

ABSTRACT AND REFERENCES

MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247624

DEVISING CRITERIA FOR THE AUTHENTICITY OF HISTORICAL COLD WEAPONS BASED ON X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS OF THEIR SURFACE (p. 6–11)**Nina Merezhko**Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3077-9636>**Yuliia Vovk**Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0459-0189>**Volodymyr Indutnyi**Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6676-7472>**Kateryna Pirkovich**Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1461-0235>**Valentyna Davydiuk**National Military History Museum of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9930-1051>**Oleksii Andreiev**National Research Restoration Center of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9043-3795>

This paper reports the results of studying the chemical composition of the surface of 4 objects of cold weapons of the 19th and early 20th centuries, made of iron – bayonet knives and sabers. This makes it possible to establish the signs of authenticity of cold weapon samples made of iron in that chronological period.

An authentic procedure has been proposed for examining the chemical composition of the surface of historical objects of cold weapons by rubbing the samples with cotton wool swabs and their subsequent investigation. This makes it possible to explore objects of cold weapons, whose size is large, as well as simplify the very procedure for studying objects of historical and cultural value.

Using the X-ray fluorescent chemical analyzer Expert Mobile, chemical elements were found at the surface of samples of cold weapons made of iron. The presence of such elements is the result of the process of re-crystallization and self-purification of metal during a long history of its life. Elements found in almost every rubbing sample were identified: calcium, ferrum, zinc, cuprum, and chlorine.

The studies of cold weapons samples testify to the heterogeneity of the composition of patina formations on their surface, which confirms the authenticity of ancient objects. In addition, the studies have shown a difference in the chemical composition of surface layers of different parts of individual samples of antique cold weapons, which may indicate different times or different technology for their manufacture.

The fluorescence spectra of the obtained rubbing of individual samples of cold weapons were compared with “pure” material, which made it possible to identify elements removed from the surface of objects. The study results are important indicators to confirm the authenticity of cultural monuments and the technology of their manufacture in the past.

Keywords: cold weapons, metal affinity, metal crystallization, impurity chemical elements, X-ray fluorescence analysis.

References

1. Indutnyi, V. V., Pokhodiashcha, O. B. (2021). Ekspertyza pamiatok kultury. Kyiv: Litera LTD, 516.
2. Indutnyi, V., Merezhko, N., Pirkovich, K. (2019). Studying the authenticity of the golden element from a mongolian warrior's armor by physicalchemical methods. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (12 (97)), 34–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.157156>
3. Indutnyi, V., Merezhko, N., Pirkovich, K., Andreiev, O. (2021). Identification of patterns of crystal-chemical transformations in historical artifacts made of metals. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (12 (109)), 44–51. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225418>
4. Kikuchi, N. (2020). Development and Prospects of Refining Techniques in Steelmaking Process. ISIJ International, 60 (12), 2731–2744. doi: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.isijint-2020-186>
5. Mincu, V., Constantin, N. (2013). Refining steels produced in electric arc furnace. U.P.B. Sci. Bull., Series B., 75 (2), 109–116. Available at: https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/full80c_761668.pdf
6. Robbiola, L., Blengino, J.-M., Fiaud, C. (1998). Morphology and mechanisms of formation of natural patinas on archaeological Cu–Sn alloys. Corrosion Science, 40 (12), 2083–2111. doi: [https://doi.org/10.1016/s0010-938x\(98\)00096-1](https://doi.org/10.1016/s0010-938x(98)00096-1)
7. Scrivano, S., Gómez Tubío, B., Ortega-Feliu, I., Ager, F. J., Paul, A., Respaliza, M. A. (2017). Compositional and microstructural study of joining methods in archaeological gold objects. X-Ray Spectrometry, 46 (2), 123–130. doi: <https://doi.org/10.1002/xrs.2738>
8. Troalen, L., Guerra, M. F., Maitland, M., Ponting, M., Price, C. (2019). Analytical study of the Middle Kingdom group of gold jewellery from tomb 124 at Riqqa, Egypt. X-Ray Spectrometry, 48 (6), 586–596. doi: <https://doi.org/10.1002/xrs.3026>
9. Guerra, M. F., Pagès-Camagna, S. (2019). On the way to the New Kingdom. Analytical study of Queen Ahhotep's gold jewellery (17th Dynasty of Egypt). Journal of Cultural Heritage, 36, 143–152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.09.004>
10. Ashkenazi, D., Gitler, H., Stern, A., Tal, O. (2017). Metallurgical investigation on fourth century BCE silver jewellery of two hoards from Samaria. Scientific Reports, 7 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/srep40659>
11. Constantinescu, B., Vasilescu, A., Radtke, M., Reinholz, U. (2010). Micro-SR-XRF studies for archaeological gold identification – the case of Carpathian gold and Romanian museal objects. Applied Physics A, 99 (2), 383–389. doi: <https://doi.org/10.1007/s00339-010-5624-1>
12. Pakharenko, V. L., Marchuk, M. M. (2009). Materialoznavstvo ta tekhnolohiya konstruksiynykh materialiv (metalurhiya, lyvarne vyrobnytstvo). Rivne: NUVHP, 179. Available at: https://www.studmed.ru/view/paharenko-vl-marchuk-mm-materaloznavstvo-ta-tehnologiya-konstruksiynih-materialv-metallurgiya-livarnyevirobnictvo_9ccd42c5d07.html

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244118

EFFECT OF PACK CARBURIZING WITH CHICKEN EGG SHELL POWDER AGENT AND VIBRATOR QUENCHING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF AISI 9310 STEEL (p. 12–19)**Sinarep Sinarep**University of Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1515-9279>

Sujita Darmo

University of Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4516-3554>

The effects of vibrator quenching (VQ) on the carbon content, microstructure, and mechanical properties (surface hardness number, wear resistance) in the pack carburizing of AISI 9310 steel were studied. The aim of this research is to increase the surface hardness and improve the wear resistance of AISI 9310 steel. The problem that often occurs in the quenching treatment after pack carburizing is that the thick cooling medium does not evenly wet the surface of the specimen, so that the cooling rate is not uniform, the impact is the distribution of the specimen surface hardness is not the same. Therefore, it is necessary to research the implementation of the vibrator in the quenching treatment.

The specimens were treated with pack carburizing at a temperature of 875 °C, soaking time for 3 hours. The carburizing agent consisted of chicken egg shell powder (CESP) and rice husk charcoal (RHC) with various weight ratios of 5%:95%, 15%:85%, and 30%:70%. Followed by quenching treatment using a 10% cane molasses cooling medium and vibrator. Hardness testing was carried out using a Vickers microhardness tester, wear resistance test using the pin-on-disc method, and a scanning electron microscope (SEM-EDX) was used to observe changes in the microstructure and carbon elemental content on the specimen surface.

The results showed that the application of VQ caused the formation of a small martensite microstructure while without VQ it was large martensite and a few of residual ferrite. The highest surface hardness number is 685 kg/mm², the wear resistance is 0.32 cm/mg for pack carburizing, using carburizing agent 70% RHC, 30% CESP and VQ. VQ causes a more even distribution of the thick cane molasses cooling medium so that the cooling rate of the specimens is uniform.

Keywords: AISI 9310 steel, vibrator quenching, pack carburizing, surface hardness number, wear resistance.

References

- Xie, L., Palmer, D., Otto, F., Wang, Z., Jane Wang, Q. (2014). Effect of Surface Hardening Technique and Case Depth on Rolling Contact Fatigue Behavior of Alloy Steels. *Tribology Transactions*, 58 (2), 215–224. doi: <https://doi.org/10.1080/10402004.2014.960957>
- Nedeloni, L., Korka, Z. I., Pascal, D. T., Kazamer, N., Nedeloni, M. D. (2018). Comparative Study on Dry Sliding Wear Resistance of Carbon Steel, Alloyed Steel and Cast Iron. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 416, 012026. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/416/1/012026>
- The Effect of Liquid Nitriding and Carborizing on Adhesive Wear Resistance of Carbon Steel 1020 (2011). *Engineering and Technology Journal*, 29 (5), 231–240. Available at: https://etj.uotechnology.edu.iq/article_30781.html
- Hawas, M. N. (2013). Effect of Ageing Time on Adhesive Wear of AL Alloy AA6061-T6. *Journal of Kerbala University*, 11 (4), 145–152. Available at: https://www.researchgate.net/publication/320546383_Effect_of_Ageing_Time_on_Adhesive_Wear_of_AL_Alloy_AA6061-T6
- Singh, S., Singh, D., Sachan, K., Arya, A. (2013). Effect of Soaking Time And Applied Load On Wear Behavior of Carburized Mild Steel. *IOSR Journal of Engineering*, 03 (02), 10–19. doi: <https://doi.org/10.9790/3021-03211019>
- Ihom, A. P., Nyior, G. B., Alabi, O. O., Segun, S., Nor Iv, J., Ogbodo, J. (2012). The Potentials of Waste Organic Materials for Surface Hardness Improvement of Mild Steel. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3 (11). Available at: <https://www.ijser.org/researchpaper/The-Potentials-of-Waste-Organic-Materials-for-Surface-Hardness-Improvement-of-Mild-Steel.pdf>
- García Molleja, J., Milanese, M., Piccoli, M., Moroso, R., Niedbalski, J., Nosei, L. et. al. (2013). Stability of expanded austenite, generated by ion carburizing and ion nitriding of AISI 316L SS, under high temperature and high energy pulsed ion beam irradiation. *Surface and Coatings Technology*, 218, 142–151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.12.043>
- Morita, T., Hirano, Y., Asakura, K., Kumakiri, T., Ikenaga, M., Kagaya, C. (2012). Effects of plasma carburizing and DLC coating on friction-wear characteristics, mechanical properties and fatigue strength of stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*, 558, 349–355. doi: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.08.011>
- Awogbemi, O., Inambao, F., Onuh, E. I. (2020). Modification and characterization of chicken eggshell for possible catalytic applications. *Heliyon*, 6 (10), e05283. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05283>
- Arunlertaree, C., Kaewsomboon, W., Kumsopa, A., Pokethitiyook, P., Panyawathanakit, P. (2007). Removal of lead from battery manufacturing wastewater by egg shell. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 29 (3), 857–868. Available at: https://www.researchgate.net/publication/26469281_Removal_of_lead_from_battery_manufacturing_wastewater_by_egg_shell
- Wei, Y., Zurecki, Z., Sisson, R. D. (2015). Optimization of processing conditions in plasma activated nitrogen–hydrocarbon carburizing. *Surface and Coatings Technology*, 272, 190–197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.04.006>
- Alsultan, S., Quitzke, C., Cheng, Z., Krüger, L., Volkova, O., Wendler, M. (2021). Strain-Induced Martensite Formation and Mechanical Properties of Fe–19Cr–4Ni–3Mn–0.15N–0.15C Austenitic Stainless Steel at Cryogenic Temperature. *Steel Research International*, 92 (6), 2000611. doi: <https://doi.org/10.1002/srin.202000611>
- Nwoke, V. U., Nnuka, E. E., Odo, J. U., Obiorah, S. M. O. (2014). Effect of Process Variables On The Mechanical Properties Of Surface Hardened Mild Steel Quenched In Different Media. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3 (4), 388–398. Available at: <https://www.ijstr.org/final-print/apr2014/Effect-Of-Process-Variables-On-The-Mechanical-Properties-Of-Surface-Hardened-Mild-Steel-Quenched-In-Different-Media.pdf>
- Darmo, S., Sinarep, S., Soenoko, R. (2021). A study of the pack carburizing quenching treatment with cane molasses cooling medium effect on the wear resistance of low carbon steel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (110)), 32–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.228627>
- Jiang, X., Zhou, Y., Shi, C., Mao, D. (2018). Effects of Ultrasonic-Aided Quenching on the Corrosion Resistance of GB 35CrMoV Steel in Seawater Environment. *Metals*, 8 (2), 104. doi: <https://doi.org/10.3390/met8020104>
- Zhao, W., Liu, D., Chiang, R., Qin, H., Zhang, X., Zhang, H. et. al. (2020). Effects of ultrasonic nanocrystal surface modification on the surface integrity, microstructure, and wear resistance of 300M martensitic ultra-high strength steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 285, 116767. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116767>
- Llano, J. F., Pérez, E. A., Cárdenas, A. (2019). Husk rice used in the pack carburizing process of the AISI 1020 steel. *International Journal of Engineering & Technology*, 8 (3), 333–336. Available at: <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/29484>
- Redmann, R., Kessler, O. (2012). Ultrasonic assisted water quenching of aluminium and steel cylinders. *International Heat Treatment and Surface Engineering*, 6 (3), 115–121. doi: <https://doi.org/10.1179/1749514812z.000000000021>
- Barbosa, J., Puga, H. (2017). Ultrasonic melt processing in the low pressure investment casting of Al alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 244, 150–156. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.01.031>
- Dodo, M. R., Dauda, E. T., Adamu, M. A. (2016). Investigating the cooling rate of cane molasses as quenching medium for 0.61% C

high carbon steels. *Metallurgical and Materials Engineering*, 22 (1), 39–50. doi: <https://doi.org/10.30544/139>

