Y., Zheng, H. et. al. (2021). Controlled sintering and phase transformation of yttria-doped tetragonal zirconia polycrystal material. *Ceramics International*, 47 (19), 27188–27194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.06.139>
 16. Gevorkyan, E. S., Morozova, O. M., Sofronov, D. S., Chyshkala, V. A., Nerubatskiy, V. P. (2021). Composite material based on synthesized zirconium oxide nanopowders with enhanced mechanical properties. *International workshop for young scientists (ISMA–2021) «Functional materials for technical and biomedical applications»*. Kharkiv, 29. Available at: <http://repo.knmu.edu.ua/handle/123456789/29292>
 17. Gevorkyan, E. S., Morozova, O. M., Sofronov, D. S., Nerubatskiy, V. P., Ponomarenko, N. S. (2021). The formation of ZrO₂-Y₂O₃-nanoparticles from fluoride solutions. *II International Advanced Study Conference Condensed Matter and Low Temperature Physics 2021*. Kharkiv: FOP Brovin O. V., 190. Available at: <http://repo.knmu.edu.ua/handle/123456789/28791>
 18. Gevorkyan, E. S., Rucki, M., Kagramanyan, A. A., Nerubatskiy, V. P. (2019). Composite material for instrumental applications based on micro powder Al₂O₃ with additives nano-powder SiC. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 82, 336–339. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2019.05.010>
 19. Gevorkyan, E., Nerubatskiy, V., Gutsalenko, Y., Melnik, O., Voloshyna, L. (2020). Examination of patterns in obtaining porous structures from submicron aluminum oxide powder and its mixtures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (108)), 41–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216733>
 20. Bulychev, S. I., Alehin, V. P. (1990). *Ispytanie materialov nepreryvnym vдавlivanіem indentora*. Moscow: Mashinostroenie, 224.
 21. Radko, I., Marhon, M. (2016). Features of research of grip strength composite materials contact with electrical worn parts. *Machinery and Energetics*, 252, 176–185. Available at: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnika/article/view/8084/7735>
 22. GOST 25.506–85. Design, calculation and strength testing. Methods of mechanical testing of metals. Determination of fracture toughness characteristics under the static loading. Moscow: Izdatel'stvo standartov, 62. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200004652>
 23. Podrezov, Yu. M., Verbylo, D. G., Danylenko, V. I., Tsyganenko, N. I., Shurygin, B. V., Romanko, P. M. (2018). Express method for prediction of long-term strength and creep resistance of high-temperature titanium-based alloys. *Elektronnaya mikroskopiya i prochnost' materialov. Seriya: Fizicheskoe materialovedenie, struktura i svoystva materialov*, 24, 35–46. Available at: <http://docplayer.net/171359405-Ekspres-metod-prognozuvannya-dovgotrivaloyi-micnosti-ta-oporu-povzuchosti-v-visokotemperaturnih-splavah-na-osnovi-titanu.html>
 24. Fomin, O., Lovska, A., Pištěk, V., Kučera, P. (2019). Dynamic load effect on the transportation safety of tank containers as part of combined trains on railway ferries. *Vibroengineering PROCEDIA*, 29, 124–129. doi: <https://doi.org/10.21595/vp.2019.21138>
 25. Lovska, A., Fomin, O., Kučera, P., Pištěk, V. (2020). Calculation of Loads on Carrying Structures of Articulated Circular-Tube Wagons Equipped with New Draft Gear Concepts. *Applied Sciences*, 10 (21), 7441. doi: <https://doi.org/10.3390/app10217441>
 26. Karban', O. V., Hazanov, E. N., Hasanov, O. L., Salamatov, E. I., Goncharov, O. Yu. (2010). Nasledstvennost' i modifikaciya nanostrukturnoy keramiki ZrO₂ v processe izgotovleniya. *Perspektivnye materialy*, 6, 76–85.
 27. Kul'kov, S. N., Korolev, P. V., Mel'nikov, A. G. (1995). Fazovye prevrascheniya v poroshke dioksida cirkoniya posle impul'snogo nagruzheniya. *Izvestiya vuzov. Fizika*, 38 (1), 51–55.
 28. Gevorkyan, E. S., Nerubatskiy, V. P., Chyshkala, V. O., Morozova, O. M. (2020). Aluminum oxide nanopowders sintering at hot pressing using direct current. *Modern scientific researches*, 14, 12–18.
 29. Gevorkyan, E., Rucki, M., Salaciński, T., Siemiątkowski, Z., Nerubatskiy, V., Kucharczyk, W. et. al. (2021). Feasibility of Cobalt-Free Nanostructured WC Cutting Inserts for Machining of a TiC/Fe Composite. *Materials*, 14 (12), 3432. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14123432>
 30. Golovin, Yu. I. (2009). Nanoindentirovanie kak sredstvo kompleksnoy ocenki fiziko-mehanichestkih svoystv materialov v submikroob'emah. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 75 (1), 45–59.
 31. Tretyakov, Yu. D. (1978). *Tverdofaznye reakcii*. Moscow: Himiya, 360.
 32. Raychenko, A. I. (1987). Vliyanie skorosti nagreva na poroobrazovanie v ul'tradisperstnykh poroshkah. *Metallurgiya*, 5, 14–18.
 33. Panova, T. I., Arsent'ev, M. Yu., Morozova, L. V., Drozdova, I. A. (2010). Sintez i issledovanie nanokristallicheskoj keramiki v sisteme ZrO₂-SeO₂-Al₂O₃. *Fizika i himiya stekla*, 36 (4), 585–595.
 34. Chyshkala, V. O., Lytovchenko, S. V., Gevorkyan, E. S., Nerubatskiy, V. P., Morozova, O. M. (2021). Structural phase processes in multicomponent metal ceramic oxide materials based on the system Y-Ti-Zr-O (Y₂O₃-TiO₂-ZrO₂). *SWorldJournal*, 7, 17–32. Available at: <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj07-01-008>
 35. Latella, B. A., Henkel, L., Mehrtens, E. G. (2006). Permeability and high temperature strength of porous mullite-alumina ceramics for hot gas filtration. *Journal of Materials Science*, 41 (2), 423–430. doi: <https://doi.org/10.1007/s10853-005-2654-8>
 36. Nettleship, I., Stevens, R. (1987). Tetragonal zirconia polycrystal (TZP) – A review. *International Journal of High Technology Ceramics*, 3 (1), 1–32. doi: [https://doi.org/10.1016/0267-3762\(87\)90060-9](https://doi.org/10.1016/0267-3762(87)90060-9)
 37. Sakka, Y., Suzuki, T. S., Morita, K., Nakano, K., Hiraga, K. (2001). Colloidal processing and superplastic properties of zirconia- and alumina-based nanocomposites. *Scripta Materialia*, 44 (8-9), 2075–2078. doi: [https://doi.org/10.1016/s1359-6462\(01\)00889-2](https://doi.org/10.1016/s1359-6462(01)00889-2)
 38. Gevorkyan, E. S., Nerubatskiy, V. P., Gutsalenko, Yu. H., Morozova, O. M. (2020). Some features of ceramic foam filters energy efficient technologies development. *Modern engineering and innovative technologies*, 14, 54–68. Available at: <http://repo.knmu.edu.ua/bitstream/123456789/28043/1/Article%2c%2011.2020.pdf>
 39. Hevorkian, E. S., Nerubatskiy, V. P. (2009). Do pytan'nia otryman'nia tonkodispersnykh struktur z nanoporoshkiv oksydu aliuminiyu. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrain'skoi derzhavnoi akademiiy zaliznychnoho transportu*, 111, 151–167. Available at: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/4418>
 40. Hevorkian, E. S., Nerubatskiy, V. P. (2009). Modeliuvannia protsesu hariachoho presuvannia AL₂O₃ pry priamomu propuskanni zminnoho elektrychnoho strumu z chastotoiu 50 Hts. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrain'skoi derzhavnoi akademiiy zaliznychnoho transportu*, 110, 45–52. Available at: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/4416>
 41. Marmar, N. E., Balaklienko, Yu. M., Novozhilov, S. A., Horasanov, O. L., Dvilis, E. S. (2007). Vakuumnoe spekanie keramiki iz nanoporoshkov oksida cirkoniya. *Alternativnaya energetika i ekologiya*, 6 (50), 41–43. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vakuumnoe-spekanie-keramiki-iz-nanoporoshkov-okside-tsirkoniya>
 42. Tokita, M. (2004). Mechanism of spark plasma sintering. *Journal of Materials Science*, 5 (45), 78–82.
 43. Yoshimura, M., Ohji, T., Sando, M., Choa, Y.-H., Sekino, T., Niihara, K. (1999). Synthesis of nanograined ZrO₂-based composites by chemical

- processing and pulse electric current sintering. *Materials Letters*, 38 (1), 18–21. doi: [https://doi.org/10.1016/s0167-577x\(98\)00125-6](https://doi.org/10.1016/s0167-577x(98)00125-6)
44. Fomin, O., Lovska, A. (2020). Establishing patterns in determining the dynamics and strength of a covered freight car, which exhausted its resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (108)), 21–29. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217162>
 45. Grabis, J., Steins, I., Rasmane, D., Krumina, A., Berzins, M. (2006). Preparation and characterization of ZrO₂-Al₂O₃ particulate nanocomposites produced by plasma technique. *Proceedings of the Estonian academy of sciences, engineering*, 12 (4), 349–357. Available at: https://www.kirj.ee/public/va_te/eng-2006-4-3.pdf
 46. Gevorkyan, E. S., Nerubatskiy, V. P., Chyshkala, V. O., Morozova, O. M. (2021). Cutting composite material based on nanopowders of aluminum oxide and tungsten monocarbide. *Modern engineering and innovative technologies*, 15, 6–14. Available at: <http://repo.knmu.edu.ua/bitstream/123456789/28472/1/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F%2002.2021%20%D0%93%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F.pdf>
 47. Samsonov, G. V. (Eds.) (1969). *Fiziko-himicheskie svoystva okislov*. Moscow: Metallurgiya, 455.
 48. Buyakova, S. P., Horischenko, Yu. A., Kul'kov, S. N. (2004). Struktura, fazovyy sostav i morfologicheskoe stroenie plazmohimicheskikh poroshkov ZrO₂(MgO). *Ogneupory i tehnicheskaya keramika*, 6, 25–30.
 49. Davar, F., Hassankhani, A., Loghman-Estarki, M. R. (2013). Controllable synthesis of metastable tetragonal zirconia nanocrystals using citric acid assisted sol-gel method. *Ceramics International*, 39 (3), 2933–2941. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.09.067>
 50. Gremillard, L., Chevalier, J., Epicier, T., Deville, S., Fantozzi, G. (2004). Modeling the aging kinetics of zirconia ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 24 (13), 3483–3489. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2003.11.025>
 51. Nikitin, D. S., Zhukov, V. A., Perkov, V. V. (2004). Poluchenie i struktura poristoy keramiki iz nanokristallicheskogo dioksida cirkoniya. *Neorganicheskie materialy*, 40 (7), 869–872.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238507

