

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265014

DETERMINING THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF HEAT-RESISTANT TITANIUM ALLOYS VT3-1 AND VT9 OBTAINED BY ELECTRON-BEAM MELTING (p. 6–12)

Serhii Akhoin

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7746-2946>

Oleksandr Pikulin

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6327-3848>

Volodymyr Berezos

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5026-7366>

Andrii Severyn

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4768-2363>

Oleksiy Erokhin

E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2105-5783>

Vitalii Kryzhanovskiy

LLC Scientific and production association HVYLYA,
Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0917-8687>

This paper reports a comprehensive study that investigated the quality of heat-resistant titanium alloys VT3-1 and VT9 obtained by the method of electron beam melting (EBM). It is shown that EBM makes it possible to produce high-quality metal of ingots of heat-resistant titanium alloys VT9 and VT3-1.

Semi-finished articles were made in the form of bars from ingots obtained by the EBM method. It was established that in the macrostructure of the deformed metal there are no cracks, delamination, cavities, metal and non-metallic inclusions. The macrostructure of the metal of the bars corresponds to 4 points for the alloy VT3-1 and 4–5 points for the alloy VT9 on the 10-point scale of microstructures of instruction 1054-76. It was shown that the metal microstructure of forged bars of VT9 alloy consists of primary β grains with a continuous or intermittent α -rim along the grain boundaries 3–4 μs thick. The structure of the metal in the volume of grain – lamellar type with partially globularized plates of the α phase, plates of α -phase of close orientation form α colonies measuring 10–40 μs . The thickness of the α plates is 1–5 μs , between the plates or globules of the α phase there is a layer of β phase with a thickness of 1–2 μs . The microstructure of the deformed metal of titanium alloy VT3-1 consists of primary β grains, the volume of which contains colonies of lamellar α phases measuring 10–100 μs . The thickness of α plates is 1.5–3 μs , the layer of β phase in the intervals between α -plates is mainly 0.3–0.5 μs . The microstruc-

ture of semi-finished articles in the form of deformed bars of alloys VT9 and VT3-1 corresponds to type 4–6 according to the 9-type scale of the microstructure of instruction 1054-76. Studies of the mechanical properties of the obtained semi-finished articles have shown that they meet all the requirements of regulatory standards that are put forward by industry to the quality of the metal of heat-resistant titanium alloys.

Keywords: electron beam melting, intermediate capacity, heat-resistant titanium alloy, structure, mechanical properties.

References

- Narushima, T., Sugizaki, Y. (2020). Recent activities of titanium research and development in Japan. MATEC Web of Conferences, 321, 01004. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032101004>
- Williams, J. C., Boyer, R. R. (2020). Opportunities and Issues in the Application of Titanium Alloys for Aerospace Components. Metals, 10 (6), 705. doi: <https://doi.org/10.3390/met10060705>
- Mizukami, H., Kitaura, T., Shirai, Y. (2020). Dissolution Behavior of a Titanium Nitride Sponge in Titanium Alloy Melt. MATEC Web of Conferences, 321, 10005. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032110005>
- Babenko, E. P., Dolzhenkova, E. V. (2014). Issledovanie prichin razrusheniya krupnogabaritnogo izdeliya iz splava VT23. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost', 3, 82–85. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MGRP_2014_3_27
- Paton, B. E., Trigub, N. P., Zhuk, G. V. (2008). Crystallization of titanium ingots in the course of electron-beam melting. Materials Science, 44 (3), 328–335. doi: <https://doi.org/10.1007/s11003-008-9090-2>
- Mantione, J., Garcia-Avila, M., Arnold, M., Bryan, D., Foltz, J. (2020). Properties of Novel High Temperature Titanium Alloys for Aerospace Applications. MATEC Web of Conferences, 321, 04006. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032104006>
- Khorev, A. I. (2014). Fundamental'nye i prikladnye raboty po konstruktivnym titanovym splavam i perspektivnye napravleniya ikh razvitiya. Tekhnologiya mashinostroeniya, 11, 5–10.
- Lei, X., Dong, L., Zhang, Z., Liu, Y., Hao, Y., Yang, R., Zhang, L.-C. (2017). Microstructure, Texture Evolution and Mechanical Properties of VT3-1 Titanium Alloy Processed by Multi-Pass Drawing and Subsequent Isothermal Annealing. Metals, 7 (4), 131. doi: <https://doi.org/10.3390/met7040131>
- Pavlova, T. V., Kashapov, O. S., Nochovnaya, N. A. (2012). Titanovye splavy dlya gazoturbinnykh dvigateley. Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik, 5, 8–14.
- Il'in, A. A., Kolachev, B. A., Pol'kin, I. S. (2009). Titanovye splavy. Sostav, struktura, svoystva. Moscow: VILS-MATI, 520.
- Simonov, Y. V., Ushakov, I. V. (2020). Mechanical properties of surface structures of titanium alloy VT9 after repeated local processing with nanosecond laser pulses. Bulletin of the Moscow State Regional University (Physics and Mathematics), 2, 19–35. doi: <https://doi.org/10.18384/2310-7251-2020-2-19-35>
- Singh, B. K., Singh, P. N., Singh, V., Ramachandra, C. (1999). Stabilisation Treatment of Titanium Alloy VT9. Defence Science Journal, 49 (2), 169–176. doi: <https://doi.org/10.14429/dsj.49.3826>