21. Komarov, S. (2016). Cavitation Phenomena in Ultrasonic Casting and Their Industrial Application. *Tetsu-to-Hagane*, 102 (3), 179–185. doi: <https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.tetsu-2015-097>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247269

ENERGY POWER PARAMETER EFFECT OF HOT ROLLING ON THE FORMATION OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF LOW-ALLOY STEELS (p. 20–26)

Sergey Sheyko

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5761-4263>

Anton Matiukhin

Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2261-0577>

Volodymyr Tsyganov

Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5682-7005>

Andrey Andreev

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

Anna Ben

Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9765-8030>

Elena Kulabneva

Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3894-3891>

The temperature and degree of hot deformation for steel 10HFT-Bch have been determined. This made it possible to ensure an increase in the mechanical properties of this steel, namely, the ultimate strength up to 540–560 MPa, as well as the relative elongation up to 25–29%. As a result, it became possible to increase the service life of wheels with increased carrying capacity. This, in turn, will make it possible to increase the load of the transported cargo by motor vehicles several times.

The mechanism of the influence of the energy-power parameters of rolling on the formation of the macro- and microstructure of a two-phase steel in the process of hot deformation is disclosed. The applied scheme provided an increase in the homogeneity of the structure of the developed steel, which saved the central part of the rolled section from overheating. It has been established that a decrease in the temperature of the end of deformation leads to a decrease in the size of the recrystallized austenite grain, and, consequently, to a refinement of the ferrite grain. Also an important factor in preventing the growth of ferrite grains in the upper part of the ferritic region is the abolition of cooling of the steel in coils.

The recommended mode for multicomponent alloy steel 10HFT-Bch is as follows: the temperature of the end of rolling is 850 °C, the beginning of accelerated cooling is 750 °C, and the temperature of strip coiling into a coil is 600 °C.

The basis for ensuring the increased strength of two-phase steels is the ratio and distribution of structural fractions – ferrite (initial and precipitated from austenite), as well as martensite. When hardened by such traditional “martensite formations” as manganese, the ability to control properties is limited. This is reflected in a narrow range of variation in the strength and ductility of the developed steel. The optimal combination of strength characteristics of plastic properties reduces the metal consumption of the product by 15–25%.

Keywords: Hensel-Spittel formula, hot deformation, physical modeling, power parameters, ferrite.

References

- Chigirinskiy, V. V., Mazur, V. L., Belikov, S. B., Kolesnik, F. I., Legotkin, G. I. (2010). *Sovremennoe proizvodstvo koles avtotransportnykh sredstv i sel'skohozyaystvennoy tekhniki*. Dnepropetrovsk: Dnepr-VAL, 309.
- Shejko, S., Mishchenko, V., Tretiak, V., Shalomeev, V., Sukhomlin, G. (2018). Formation of the Grain Boundary Structure of Low-Alloyed Steels in the Process of Plastic Deformation. *Contributed Papers from MS&T17*. doi: https://doi.org/10.7449/2018mst/2018/mst_2018_746_753
- Chigirinskiy, V. V., Shejko, S. P., Dyja, H., Knapinski, M. (2015). Experimental and theoretical analysis of stress state of plastic medium influence on structural transformations in low-alloy steels. *Metallurgical and Mining Industry*, 11, 188–195.
- Byalik, H., Ivschenko, L., Mokhnach, R., Naumik, V., Tsyganov, V. (2019). Steel-Copper Nano Compositing Materials. *Contributed Papers from MS&T19*. doi: https://doi.org/10.7449/2019mst/2019/mst_2019_439_443
- Sheiko, S. P., Mishchenko, V. G., Matyukhin, A. Y., Tsyganov, V. V., Tretiak, V. I. (2021). Reserves for Enhancing the Mechanical Performance of 10HFTBch Low-Perlite Steel Exposed to Thermoplastic Processing in Intercritical Temperature Ranges. *Steel in Translation*, 51 (4), 278–281. doi: <https://doi.org/10.3103/s0967091221040100>
- Mishchenko, V., Shejko, S., Sukhomlin, G. (2019). Formation of Polygonized Structures and Nuclear Recrystallization under Controlled Rolling of Low-Carbon Steels. *Contributed Papers from MS&T19*. doi: https://doi.org/10.7449/2019mst/2019/mst_2019_1427_1431
- Byalik, H., Ivschenko, L., Mokhnach, R., Sakhniuk, N., Tsyganov, V. (2019). Creation of Wearproof Eutecticum Composition Materials for the Details of the High Temperature Dynamic Systems. *Contributed Papers from MS&T19*. doi: https://doi.org/10.7449/2019mst/2019/mst_2019_450_456
- Yuriy, B., Aleksandr, Z., Karina, B. (2017). The investigation of nanostructure formation in intermetallic γ -TiAl alloys. 2017 IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF). doi: <https://doi.org/10.1109/ysf.2017.8126640>
- Ishimov, A. S., Baryshnikov, M. P., Chukin, M. V. (2015). On the selection of a mathematical function of the equation of state for a description of rheological properties of steel 20 during hot plastic deformation. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, 1, 43–52.
- Glowacki, M. (1999). Wplyw metod obliczeniowych na poprawnosc analizy procesu walcowania w wykrojach. *Konf. Walcownictwo'99*. Ustron, 57–62.
- Glowacki, M., Mroz, S., Lesik, L. (1999). Analiza podstawowych wzorow empirycznych obliczenia parametrow energetyczno-siowych procesu walcowania w wykrojach. *Hutnik: Wiadomosci Hutnicze*, 11, 523–529.
- Pavlenko, D. V., Belokon', Y. O., Tkach, D. V. (2020). Resource-Saving Technology of Manufacturing of Semifinished Products from Intermetallic γ -TiAl Alloys Intended for Aviation Engineering. *Materials Science*, 55 (6), 908–914. doi: <https://doi.org/10.1007/s11003-020-00386-1>
- Cook, P. M. (1957). The real curves, stress rate of deformation for the steels by reduction. *The Institution of Mechanical Engineer*, 75–77.
- Dinnik, A. A. (1959). Istinnye predely tekuchesti pri goryachey prokatke stali. *Sovremennye dostizheniya prokatsnogo proizvodstva*, 2, 64–70.
- Slipeynin, O. H., Mishchenko, V. H., Sheiko, S. P., Lehotkin, H. I., Fedosenko, D. M., Bielikov, S. B., Chyhyrnytskyi, V. V. (2013). Pat. No. 105341 UA. *Nyzkolehovana stal*. No. a201309313; declared: 25.07.2013; published: 25.04.2014, Bul. No. 8. Available at: <https://uapatents.com/6-105341-nizkolehovana-stal.html>
- Poluhin, P. I., Gun, G. Ya., Galkin, A. M. (1983). *Soprotivlenie plasticheskoy deformatsii metallov i splavov*. Moscow: Metallurgiya, 350.

17. Novik, F. S., Arsov, Ya. B. (1980). Optimizatsiya protsessov tekhnologii metallov metodami planirovaniya eksperimentov. Moscow: Mashinostroenie; Sofiya: Tekhnika, 304.
18. Sheyko, S. P., Mischenko, V. G., Belokon', Yu. A., Protsenko, V. M., Tsyganov, V. V. (2021). Tekhnologicheskie faktory povysheniya mekhanicheskikh svoystv maloperlitnykh staley tipa 10HFTBch v proizvodstve goryachego prokata. *Stal'*, 1, 62–64.
19. Tret'yakov, A. V., Zyuzin, V. I. (1973). Mekhanicheskie svoystva metall-ov i splavov pri obrabotke davleniem. Moscow: Metallurgiya, 224.
20. Tarnovskiy, I. Ya., Pozdeev, A. A., Meandrov, L. V. et. al. (1960). Mekhanicheskie svoystva stali pri goryachey obrabotke davleniem. Sverdlovsk: Metallurgizdat, 260.
21. Zyuzin, V. I., Brovman, M. Ya., Mel'nikov, A. F., Sadovnikov, B. V. (1964). Soprotivlenie deformatsii staley pri goryachey prokatke. Moscow: Metallurgiya, 270.
22. Sereda, B., Sheyko, S., Belokon, Y., Sereda, D. (2011). The influence of modification on structure and properties of rapid steel. *Materials Science and Technology Conference and Exhibition 2011, MS and T'11*, 1, 713–716. Available at: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84856169276&origin=inward&txGid=0>
23. Tsyganov, V. V., Mokhnach, R. E., Sheiko, S. P. (2021). Increasing Wear Resistance of Steel by Optimizing Structural State of Surface Layer. *Steel in Translation*, 51 (2), 144–147. doi: <https://doi.org/10.3103/s096709122102011x>
24. Henzel', A., Shpittel', T. (1982). Raschet energosilovykh parametrov v protsessah obrabotki metallov davleniem. Moscow: Metallurgiya, 360.
25. Tsouhar, G. (1963). Silovye vozdeystviya pri prokatke v vytyazhnykh kalibrah. Moscow: Metallurgizdat, 208.
26. Nadai, A. (1969). Plastichnost' i razrushenie tverdykh tel. Vol. 2. Moscow: Mir, 864.
27. Zyuzin, V. I. (1963). Opredelenie soprotivleniya deformatsii metodom termomekhanicheskikh koeffitsientov. *Trudy VNIIMETMASH*, 8, 74–89.
28. Mishchenko, V., Menyaylo, A. (2015). Control of carburization and decarburization processes of alloy steels at thermochemical and thermal treatment. *Metallurgical and Mining Industry*, 11, 244–249. Available at: https://www.metalljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_11/036_Valeriy_Mishchenko.pdf
29. Belokon, K., Belokon, Y. (2018). The Usage of Heat Explosion to Synthesize Intermetallic Compounds and Alloys. *Processing, Properties, and Design of Advanced Ceramics and Composites II*, 109–115. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119423829.ch9>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246511

EFFICIENCY DEFINITION OF THE DEPOSITION PROCESS OF ELECTROCHROMIC Ni(OH)₂-PVA FILMS FORMED ON A METAL SUBSTRATE FROM CONCENTRATED SOLUTIONS (p. 27–33)

Valerii Kotok

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

Vadym Kovalenko

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine
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>

Igor Kovalenko

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4957-2352>

Viktoriia Stoliarenko

Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4665-5710>

Valerii Plaksiienko

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0371-1054>

Iryna Zamrii

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5681-1871>

Electrochemical devices based on nickel hydroxide electrodes are used in different areas. The main ones are chemical current sources, variable transparency “smart” windows, devices for carrying out electrocatalytic reactions, sensors for determining various substances. In this regard, methods of nickel hydroxide synthesis are of great interest, especially those that allow forming nickel hydroxide directly on the surface of electrodes. One of these methods is electrochemical deposition with cathodic current polarization.