ANALYSIS OF MECHANICAL STRENGTH OF WEIGHT FRACTION VARIATION SUGAR PALM FIBER AS POLYPROPYLENE-ELASTOMER MATRIX REINFORCEMENT OF HYBRID COMPOSITE (p. 20–29)

I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa

Udayana University, Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4833-2533>

I Gusti Ayu Agung Praharsini

Udayana University, Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6413-154X>

I Gusti Agung Alit Suryawati

Udayana University, Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2860-022X>

Pratikto

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3286-0705>

Currently, the availability of polypropylene, elastomer and sugar palm fiber (*Arenga pinnata*) is very abundant, which has a good impact on the potential for the development of new composite materials that have good properties and characteristics. Composites are gener-

ally a new material composed of two or more different materials with the aim of producing a new material that has better properties than the constituent material. In this study, polypropylene (PP) plastic and elastomer were used as a composite matrix reinforced with sugar palm fiber (*Arenga pinnata*). The purpose of this study was to determine the value of tensile strength, impact strength, and bending strength of composites with a weight fraction of 20 % (80:20), 30 % (70:30), and 40 % (60:40). Based on the results of the research on hybrid composites of polypropylene and fiber-reinforced elastomers, composites with a weight fraction of 20 % (80:20) got the lowest tensile strength value of 1.153 MPa, while composites with a weight fraction of 40 % (60:40) obtained the highest tensile strength value of 2.613 MPa. Composites with a weight fraction of 20 % (80:20) got the lowest tensile strain value of 0.0049 and the highest tensile strain value of 0.0067 was found in composites with a weight fraction of 40 % (60:40). For the impact strength, the 40 % (40:60) weight fraction composite got the lowest value of 45248.234 kJ/mm², while the 20 % (80:20) weight fraction composite got the highest impact strength of 17649.97 kJ/mm². For bending strength results, the composite with a weight fraction of 20 % (80:20) obtained the lowest bending strength of 1.7778 MPa, while the composite with a weight fraction of 30 % (70:30) obtained the highest bending strength of 4.8867 MPa. The highest bending strain was found in the composite with a weight fraction of 20 % (80:20), which was 0.0207.

Keywords: hybrid composite, sugar palm fiber (*Arenga pinnata*), polypropylene, elastomer, mechanical properties.

Reference

1. Bartos, A., Kócs, J., Anggono, J., Móczó, J., Pukánszky, B. (2021). Effect of fiber attrition, particle characteristics and interfacial adhesion on the properties of PP/sugarcane bagasse fiber composites. *Polymer Testing*, 98, 107189. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2021.107189>
2. Zhao, J., Qiao, Y., Wang, G., Wang, C., Park, C. B. (2020). Lightweight and tough PP/talc composite foam with bimodal nanoporous structure achieved by microcellular injection molding. *Materials & Design*, 195, 109051. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109051>
3. Amir, N., Abidin, K. A. Z., Shiri, F. B. M. (2017). Effects of Fibre Configuration on Mechanical Properties of Banana Fibre/PP/MAPP Natural Fibre Reinforced Polymer Composite. *Procedia Engineering*, 184, 573–580. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.140>
4. Niloy Rahaman, M., Sahadat Hossain, M., Razzak, M., Uddin, M. B., Chowdhury, A. M. S., Khan, R. A. (2019). Effect of dye and temperature on the physico-mechanical properties of jute/PP and jute/LL-DPE based composites. *Heliyon*, 5 (6), e01753. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01753>
5. Szebényi, G., Blöbl, Y., Hegedüs, G., Tábi, T., Czigan, T., Schledjewski, R. (2020). Fatigue monitoring of flax fibre reinforced epoxy composites using integrated fibre-optical FBG sensors. *Composites Science and Technology*, 199, 108317. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108317>
6. Yarali, E., Ali Farajzadeh, M., Noroozi, R., Dabbagh, A., Khoshgofar, M. J., Mirzaali, M. J. (2020). Magnetorheological elastomer composites: Modeling and dynamic finite element analysis. *Composite Structures*, 254, 112881. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112881>
7. Krishnaiah, P., Ratnam, C. T., Manickam, S. (2017). Enhancements in crystallinity, thermal stability, tensile modulus and strength of sisal fibres and their PP composites induced by the synergistic effects of alkali and high intensity ultrasound (HIU) treatments. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 729–742. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultrsonch.2016.07.008>

8. He, Y., Zhou, Y., Wu, H., Bai, Z., Chen, C., Chen, X. et. al. (2020). Functionalized soybean/tung oils for combined plasticization of jute fiber-reinforced polypropylene. *Materials Chemistry and Physics*, 252, 123247. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123247>
9. Kuranchie, C., Yaya, A., Bensah, Y. D. (2021). The effect of natural fibre reinforcement on polyurethane composite foams – A review. *Scientific African*, 11, e00722. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00722>
10. Dawit, J. B., Lemu, H. G., Regassa, Y., Akessa, A. D. (2021). Investigation of the mechanical properties of Acacia tortilis fiber reinforced natural composite. *Materials Today: Proceedings*, 38, 2953–2958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.308>
11. Chegiani, F., El Mansori, M., Taki, M., Hamade, R. (2021). On the role of capillary and viscous forces on wear and frictional performances of natural fiber composites under lubricated polishing. *Wear*, 477, 203858. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203858>
12. Bambach, M. R. (2020). Durability of natural fibre epoxy composite structural columns: High cycle compression fatigue and moisture ingress. *Composites Part C: Open Access*, 2, 100013. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jccomc.2020.100013>
13. Rajesh, M., Jayakrishna, K., Sultan, M. T. H., Manikandan, M., Mugeshkannan, V., Shah, A. U. M., Safri, S. N. A. (2020). The hydroscopic effect on dynamic and thermal properties of woven jute, banana, and intra-ply hybrid natural fiber composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (5), 10305–10315. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.07.033>
14. Ramakrishnan, K. R., Sarlin, E., Kanerva, M., Hokka, M. (2021). Experimental study of adhesively bonded natural fibre composite – steel hybrid laminates. *Composites Part C: Open Access*, 5, 100157. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jccomc.2021.100157>
15. Radzi, A. M., Sapuan, S. M., Jawaid, M., Mansor, M. R. (2019). Water absorption, thickness swelling and thermal properties of roselle/sugar palm fibre reinforced thermoplastic polyurethane hybrid composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (5), 3988–3994. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.07.007>
16. Mohd Izwan, S., Sapuan, S. M., Zuhri, M. Y. M., Mohamed, A. R. (2020). Effects of Benzoyl Treatment on NaOH Treated Sugar Palm Fiber: Tensile, Thermal, and Morphological Properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (3), 5805–5814. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.03.105>
17. Atiqah, A., Jawaid, M., Sapuan, S. M., Ishak, M. R., Ansari, M. N. M., Ilyas, R. A. (2019). Physical and thermal properties of treated sugar palm/glass fibre reinforced thermoplastic polyurethane hybrid composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (5), 3726–3732. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.032>
18. Safri, S. N. A., Sultan, M. T. H., Shah, A. U. M. (2020). Characterization of benzoyl treated sugar palm/glass fibre hybrid composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (5), 11563–11573. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.08.057>
19. Santhiarsa, N., Pratikto, Sonief, A. A., Marsyahyo, E. (2014). The Effect of Alkali Treatment on Metal Content In Sugar Palm Fiber. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 8 (10), 614–619. Available at: <https://123dok.com/document/q7wg28dz-effect-alkali-treatment-metal-content-sugar-palm-fiber.html>
20. Mohammed, A. A., Bachtiar, D., Rejab, M. R. M., Siregar, J. P. (2018). Effect of microwave treatment on tensile properties of sugar palm fibre reinforced thermoplastic polyurethane composites. *Defence Technology*, 14 (4), 287–290. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2018.05.008>
21. Sapuan, S. M., Bachtiar, D. (2012). Mechanical Properties of Sugar Palm Fibre Reinforced High Impact Polystyrene Composites. *Procedia Chemistry*, 4, 101–106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proche.2012.06.015>
22. Asim, M., Jawaid, M., Khan, A., Asiri, A. M., Malik, M. A. (2020). Effects of Date Palm fibres loading on mechanical, and thermal properties of Date Palm reinforced phenolic composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (3), 3614–3621. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.01.099>
23. Ramlee, N. A., Jawaid, M., Zainudin, E. S., Yamani, S. A. K. (2019). Tensile, physical and morphological properties of oil palm empty fruit bunch/sugarcane bagasse fibre reinforced phenolic hybrid composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (4), 3466–3474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.016>
24. Das, S. C., Paul, D., Grammatikos, S. A., Siddiquee, M. A. B., Patpatzani, S., Koralli, P. et. al. (2021). Effect of stacking sequence on the performance of hybrid natural/synthetic fiber reinforced polymer composite laminates. *Composite Structures*, 276, 114525. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114525>
25. Ali, M. F., Hossain, M. S., Ahmed, S., Sarwaruddin Chowdhury, A. M. (2021). Fabrication and characterization of eco-friendly composite materials from natural animal fibers. *Heliyon*, 7 (5), e06954. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06954>
26. Rajak, D. K., Wagh, P. H., Moustabchir, H., Prunco, C. I. (2021). Improving the tensile and flexural properties of reinforced epoxy composites by using cobalt filled and carbon/glass fiber. *Forces in Mechanics*, 4, 100029. doi: <https://doi.org/10.1016/j.finmec.2021.100029>
27. Candido, V. S., Silva, A. C. R. da, Simonassi, N. T., Luz, F. S. da, Monteiro, S. N. (2017). Toughness of polyester matrix composites reinforced with sugarcane bagasse fibers evaluated by Charpy impact tests. *Journal of Materials Research and Technology*, 6 (4), 334–338. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.06.001>
28. Shanmugam, V., Rajendran, D. J. J., Babu, K., Rajendran, S., Veerasimman, A., Marimuthu, U. et. al. (2021). The mechanical testing and performance analysis of polymer-fibre composites prepared through the additive manufacturing. *Polymer Testing*, 93, 106925. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106925>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243149

DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF A COMPOSITE MATERIAL MADE OF A THERMOPLASTIC MATRIX AND SHORT GLASS FIBERS (p. 30–38)

Madina Isametova

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4630-271X>

Gazel Abilezova

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1517-0577>

Nikolay Dishovsky

University of Chemical Technology and Metallurgy,
Sofia, Republic of Bulgaria
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6581-8530>

Petar Velev

University of Chemical Technology and Metallurgy,
Sofia, Republic of Bulgaria
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8999-9153>

The paper presents the results of computer modeling and prediction of the mechanical properties of composite materials with a polycarbonate matrix filled with short glass inclusions. At the micro-level, the influence of the volume of inclusions on the mechanical properties of the designed composite based on polycarbonate matrix is studied in the DIGIMAT (France) program. It was found that with a ratio of the sizes of inclusions in the range of 468÷60, the par-

ticles have a needle shape, and the material with such inclusions has a higher stress limit and elastic modulus than with a shape coefficient less than 50. The components of the fiber orientation tensor were also determined, at which the values of computer modeling are in good agreement with experimental data. The influence of the size of the finite element grid on the characteristics of the composite at the macro level was studied, and recommendations were given for choosing the size of the face of the finite element. The adequacy of computer models was confirmed by the results of field tests. The paper presents the results of testing flat samples made by injection molding technology. Mechanical tests were carried out for three variants of samples made of composite material based on a polycarbonate matrix with 10 %, 20 % and 30 % inclusions. The discrepancy between the experimental and computer results for samples with 10 %, 20 % content of short chopped fibers is explained by the influence of technological factors on the properties of the material at the macro-level.