The available information on nickel hydroxide synthesis from nickel solutions was considered. It was shown that the available data mainly covered information on dilute solutions from 0.01 to 0.25 mol/L Ni(NO₃)₂. In addition, no comparison was found in the literature for the efficiency of the cathodic formation of Ni(OH)₂ at different concentrations of nickel nitrate.

To eliminate the lack of information, the dependence of the current efficiency on the concentration of nickel nitrate in the electrodeposition solution was determined at a constant cathode current density of 0.625 mA/cm². The resulting dependence decreased nonlinearly with increasing concentration. The nickel hydroxide deposit formed in this case had an X-ray amorphous structure, and it depended little on the Ni(NO₃)₂ concentration. In addition, the current efficiency reached zero at concentrations of 1.5 mol/L Ni(NO₃)₂ and higher. However, with polyvinyl alcohol in the solution and at Ni(NO₃)₂ concentrations of 1.5 and 2 mol/L, electrochemically and electrochromically active Ni(OH)₂ films were deposited. The current efficiency calculated indirectly for 1.5 and 2 mol/L Ni(NO₃)₂ solutions was 3.2 and 2.3 %, respectively. Thus, it was concluded that polyvinyl alcohol affected the mechanism of nickel hydroxide electrodeposition from aqueous solutions of nickel nitrate.

Keywords: electrochromism, electrodeposition, nickel hydroxide, polyvinyl alcohol, nickel nitrate, current efficiency.

References

1. Zayani, W., Azizi, S., El-Nasser, K. S., Othman Ali, I., Molière, M., Fenineche, N. et. al. (2021). Electrochemical behavior of a spinel zinc ferrite alloy obtained by a simple sol-gel route for Ni-MH battery applications. *International Journal of Energy Research*, 45 (4), 5235–5247. doi: <https://doi.org/10.1002/er.6140>
2. Yang, J., Chen, J., Wang, Z., Wang, Z., Zhang, Q., He, B. et. al. (2021). High-Capacity Iron-Based Anodes for Aqueous Secondary Nickel–Iron Batteries: Recent Progress and Prospects. *ChemElectroChem*, 8 (2), 273–273. doi: <https://doi.org/10.1002/celc.202001556>
3. Pourabdollah, K. (2021). Fouling and corrosion of electrode plates in nickel cadmium batteries. *Engineering Failure Analysis*, 130, 105797. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105797>

4. Peng, Z., Yang, C., Zhao, Q., Liang, F., Yun, S., Liu, R. et. al. (2022). Ultra-dispersed nickel–cobalt sulfides on reduced graphene oxide with improved power and cycling performances for nickel-zinc batteries. *Journal of Colloid and Interface Science*, 607, 61–67. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.08.193>
5. Jiang, T., Chen, W. (2021). Nickel hydrogen gas batteries: From aerospace to grid-scale energy storage applications. *Current Opinion in Electrochemistry*, 30, 100859. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2021.100859>
6. Li, J., Wang, L., Yang, Y., Wang, B., Duan, C., Zheng, L. et. al. (2021). Rationally designed NiMn LDH@NiCo₂O₄ core–shell structures for high energy density supercapacitor and enzyme-free glucose sensor. *Nanotechnology*, 32 (50), 505710. doi: <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ac2764>
7. Shi, M., Zhao, M., Jiao, L., Su, Z., Li, M., Song, X. (2021). Novel Mo-doped nickel sulfide thin sheets decorated with Ni–Co layered double hydroxide sheets as an advanced electrode for aqueous asymmetric super-capacitor battery. *Journal of Power Sources*, 509, 230333. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230333>
8. Kotok, V. A., Kovalenko, V. L. (2019). Non-Metallic Films Electroplating on the Low-Conductivity Substrates: The Conscious Selection of Conditions Using Ni(OH)₂ Deposition as an Example. *Journal of The Electrochemical Society*, 166 (10), D395–D408. doi: <https://doi.org/10.1149/2.0561910jes>
9. Wang, W., Li, Z., Yu, Z., Su, G. (2021). The stabilization of Ni(OH)₂ by In₂O₃ rods and the electrochromic performance of Ni(OH)₂/In₂O₃-rod composite porous film. *Thin Solid Films*, 734, 138839. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2021.138839>
10. Cibrev, D., Jankulovska, M., Lana-Villarreal, T., Gómez, R. (2014). Potentiostatic Reversible Photoelectrochromism: An Effect Appearing in Nanoporous TiO₂/Ni(OH)₂ Thin Films. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6 (13), 10304–10312. doi: <https://doi.org/10.1021/am5017396>
11. Fleischmann, M., Korinek, K., Pletcher, D. (1972). The oxidation of hydrazine at a nickel anode in alkaline solution. *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, 34 (2), 499–503. doi: [https://doi.org/10.1016/s0022-0728\(72\)80425-x](https://doi.org/10.1016/s0022-0728(72)80425-x)
12. Wang, H., Lu, L., Subramanian, P., Ji, S., Kannan, P. (2021). Co, Fe-ions intercalated Ni(OH)₂ network-like nanosheet arrays as highly efficient non-noble catalyst for electro-oxidation of urea. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (69), 34318–34332. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.08.022>
13. Ganesh, V., Farzana, S., Berchmans, S. (2011). Nickel hydroxide deposited indium tin oxide electrodes as electrocatalysts for direct oxidation of carbohydrates in alkaline medium. *Journal of Power Sources*, 196 (23), 9890–9899. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.08.031>
14. Ganesh, V., Latha Maheswari, D., Berchmans, S. (2011). Electrochemical behaviour of metal hexacyanoferrate converted to metal hydroxide films immobilized on indium tin oxide electrodes—Catalytic ability towards alcohol oxidation in alkaline medium. *Electrochimica Acta*, 56 (3), 1197–1207. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2010.11.015>
15. Shang, K., Zhu, J., Meng, X., Cheng, Z., Ai, S. (2012). Multifunctional Fe₃O₄ core/Ni–Al layered double hydroxides shell nanospheres as labels for ultrasensitive electrochemical immunoassay of subgroup J of avian leukosis virus. *Biosensors and Bioelectronics*, 37 (1), 107–111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2012.04.035>
16. Guo, X., Deng, H., Fu, Q. (2020). An unusual decrease in dielectric constant due to the addition of nickel hydroxide into silicone rubber. *Composites Part B: Engineering*, 193, 108006. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108006>
17. Jayashree, R. S., Kamath, P. V. (2001). Nickel hydroxide electrodeposition from nickel nitrate solutions: mechanistic studies. *Journal of Power Sources*, 93 (1-2), 273–278. doi: [https://doi.org/10.1016/s0378-7753\(00\)00568-1](https://doi.org/10.1016/s0378-7753(00)00568-1)
18. 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. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12 (13), 3962–3977. Available at: https://www.researchgate.net/publication/318452605_Advanced_electrochromic_NiOh2PVA_films_formed_by_electrochemical_template_synthesis
19. Hall, D. S., Lockwood, D. J., Poirier, S., Bock, C., MacDougall, B. R. (2012). Raman and Infrared Spectroscopy of α and β Phases of Thin Nickel Hydroxide Films Electrochemically Formed on Nickel. *The Journal of Physical Chemistry A*, 116 (25), 6771–6784. doi: <https://doi.org/10.1021/jp303546r>
20. Tan, Y., Srinivasan, S., Choi, K.-S. (2005). Electrochemical Deposition of Mesoporous Nickel Hydroxide Films from Dilute Surfactant Solutions. *Journal of the American Chemical Society*, 127 (10), 3596–3604. doi: <https://doi.org/10.1021/ja0434329>
21. Fu, G., Hu, Z., Xie, L. et. al. (2009). Electrodeposition of nickel hydroxide films on nickel foil and its electrochemical performances for supercapacitor. *International Journal of Electrochemical Science*, 4 (8), 1052–1062. Available at: <http://www.electrochemsci.org/papers/vol4/4081052.pdf>
22. Kim, G.-B., Ganesh Kumar, V., Bae, S.-W., Lee, J.-S. (2006). Contraction of Alpha-nickel Hydroxide Layers by Excess Coulombic Attraction of Anions. *Journal of the Korean Chemical Society*, 50 (2), 141–152. doi: <https://doi.org/10.5012/jkcs.2006.50.2.141>
23. Jayashree, R. S., Vishnu Kamath, P. (1999). Factors governing the electrochemical synthesis of α -nickel (II) hydroxide. *Journal of Applied Electrochemistry*, 29, 449–454. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1003493711239>
24. Mortimer, R. J., Sialvi, M. Z., Varley, T. S., Wilcox, G. D. (2014). An in situ colorimetric measurement study of electrochromism in the thin-film nickel hydroxide/oxyhydroxide system. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 18 (12), 3359–3367. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-014-2618-5>
25. Kotok, V., Kovalenko, V. (2017). The properties investigation of the faradaic supercapacitor electrode formed on foamed nickel substrate with polyvinyl alcohol using. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (88)), 31–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108839>
26. 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>
27. Kalu, E. E., Nwoga, T. T., Srinivasan, V., Weidner, J. W. (2001). Cyclic voltammetric studies of the effects of time and temperature on the capacitance of electrochemically deposited nickel hydroxide. *Journal of Power Sources*, 92 (1-2), 163–167. doi: [https://doi.org/10.1016/s0378-7753\(00\)00520-6](https://doi.org/10.1016/s0378-7753(00)00520-6)
28. 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>
29. Kotok, V. A., Kovalenko, V. L., Zima, A. S., Kirillova, E. A., Burkov, A. A., Kobylinska, N. G. et. al. (2019). Optimization of electrolyte composition for the cathodic template deposition of Ni(OH)₂-based electrochromic films on FTO glass. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14 (2), 344–353. Available at: http://www.arnpjournals.org/jeas/research_papers/rp_2019/jeas_0119_7562.pdf
30. Kotok, V., Kovalenko, V. (2019). Optimization of the deposition conditions for Ni(OH)₂ films for electrochromic elements of “smart” windows. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (98)), 35–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162572>

31. Hall, D. S., Bock, C., MacDougall, B. R. (2013). The Electrochemistry of Metallic Nickel: Oxides, Hydroxides, Hydrides and Alkaline Hydrogen Evolution. *Journal of The Electrochemical Society*, 160 (3), F235–F243. doi: <https://doi.org/10.1149/2.026303jes>
32. Kotok, V., Kovalenko, V., Nafeev, R., Verbitskiy, V., Melnyk, O., Plak-siienko, I. et. al. (2021). A study of physico-chemical characteristics of electrochromic Ni(OH)₂-PVA films on fto glass with different deposition duration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (113)), 39–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242853>
33. Kotok, V., Kovalenko, V., Nafeev, R., Verbitskiy, V., Lominoga, E., Melnyk, O. et. al. (2021). Determination of the effect of exposure conducted in KOH solutions at different temperatures on the properties of electrochromic Ni(OH)₂-PVA films. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (6 (112)), 60–66. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239151>
34. Liu, A., Zhu, Y., Li, K., Chu, D., Huang, J., Li, X. et. al. (2018). A high performance p-type nickel oxide/cuprous oxide nanocomposite with heterojunction as the photocathodic catalyst for water splitting to produce hydrogen. *Chemical Physics Letters*, 703, 56–62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2018.05.020>
35. Berezovska, I. S., Yanishpolskii, V. V., Tertykh, V. A., Burmistr, M. V., Sukhyi, K. M. (2006). Role of ionene in composition of porous structure of template-synthesized silicas. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 86 (1), 93–96. doi: <https://doi.org/10.1007/s10973-006-7579-1>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245274