The conducted research allowed us to develop a computer modeling technique used at the stage of development of polymer composites based on thermoplastic matrices with short glass inclusions.

Keywords: composite material, polycarbonate, short glass fibers, DIGIMAT, elastic modulus.

References

- Volkov, A. V., Parygin, A. G., Vikhliantsev, A. A. (2018). Analiz perspektivnykh napravlenii sovershenstvovaniia nasosnykh agregatov neftekhimicheskikh i neftepererabatyvaiuschikh proizvodstv. *KHimicheskaiia tekhnika*, 10. Available at: <http://chemtech.ru/analiz-perspektivnykh-napravlenij-sovershenstvovaniia-nasosnykh-agregatov-neftehimicheskikh-i-neftepererabatyvaiuschikh-proizvodstv1>
- Cárdenas, D., Escárpita, A. A., Elizalde, H., Aguirre, J. J., Ahuett, H., Marzocca, P., Probst, O. (2011). Numerical validation of a finite element thin-walled beam model of a composite wind turbine blade. *Wind Energy*, 15 (2), 203–223. doi: <http://doi.org/10.1002/we.462>
- Rabochie koleasa nasosov iz polimernykh kompozitsii (2016). *Stroitel'ni resurs*. Available at: <http://spb-sovtrans.ru/polimernye-kompozitsii/963-rabochie-koleasa-nasosov-iz-polimernykh-kompozitsii.html>
- Ponomareva, N. R. (2010). Strukturno-mekhanicheskie osobennosti deformatsionnogo povedeniia kompozitsionnykh materialov na osnove poliolefinov i mineralnykh chastits. Moscow, 153. Available at: https://freereferats.ru/product_info.php?products_id=667
- Dong, X., Sui, G., Yun, Z., Wang, M., Guo, A., Zhang, J., Liu, J. (2016). Effect of temperature on the mechanical behavior of mullite fibrous ceramics with a 3D skeleton structure prepared by molding method. *Materials & Design*, 90, 942–948. doi: <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.11.043>
- Eshelby, J. D. (1957). The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 241 (1226), 376–396. doi: <http://doi.org/10.1098/rspa.1957.0133>
- Jagath Narayana, K., Burela, R. G. (2019). Multi-scale modeling and simulation of natural fiber reinforced composites (Bio-composites). *Journal of Physics: Conference Series*, 1240, 012103. doi: <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1240/1/012103>
- Jiang, C. P., Chen, F. L., Yan, P., Song, F. (2010). A four-phase confocal elliptical cylinder model for predicting the effective thermal conductivity of coated fibre composites. *Philosophical Magazine*, 90 (26), 3601–3615. doi: <http://doi.org/10.1080/14786435.2010.492767>
- Liu, Q., Lu, Z., Hu, Z., Li, J. (2013). Finite element analysis on tensile behaviour of 3D random fibrous materials: Model description and meso-level approach. *Materials Science and Engineering: A*, 587, 36–45. doi: <http://doi.org/10.1016/j.msea.2013.07.087>
- Muktinatalapati, N. R., Benini, E. (2011). Advances in gas turbine technology. *Gas Turbines*. doi: <http://doi.org/10.5772/664>
- Povetkin, V. V., Isametova, M. E., Isayeva, I. N., Bukayeva, A. Z. (2018). Dynamic modeling of ball mill drive with regard to damping properties of its elements. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 5, 184–192. doi: <http://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-5-0-184-192>
- Tserpes, K., Tzatzadakis, V. (2019). Computation of mechanical, thermal and electrical properties of CNT/polymer multifunctional nanocomposites using numerical and analytical models. *MATEC Web of Conferences*, 304, 01013. doi: <http://doi.org/10.1051/mateconf/201930401013>
- Lara-González, L. Á., Guillermo-Rodríguez, W., Pineda-Triana, Y., Peña-Rodríguez, G., Salazar, H. F. (2020). Optimization of the Tensile Properties of Polymeric Matrix Composites Reinforced with Magnetite Particles by Experimental Design. *Tecnológicas*, 23 (48), 83–98. doi: <http://doi.org/10.22430/22565337.1499>
- Singh, U. P., Biswas, B. K., Ray, B. C. (2009). Evaluation of mechanical properties of polypropylene filled with wollastonite and silicon rubber. *Materials Science and Engineering: A*, 501 (1-2), 94–98. doi: <http://doi.org/10.1016/j.msea.2008.09.063>
- Lurie, S. A., Rabinskii, L. N., Solyaev, Y. O., Buznik, V. M., Lizunova, D. V. (2016). Methodology of numerical modelling of mechanical properties of porous heat-shielding material based on ceramic fibers. *PNRPU Mechanics Bulletin*, 4, 263–274. doi: <http://doi.org/10.15593/perm.mech/2016.4.15>
- Desiatkov, A. V., Ponomareva, N. R., Goncharuk, G. P., Obolonkova, E. S., Budnitskii, Iu. M., Serenko, O. A. (2009). Vliianie razmera chastits na mekhanicheskie svoystva kompozitov na osnove odnorodnodeformirushegosia polimera. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii*, XXIII (5 (98)), 32–35. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-razmera-chastits-na-mekhanicheskie-svoystva-kompozitov-na-osnove-odnorodno-deformiruyushegosya-polimera>
- Skvortsov, Iu. V., Glushkov, S. V., Khromov, A. I. (2012). Modelirovanie kompozitnykh elementov konstruksii i analiz ikh razrushenii v SAE-sistemakh MSC.Patran-Nastran i ANSYS. Samara.
- Ozawa, Y., Watanabe, M., Kikuchi, T., Ishiwatari, H. (2010). Mechanical and thermal properties of composite material system reinforced with micro glass balloons. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 10, 012094. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/10/1/012094>
- Matveeva, U. A., Van Khattum, F. (2011). Razrabotka i analiz strukturnykh modelei kompozitnykh materialov na osnove uglerodnykh nanotrubok.
- Nazarov, S. A. (2009). Teorema Eshelbi i zadacha ob optimalnoi zaplate. *Algebra i analiz*, 21 (5), 155–195. Available at: <http://www.mathnet.ru/links/b4ab83583efec8059ed7924e3cecc2ada/aa1157.pdf>
- Rublenoe steklovolokno. Available at: <https://glass-tex.ru/index.php/49-carousel/2015-10-23-08-17-23/151-rublenoe-steklovolokno>
- Mashkov, Iu. K. (2010). Mekhanicheskie i tribotekhnicheskie svoystva polimernykh kompozitsionnykh materialov na osnove PTFE, optimizatsiia ikh sostava i tekhnologii. *Vestnik SibADI*, 4 (18), 17–21.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242853

A STUDY OF PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF ELECTROCHROMIC Ni(OH)₂-PVA FILMS ON FTO GLASS WITH DIFFERENT DEPOSITION DURATION (p. 39–46)

Valerii Kotok

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

Vadym Kovalenko

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

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>

Iryna Plaksiienko

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1002-4984>

Dmitry Sukhomlyn

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5714-3454>

Sergey Filonenko

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8360-8852>

Anatolii Kocherga

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2076-4230>

Natalia Makarchenko

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0676-1148>

The use of electrochromic elements in “smart” windows leads to significant savings in electricity required for cooling premises. However, the high cost of these devices does not allow the technology to be widely used. Since the cost is determined by costly vacuum deposition methods, the development of other cheaper methods of deposition of electrochromic element layers is urgent.

Aspects of alternative to vacuum formation methods – cathode template electrochemical deposition of composite electrochromic Ni(OH)₂-PVA films were investigated.

The study is devoted to determining the effect of the duration of deposition of the electrochromic layer on their physicochemical characteristics, in particular, on the optical and electrochemical properties. The deposition was carried out on fluorine-doped tin oxide glasses (FTO glasses). The time of deposition was chosen equal to 5, 10, 20, 40, 60, and 80 minutes.

As a result of the experiments, it was shown that the optimal duration of deposition under the selected conditions of the electrochromic layer formation was the interval from 5 to 20 minutes, inclusive. The deposition time of 40 minutes did not improve the optical characteristics of the film. At the same time, with the deposition duration of 60 and 80 minutes, the electrochemical and optical parameters sharply decreased, the coloration depth and irreversibility during bleaching, as well as the specific capacitances of the processes decreased.

In the course of data processing, the film thickness was calculated depending on the duration of deposition in several ways. Comparison of the graphs obtained made it possible to determine the approximate amount of polyvinyl alcohol in the electrochromic composite coating, as well as to estimate the current efficiency of the electrodeposition and oxidation-reduction process of the elec-

trochromic material. In this case, the volume of polyvinyl alcohol in the composite was approximately equal to the volume of nickel hydroxide, and the efficiency of Ni(OH)₂ deposition and coloration-bleaching processes was approximately 100 %.

Keywords: electrochromism, electrodeposition, nickel hydroxide, polyvinyl alcohol, deposition duration, coating thickness, adhesion.

References

1. Deb, S. K. (1987). Some Perspectives On Electrochromic Device Research. *Materials and Optics for Solar Energy Conversion and Advanced Lightning Technology*. doi:<https://doi.org/10.1117/12.936663>
2. Green, M., Richman, D. (1974). A solid state electrochromic cell – the RbAg₄I₅/WO₃ system. *Thin Solid Films*, 24 (2), S45–S46. doi:[https://doi.org/10.1016/0040-6090\(74\)90189-8](https://doi.org/10.1016/0040-6090(74)90189-8)
3. About SageGlass. Available at: <https://www.sageglass.com/en/company>
4. Electronically Dimming Glass From Boeing's Dreamliner Is Headed For Your Next Car. Available at: <https://www.motortrend.com/news/electrochromic-glass-gentex-boeing-dreamliner-future-tech/>
5. Hardiman, J. (2021). Why The Boeing 787 Has Dimmable Windows. *Simple Flying*. Available at: <https://simpleflying.com/boeing-787-dimmable-windows-why/>
6. Smart Windows: Energy Efficiency with a View. Available at: <https://www.nrel.gov/news/features/2010/1555.html>
7. Smart windows: electrochromic windows for building optimization. Available at: https://www.sageglass.com/sites/default/files/masdar_technology_journal_issue_5_september_2018_smart_windows.pdf
8. Shchegolkov, A. V., Jang, S.-H., Shchegolkov, A. V., Rodionov, Y. V., Sukhova, A. O., Lipkin, M. S. (2021). A Brief Overview of Electrochromic Materials and Related Devices: A Nanostructured Materials Perspective. *Nanomaterials*, 11 (9), 2376. doi: <https://doi.org/10.3390/nano11092376>
9. Cheng, W., Moreno-Gonzalez, M., Hu, K., Krzyzskowski, C., Dvorak, D. J., Weekes, D. M. et. al. (2018). Solution-Deposited Solid-State Electrochromic Windows. *iScience*, 10, 80–86. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2018.11.014>
10. 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. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12 (13), 3962–3977. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0717_6156.pdf
11. 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>
12. Wruck, D. A., Dixon, M. A., Rubin, M., Bogy, S. N. (1991). As-sputtered electrochromic films of nickel oxide. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 9 (4), 2170–2173. doi: <https://doi.org/10.1116/1.577245>
13. Velevska, J., Ristova, M. (2002). Electrochromic properties of NiO_x prepared by low vacuum evaporation. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 73 (2), 131–139. doi: [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(01\)00118-0](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(01)00118-0)
14. Kotok, V., Kovalenko, V. (2017). Electrochromism of Ni(OH)₂ films obtained by cathode template method with addition of Al, Zn, Co ions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (87)), 38–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103010>
15. Kotok, V., Kovalenko, V. (2021). A study of the possibility of conducting selective laser processing of thin composite electrochromic

- Ni(OH)₂-PVA films. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (109)), 6–15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225355>
16. Zhou, J., Luo, G., Wei, Y., Zheng, J., Xu, C. (2015). Enhanced electrochromic performances and cycle stability of NiO-based thin films via Li–Ti co-doping prepared by sol–gel method. *Electrochimica Acta*, 186, 182–191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.10.154>
 17. Yu, J.-H., Nam, S.-H., Gil, Y. E., Boo, J.-H. (2020). The effect of ammonia concentration on the microstructure and electrochemical properties of NiO nanoflakes array prepared by chemical bath deposition. *Applied Surface Science*, 532, 147441. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.147441>
 18. 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>
 19. Kamal, H., Elmaghraby, E. K., Ali, S. A., Abdel-Hady, K. (2005). The electrochromic behavior of nickel oxide films sprayed at different preparative conditions. *Thin Solid Films*, 483 (1-2), 330–339. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2004.12.022>
 20. Carpenter, M. K., Conell, R. S., Corrigan, D. A. (1987). The electrochromic properties of hydrous nickel oxide. *Solar Energy Materials*, 16 (4), 333–346. doi: [https://doi.org/10.1016/0165-1633\(87\)90082-7](https://doi.org/10.1016/0165-1633(87)90082-7)
 21. Dalavi, D. S., Suryavanshi, M. J., Patil, D. S., Mali, S. S., Moholkar, A. V., Kalagi, S. S. et. al. (2011). Nanoporous nickel oxide thin films and its improved electrochromic performance: Effect of thickness. *Applied Surface Science*, 257 (7), 2647–2656. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.10.037>
 22. Sahu, D. R., Wu, T.-J., Wang, S.-C., Huang, J.-L. (2017). Electrochromic behavior of NiO film prepared by e-beam evaporation. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 2 (2), 225–232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2017.05.001>
 23. 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*, 13 (9), 3076–3086.
 24. Kotok, V. A., Malyshev, V. V., Solovov, V. A., Kovalenko, V. L. (2017). Soft Electrochemical Etching of FTO-Coated Glass for Use in Ni(OH)₂-Based Electrochromic Devices. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 6 (12), P772–P777. doi: <https://doi.org/10.1149/2.0071712jss>
 25. Ban, S., Hasegawa, J. (2002). Morphological regulation and crystal growth of hydrothermal-electrochemically deposited apatite. *Biomaterials*, 23 (14), 2965–2972. doi: [https://doi.org/10.1016/s0142-9612\(02\)00025-x](https://doi.org/10.1016/s0142-9612(02)00025-x)
 26. Zhitomirsky, I., Petric, A. (2000). Electrochemical deposition of yttrium oxide. *Journal of Materials Chemistry*, 10 (5), 1215–1218. doi: <https://doi.org/10.1039/b000311p>
 27. 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>
 28. 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>
 29. Visscher, W. (1983). Ellipsometry of nickel-oxides and -hydroxides in alkaline electrolyte. *Journal de Physique Colloques*, 44 (C10), C10-213–C10-216. doi: <https://doi.org/10.1051/jphyscol:19831044>
 30. Kovalenko, V., Kotok, V. (2017). Definition of effectiveness of β-Ni(OH)₂ application in the alkaline secondary cells and hybrid supercapacitors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (89)), 17–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110390>
 31. 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>
 32. 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>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243179

**IDENTIFICATION OF WHITE JEWELRY ALLOY
BASED ON SILVER AND PLATINUM FOR TESTING
PURPOSES (p. 47–59)**

Tatyana Artyukh

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3541-6690>

Inna Hryhorenko

National Aviation University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6175-9067>

Alla Ternova

Vinnitsia Institute of Trade and Economics of Kyiv National
University of Trade and Economics, Vinnitsia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7447-137X>

Svitlana Yaheliuk

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7428-0848>

Oleksii Verenikin

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0312-6648>

Mihai Cernavca

Academy of Economic Studies of Moldova, Chisinau, Moldova
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3284-6399>

The procedure for the identification of white jewelry alloys based on precious metals, in particular, silver, platinum and platinum group metals with different contents of alloying components, by testing on an assay stone and by the method of X-ray fluorescence analysis has been considered. The methodology for assessing the compliance of silver and platinum fineness in white jewelry alloys of different component composition with the requirements of regulatory documents and the procedure for their identification has been improved.

It has been established that the silver fineness in precious alloys of the AgCu, AgZnCu system, determined using the potassium dichromate reagent on the test stone, depends on the manifestation of the contrast of the qualitative reaction from the standard sample (assay needle).

It has been proven that for testing silver alloys containing palladium, the “Acid reagent for gold 750” is effective, which works to determine the qualitative and approximate content of silver in alloys.

It was determined that the reagent “Ferrous-cyanide potassium” is very sensitive to changes in the alloy composition of silver alloys and makes it possible to establish the silver content with an accuracy

of 5 %. The presence in silver alloys of such impurities as zinc, cadmium, nickel, gold, palladium and others increases the error in determining the fineness of silver and forms a different color and shade.

It has been proven that testing of silver alloys on an assay stone with silver nitrate is effective only for the CpM system. The presence of zinc in 925 sterling silver alloys visually increases the color intensity of the sediment, which indicates a higher overestimated fineness.

It has been found that the identification of the content of precious alloys based on platinum for the presence of ligature components is carried out with a potassium iodide reagent at $t=120$ °C by the color and shade of the sediment.

The procedure for using potassium iodide during testing of precious platinum-based alloys has been optimized.

Keywords: assay control, precious metals based on silver and platinum, assay stone.

References

- Kunter, R., Mridha, S. (2016). Gold: Alloying, Properties, and Applications. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.02581-9>
- Reti, A., Mridha, S. (2016). Silver: Alloying, Properties, and Applications. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.02583-2>
- Mecking, O. (2020). The colours of archaeological copper alloys in binary and ternary copper alloys with varying amounts of Pb, Sn and Zn. *Journal of Archaeological Science*, 121, 105199. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.105199>
- Shubin, Y. V., Vedyagin, A. A., Plyusnin, P. E., Kirilovich, A. K., Kenzhin, R. M., Stoyanovskii, V. O., Korenev, S. V. (2018). The peculiarities of Au–Pt alloy nanoparticles formation during the decomposition of double complex salts. *Journal of Alloys and Compounds*, 740, 935–940. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.12.127>
- Wu, Y.-H., Hung, F.-Y., Lui, T.-S., Chen, K.-J. (2019). Study of wire bonding reliability of Ag-Pd-Au alloy wire with flash-gold after chlorination and sulfidation. *Microelectronics Reliability*, 99, 186–196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2019.05.014>
- Pracejus, B. (2014). Alloys and Alloy-like Compounds, with Copper, Silver, Gold, and Nickel. *The Ore Minerals Under the Microscope*, 152–189. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-62725-4.50004-1>
- E. A. Morales, S. (1989). Determination of commercial karats on gold alloys for jewellery by x-ray fluorescence analysis. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry*, 33 (3), 269. doi: [https://doi.org/10.1016/1359-0197\(89\)90172-0](https://doi.org/10.1016/1359-0197(89)90172-0)
- Foster, R. L., Lott, P. F. (1980). Surface analysis of thick gold films by X-ray fluorescence using the base metal as an internal reference. *Microchemical Journal*, 25 (2), 176–178. doi: [https://doi.org/10.1016/0026-265x\(80\)90125-3](https://doi.org/10.1016/0026-265x(80)90125-3)
- Trojek, T., Hložek, M. (2012). X-ray fluorescence analysis of archaeological finds and art objects: Recognizing gold and gilding. *Applied Radiation and Isotopes*, 70 (7), 1420–1423. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2012.03.033>
- Cesareo, R., Iwanczyk, J., Bustamante, A., Anjos, M. D., de Assis, J. T., Azeredo, S., Lopes, R. (2020). Transmission of X and γ -rays to differentiate tumbaga from gold and gilded copper. *Microchemical Journal*, 155, 104720. doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104720>
- Cengiz, E., Traşoğlu, E., Aylıkçı, V., Apaydın, G. (2010). The investigations on K and L X-ray fluorescence parameters of gold compounds. *Radiation Physics and Chemistry*, 79 (8), 809–815. doi: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2010.03.003>
- Bolewski, A., Matosz, M., Pohorecki, W., del Hoyo-Meléndez, J. M. (2020). Comparison of neutron activation analysis (NAA) and energy dispersive X-ray fluorescence (XRF) spectrometry for the non-destructive analysis of coins minted under the early Piast dynasty. *Radiation Physics and Chemistry*, 171, 108699. doi: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108699>
- Bahadir, Z., Torrent, L., Hidalgo, M., Marguí, E. (2018). Simultaneous determination of silver and gold nanoparticles by cloud point extraction and total reflection X-ray fluorescence analysis. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 149, 22–29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sab.2018.07.016>
- Pessanha, S., Le Gac, A., Madeira, T. I., Guerra, M., Carvalho, M. L. (2013). Elemental analysis by portable Ag and Rh X-ray sources of a Namban type folding screen. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 309, 254–259. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2013.01.078>
- Artyukh, T., Kupalova, G., Bazylevych, V., Hryhorenko, I., Ternova, A. (2019). Improving a procedure for determining the assay of gold in a precious alloy of different composition using a touchstone. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (98)), 6–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.165408>
- Artyukh, T., Hryhorenko, I., Ternova, A., Yaheliuk, S., Cernavca, M. (2018). Influence of the alloy composition on determining the millesimal fineness of gold by X-ray fluorescent and assay analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (95)), 6–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142730>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243236