ESTABLISHMENT OF REGULARITIES OF INFLUENCE ON THE SPECIFIC HEAT CAPACITY AND THERMAL DIFFUSIVITY OF POLYMER NANOCOMPOSITES OF A COMPLEX OF DEFINING PARAMETERS (p. 34–39)

Nataliia Fialko

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

Roman Dinzhos

V. O. Sukhomlynskyi National University of Mykolaiv, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1105-2642>

Julii Sherenkovskii

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9883-4913>

Nataliia Meranova

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7223-8753>

Sergii Aloshko

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0430-7144>

Diana Izvorska

Technical University of Gabrovo, Gabrovo, Bulgaria
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8061-9150>

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>

Maxim Lazarenko

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0719-3522>

Irina Mankus

V. O. Sukhomlynskyi National University of Mykolaiv, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6118-4614>

Liudmyla Nedbaievskva

V. O. Sukhomlynskyi National University of Mykolaiv, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7118-6821>

This paper reports a series of experimental studies to establish regularities of the integrated effect exerted on the specific heat capacity of polymer nanocomposites by such factors as the temperature regime of their production, the value of the mass fraction of the filler, and the temperature of the composite material. The studies were conducted for nanocomposites based on polypropylene filled with carbon nanotubes. When obtaining composites, the method of mixing the components in the melt of the polymer was used. During the studies, the temperature of nanocomposites varied from 295 to 455 K, the mass fraction of the filler – from 0.3 to 10 %. The basic parameter of the technological mode for obtaining composite materials, the value of overheating the polymer melt relative to its melting point, varied in the range of 10...75 K.

It is shown that the temperature dependence of the specific heat capacity of the considered composites is sensitive to changes in the overheating of the polymer melt only in the region maximum values of the specific heat capacity. Concentration dependences of the specific heat capacity of the considered nanocomposites at different values of their temperature and the level of overheating of the polymer melt have been built.

The studies have been carried out to identify the effects of the influence of the above parameters on the coefficient of thermal diffusivity of nanocomposites. It has been established, in particular, that an increase in the level of overheating the polymer could lead to a very significant increase in the coefficient of thermal diffusivity, which is all the more significant the higher the proportion of filler and the lower the temperature of the composite material. It is shown that the level of overheating the polymer melt relative to its melting point is a parameter that can be used as the basis for the creation of polymer composite materials with specified thermophysical properties.

Keywords: polymer nanocomposites, heat capacity of nanocomposites, thermal diffusivity of nanocomposites, carbon nanotubes, temperature regimes.

References

1. Aslfattahi, N., Saidur, R., Che Sidik, N. A., Mohd Sabri, M. F., Zahir, M. H. (2020). Experimental Assessment of a Novel Eutectic Binary Molten Salt-based Hexagonal Boron Nitride Nanocomposite as a Promising PCM with Enhanced Specific Heat Capacity. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 68 (1), 73–85. doi: <https://doi.org/10.37934/arfmts.68.1.7385>
2. Dolinskiy, A. A., Fialko, N. M., Dinzhos, R. V., Navrodskaia, R. A. (2015). Thermophysical properties of polymer micro- and nanocomposites based on polycarbonate. *Industrial Heat Engineering*, 37 (2), 12–19. doi: <https://doi.org/10.31472/ihe.2.2015.02>
3. Soudmand, B. H., Shelesh-Nezhad, K., Salimi, Y. (2020). A combined differential scanning calorimetry-dynamic mechanical thermal analysis approach for the estimation of constrained phases in thermoplastic polymer nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 137 (41), 49260. doi: <https://doi.org/10.1002/app.49260>
4. Siddique, S., Smith, G. D., Yates, K., Mishra, A. K., Matthews, K., Csetenyi, L. J., Njuguna, J. (2019). Structural and thermal degrada-

tion behaviour of reclaimed clay nano-reinforced low-density polyethylene nanocomposites. *Journal of Polymer Research*, 26 (6). doi: <https://doi.org/10.1007/s10965-019-1802-9>

5. Arora, G., Pathak, H. (2019). Numerical study on the thermal behavior of polymer nano-composites. *Journal of Physics: Conference Series*, 1240 (1), 012050. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1240/1/012050>
6. Sharifzadeh, E., Cheraghi, K. (2021). Temperature-affected mechanical properties of polymer nanocomposites from glassy-state to glass transition temperature. *Mechanics of Materials*, 160, 103990. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2021.103990>
7. Reguieg, F., Ricci, L., Bouyacoub, N., Belbachir, M., Bertoldo, M. (2019). Thermal characterization by DSC and TGA analyses of PVA hydrogels with organic and sodium MMT. *Polymer Bulletin*, 77 (2), 929–948. doi: <https://doi.org/10.1007/s00289-019-02782-3>
8. Klonos, P. A., Tegopoulos, S. N., Koutsira, C. S., Kontou, E., Pisis, P., Kyritsis, A. (2019). Effects of CNTs on thermal transitions, thermal diffusivity and electrical conductivity in nanocomposites: comparison between an amorphous and a semicrystalline polymer matrix. *Soft Matter*, 15 (8), 1813–1824. doi: <https://doi.org/10.1039/c8sm02478b>
9. Mohammadi, M., Davoodi, J. (2018). The effect of alumina nanoparticles on the thermal properties of PMMA: a molecular dynamics simulation. *Molecular Simulation*, 44 (16), 1304–1311. doi: <https://doi.org/10.1080/08927022.2018.1498975>
10. Fialko, N., Dinzhos, R., Sherenkovskii, J., Meranova, N., Izvorska, D., Korzyk, V. et. al. (2021). Establishing patterns in the effect of temperature regime when manufacturing nanocomposites on their heat-conducting properties. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (112)), 21–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236915>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245938

DETERMINING THE INFLUENCE OF ULTRA-DISPERSED ALUMINUM NITRIDE IMPURITIES ON THE STRUCTURE AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF TOOL CERAMICS (p. 40–52)

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>

Yuriy Gutsalenko

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4701-6504>

Oksana Morozova

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

This paper considers features related to manufacturing the chromium oxide-based tool material. The process involved ultra-dispersed powders made of aluminum nitride. It has been established that the destruction of chromium oxide at high sintering temperatures is prevented through the reaction sintering of chromium oxide (Cr_2O_3) and aluminum nitride (AlN).

It was established that the structure of the composite depends both on the temperature and the duration of hot pressing. Thermody-

amic calculations of the interaction between Cr_2O_3 and AlN showed that this interaction begins at a temperature of 1,300 °C. In contrast to hot pressing in the air, no CrN and Cr_2N compounds were formed in a vacuum. With increasing temperature, the content of Al_2O_3 in solid solution becomes maximum at a temperature of 1,700 °C in the case of hot pressing in the air while in vacuum the content of Al_2O_3 remains unchanged within the entire temperature range of 1,300–1,700 °C. When increasing the time of hot pressing to 30 minutes, the size of individual grains reaches 10 μm. It has been shown that in the sintering process involving Cr_2O_3 and AlN, the plasma-chemical synthesis produces the solid solution (Cr, Al) $_2\text{O}_3$ at the interphase boundary, which improves the mechanical properties of the material.

The influence exerted on the quality of the machined surface of tempered hard steel when machining by the devised tool material based on chromium oxide with an optimal admixture of 15 wt % of ultra-dispersed aluminum nitride powder was investigated. It was determined that the quality of the machined hard steel surface improved compared to standard imported tool plates.

It was established that the resulting tool material, in addition to relatively high strength and crack resistance, also demonstrates high thermal conductivity, which favorably affects the quality of the machined steel surface, given that lubricants and coolants are not used during the cutting process.

Keywords: hot pressing, tool material, aluminum nitride, chromium oxide, ultra-dispersed powder.

References

1. Vovk, R. V., Hevorkian, E. S., Nerubatskyi, V. P., Prokopiv, M. M., Chyshkala, V. O., Melnyk, O. M. (2018). Novi keramichni kompozitsiyni materialy instrumentalnoho pryznachennia. Kharkiv: KhNU imeni V. N. Karazina, 200. Available at: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/5086>
2. Rizzo, A., Goel, S., Luisa Grilli, M., Iglesias, R., Jaworska, L., Lapkovskis, V. et. al. (2020). The Critical Raw Materials in Cutting Tools for Machining Applications: A Review. *Materials*, 13 (6), 1377. doi: <https://doi.org/10.3390/ma13061377>
3. Gevorkyan, E. S., Rucki, M., Kagramanyan, A. A., Nerubatskyi, V. P. (2019). Composite material for instrumental applications based on micro powder Al_2O_3 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>
4. Jung, C.-H., Lee, S.-J. (2005). Machining of hot pressed alumina–boron carbide composite cutting tool. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 23 (3), 171–173. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2005.02.001>
5. Gevorkyan, E., Mamalis, A., Vovk, R., Semiatkowski, Z., Morozov, D., Nerubatskyi, V., Morozova, O. (2021). Special features of manufacturing cutting inserts from nanocomposite material Al_2O_3 -SiC. *Journal of Instrumentation*, 16 (10), P10015. doi: <https://doi.org/10.1088/1748-0221/16/10/p10015>
6. Suzuki, K. (1984). The current state of ceramic tools and trends in its development in the future. *Seramikusu*, 19 (17), 542–556.
7. Raychenko, A. I. (1987). Vliyanieskorosti nagreva na poroobrazovanie v ul'tradisperstnykh poroshkah. *Metallurgiya*, 5, 14–18.
8. Peres, V., Favergeon, L., Andrieu, M., Palussière, J. C., Balland, J., Delafoy, C., Pijolat, M. (2012). High temperature chromium volatilization from Cr_2O_3 powder and Cr_2O_3 -doped UO_2 pellets in reducing atmospheres. *Journal of Nuclear Materials*, 423 (1-3), 93–101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2012.01.001>
9. Hevorkian, E. S., Nerubatskyi, V. P. (2009). Do pyttannia otrymannia tonkodispersnykh struktur z nanoporoshkiv oksydu aliuminiu. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademiyi zaliznychnoho transportu*, 111, 151–167. Available at: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/4418>