DEVELOPMENT OF Fe-11Al-xMn ALLOY STEEL ON CRYOGENIC TEMPERATURES (p. 60–68)

Ratna Kartikasari

Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Caturtunggal, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8859-3258>

Adi Subardi

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

Andy Erwin Wijaya

Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Caturtunggal, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3613-3935>

This research is focused on increasing the reliability of Fe-11Al-Mn by combining the properties of Mn and the superiority of Fe-Al-C under cryogenic temperature. Three Fe-11Al-Mn alloys with compositions of 15 wt % Mn (F15), 20 wt % Mn (F20), and 25 wt % Mn (F25) were investigated. The cryogenic process uses liquid nitrogen in a temperature range of 0–196 °C. Hardness testing using the Vickers method and SEM was used to analyze the microstructure. X-ray diffraction (XRD) testing was conducted to ensure the Fe-11Al-Mn alloy phase and corrosion testing was carried out using the three-electrode cell polarization method. With the addition of Mn, the Vickers hardness of the Fe-11Al-Mn alloy decreased from 331.50 VHN at 15 wt % to 297.91 VHN at 25 wt %. The value of tensile strength and fracture elongation values were 742.21 MPa, 35.3 % EI; 789.03 MPa, 41.2 % EI; and 894.42 MPa, 50.2 % EI, for F15, F20, and F25, respectively. An important factor for improving the performance of cryogenic materials is the impact mechanism. The resulting impact toughness increased by 2.85 J/mm² to 3.30 J/mm² for F15 and F25, respectively. The addition of the element Mn increases

the corrosion resistance of the Fe-11Al-Mn alloy. The lowest corrosion rate occurs at 25 % wt Mn to 0.016 mm/year. Based on the results, the F25 alloy has the highest mechanical and corrosion resistance of the three types of alloys equivalent to SS 304 stainless steel. The microstructure of Fe-11Al-Mn alloy was similar between before and after cryogenic temperature treatment, this condition showed that the microstructure did not change during the process. From the overall results, the Fe-11Al-Mn alloy is a promising candidate for material applications working at cryogenic temperatures by optimizing the Mn content.

Keywords: Fe-11Al-Mn, Microstructure, Mechanical characteristics, Impact, Corrosion resistance, Cryogenic temperature.

References

- Qiu, Y., Yang, H., Tong, L., Wang, L. (2021). Research Progress of Cryogenic Materials for Storage and Transportation of Liquid Hydrogen. *Metals*, 11 (7), 1101. doi: <https://doi.org/10.3390/met11071101>
- Gao, L., Yang, L., Qian, S., Tang, Z., Qin, F., Wei, Q. et al. (2016). Cryosurgery would be An Effective Option for Clinically Localized Prostate Cancer: A Meta-analysis and Systematic Review. *Scientific Reports*, 6 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/srep27490>
- Tjong, S. C. (1986). Stress corrosion cracking behaviour of the duplex Fe-10Al-29Mn-0.4C alloy in 20% NaCl solution at 100° C. *Journal of Materials Science*, 21 (4), 1166–1170. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00553248>
- Kartikasari, R., Subardi, A., Wijaya, A. E. (2021). Development of Fe-5Al-1C alloys for grinding ball. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (109)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225421>
- Shackelford, J. K. (1992). *Introduction to Material Science for Engineers*. New York: McMillan Publishing Company.
- Zimmer, J. M., Bailey, W. D. (2006). Pat. No. US4865662A. Aluminum-manganese-iron stainless steel alloy. No. 164,055; declared: 03.03.1988; published: 12.09.1989. Available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/7b/f1/c8/d968e628ccaeb/US4865662.pdf>
- Frommeyer, G., Drewes, E. J., Engl, B. (2000). Physical and mechanical properties of iron-aluminium-(Mn, Si) lightweight steels. *Revue de Métallurgie*, 97 (10), 1245–1253. doi: <https://doi.org/10.1051/metal:2000110>
- Baligheid, R. G., Prasad, V. V. S., Rao, A. S. (2007). Effect of Ti, W, Mn, Mo and Si on microstructure and mechanical properties of high carbon Fe–10.5 wt-%Al alloy. *Materials Science and Technology*, 23 (5), 613–619. doi: <https://doi.org/10.1179/174328407x158631>
- Heo, Y.-U., Song, Y.-Y., Park, S.-J., Bhadeshia, H. K. D. H., Suh, D.-W. (2012). Influence of Silicon in Low Density Fe-C-Mn-Al Steel. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 43 (6), 1731–1735. doi: <https://doi.org/10.1007/s11661-012-1149-x>
- Kim, H., Suh, D.-W., Kim, N. J. (2013). Fe–Al–Mn–C lightweight structural alloys: a review on the microstructures and mechanical properties. *Science and Technology of Advanced Materials*, 14 (1), 014205. doi: <https://doi.org/10.1088/1468-6996/14/1/014205>
- Charles, J., Berghezan, A. (1981). Nickel-free austenitic steels for cryogenic applications: The Fe-23% Mn-5% Al-0.2% C alloys. *Cryogenics*, 21 (5), 278–280. doi: [https://doi.org/10.1016/0011-2275\(81\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0011-2275(81)90003-5)
- Charles, J., Berghezan, A., Lutts, A. (1984). High manganese - aluminum austenitic steels for cryogenic applications, some mechanical and physical properties. *Le Journal de Physique Colloques*, 45 (C1), C1-619–C1-623. doi: <https://doi.org/10.1051/jphyscol:19841126>
- Kim, Y. G., Park, Y. S., Han, J. K. (1985). Low temperature mechanical behavior of microalloyed and controlled-rolled Fe-Mn-Al-C-X alloys. *Metallurgical Transactions A*, 16 (9), 1689–1693. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02663026>
- Sohn, S. S., Hong, S., Lee, J., Suh, B.-C., Kim, S.-K., Lee, B.-J. et al. (2015). Effects of Mn and Al contents on cryogenic-temperature tensile and Charpy impact properties in four austenitic high-Mn steels. *Acta Materialia*, 100, 39–52. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2015.08.027>
- Yan, N., Di, H., Misra, R. D. K., Huang, H., Li, Y. (2019). Enhancing austenite stability in a new medium-Mn steel by combining deep cryogenic treatment and intercritical annealing: An experimental and theoretical study. *Materials Science and Engineering: A*, 753, 11–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.01.026>
- Zhirafar, S., Rezaeian, A., Pugh, M. (2007). Effect of cryogenic treatment on the mechanical properties of 4340 steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 186 (1-3), 298–303. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.12.046>
- Kim, H., Ha, Y., Kwon, K. H., Kang, M., Kim, N. J., Lee, S. (2015). Interpretation of cryogenic-temperature Charpy impact toughness by microstructural evolution of dynamically compressed specimens in austenitic 0.4C–(22–26)Mn steels. *Acta Materialia*, 87, 332–343. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2014.11.027>
- Czarkowski, P., Krawczyńska, A. T., Brynk, T., Nowacki, M., Lewandowska, M., Kurzydłowski, K. J. (2014). Cryogenic strength and microstructure of a hydrostatically extruded austenitic steel 1.4429 (AISI 316LN). *Cryogenics*, 64, 1–4. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cryogenics.2014.07.014>
- Koyama, M., Lee, T., Lee, C. S., Tsuzaki, K. (2013). Grain refinement effect on cryogenic tensile ductility in a Fe–Mn–C twinning-induced plasticity steel. *Materials & Design*, 49, 234–241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.01.061>
- Ren, J., Chen, Q., Chen, J., Liu, Z. (2020). Enhancing strength and cryogenic toughness of high manganese TWIP steel plate by double strengthened structure design. *Materials Science and Engineering: A*, 786, 139397. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139397>
- Koga, N., Nameki, T., Umezawa, O., Tschan, V., Weiss, K.-P. (2021). Tensile properties and deformation behavior of ferrite and austenite duplex stainless steel at cryogenic temperatures. *Materials Science and Engineering: A*, 801, 140442. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140442>
- Nadig, D. S., Bhat, M. R., Pavan, V. K., Mahishi, C. (2017). Effects of Cryogenic Treatment on the Strength Properties of Heat Resistant Stainless Steel (07X16H6). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 229, 012014. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/229/1/012014>
- Kim, J.-S., Jeon, J. B., Jung, J. E., Um, K.-K., Chang, Y. W. (2014). Effect of deformation induced transformation of ϵ -martensite on ductility enhancement in a Fe-12 Mn steel at cryogenic temperatures. *Metals and Materials International*, 20 (1), 41–47. doi: <https://doi.org/10.1007/s12540-014-1010-4>
- Baligheid, R. G., Prasad, K. S. (2007). Effect of Al and C on structure and mechanical properties of Fe–Al–C alloys. *Materials Science and Technology*, 23 (1), 38–44. doi: <https://doi.org/10.1179/174328407x158389>
- Honeycombe, R., W. K., Bhadeshia, H. K. D. (1995). *Steels: microstructure and properties*. London: Edward Arnold. Available at: <https://www.worldcat.org/title/steels-microstructure-and-properties/oclc/33045504>
- Zuazo, I., Brechet, Y. (2009). Microstructure Evolution in Fe-Al-Mn-C lightweight alloys. *Laboratory of Science and Engineering of Materials and Processes (SIMAP)*. Grenoble Institute of Technology (INGP).
- Rigaud, V., Daloz, D., Drillet, J., Perlade, A., Maugis, P., Lesoult, G. (2007). Phases Equilibrium Study in Quaternary Iron-rich Fe-Al-Mn-

C Alloys. ISIJ International, 47 (6), 898–906. doi: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.47.898>

28. Leslie, W. C., Hornbogen, E. (1996). Physical metallurgy of steels. *Physical Metallurgy*, 1555–1620. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-044489875-3/50022-3>
29. Huang, B. X., Wang, X. D., Rong, Y. H., Wang, L., Jin, L. (2006). Mechanical behavior and martensitic transformation of an Fe–Mn–Si–Al–Nb alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 438–440, 306–311. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.02.150>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.240154

ANALYZING METALLURGICAL INTERACTION DURING ARC SURFACING OF BARRIER LAYERS ON TITANIUM TO PREVENT THE FORMATION OF INTERMETALLICS IN TITANIUM-STEEL COMPOUNDS (p. 69–82)

Volodymyr Korzhyk

E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9106-8593>

Vladyslav Khaskin

Guangdong Welding Institute (E. O. Paton Chinese-Ukrainian Institute of Welding), Tian He, Guangzhou, China
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3072-6761>

Grynyuk Andrii

E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6088-7980>

Oleg Ganushchak

Guangdong Welding Institute (E. O. Paton Chinese-Ukrainian Institute of Welding), Tian He, Guangzhou, China
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4392-6682>

Volodymyr Shcheretskiy

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8561-4444>

Sviatoslav Peleshenko

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6828-2110>

Oksana Konoreva

E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1597-6968>

Oleksii Demianov

E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7184-3839>

Nataliia Fialko

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0116-7673>

Viktor Kvasnytskyi

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7756-5179>

This paper considers a possibility to obtain high-quality butt junctions of bimetallic sheets from steel clad with a layer of titanium, with the use of barrier layers. The task that was tackled related to preventing the formation of Ti-Fe intermetallic phases

(IMPs) between the steel and titanium layer. The barrier layers (height ~0.5 mm) of vanadium and copper alloys were surfaced by arc techniques while minimizing the level of thermal influence on the base metal. To this end, plasma surfacing with a current-driving wire and pulsed MAG surfacing were used. The obtained samples were examined by methods of metallography, X-ray spectral microanalysis, durometric analysis. It has been established that when a layer of vanadium is plated on the surface of titanium, a defect-free structure of variable composition (53.87–65.67) wt % Ti with (33.93–45.54) wt % V is formed without IMPs. The subsequent surfacing of steel on a layer of vanadium leads to the formation of eutectics (hardness up to 5,523 MPa) in the fusion zone, as well as to the evolution of cracks. To prevent the formation of IMPs, a layer of bronze CuBe₂ was deposited on the surface of vanadium. The formed layer contributed to the formation of a grid of hot cracks. In the titanium-vanadium-copper transition zones (0.1–0.2 mm wide), a fragile phase was observed. To eliminate this drawback, the bronze CuBe₂ was replaced with bronze CuSi₃Mn₁; a defect-free junction was obtained. When using a barrier layer with CuSi₃Mn₁, a defect-free junction was obtained (10–30 % Ti; 18–50 % Fe; 5–25 % Cu). The study reported here makes it possible to recommend CuSi₃Mn₁ as a barrier layer for welding bimetallic sheets “steel-titanium”. One of the applications of the research results could be welding of longitudinally welded pipes of main oil and gas pipelines formed from bimetallic sheets of steel clad with titanium.

Keywords: steel-titanium bimetal, barrier layer, structure, intermetallic phases, interface boundary.

References

1. Torkaman, M., Danesh-Manesh, H., Moshksar, M. M., Hosseini, M. (2019). Microstructure, mechanical properties and formability of CP-Ti/low carbon steel bimetallic sheet fabricated by explosive welding. *Materials Research Express*, 6 (7), 076542. doi: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab15b8>
2. Xie, M.-X., Shang, X.-T., Zhang, L.-J., Bai, Q.-L., Xu, T.-T. (2018). Interface Characteristic of Explosive-Welded and Hot-Rolled TA1/X65 Bimetallic Plate. *Metals*, 8 (3), 159. doi: <https://doi.org/10.3390/met8030159>
3. De, C. P. (1993). Use of Titanium and its Alloys in Sea-Water Service. *High Temperature Materials and Processes*, 11 (1-4), 61–96. doi: <https://doi.org/10.1515/htmp.1993.11.1-4.61>
4. Pasang, T., Pramana, S., Kracum, M., Misiolek, W., Aziziderouei, M., Mizutani, M., Kamiya, O. (2018). Characterisation of Intermetallic Phases in Fusion Welded Commercially Pure Titanium and Stainless Steel 304. *Metals*, 8 (11), 863. doi: <https://doi.org/10.3390/met8110863>
5. Gurevich, S. M.; Zamkov, V. N. (Ed.) (1990). *Spravochnik po svarke tsvetnyh metallov*. Kyiv: Naukova dumka, 512.
6. Li, W. (2017). Ti-Fe intermetallics analysis and control in joining titanium alloy and stainless steel by laser metal deposition. *Missouri University of Science and Technology*, 24. Available at: https://scholarsmine.mst.edu/masters_theses/7856/
7. Krivtsun, I. V., Khaskin, V. Y., Korzhik, V. N., Ziyi, L. (2015). Industrial application of hybrid laser-arc welding (Review). *The Paton Welding Journal*, 7, 41–46. doi: <https://doi.org/10.15407/tpwj2015.07.07>
8. Lyushinsky, A. V. (2019). Application of ultrafine nickel powder for diffusion joining of titanium to stainless steel. *The Paton Welding Journal*, 4, 19–22. doi: <https://doi.org/10.15407/tpwj2019.04.04>
9. Bryzgalin, A. G., Pekar, E. D., Shlensky, P. S., Shirkov, G. D., Budagov, Y. A., Sabirov, B. M. (2017). Application of explosion welding for manufacture of trimetallic transition pieces of cryomodules of

- linear collider. *The Paton Welding Journal*, 12, 23–28. doi: <https://doi.org/10.15407/tpwj2017.12.04>
10. Turyk, E., Rybtsev, I. A. (2015). Experience in application of the european standards for qualification of surfacing procedures. *The Paton Welding Journal*, 6, 5–9. doi: <https://doi.org/10.15407/tpwj2015.06.01>
 11. Babu, N. K., Talari, M. K., Zheng, S., Dayou, P., Jerome, S., Muthupandi, V. (2014). Arc Welding. *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*, 593–615. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4670-4_53
 12. Gladkii, P. V., Perepletchikov, E. F., Ryabtsev, I. A. (2007). Plasma surfacing. *Welding International*, 21 (9), 685–693. doi: <https://doi.org/10.1080/09507110701631141>
 13. Choe, W., Jeong, C., Park, J. (2020). Application of Plasma Arc Welding for Anti-Corrosive Material with High Molybdenum Content. *Journal of Welding and Joining*, 38 (3), 248–253. doi: <https://doi.org/10.5781/jwj.2020.38.3.3>
 14. Matsui, H., Suzuki, H. (1998). Reduction of spatter in high-speed pulsed MAG welding. *Welding International*, 12 (3), 180–185. doi: <https://doi.org/10.1080/09507119809448471>
 15. V (Vanadium) Binary Alloy Phase Diagrams (2016). Alloy Phase Diagrams, 620–620. doi: <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v03.a0006216>
 16. Korzhuk, V., Khaskin, V., Voitenko, O., Sydorets, V., Dolianovskaia, O. (2017). Welding Technology in Additive Manufacturing Processes of 3D Objects. *Materials Science Forum*, 906, 121–130. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.906.121>
 17. Zhang, Q. L., Fan, C. L., Lin, S. B., Yang, C. L. (2014). Novel soft variable polarity plasma arc and its influence on keyhole in horizontal welding of aluminium alloys. *Science and Technology of Welding and Joining*, 19 (6), 493–499. doi: <https://doi.org/10.1179/1362171814y.0000000215>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243374

REGULARITIES IN THE FORMATION OF WEAR-RESISTANT COATINGS ON STEEL SAMPLES WHEN MACHINING THEM WITH ELECTRICAL DISCHARGE (p. 83–90)

Dmytro Marchenko

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0808-2923>

Viacheslav Kurepin

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4383-6177>

This paper considers the technology of electrical discharge machining of steel friction pairs and reports the results of experimental studies. Analysis of the experimental studies has shown that increasing the “anode-cathode” voltage leads to a sharp decrease in the micro-hardness of the surface layer. The study has also made it possible to determine the characteristic dimensions of the structural elements, the height parameters of surface roughness. The elemental composition of the resulting surface of a steel 15KHGN2TA sample differs from the composition of coatings and the surface layers of samples modified by electrical discharge machining involving various electrodes. Under the “anode-cathode” system operation mode, a thin layer of coating with a stable modified structure forms on the surface of the cathode due to dissipative processes. It is shown that the height of surface irregularities on sections after friction is higher than on the surface sections outside the friction flow, which is associated with the formation of a friction transfer film on the samples’ surface. It was established that the interaction of friction of steel

samples treated by electrical discharge machining forms a thin film on the surface of friction of steel samples, which leads to a change in the relief of surfaces with an increase in the height of the micro-protrusions, as well as the structuring of the transfer film in the direction of sliding. The effect of machining steel surfaces by electrical discharge on the wear resistance of metal-polymer tribosystem was established. The implementation of the devised technology could provide a significant increase in the wear resistance of metal-polymer tribojunctions.

Keywords: alloying electrode, wear resistance of metal polymers, tribojunction, electrical discharge machining, steel modification.

References

1. Alimbaeva, B. Sh., Marchenko, D. D. (2009). Poverhnostnoe uprochnenie stal'nyh detaley s pomoshch'yu tekhnologii elektroiskrovogo legirovaniya. Povyshenie nadezhnosti i prochnosti detaley pri remonte s vnedreniem perspektivnyh metodov uprochneniya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 8 (09), 154–178.
2. Bayati, M. R., Molaei, R., Janghorban, K. (2011). Surface alloying of carbon steels from electrolytic plasma. *Metal Science and Heat Treatment*, 53 (1), 91–94. doi: <https://doi.org/10.1007/s11041-011-9347-5>
3. Bunshah, F. (2001). *Handbook of Hard Coatings. Deposition Technologies, Properties and Applications*. William Andrew, 560.
4. Kanayev, A. T. (2008). Plasma Surface Hardening of Crests of Wheels of a Rolling Stock. *Materialy IV Mezinarodnivedecko-prakticka conference VEDA TEORIE A PRAXE-2008*. Praha, 56–60.
5. Meletis, E. I., Nie, X., Wang, F. L., Jiang, J. C. (2002). Electrolytic plasma processing for cleaning and metal-coating of steel surfaces. *Surface and Coatings Technology*, 150 (2-3), 246–256. doi: [https://doi.org/10.1016/s0257-8972\(01\)01521-3](https://doi.org/10.1016/s0257-8972(01)01521-3)
6. Newbery, A. P., Grant, P. S. (2009). Arc Sprayed Steel: Microstructure in Severe Substrate Features. *Journal of Thermal Spray Technology*, 18 (2), 256–271. doi: <https://doi.org/10.1007/s11666-009-9300-y>
7. Mazhyn, S., Laila, Z., Michael, S. (2012). Electrolytic-plasma cementation influence of regimes on phase structure and steel 30CrMnSi hardening. 2012 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST). doi: <https://doi.org/10.1109/ifost.2012.6357723>
8. Ulianitsky, V., Shtertser, A., Zlobin, S., Smurov, I. (2011). Computer-Controlled Detonation Spraying: From Process Fundamentals Toward Advanced Applications. *Journal of Thermal Spray Technology*, 20 (4), 791–801. doi: <https://doi.org/10.1007/s11666-011-9649-6>
9. Witke, T., Schuelke, T., Schultrich, B., Siemroth, P., Vetter, J. (2000). Comparison of filtered high-current pulsed arc deposition (ϕ -HCA) with conventional vacuum arc methods. *Surface and Coatings Technology*, 126 (1), 81–88. doi: [https://doi.org/10.1016/s0257-8972\(00\)00544-2](https://doi.org/10.1016/s0257-8972(00)00544-2)
10. Yerokhin, A. L., Nie, X., Leyland, A., Matthews, A., Dowey, S. J. (1999). Plasma electrolysis for surface engineering. *Surface and Coatings Technology*, 122 (2-3), 73–93. doi: [https://doi.org/10.1016/s0257-8972\(99\)00441-7](https://doi.org/10.1016/s0257-8972(99)00441-7)
11. Lewis, S. R., Lewis, R., Olofsson, U. (2011). An alternative method for the assessment of railhead traction. *Wear*, 271 (1-2), 62–70. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2010.10.035>
12. Lewis, S. R., Lewis, R., Richards, P., Buckley-Johnstone, L. E. (2014). Investigation of the isolation and frictional properties of hydrophobic products on the rail head, when used to combat low adhesion. *Wear*, 314 (1-2), 213–219. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.11.024>
13. Bhushan, B. (2013). *Introduction to Tribology*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118403259>