10. Zaloha, V. O., Honcharov, V. D., Zaloha, O. O. (2013). Suchasni instrumentalni materialy u mashynobuduvanni. Sumy: Sumskyi derzhavnyi universytet, 371. Available at: <http://library.ztu.edu.ua/e-copies/books/zaloga28.pdf>
11. Tkachenko, Y. G., Yurchenko, D. Z., Koval'chenko, M. S. (2008). High-temperature friction of refractory compounds. Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 47 (1-2), 129–136. doi: <https://doi.org/10.1007/s11106-008-0018-z>
12. Gevorkyan, E., Nerubatskyi, 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>
13. Grubiy, S. V. (2008). Metody optimizacii rezhimnyh parametrov lezviynoy obrabotki. Moscow: MGTU im. N. E. Bauman, 94.
14. Zhed', V. P., Borovskiy, G. V., Muzykant, Ya. A., Ippolitov, I. M. (1987). Rezhuschie instrumenty, osnashchennye sverhtverdymi i keramicheskimi materialami i ih primenenie. Moscow: Mashinostroenie, 320.
15. Gevorkyan, E., Rucki, M., Sałaciński, T., Siemiątkowski, Z., Nerubatskyi, 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>
16. Norfauzi, T., Hadzley, A., Azlan, U., Afuza, A., Faiz, M., Naim, M. (2019). Fabrication and machining performance of ceramic cutting tool based on the Al₂O₃-ZrO₂-Cr₂O₃ compositions. Journal of Materials Research and Technology, 8 (6), 5114–5123. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.08.034>
17. Azhar, A. Z. A., Hadzley, M., Tamin, N., Azlan, U. A. A., Hassan, M. H. (2020). Friction and wear analysis of ceramic cutting tool made from Alumina-Zirconia-Chromia. Jurnal Tribologi, 24, 27–38. Available at: https://www.researchgate.net/publication/344469179_Friction_and_wear_analysis_of_ceramic_cutting_tool_made_from_Alumina-Zirconia-Chromia
18. Mudzaffar, R. N., Bahaudin, M. F. I., Manshor, H., Azhar, A. Z. A., Rejab, N. A., Ali, A. M. (2021). Wear performance of the zirconia toughened alumina added with TiO₂ and Cr₂O₃ ceramic cutting tool. Research Square. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-956224/v1>
19. Gevorkyan, E., Nerubatskyi, V., Chyshkala, V., Morozova, O. (2021). Revealing specific features of structure formation in composites based on nanopowders of synthesized zirconium dioxide. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (12 (113)), 6–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242503>
20. Adel, S., Cherifa, B., Elhak, D. D., Mounira, B. (2018). Effect of Cr₂O₃ and Fe₂O₃ doping on the thermal activation of un-polarized PZT charge carriers. Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 57 (3), 124–131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2017.11.001>
21. Gayo, G. X., Lavat, A. E. (2018). Green ceramic pigment based on chromium recovered from a plating waste. Ceramics International, 44 (18), 22181–22188. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.08.336>
22. Grigoriev, S. N., Fedorov, S. V., Hamdy, K. (2019). Materials, properties, manufacturing methods and cutting performance of innovative ceramic cutting tools – a review. Manufacturing Review, 6, 19. doi: <https://doi.org/10.1051/mfreview/2019016>
23. Cui, S., Liu, Y., Wang, T., Tieu, K., Wang, L., Zeng, D. et. al. (2021). Tribological behavior comparisons of high chromium stainless and mild steels against high-speed steel and ceramics at high temperatures. Friction. doi: <https://doi.org/10.1007/s40544-021-0509-1>
24. Gevorkyan, E. S., Nerubatskyi, V. P., Chyshkala, V. O., Morozova, O. M. (2020). Aluminum oxide nanopowders sintering at hot pressing using direct current. Modern scientific researches, 14 (1), 12–18. Available at: <http://repo.knmu.edu.ua/bitstream/123456789/28055/1/An%20article..pdf>
25. Chyshkala, V. O., Lytovchenko, S. V., Gevorkyan, E. S., Nerubatskyi, 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 (1), 17–31. Available at: <http://repo.knmu.edu.ua/bitstream/123456789/29367/1/SworldJournal03.21%20%281%29.pdf>
26. Higashino, Y., Yamauchi, M., Goto, T., Nagasawa, T. (2003). Evaluation of Brittleness of Porcelain Fused to Pure Titanium by Fracture Toughness, Hardness and Fracture Energy. Dental Materials Journal, 22 (4), 532–542. doi: <https://doi.org/10.4012/dmj.22.532>
27. Quinn, G. D. (2006). Fracture Toughness of Ceramics by the Vickers Indentation Crack Length Method: A Critical Review. Ceramic Engineering and Science Proceedings, 45–62. doi: <https://doi.org/10.1002/9780470291313.ch5>
28. Rudenko, V. M. (2012). Matematychna statystyka. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury, 304. Available at: https://shron1.chtyvo.org.ua/Rudenko_Volodymyr/Matematychna_statystyka.pdf
29. Ishchenko, O. V., Mykhalchuk, V. M., Bila, N. I., Haidai, S. V., Bilyi, O. V. (2012). Statystychni metody u khimiyi. Donetsk: Vydavnytstvo DonNU, 504. Available at: https://physchem.knu.ua/materials/GI_1-3.pdf
30. Storchak, M., Zakiev, I., Träris, L. (2018). Mechanical properties of subsurface layers in the machining of the titanium alloy Ti₁₀V₂Fe₃Al. Journal of Mechanical Science and Technology, 32 (1), 315–322. doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-017-1231-9>
31. Vasylyev, M. A., Mordiyuk, B. N., Sidorenko, S. I., Voloshko, S. M., Burmak, A. P., Kruhlov, I. O., Zakiev, V. I. (2019). Characterization of ZrN coating low-temperature deposited on the preliminary Ar⁺ ions treated 2024 Al-alloy. Surface and Coatings Technology, 361, 413–424. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.12.010>
32. Mechnik, V. A., Bondarenko, N. A., Kolodnitskiy, V. M., Zakiev, V. I., Zakiev, I. M., Storchak, M. et. al. (2019). Physico-mechanical and Tribological Properties of Fe-Cu-Ni-Sn and Fe-Cu-Ni-Sn-VN Nanocomposites Obtained by Powder Metallurgy Methods. Tribology in Industry, 41 (2), 188–198. doi: <https://doi.org/10.24874/ti.2019.41.02.05>
33. Kirichek, T. Yu., Korotenko, Ye. V. (2016). Usage of contact and non-contact profilometrical methods for investigation of intaglio printing surfaces. Trudy BGTU, 9, 16–21. Available at: <https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/20371/1/3Kirichek.pdf>
34. Leonenko, P. V., Zakiev, I. M., Gogotsi, G. A. (2013). Evaluation of surface quality of dental implants using non-contact 3D interferometric profilometer. NMAPO imeni P. L. Shupyka, 22 (4), 99–109. Available at: <http://ir.nmapo.edu.ua:8080/jspui/bitstream/lib/911/1/Evaluation%20of%20surface%20quality%20of%20dental%20implants.pdf>
35. Wu, C.-M., Cheng, Y.-C., Lai, W.-Y., Chen, P.-H., Way, T.-D. (2020). Friction and Wear Performance of Staple Carbon Fabric-Reinforced Composites: Effects of Surface Topography. Polymers, 12 (1), 141. doi: <https://doi.org/10.3390/polym12010141>
36. 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. Collected Scientific Works of Ukrainian State University of Railway Transport, 196, 118–128. doi: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.196.2021.242226>
37. Yust, C. S., Leitnaker, J. M., Devore, C. E. (1988). Wear of an alumina-silicon carbide whisker composite. Wear, 122 (2), 151–164. doi: [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(88\)90075-0](https://doi.org/10.1016/0043-1648(88)90075-0)
38. Gevorkyan, E., Rucki, M., Krzysiak, Z., Chyshkala, V., Zurowski, W., Kucharczyk, W. et. al. (2021). Analysis of the Electroconsolidation Process of Fine-Dispersed Structures Out of Hot Pressed Al₂O₃–WC Nanopowders. Materials, 14 (21), 6503. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14216503>

39. Azhar, A. Z. A., Choong, L. C., Mohamed, H., Ratnam, M. M., Ahmad, Z. A. (2012). Effects of Cr₂O₃ addition on the mechanical properties, microstructure and wear performance of zirconia-toughened-alumina (ZTA) cutting inserts. *Journal of Alloys and Compounds*, 513, 91–96. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2011.09.092>
40. Hirata, T., Akiyama, K., Yamamoto, H. (2000). Sintering behavior of Cr₂O₃-Al₂O₃ ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 20 (2), 195–199. doi: [https://doi.org/10.1016/s0955-2219\(99\)00161-2](https://doi.org/10.1016/s0955-2219(99)00161-2)
41. Bugrov, A. N., Al'myasheva, O. V. (2011). Formirovanie nanochastich Cr₂O₃ v gidrotermal'nyh usloviyah. *Nanosistemy: fizika, himiya, matematika*, 2 (4), 126–132. Available at: https://www.researchgate.net/publication/286779209_Formirovanie_nanochastich_Cr2O3_v_gidrotermal'nyh_usloviyah
42. Ryabchikov, I. V., Mizin, V. G., Yarovoi, K. I. (2013). Reduction of iron and chromium from oxides by carbon. *Steel in Translation*, 43 (6), 379–382. doi: <https://doi.org/10.3103/s096709121306017x>
43. Kamkina, L. V., Nadtochiy, A. A., Ankudinov, R. V., Hryshyn, A. M. (2015). Osnovy dysotsiatsiyi ta horinnia spoluk. Dnipropetrovsk: NMetAU, 70. Available at: https://nmetau.edu.ua/file/osnovi_dissots_i_gorinnia_spoluk.2015.pdf
44. Latu-Romain, L., Mathieu, S., Vilasi, M., Renou, G., Coindeau, S., Galerie, A., Wouters, Y. (2016). The Role of Oxygen Partial Pressure on the Nature of the Oxide Scale on a NiCr Model Alloy. *Oxidation of Metals*, 88 (3-4), 481–493. doi: <https://doi.org/10.1007/s11085-016-9670-8>
45. 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 (2), 6–14. Available at: <https://www.moderntech.de/index.php/meit/issue/view/meit15-02/meit15-02>
46. Serbenyuk, T. B., Aleksandrova, L. I., Zaika, M. I., Ivzhenko, V. V., Kuz'menko, E. F., Loshak, M. G. et al. (2008). Structure, mechanical and functional properties of aluminum nitride-silicon carbide ceramic material. *Journal of Superhard Materials*, 30 (6), 384–391. doi: <https://doi.org/10.3103/s106345760806004x>
47. Chasnyk, V., Chasnyk, D., Fesenko, I., Kaidash, O., Turkevych, V. (2021). Dielectric characteristics of pressureless sintered AlN-based composites in the 3–37 GHz frequency range. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32 (2), 2524–2534. doi: <https://doi.org/10.1007/s10854-020-05019-6>
48. Strelov, K. K. (1985). *Teoreticheskie osnovy tehnologii ognepurnykh materialov*. Moscow: Metallurgiya, 480.
49. Ouensanga, A. (1987). High Temperature Thermodynamic Study of the Reduction of Cr₂O₃ by Graphite. *International Journal of Materials Research*, 78 (1), 70–72. doi: <https://doi.org/10.1515/ijmr-1987-780110>
50. Hevorkian, E. S., Nerubatskiy, V. P. (2009). Modeliuvannya protsesu hariachoho presuvannya Al₂O₃ pry priamomu propuskanni zminnoho elektrychnoho strumu z chastotoiu 50 Hts. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademiyi zaliznychnoho transportu*, 110, 45–52. Available at: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/4416>
51. Gevorkyan, E. S., Nerubatskiy, 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.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244004

DETERMINING THE INFLUENCE OF THE MICROSTRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF GLASS-METAL-CERAMIC COATINGS ON THEIR BASIC PHYSICAL-TECHNICAL PROPERTIES (p. 53–61)

Elena Karasik

Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5499-3971>

Yurii Hordieiev

Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6425-936X>

Given the development of new heat-resistant nickel alloys that operate at temperatures up to 1,250 °C, as well as the introduction of additive technologies for the production of various parts, it is a relevant task to devise new compositions of highly heat-resistant coatings.

Determining the influence of the phase composition of glass-metal-ceramic coatings on its basic properties could improve the effectiveness of protecting those parts that operate under extreme conditions. Therefore, it is promising to conduct a study aimed at establishing the relationship between the microstructure and phase composition of glass-metal-ceramic coatings and the main physical-technical characteristics.