14. Zaspá, Y., Dykha, A., Marchenko, D., Matiukh, S., Kukurudzyak, Y. (2020). Exchange interaction and models of contact generation of disturbances in tribosystems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (106)), 25–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209927>
15. Dykha, A., Marchenko, D., Artyukh, V., Zubiakhina-Khariat, 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>
16. Butakov, B. I., Marchenko, D. D. (2013). Promoting contact strength of steel by rolling. *Journal of Friction and Wear*, 34 (4), 308–316. doi: <https://doi.org/10.3103/s106836661304003x>
17. Marchenko, D. D., Dykha, A. V., Artyukh, V. A., Matvyeyeva, K. S. (2020). Studying the Tribological Properties of Parts Hardened by Rollers during Stabilization of the Operating Rolling Force. *Journal of Friction and Wear*, 41 (1), 58–64. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068366620010122>
18. Raskin, L. G., Seraya, O. V. (2008). *Nechetkaya matematika*. Kharkiv: Parus, 352.
19. Hartman, K., Letskiy, E., Shefer, V. et. al. (1977). *Planirovanie eksperimenta v issledovanii tekhnologicheskikh protsessov*. Moscow: Mir, 552.
20. Mezrin, A. M. (2009). Determining local wear equation based on friction and wear testing using a pin-on-disk scheme. *Journal of Friction and Wear*, 30 (4), 242–245. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068366609040035>
21. Togawa, K., Arai, S., Uwatoko, M. (2012). Influence of Traction Sheave P.C.D. Difference on Sheave and Rope. *The Proceedings of the Elevator, Escalator and Amusement Rides Conference, 2011*, 31–34. doi: <https://doi.org/10.1299/jsmeearc.2011.31>
22. Dykha, A., Marchenko, D. (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>
23. Ryu, J. B., Chae, Y. H., Kim, S. S. (2005). A Fundamental Study of the Tribological Characteristics of Sheave Steel against a Wire Rope. *Key Engineering Materials*, 297-300, 1382–1387. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.297-300.1382>
24. Erdonmez, C., Imrak, C. (2009). Modeling and numerical analysis of the wire strand. *Journal of Naval Science and Engineering*, 5 (1), 30–38. Available at: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/105285>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242503

ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ СИНТЕЗОВАНИХ НАНОПОРОШКІВ ДІОКСИДУ ЦИРКОНІЮ (с. 6–19)

Е. С. Геворкян, В. П. Нерубацький, В. О. Чижкала, О. М. Морозова

Розглянуто особливості формування мікроструктури композитів на основі синтезованих хімічним способом методом розкладу з фторидних солей нанопорошків діоксиду цирконію. При цьому було використано фтороводневу кислоту, концентровану азотну кислоту, водний розчин аміаку, металевий цирконій, полівініловий спирт. Встановлено, що зменшення пористості нанопорошків в процесі спікання є головним завданням на шляху формування високощільних матеріалів.

Проведено аналіз різних вихідних нанопорошків, їх морфології та особливостей спікання методом гарячого пресування з прямим пропусканням електричного струму. Розглянуто особливості отримання композитів на їх основі з добавками нанопорошків Al_2O_3 при використанні методу електроспікання. Показано, що збільшення вмісту нанодобавок оксиду алюмінію призводить до підвищення міцності і тріщиностійкості зразків за рахунок одночасного стримування аномального росту зерен та формування більш дрібної структури з високим вмістом тетрагональної фази.

Досліджено вплив режимів спікання на формування мікроструктури нанопорошків діоксиду цирконію з різним вмістом добавок оксиду алюмінію. Електричний струм сприяє поверхневій активності нанопорошків, а його змінне значення – частковому дробленню агломерованих зерен, таким чином впливаючи на структуроутворення композитів.

Визначено фізико-механічні властивості отриманих зразків, оптимальні склади сумішей та можливості поліпшення деяких параметрів. Встановлено, що для отримання композиційних матеріалів з високими фізико-механічними властивостями нанопорошки діоксиду цирконію, отримані методом розкладання з фторидних солей, цілком підходять. Вони конкурентоспроможні з імпорнтними аналогами та дозволяють отримати тріщиностійкість $7,8 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ та міцність 820 МПа.

Ключові слова: діоксид цирконію, композиційні матеріали, консолідація, мікроструктура, оксид алюмінію, спікання, тріщиностійкість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238507

АНАЛІЗ МЕХАНІЧНОЇ МІЦНОСТІ ВОЛОКНА ЦУКРОВОЇ ПАЛЬМИ РІЗНОЇ МАСОВОЇ ЧАСТКИ В ЯКОСТІ АРМУЮЧОГО МАТЕРІАЛУ ПОЛІПРОПІЛЕН-ЕЛАСТОМЕРНОЇ МАТРИЦІ ГІБРИДНОГО КОМПОЗИТУ (с. 20–29)

I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa, I Gusti Ayu Agung Praharsini, I Gusti Agung Alit Suryawati, Pratikto

В даний час доступність поліпропілену, еластомеру і волокна цукрової Пальми (*Arenga pinnata*) дуже велика, що підвищує потенціал розробки нових композиційних матеріалів, що володіють хорошими властивостями і характеристиками. Композити, як правило, являють собою новий матеріал, що складається з двох або більше різних матеріалів з метою отримання нового матеріалу, що володіє кращими властивостями, ніж складові матеріали. У цьому дослідженні пластик поліпропілен (ПП) і еластомер використовували в якості матриці композиту, армованої волокном цукрової пальми (*Arenga pinnata*). Метою даного дослідження було визначити значення міцності на розрив, ударної в'язкості і міцності на вигин композитів з масовою часткою 20 % (80:20), 30 % (70:30), і 40 % (60:40). За результатами дослідження гібридних композитів з поліпропілену і армованих волокнами еластомерів, найменше значення міцності на розрив 1,153 МПа отримали композити з масовою часткою 20% (80:20), в той час як найбільше значення 2,613 МПа отримали композити з масовою часткою 40% (60:40). Найменше значення деформації при розтягуванні 0,0049 отримали композити з масовою часткою 20% (80:20), найбільше значення 0,0067 було виявлено в композитах з масовою часткою 40 % (60:40). Що стосується ударної в'язкості, найменше значення $45248,234 \text{ кДж/мм}^2$ отримав композит з масовою часткою 40 % (40:60), в той час як найвищу ударну в'язкість $17649,97 \text{ кДж/мм}^2$ отримав композит з масовою часткою 20 % (80:20). За результатами міцності на вигин найменше значення 1,7778 МПа отримав композит з масовою часткою 20% (80:20), в той час як найбільше значення 4,8867 МПа отримав композит з масовою часткою 30 % (70:30). Найбільша деформація при вигині була виявлена у композиті з масовою часткою 20 % (80:20), яка склала 0,0207.

Ключові слова: гібридний композит, волокно цукрової Пальми (*Arenga pinnata*), поліпропілен, еластомер, механічні властивості.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243149

РОЗРОБКА І ВЕРИФІКАЦІЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ, ВИГОТОВЛЕНОГО З ТЕРМОПЛАСТИЧНОЇ МАТРИЦІ І КОРОТКОГО СКЛОВОЛОКНА (с. 30–38)

Madina Isametova, Gazel Abilezova, Nikolay Dishovsky, Petar Velez

У роботі представлені результати комп'ютерного моделювання та прогнозування механічних властивостей композиційних матеріалів з полікарбонатною матрицею, заповненою короткими скляними включеннями. На мікрорівні в програмі

DIGIMAT (Франція) вивчено вплив обсягу включень на механічні властивості створюваного композиту на основі полікарбонатної матриці. Було встановлено, що при співвідношенні розмірів включень в діапазоні 468÷60 частинки мають голчасту форму, матеріал з такими включеннями має більш високу межу міцності і модуль пружності, ніж при коефіцієнті форми менше 50. Також були визначені компоненти тензора орієнтації волокон, за яких значення комп'ютерного моделювання добре узгоджуються з даними експериментів. Вивчено вплив розміру сітки кінцевих елементів на характеристики композиту на макрорівні, надано рекомендації щодо вибору розміру грані кінцевого елемента. Відповідність комп'ютерних моделей було підтверджено результатами натурних випробувань. У роботі представлені результати випробувань плоских зразків, виготовлених за технологією лиття під тиском. Механічні випробування проводилися на трьох варіантах зразків, виготовлених з композиційного матеріалу на основі полікарбонатної матриці з включеннями 10 %, 20% і 30 %. Розбіжність між експериментальними і комп'ютерними результатами для зразків з вмістом коротких рубаних відрізків волокон 10 %, 20% пояснюється впливом технологічних факторів на властивості матеріалу на макрорівні.

Проведені дослідження дозволили розробити методіку комп'ютерного моделювання, що застосовується на етапі створення полімерних композитів на основі термопластичних матриць з короткими скляними включеннями.

Ключові слова: композиційний матеріал, полікарбонат, коротке скловолокно, DIGIMAT, модуль пружності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242853

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОХРОМНИХ ПЛІВОК Ni(OH)₂-ПВС НА ФТО СКЛІ ПРИ РІЗНІЙ ТРИВАЛОСТІ ОСАДЖЕННЯ (с. 39–46)

В. А. Коток, В. Л. Коваленко, Р. К. Нафеев, В. В. Вербицький, О. С. Мельник, І. Л. Плаксієнко, Д. А. Сухомлин, С. В. Філоненко, А. А. Кочерга, Н. П. Макаренко

Використання електрохромних елементів в «розумних» вікнах веде до значної економії електроенергії необхідної для охолодження приміщень. Проте, висока вартість цих пристроїв не дозволяє широко використовувати технологію. Оскільки вартість визначається витратними вакуумними методами нанесення, розробка інших більш дешевих методів нанесення шарів електрохромного елемента актуальна.