This study's results have established that the most high-quality coatings were obtained on the basis of non-crystallizing glass. Such glass is characterized by a temperature coefficient of linear expansion of 92·10⁻⁷ degrees⁻¹, a glass transition temperature of 625 °C, and surface tension of 260·10⁻³ N/m at 850 °C. These properties contribute to the formation of a defect-free coating, providing uniform spreading and high-quality adhesion to the substrate.

The resulting optimal coating is characterized by the adhesion strength of 98 %, the thermal resistance (mode 950↔20 °C) of 50 cycles, and the high heat resistance (a weight gain after 100 h in the temperature range of 1,000–1,050 °C) of 0.03 g/m²·h.

Coatings with a minimum amount of glass bonding are distinguished by uniformity and high quality. The optimal ratio of phases “glass:metal-ceramic composition” is 10:90.

The structure of the recommended coating is uniform, characterized by the homogeneous distribution of components, the absence of cracks, visible defects, and high quality. The phase composition of the coating after firing is represented by crystals of metallic nickel and silicon, as well as a small amount of residual glass phase.

Keywords: heat-resistant coating, coating microstructure, phase composition, heat-resistant alloys, gas corrosion, glass-metal-ceramic coating.

References

1. Elizarova, Y. A., Zakharov, A. I. (2021). High-Temperature Functional Protective Coatings. *Refractories and Industrial Ceramics*, 61 (5), 592–599. doi: <https://doi.org/10.1007/s11148-021-00525-4>
2. Chen, M., Zhu, S., Wang, F. (2015). High temperature oxidation of NiCrAlY, nanocrystalline and enamel-metal nano-composite coatings under thermal shock. *Corrosion Science*, 100, 556–565. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2015.08.033>
3. Solntsev, S. S., Rozenenkova, V. A. (2006). Glass protective process coatings for heat treatment of steels and alloys. *Glass and Ceramics*, 63 (11-12), 386–390. doi: <https://doi.org/10.1007/s10717-006-0130-9>
4. Denisova, V. S. (2018). High-temperature glass-ceramic coatings to protect nickel alloys formed at near-operating temperatures. *Space Engineering and Technology*, 2 (21), 24–32. Available at: <https://www.energia.ru/ktt/archive/2018/02-2018/02-2018.pdf>
5. Abramov, N. V., Eliseyev, Yu. S., Shkretov, Yu. P., Teryokhin, A. M. (2008). Advanced Technologies for the Protection of Turbine Blades Against Gas Corrosion. *Polyot*, 3, 17–24. Available at: http://www.mashin.ru/files/pol_03_1_60.pdf
6. Majumdar, A., Jana, S. (2001). Glass and glass-ceramic coatings, versatile materials for industrial and engineering applications. *Bulletin of Materials Science*, 24 (1), 69–77. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02704843>
7. Chen, K., Chen, M., Wang, Q., Zhu, S., Wang, F. (2017). Micro-alloys precipitation in NiO- and CoO-bearing enamel coatings and their

- effect on adherence of enamel/steel. *International Journal of Applied Glass Science*, 9 (1), 70–84. doi: <https://doi.org/10.1111/ijag.12284>
8. Solntsev, S. S., Denisova, V. S. (2019). Reaction-Cured Composite Coatings and Glasses. *Glass and Ceramics*, 76 (3-4), 126–130. doi: <https://doi.org/10.1007/s10717-019-00148-9>
 9. Bragina, L. L., Savvova, O. V. (2009). Structural particulars and formation mechanisms of glass coatings belonging to the system $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{ZnO}-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$. *Glass and Ceramics*, 66 (7-8), 262–264. doi: <https://doi.org/10.1007/s10717-009-9179-6>
 10. Wang, M., Li, X., Su, D., Ji, H., Tang, H., Zhao, Z., He, J. (2016). Effect of glass phase content on structure and properties of gradient $\text{MoSi}_2-\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ coating for porous fibrous insulations. *Journal of alloys and Compounds*, 657, 684–690. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.09.099>
 11. Datta, S., Das, S. (2005). A new high temperature resistant glass-ceramic coating for gas turbine engine components. *Bulletin of Materials Science*, 28 (7), 689–696. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02708539>
 12. Kashin, D. S., Dergacheva, P. E., Stekhov, P. A. (2018). Heat resistant slurry coatings (review). *Proceedings of VIAM*, 5, 64–75. doi: <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2018-0-5-64-75>
 13. Denisova, V. S., Lonskii, S. L., Kurshev, E. V., Malinina, G. A. (2019). Investigation of structure formation of reaction cured coatings by scanning electron microscopy. *Proceedings of VIAM*, 4, 76–87. doi: <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2019-0-4-76-87>
 14. Denisova, V. S., Kurshev, E. V., Lonsky, S. L., Vlasova, O. V. (2020). Morphology and structure features of heat-resistant reactive for protection of heat-resistant nickel alloys. *Proceedings of VIAM*, 45, 54–61. doi: <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2020-0-45-54-61>
 15. Donald, I. W., Mallinson, P. M., Metcalfe, B. L., Gerrard, L. A., Fernie, J. A. (2011). Recent developments in the preparation, characterization and applications of glass- and glass-ceramic-to-metal seals and coatings. *Journal of Materials Science*, 46 (7), 1975–2000. doi: <https://doi.org/10.1007/s10853-010-5095-y>
 16. Agüero, A., Muelas, R., Pastor, A., Osgerby, S. (2005). Long exposure steam oxidation testing and mechanical properties of slurry aluminate coatings for steam turbine components. *Surface and Coatings Technology*, 200 (5-6), 1219–1224. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.07.080>
 17. Karasik, E., Marchan, R., Gorulya, N. (2019). Protective heat resistant coating for Inconel 718 additively manufactured parts. *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC*.
 18. Solncev, S. S., Shvagireva, V. V., Isaeva, N. V., Solovyeva, G. A. (2014). High temperature coating for protection of high-strength complex alloyed of nickel alloys of high-temperature gas corrosion. *Proceedings of VIAM*, 6, 4. doi: <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2014-0-6-4-4>
 19. Goleus, V. I. (2017). Properties of borosilicate glass frit as a basis for obtaining glass-enamel coatings. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 3, 47–52. Available at: <http://oaji.net/articles/2017/1954-1500365372.pdf>
 20. Lopes, S. C., Pagnano, V. O., Rollo, J. M. D. de A., Leal, M. B., Bezson, O. L. (2009). Correlation between metal-ceramic bond strength and coefficient of linear thermal expansion difference. *Journal of Applied Oral Science*, 17 (2), 122–128. doi: <https://doi.org/10.1590/s1678-77572009000200010>
 21. Karasik, E. V., Hordieiev, Y. S. (2020). Calculation of thermal expansion, glass transition temperature and glass density in the system $\text{RO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (where $\text{RO}=\text{BaO}, \text{SrO}, \text{CaO}, \text{MgO}, \text{ZnO}$). *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 6, 69–74. doi: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2020-133-6-69-74>
 22. Hordieiev, Y. S., Karasik, E. V., Amelina, A. A. (2021). Properties of glasses in the system $\text{BaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-x\text{Al}_2\text{O}_3$ ($x=0; 5; 10$ mol.%). *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 3, 83–89. doi: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2021-136-3-83-89>
 23. Goleus, V. I., Shul'ga, T. F. (2010). Calculation of the resistivity of silicate and borosilicate glasses as a function of their composition and temperature. *Glass Physics and Chemistry*, 36 (5), 575–578. doi: <https://doi.org/10.1134/s1087659610050068>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243993

THE EFFECT OF LAMINA CONFIGURATION AND COMPACTION PRESSURE ON MECHANICAL PROPERTIES OF LAMINATED GIGANTOCHLOA APUS COMPOSITES (p. 62–73)

Parlindungan Manik

Diponegoro University, Tembalang, Semarang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9408-4468>

Agus Suprihanto

Diponegoro University, Tembalang, Semarang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3321-1328>

Sri Nugroho

Diponegoro University, Tembalang, Semarang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1405-6649>

Sulardjaka

Diponegoro University, Tembalang, Semarang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8273-0469>

This study aims to investigate the mechanical properties of bamboo apus (*gigantochloa apus*) as a natural reinforced composite material. Bamboo's laminates of *gigantochloa apus* were used as reinforcement on the epoxy resin matrix. The parameters examined in this study are the configuration of lamina and compaction pressure. Laminate configuration varies in the number, thickness and direction of the lamina. Compaction pressures of 1.5 MPa, 2 MPa, and 2.5 MPa were used to fabricate the Laminated Bamboo Composites (LBCs). The stem of bamboo with a length of 400 mm was split to obtain bamboo lamina with a size of 400×20 mm. The thickness of bamboo lamina is varied between 1 mm, 1.5 mm, and 2 mm. The bamboo lamina is then preserved by watering it with a preservative solution in the form of 2.5 % sodium tetraborate solution and dried in an oven until the water content reaches 10 %. LBCs were made with a hand lay-up method. After the LBCs were molded, they were pressed with 3 variations of dies compaction 1.5 MPa, 2 MPa and 2.5 MPa. The tensile and bending tests were carried out on the LBCs. Tensile testing is performed in accordance with ASTM standard D3039 and the bending tests were conducted based on ASTM standard D7264. The results show that at each compaction pressure, the highest tensile and bending strength was achieved by LBCs with a thickness of 1 mm of bamboo lamina and 7 layers of bamboo laminates. The LBC with thinner bamboo lamina reinforcement and more layers has the highest tensile strength and bending strength, even it has a lower mass fraction. The LBCs with laminates oriented 0° exhibited greater tensile and bending strengths than the LBCs with laminates structured -45°/+45° and 0°/90°. The LBCs with the 0° laminates direction is matrix fracture followed by lamina fracture. In the 0°/90° direction, matrix fracture is followed by delamination in the 90° and 0° laminates direction. Delamination and lamina cleaving were observed in LBCs with laminates oriented +45°/-45°.

Keywords: laminated bamboo composites, *gigantochloa apus*, tensile strength, bending strength.

References

1. Rassiah, K., Ahmad, M. M. H. M. (2013). Bamboo, Thermoplastic, Thermosets, and their Composites: A Review. *Applied Mechanics and Materials*, 330, 53–61. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.330.53>