Було досліджено аспекти альтернативного вакуумним методом формування – катодного темплатного електрохімічного осадження композитних електрохромних плівок Ni(OH)₂-ПВС.

Дослідження присвячено визначенню впливу тривалості осадження електрохромного шару на їх фізико-хімічні характеристики зокрема на оптичні і електрохімічні властивості. Осадження проводили на скло з нанесеним оксидом олова допованим фтором (ФТО скло). Тривалість осадження була обрана рівною 5, 10, 20, 40, 60 і 80 хвилин.

В результаті проведення експериментів було показано, що оптимальною тривалістю осадження при вибраних умовах формування електрохромного шару є інтервал від 5 до 20 хвилин включно. Тривалість осадження в 40 хвилин не давала виграшу в оптичних характеристиках плівки. У той же час при тривалості осадження 60 і 80 хвилин електрохімічні та оптичні параметри різко знижувалися – зменшувалася глибина затемнення і незворотність при освітленні, а також питомі ємності процесів.

В процесі обробки даних були розраховані товщини плівок в залежності від тривалості осадження декількома варіантами. Порівняння отриманих графіків дозволило визначити приблизну кількість полівінілового спирту в електрохромному композитному покритті, а також оцінити вихід за струмом процесу електроосадження. При цьому об'єм полівінілового спирту у композиті приблизно дорівнює об'єму гідроксиду нікелю, а ефективності процесів осадження та забарвлення-знебарвлення Ni(OH)₂ були приблизно 100 %.

Ключові слова: електрохромізм, електроосадження, гідроксид нікелю, полівініловий спирт, тривалість осадження, товщина покриття, адгезія.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243179

РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЮВЕЛІРНИХ СПЛАВІВ БІЛОГО КОЛЬОРУ НА ОСНОВІ СРІБЛА ТА ПЛАТИНИ ДЛЯ ЦІЛЕЙ ПРОБІРНОГО КОНТРОЛЮ (с. 47–59)

Т. М. Артюх, І. В. Григоренко, А. С. Тернова, С. В. Ягелюк, О. М. Верінікін, М. І. Чернавка

Розглянуто процедуру ідентифікації білих ювелірних сплавів на основі дорогоцінних металів, зокрема срібла, платини та металів платинової групи із різним вмістом легуючих компонентів шляхом випробування на пробірному камені та методом рентгенофлуоресцентного аналізу. Вдосконалено методіку оцінки відповідності проби срібла та платини в ювелірних сплавах білого кольору різного компонентного складу вимогам нормативної документації та процедуру їх ідентифікації.

Встановлено, що величина проби срібла у дорогоцінних сплавах системи SrM, SrЦМ, визначена за допомогою реактиву «Біхромат калію» на пробірному камені, залежить від прояву контрастності якісної реакції від стандартного зразка (пробірної голки).

Доведено, що для випробування срібних сплавів з вмістом паладію ефективним є «Кислотний реактив на золото 750 проби», який працює для визначення якісного і орієнтовного вмісту срібла у сплавах.

Визначено, що реактив «Залізосинеродистий калій» є дуже чутливим до зміни лігатурного складу срібних сплавів і дозволяє встановити вміст срібла з точністю до 5 %. Присутність у срібних сплавах таких домішок, як цинк, кадмій, нікель, золото, паладій та інші збільшує похибку визначення проби срібла та утворює інший колір та відтінок.

Доведено, що випробування срібних сплавів на пробірному камені азотнокислим сріблом ефективно лише для системи SrM. Наявність цинку в срібних сплавах 925 проби візуально збільшує інтенсивність кольору осаду, що свідчить про більш високу завищену пробу.

Встановлено, що ідентифікація вмісту дорогоцінних сплавів на основі платини на наявність лігатурних компонентів здійснюється реактивом «Йодистий калій» при $t=120$ °C за кольором та відтінком осаду.

Оптимізовано процедуру застосування йодистого калію під час опробування дорогоцінних сплавів на основі платини.

Ключові слова: пробірний контроль, дорогоцінні сплави на основі срібла та платини, пробірний камінь.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243236

РОЗРОБКА СПЛАВА СТАЛІ Fe-11Al-xMn ЗА КРІОГЕННИХ ТЕМПЕРАТУР (с. 60–68)

Ratna Kartikasari, Adi Subardi, Andy Erwin Wijaya

Дане дослідження спрямоване на підвищення надійності Fe-11Al-Mn за рахунок поєднання властивостей Mn та переваги Fe-Al-C при криогенних температурах. Було досліджено три сплави Fe-11Al-Mn із складами 15 масових % Mn (F15), 20 масових % Mn (F20) та 25 масових % Mn (F25). У криогенному процесі використовують рідкий азот у діапазоні температур 0–196 °C. Для аналізу мікроструктури використовували випробування на твердість з використанням методу Віккерса та електронного скануючого мікроскопа. Випробування дифракції рентгенівських променів були проведені для підтвердження наявності фази сплаву Fe-11Al-Mn, а випробування на корозію були проведені з використанням методу поляризації триелектродного осередку. При додаванні Mn твердість по Віккерс сплаву Fe-11Al-Mn знизилася з 331,50 VHN при 15 масових % до 297,91 VHN при 25 масових %. Значення міцності на розрив та відносного подовження при розриві склали 742,21 МПа, 35,3 % EI; 789,03 МПа, 41,2 % EI; та 894,42 МПа, 50,2 % EI, для F15, F20 та F25 відповідно. Важливим фактором покращення характеристик криогенних матеріалів є ударний механізм. В результаті ударна в'язкість збільшилася на 2,85 Дж/мм² до 3,30 Дж/мм² F15 і F25 відповідно. Додавання елемента Mn підвищує корозійну стійкість металу Fe-11Al-Mn. Найнижча швидкість корозії спостерігається масою від 25 % Mn до 0,016 мм/год. Згідно з результатами, сплав F25 має найвищу механічну та корозійну стійкість із трьох типів сплавів, еквівалентних нержавіючій сталі SS 304. Мікроструктура сплаву Fe-11Al-Mn була аналогічною до та після криогенної температурної обробки, ця умова показала, що мікроструктура не змінилася під час процесу. Судячи із загальних результатів, сплав Fe-11Al-Mn є перспективним кандидатом для застосування в матеріалах, що працюють при криогенних температурах, за рахунок оптимізації вмісту Mn.

Ключові слова: Fe-11Al-Mn, мікроструктура, механічні характеристики, удар, корозійна стійкість, криогенна температура.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.240154

АНАЛІЗ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПРИ ДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ БАР'ЄРНИХ ШАРІВ НА ТИТАН ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ УТВОРЕННЯ ІНТЕРМЕТАЛІДІВ В З'ЄДНАННЯХ «ТИТАН-СТАЛЬ» (с. 69–82)

В. М. Коржик, В. Ю. Хаскін, А. А. Гринюк, О. В. Ганущак, В. О. Щерецький, С. І. Пелешенко, О. В. Конорева, О. І. Дем'янов, Н. М. Фіалко, В. В. Квасницький

Розглянуто можливість отримання якісних стикових з'єднань біметалевих листів зі сталі, плакованої шаром титану, із застосуванням бар'єрних прошарків. Вирішувалася задача запобігання утворенню інтерметалідних фаз (ІМФ) Ti-Fe між сталлю і титановим шаром. Наплавлення бар'єрних прошарків (висотою ~0,5 мм) з ванадію і мідних сплавів виконувалося дуговими способами з мінімізацією рівня термічного впливу на основний метал. Для цього застосовували плазмове наплавлення зі струмопровідним дротом і імпульсне MAG наплавлення. Отримані зразки досліджували методами металографії, рентгеноспектрального мікроаналізу, діюметричного аналізу. Встановлено, що при напавленні шару ванадію на поверхню титану, утворюється бездефектна структура змінного складу (53,87–65,67) мас. % Ti з (33,93–45,54) мас. % V без ІМФ. Подальше наплавлення сталі на шар ванадію призводить до формування евтектики (твердістю до 5523 МПа) в зоні сплавлення, а також до утворення тріщин. Для запобігання утворенню ІМФ проведено наплавлення шару бронзи CuBe₂ на поверхню ванадію. Шар, який формувався при цьому, сприяв утворенню сітки гарячих тріщин. У зонах переходу титан-ванадій-мідь (шириною 0,1–0,2 мм) спостерігалася крихка фаза. Для усунення цього недоліку бронзу CuBe₂ замінили бронзою CuSi₃Mn₁ і отримали бездефектне з'єднання. У разі використання бар'єрного шару з CuSi₃Mn₁ отримано бездефектне з'єднання (10–30 %Ti, 18–50 %Fe, 5–25 %Cu). Проведені дослідження дозволяють рекомендувати CuSi₃Mn₁ як бар'єрний прошарок для зварювання біметалевих листів «сталь-титан». Одним із застосувань результатів досліджень може бути зварювання повздовжностовних труб магістральних нафто- і газопроводів, сформованих з біметалевих листів сталі, плакованої титаном.

Ключові слова: біметал сталь-титан, бар'єрний прошарок, структура, інтерметалідні фази, границя розділу.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243374

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ СТАЛЕВИХ ЗРАЗКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЇХ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ (с. 83–90)

Д. Д. Марченко, В. М. Курепін

Розглянуто технологію електроерозійної обробки сталевих пар тертя та представлено результати експериментальних досліджень. Аналіз експериментальних досліджень показав, що збільшення напруги «анод-катод» призводить до різкого зни-

ження мікротвердості поверхневого шару. Дослідження також дозволило визначити характерні розміри елементів конструкції, параметри висоти шорсткості поверхні. Елементний склад вихідної поверхні зразка зі сталі 15ХГН2ТА відрізняється від складу покриттів та поверхневих шарів зразків, модифікованих електроерозійною обробкою різними електродами. У режимі роботи системи «анод-катод» на поверхні катода внаслідок дисипативних процесів утворюється тонкий шар покриття стійкої модифікованої структури. Показано, що висота поверхневих нерівностей на ділянках після тертя вища, ніж на ділянках поверхні поза течією тертя, що пов'язано з утворенням на поверхні зразків плівки перенесення тертя. Встановлено, що взаємодія тертя зразків сталі, оброблених електроерозійним методом, утворює тонку плівку на поверхні тертя зразків сталі, що призводить до зміни рельєфу поверхонь із збільшенням висоти мікровиступів та структурування переносної плівки в напрямку ковзання. Встановлено вплив електроерозійної обробки сталевих поверхонь на зносостійкість металоолімерної трибосистеми. Впровадження розробленої технології забезпечить істотне підвищення зносостійкості металоолімерних трибоспряжень.

Ключові слова: легуючий електрод, зносостійкість металоолімерів, трибоспряження, електроерозійна обробка, модифікування сталі.