2. Rassiah, K., Megat Ahmad, M. M. H. (2013). A review on mechanical properties of bamboo fiber reinforced polymer composite. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7 (8), 247–253. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1041.8840&rep=rep1&type=pdf>
3. Kumar, V., Kushwaha, P. K., Kumar, R. (2011). Impedance-spectroscopy analysis of oriented and mercerized bamboo fiber-reinforced epoxy composite. *Journal of Materials Science*, 46 (10), 3445–3451. doi: <https://doi.org/10.1007/s10853-011-5249-6>
4. Anwar, Zaidon, Paridah, Razak. (2004). The potential of utilising bamboo culm (*Gigantochloa scortechinii*) in the production of structural plywood. *Journal of Bamboo and Rattan*, 3 (4), 393–400. doi: <https://doi.org/10.1163/1569159042464653>
5. Anokye, R., Bakar, E. S., Ratnasingam, J., Yong, A. C. C., Bakar, N. N. (2016). The effects of nodes and resin on the mechanical properties of laminated bamboo timber produced from *Gigantochloa scortechinii*. *Construction and Building Materials*, 105, 285–290. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.083>
6. Girisha, C., Sanjeevamurthy, Rangasrinivas, G. (2012). Tensile properties of natural fiber-reinforced epoxy-hybrid composites. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 2 (2), 471–474. Available at: http://www.ijmer.com/papers/vol2_issue2/CE22471474.pdf
7. Verma, C. S., Chariar, V. M. (2012). Development of layered laminate bamboo composite and their mechanical properties. *Composites Part B: Engineering*, 43 (3), 1063–1069. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.11.065>
8. Brinson, H. F., Brinson, L. C. (2015). Characteristics, Applications and Properties of Polymers. *Polymer Engineering Science and Viscoelasticity*, 57–100. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7485-3_3
9. Kaur, N., Saxena, S., Gaur, H., Goyal, P. (2017). A review on bamboo fiber composites and its applications. 2017 International Conference on Infocom Technologies and Unmanned Systems (Trends and Future Directions) (ICTUS). doi: <https://doi.org/10.1109/ictus.2017.8286123>
10. Rassiah, K., Megat Ahmad, M. M. H., Ali, A., Abdullah, A. H., Nagapan, S. (2017). Mechanical Properties of Layered Laminated Woven Bamboo *Gigantochloa Scortechinii*/Epoxy Composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 26 (4), 1328–1342. doi: <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1040-3>
11. Lokesh, P., Surya Kumari, T. S. A., Gopi, R., Babu Loganathan, G. (2020). A study on mechanical properties of bamboo fiber reinforced polymer composite. *Materials Today: Proceedings*, 22, 897–903. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.100>
12. Manik, P., Suprihanto, A., Sulardjaka, Nugroho, S. (2020). Technical analysis of increasing the quality of apus bamboo fiber (*Gigantochloa Apus*) with alkali and silane treatments as alternative composites material for ship skin manufacturing. 1ST International Seminar on Advances in Metallurgy and Materials (i-SENAMM 2019). doi: <https://doi.org/10.1063/5.0015696>
13. Rassiah, K., Megat Ahmad, M. M. H., Ali, A. (2014). Mechanical properties of laminated bamboo strips from *Gigantochloa Scortechinii*/polyester composites. *Materials & Design*, 57, 551–559. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.12.070>
14. Liliefna, L. D., Nugroho, N., Karlinsari, L., Sadiyo, S. (2020). Development of low-tech laminated bamboo esterilla sheet made of thin-wall bamboo culm. *Construction and Building Materials*, 242, 118181. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118181>
15. Verma, C. S., Chariar, V. M. (2013). Stiffness and strength analysis of four layered laminate bamboo composite at macroscopic scale. *Composites Part B: Engineering*, 45 (1), 369–376. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.07.048>
16. Verma, C. S., Sharma, N. K., Chariar, V. M., Maheshwari, S., Hada, M. K. (2014). Comparative study of mechanical properties of bamboo laminae and their laminates with woods and wood based composites. *Composites Part B: Engineering*, 60, 523–530. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.12.061>
17. Li, H., Zhang, Q., Huang, D., Deeks, A. J. (2013). Compressive performance of laminated bamboo. *Composites Part B: Engineering*, 54, 319–328. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.05.035>
18. Chow, A., Ramage, M. H., Shah, D. U. (2019). Optimising ply orientation in structural laminated bamboo. *Construction and Building Materials*, 212, 541–548. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.025>
19. Venkateshwaran, N., ElayaPerumal, A., Arwin Raj, R. H. (2012). Mechanical and Dynamic Mechanical Analysis of Woven Banana/Epoxy Composite. *Journal of Polymers and the Environment*, 20 (2), 565–572. doi: <https://doi.org/10.1007/s10924-011-0410-5>
20. Rassiah, K., Megat Ahmad, M. M. H., Ali, A., Tamizi, M. Mohd. (2015). The Influence of Laminated Layer and Thickness *Gigantochloa Scortechinii* Bamboo Strips on Mechanical Performance of Unsaturated Polyester Composites. *Life Science Journal*, 12 (2), 182–188. doi: <https://doi.org/10.7537/marslsj120215.29>
21. Verma, C. S., Purohit, R., Rana, R. S., Mohit, H. (2017). Mechanical Properties of Bamboo Laminates with other composites. *Materials Today: Proceedings*, 4 (2), 3380–3386. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.226>
22. Obataya, E., Kitin, P., Yamauchi, H. (2007). Bending characteristics of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) with respect to its fiber-foam composite structure. *Wood Science and Technology*, 41 (5), 385–400. doi: <https://doi.org/10.1007/s00226-007-0127-8>
23. Liao, L., Huang, C., Sawa, T. (2013). Effect of adhesive thickness, adhesive type and scarf angle on the mechanical properties of scarf adhesive joints. *International Journal of Solids and Structures*, 50 (25-26), 4333–4340. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2013.09.005>
24. Sugiman, S., Sulardjaka, S. (2016). Water Absorption and Desorption Behaviour and their Effect on the Tensile Properties of FM 73M Adhesive Film. *International Journal of Technology*, 7 (3), 438. doi: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v7i3.2804>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247624

РОЗРОБКА КРИТЕРІЇВ АВТЕНТИЧНОСТІ ІСТОРИЧНОЇ ХОЛОДНОЇ ЗБРОЇ НА ОСНОВІ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛІЗУ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНІ (с. 6–11)

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

Наведені результати дослідження хімічного складу поверхні 4 предметів холодної зброї XIX–початку XX століть, виготовлених із заліза – багнет-ножів та шабелів. Це дозволяє встановити ознаки автентичності зразків холодної зброї із заліза даного хронологічного періоду.

Була запропонована авторська методика дослідження хімічного складу поверхні історичних предметів холодної зброї шляхом натирання взірців тампонами з бавовняної вати та їх подальшим дослідженням. Це дає змогу дослідити предмети холодної зброї, великі за розміром, а також спростити саму процедуру дослідження предметів, які мають історико-культурну цінність.

За допомогою рентгенофлуоресцентного аналізатора хімічного складу Expert Mobile на поверхні взірців предметів холодної зброї, виготовлених із заліза, виявлені хімічні елементи. Наявність таких елементів є результатом протікання процесу перекристалізації та самоочищення металу впродовж тривалої історії його побутування. Були визначені елементи, які зустрічаються майже у кожному зразку натури: кальцій, ферум, цинк, купрум та хлор.

Проведені дослідження взірців холодної зброї свідчать про неоднорідність складу патинних утворень на їх поверхні, що підтверджує автентичність старовинних предметів. Крім того, дослідження показали відмінність хімічного складу поверхневих шарів різних частин окремих взірців антикварної холодної зброї, що може свідчити про різний час або різну технологію їх виготовлення.

Були здійснені порівняння спектрів флуоресценції зроблених натурів окремих взірців холодної зброї з «чистим» матеріалом, що дало змогу виявити елементи, вилучені з поверхні предметів. Результати дослідження є важливими індикаторами для підтвердження автентичності пам'яток культури та технології їх виготовлення в минулому.

Ключові слова: холодна зброя, афінаж металів, кристалізація металів, домішкові хімічні елементи, рентгенофлуоресцентний аналіз.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244118

ВПЛИВ ТВЕРДОЇ ЦЕМЕНТАЦІЇ ПОРОШКОМ ІЗ ШКАРАЛУПИ КУРЯЧИХ ЯЄЦЬ І ВІБРАЦІЙНОГО ГАРТУВАННЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ AISI 9310 (с. 12–19)

Sinarep Sinarep, Sujita Darmo

Вивчено вплив вібраційного гартування (ВГ) на вміст вуглецю, мікроструктуру і механічні властивості (число поверхневої твердості, зносостійкість) під час твердої цементації сталі AISI 9310. Метою даного дослідження є підвищення поверхневої твердості та зносостійкості сталі AISI 9310. Частою проблемою під час гартування після твердої цементації є те, що густе охолоджуюче середовище нерівномірно змочує поверхню зразка, що призводить до нерівномірної швидкості охолодження, і в результаті неоднорідного розподілу поверхневої твердості зразка. Отже, необхідні дослідження застосування вібратора під час обробки гартуванням.

Зразки обробляли твердою цементацією за температури 875 °С, часу витримки 3 години. Цементуюча суміш складалася з порошку шкаралупи курячих яєць (ПШКЯ) та деревного вугілля з рисового лушпиння (ДВРЛ) з різними ваговими співвідношеннями 5 %:95 %, 15 %:85 %, і 30%: 70%. Потім слідує гартування з використанням охолоджуючого середовища з 10% тростинної патоки і вібратора. Випробування на твердість проводилися за допомогою приладу для вимірювання мікротвердості по Віккерсу, випробування на зносостійкість з використанням штифтодискової машини, для спостереження за змінами мікроструктури та вмісту вуглецю на поверхні зразка використовували скануючий електронний мікроскоп (СЕМ-ЕРС).

Результати показали, що застосування ВГ призвело до утворення невеликої мартенситної мікроструктури, в той час як без ВГ – в основному мартенситної з невеликою кількістю залишкового фериту. Під час твердої цементації з використанням цементуючої суміші 70 % ДВРЛ, 30% ПШКЯ та ВГ найбільше число поверхневої твердості становить 685 кг/мм², зносостійкість – 0,32 см/мг. ВГ забезпечує більш рівномірний розподіл охолоджуючого середовища з густої тростинної патоки, що призводить до рівномірної швидкості охолодження зразків.

Ключові слова: сталь AISI 9310, вібраційне гартування, тверда цементація, число поверхневої твердості, зносостійкість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247269

ВПЛИВ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ГАРЯЧОГО ПРОКАТУВАННЯ НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ (с. 20–26)

С. П. Шейко, А. Ю. Матюхін, В. В. Циганов, А. М. Андреев, А. М. Бень, О. А. Кулабнева

Визначені температура та ступінь гарячої деформації для сталі 10ХФТБч. Це дозволило забезпечити підвищення механічних властивостей зазначеної сталі, а саме межі міцності до 540–560 МПа, а також відносного подовження до 25–29 %. Тому існує

можливість підвищити термін експлуатації коліс підвищеної вантажопідємності. Це, у свою чергу, дає можливість збільшити в декілька разів об'єм вантажу, що перевозиться автотранспортними засобами.

Розкрито механізм впливу енергосилових параметрів прокатки на формування макро- і мікроструктури двофазної сталі, в процесі гарячого деформування. Застосована схема забезпечила підвищення однорідності структури розробленої сталі, що позбавило від перегріву центральну частину перетину прокату. Встановлено, що зниження температури закінчення деформації призводить до зменшення розмірів рекристалізованого аустенітного зерна, а отже, подрібнення ферритного зерна. Також важливим фактором запобігання зростанню ферритного зерна у верхній частині ферритної області є скасування охолодження сталі в рулонах.

Рекомендований режим для багатокомпонентно-легованої сталі 10ХФТБч наступний: температура кінця прокатки – 850 °С, початок прискореного охолодження – 750 °С, температура змотування смуги в рулон – 600 °С.

В основі забезпечення підвищеної міцності двофазних сталей лежить нормування співвідношення і розподілу структурних фракцій – фериту (початкового та того, що виділився з аустеніту), а також мартенситу. При зміцненні такими традиційними «мартенситотвореннями» як марганець, можливості регулювання властивостей обмежені. Це відображається у вузькій межі варіювання міцності і пластичності розробленої сталі. Оптимальне поєднання характеристик міцності та пластичних властивостей знижують металоємність виробу на 15–25 %.

Ключові слова: формула Хензеля-Шпїттеля, гаряча деформація, фізичне моделювання, енергосилові параметри, ферит.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246511

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ОСАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОХРОМНИХ ПЛІВОК Ni(OH)₂-ПВС, ОТРИМАНИХ НА МЕТАЛЕВІЙ ПІДЛОЖЦІ З КОНЦЕНТРОВАНИХ РОЗЧИНІВ (с. 27–33)

В. А. Коток, В. Л. Коваленко, Р. К. Нафєєв, В. В. Вербицький, О. С. Мельник, І. Л. Плаксїєнко, І. М. Коваленко, В. Г. Столяренко, В. Я. Плаксїєнко, І. В. Замрїй

Електрохімічні пристрої на основі електродів з гідроксидом нікелю застосовуються в різних напрямках. Основні з них – хімічні джерела струму, «розумні» вікна із змінною прозорістю, пристрої для проведення електрокаталітичних реакцій, датчики для визначення різних речовин. У зв'язку з цим викликають великий інтерес методи синтезу гідроксиду нікелю і особливо ті, які дозволяють утворювати гідроксид нікелю безпосередньо на поверхні електродів. Одним із таких методів є електрохімічний метод нанесення при катодній поляризації струмом.

Розглянуті відомості щодо синтезу гідроксиду нікелю з розчинів нікелю та показано, що наявні дані охоплюють в основному інформацію щодо розбавлених розчинів від 0.01 до 0.25 М Ni(NO₃)₂. Крім того, в літературі не було виявлено даних щодо порівняння ефективності процесу катодного утворення Ni(OH)₂ при різних концентраціях нітрату нікелю.

Для того, щоб усунути наявний брак інформації, була визначена залежність значень виходу за струмом від концентрації нітрату нікелю в розчині електроосадування при постійній катодній густині струму – 0,625 мА/см². Отримана залежність нелінійно знижувалась при збільшенні концентрації. Сформовані при цьому осадки гідроксиду нікелю мають рентгеноаморфну структуру, і вона мало залежить від концентрації Ni(NO₃)₂. Крім того, значення виходу за струмом досягають нульових значень при концентрації 1.5М Ni(NO₃)₂ та вище. Тем не менш, при наявності в розчині полівінілового спирту та концентрації Ni(NO₃)₂ 1.5М і 2М осаджувались електрохімічно та електрохромно активні плівки Ni(OH)₂. Вихід за струмом, розрахований непрямим шляхом для розчинів 1.5М і 2М Ni(NO₃)₂ склав 3.2 і 2.3 % відповідно. Таким чином, був зроблений висновок про те, що полівініловий спирт впливає на механізм електроосадження гідроксиду нікелю з водних розчинів нітрату нікелю.

Ключові слова: електрохромізм, електроосадження, гідроксид нікелю, полівініловий спирт, нітрат нікелю, вихід за струмом.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245274

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВПЛИВУ НА ПИТОМУ ТЕПЛОЄМНІСТЬ ТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВІДНІСТЬ ПОЛІМЕРНИХ НАНОКОМПЗИТИВ КОМПЛЕКСУ ВИЗНАЧАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ (с. 34–39)

Н. М. Фіалко, Р. В. Дінжос, Ю. В. Шеренковський, Н. О. Меранова, С. О. Альошко, Д. Ізворска, В. М. Коржик, М. М. Лазаренко, І. В. Манькусь, Л. С. Недбаєвська

Виконано цикл експериментальних досліджень щодо встановлення закономірностей комплексного впливу на питому теплоємність полімерних наноккомпозитів таких факторів, як температурний режим їх отримання, величина масової частки наповнювача і температура композиційного матеріалу. Дослідження проведено для наноккомпозитів на основі поліпропілену, наповненого вуглецевими нанотрубками. При отриманні композитів використовувався метод змішування компонентів у розплаві полімеру. В ході досліджень температура наноккомпозитів змінювалася від 295 до 455 К, масова частка наповнювача – від 0,3 до 10 %. Основний параметр технологічного режиму одержання композиційних матеріалів – величина перегріву розплаву полімеру відносно температури його плавлення – варіювалася в діапазоні 10...75 К. Показано, що температурна залежність питомої теплоємності розглянутих композитів є чутливою до зміни перегріву розплаву полімеру тільки в області її максимальних значень. Отримано концентраційні залежності питомої теплоємності розглянутих наноккомпозитів при різних значеннях їх температури і рівня перегріву розплаву полімеру. Виконано дослідження щодо виявлення ефектів впливу зазначених вище параметрів на коефіцієнт температуропровідності наноккомпозитів. Встановлено, зокрема, що збільшення рівня перегріву полімеру може призводити до значного підвищення коефіцієнта температуропровідності, яке є тим суттєвішим, чим вище частка наповнювача і нижче температура композиційного матеріалу. Показано, що рівень перегріву розплаву полімеру від-

носно температури його плавлення є параметром, який може бути покладений в основу створення полімерних композиційних матеріалів із заданими теплофізичними властивостями.

Ключові слова: полімерні наноккомпозити, теплоємність наноккомпозитів, температуропровідність наноккомпозитів, вуглецеві нанотрубки, температурні режими.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245938

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАДИСПЕРСНИХ ДОМІШОК НІТРИДУ АЛЮМІНІЮ НА СТРУКТУРУ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ КЕРАМІКИ (с. 40–52)

Е. С. Геворкян, В. П. Нерубацький, В. О. Чижка, Ю. Г. Гуцаленко, О. М. Морозова

Розглянуто особливості отримання інструментального матеріалу на основі оксиду хрому. При цьому було використано ультрадисперсні порошки з нітриду алюмінію. Встановлено, що деструкція оксиду хрому при високих температурах спікання запобігається за рахунок реакційного спікання оксиду хрому (Cr_2O_3) та нітриду алюмінію (AlN).

Встановлено, що структура композиту залежить як від температури, так і від часу гарячого пресування. Термодинамічні розрахунки взаємодії Cr_2O_3 з AlN показали, що взаємодія між ними починається за температури 1300 °С. На відміну від гарячого пресування на повітрі, у вакуумі сполуки CrN та Cr_2N не утворюються. З підвищенням температури вміст Al_2O_3 в твердому розчині стає максимальним за температури 1700 °С у разі гарячого пресування на повітрі, у вакуумі вміст Al_2O_3 залишається незмінним у всьому температурному діапазоні 1300–1700 °С. При збільшенні часу гарячого пресування до 30 хв, розмір окремих зерен досягає 10 мкм. Показано, що в процесі спікання між Cr_2O_3 та AlN шляхом плазмохімічного синтезу на межах фаз утворюється твердий розчин (Cr, Al) $_2\text{O}_3$, який підвищує механічні властивості матеріалу.

Досліджено вплив на якість обробленої поверхні загартованої твердої сталі при обробці розробленим інструментальним матеріалом на основі оксиду хрому з оптимальною домішкою 15 мас. % ультрадисперсного порошку нітриду алюмінію. Визначено, що якість обробленої поверхні твердої сталі покращується порівняно зі стандартними імпортованими інструментальними пластинами.

Встановлено, що отриманий інструментальний матеріал, крім відносно високої міцності і тріщиностійкості, має також високу теплопровідність, що сприятливо впливає на якість обробленої поверхні сталі, враховуючи що у процесі різання не використовуються мастильно-охолоджувальні рідини.

Ключові слова: гаряче пресування, інструментальний матеріал, нітрид алюмінію, оксид хрому, ультрадисперсний порошок.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244004

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ МІКРОСТРУКТУРИ І ФАЗОВОГО СКЛАДУ СКЛОМЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВНІ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ (с. 53–61)

О. В. Карасик, Ю. С. Гордєєв

У зв'язку з розробкою нових жароміцних нікелевих сплавів, працездатних при температурах до 1250 °С, і впровадженням адитивних технологій виробництва різних деталей, актуальним стає завдання по розробці нових складів високожаростійких покриттів.

Визначення впливу фазового складу склометалокерамічних покриттів на його основні властивості дозволить збільшити ефективність захисту деталей, що працюють в екстремальних умовах. Тому перспективним є проведення дослідження, присвяченого визначенню взаємозв'язку мікроструктури і фазового складу склометалокерамічних покриттів з основними фізико-технічними характеристиками.

В результаті досліджень встановлено, що найбільш якісні покриття отримані на основі скла, що не кристалізується. Таке скло характеризується температурним коефіцієнтом лінійного розширення $92 \cdot 10^{-7}$ град $^{-1}$, температурою склування 625 °С і поверхневим натягом при 850 °С $260 \cdot 10^{-3}$ Н/м. Зазначені властивості сприяють формуванню бездефектного покриття, забезпечуючи рівномірне розтікання і якісне зчеплення з підкладкою.

Отримане оптимальне покриття характеризується міцністю зчеплення 98 %, термостійкістю (режим 950 \leftrightarrow 20 °С) 50 циклів і жаростійкістю (приріст після 100 ч в температурному інтервалі 1000–1050 °С) 0,03 г/м 2 -год.

Покриття з мінімальною кількістю склозв'язки відрізняються рівномірністю і якістю. Оптимальне співвідношення фаз «скло: металокерамічна композиція» становить 10:90.

Структура рекомендованого покриття відрізняється рівномірністю, гомогенним розподілом компонентів, відсутністю тріщин, видимих дефектів і високою якістю. Фазовий склад покриття після випалу представлений кристалами металевого нікелю і кремнію, а також невеликою кількістю залишкової склофазы.

Ключові слова: жаростійке покриття, мікроструктура покриття, фазовий склад, жароміцні сплави, газова корозія, склометалокерамічне покриття.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243993

ВПЛИВ КОНФІГУРАЦІЇ ПЛАСТИН І ТИСКУ УЩІЛЬНЕННЯ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШАРУВАТИХ КОМПЗИТИВ З GIGANTOCHLOA APUS (с. 62–73)

Parlindungan Manik, Agus Suprihanto, Sri Nugroho, Sulardjaka

Дане дослідження спрямоване на вивчення механічних властивостей струнного бамбука (*gigantochloa apus*) в якості природного армованого композитного матеріалу. Ламінари бамбука *gigantochloa apus* використовувалися в якості армування

на матриці з епоксидної смоли. Параметрами, розглянутими в даному дослідженні, є конфігурація пластин і тиск ущільнення. Конфігурація ламінату варіюється в залежності від кількості, товщини і напрямку пластин. Для виготовлення шаруватих бамбукових композитів (ШБК) використовували тиски ущільнення 1,5 МПа, 2 МПа і 2,5 МПа. Стебло бамбука довжиною 400 мм було розщеплене для отримання бамбукової пластини розміром 400×20 мм. Товщина бамбукової пластини варіюється в межах 1 мм, 1,5 мм і 2 мм. Потім бамбукову пластину консервують, поливаючи її консервуючим розчином у вигляді 2,5 % розчину тетраборату натрію і сушать в печі до тих пір, поки вміст води не досягне 10 %. ШБК були виготовлені методом ручного укладання. Після формування ШБК їх пресували з 3 варіантами ущільнення 1,5 МПа, 2 МПа і 2,5 МПа. Були проведені випробування ШБК на розтягнення і вигин. Випробування на розтягування проводяться відповідно до стандарту ASTM D3039, а випробування на вигин – за стандартом ASTM D7264. Результати показують, що при кожному тиску ущільнення найбільша міцність на розтяг і вигин була досягнута в ШБК з товщиною бамбукової пластини 1 мм і 7 шарами бамбукових ламінатів. ШБК з більш тонким армуванням бамбуковою пластиною і великою кількістю шарів має найвищу міцність на розтяг і вигин, навіть при більш низькій масовій частці. ШБК з ламінатами, орієнтованими під кутом 0° , мають більшу міцність на розтяг і вигин, ніж ШБК з ламінатами, структурованими під кутом $-45^\circ/+45^\circ$ і $0^\circ/90^\circ$. ШБК з напрямком ламінатів 0° – це розрив матриці з подальшим розривом пластини. У напрямку $0^\circ/90^\circ$ розрив матриці супроводжується розшаруванням в напрямку ламінатів під кутом 90° і 0° . Розшарування і розщеплення пластини спостерігалися в ШБК з орієнтацією ламінатів $+45^\circ/-45^\circ$.

Ключові слова: шаруваті бамбукові композити, *gigantochloa arus*, міцність на розтяг, міцність на вигин.