13. Akhonin, S. V., Severin, A. Yu., Beresos, V. O., Pikulin, O. M., Erokhin, O. G. (2022). Mathematical modeling of evaporation processes at ebm of alloys based. *Sovremennââ Elektrometallurgîâ*, 2, 10–16. doi: <https://doi.org/10.37434/sem2022.02.02>
14. Akhonin, S. V., Pikulin, O. M. (2019). Investigation of Effect of Electron Beam Surface Treatment of Titanium Alloy Ingots on Structure and Properties of Melted Metal. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 582 (1), 012047. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/582/1/012047>
15. Akhonin, S. V., Pikulin, A. N., Klochai, V. V., Ryabtsev, A. D. (2019). Electron-Beam Surface Treatment of Titanium Alloy Ingots. Part 1. *Metallurgist*, 63 (1-2), 183–191. doi: <https://doi.org/10.1007/s11015-019-00808-9>
16. Paton, B. E., Akhonin, S. V., Prilutsky, V. P. (2012). Development of welding technologies in titanium component manufacturing. *Ti 2011 - Proceedings of the 12th World Conference on Titanium*, 2, 1585–1591.
17. Borisova, E. A., Bochvar, G. A., Brun, M. Ya. et. al. (1980). *Titanovye splavy. Metallografiya titanovykh splavov*. Moscow: «Metallurgiya», 464.
18. Boer, R. R. (1985). *Titanium and Titanium Alloys. Metallography and Microstructures*. ASM, Metals Park, OH, 458–475.
19. Shved, F. I. (2009). *Slitok vakuumnogo dugovogo pereplava. Chelyabinsk: OOO «Izadet'lstvo Tat'yany Lur'e», 428.*

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266264

**MICROSTRUCTURE VARIATION EFFECTS
INFLUENCE ON CHARACTERISTICS AND
MECHANICAL PROPERTIES OF MONEL 400 AND
LOW ALLOY STEEL (ASTM 387-Gr.11) GTAW
DISSIMILAR JOINT (p. 13–20)**

Ahmed Ghazi Abdulameer

University of Technology - Iraq, Baghdad, Iraq
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4527-3454>

Mohammed Sabeeh Mohammed

University of Technology - Iraq, Baghdad, Iraq
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7089-7544>

Ahmed Salloum Abbas

University of Technology - Iraq, Baghdad, Iraq
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9613-2053>

Monel 400 with low alloy steel dissimilar joints are widely used in oil industry, petrochemical and nuclear engineering, this kind of applications needs welding joints with good mechanical properties, stable magnetic permeability and good weldability. Difference in mechanical, chemical and physical properties between these unique alloys makes such joint difficult and joints mechanical properties and microstructure will be different from parent metals. In this study, GTAW process has been employed with ERNiCrFe-3 electrode to produce dissimilar welding joints with specifies welding procedure parameters, SEM/EDS microstructure analysis, microstructure optical test, Vickers microhardness and tensile test used to study microstructure details and its impacts on welding joint mechanical properties. Research results according to welding zone microstructure analyses shown formation of Widmanstätten ferrite structures and second phase particles with fine graine structure in low alloy steel side the for-

mation of transition zone (TZ). Moreover, clearly fusion line (FL) clearly marked in Monel 400 side while weld metal solidification microstructure with (MGBs) and (SGBs) respectively and interdendritic microstructure observed in weld zone center. Weldment mechanical and microstructure examination indicated the ability to produce like this dissimilar joint with requirement of design criteria and indicated that the failure in like this joint excepted to be in low alloy steel side. The result and microstructure analyses of this research is very important to understanding the variation in welding zone and HAZ microstructure and its impact in weldment mechanical properties and establish the base to produced best welding procedure according to welding zone microstructure properties.

Keywords: dissimilar weldments, carbon depleted zone, Transition zone, Monel 400, migrated grain boundary.

References

1. Sudha, C., Paul, V. T., Terrance, A. L. E., Saroja, S., Vijayalakshmi, M. (2006). Microstructure and microchemistry of hard zone in dissimilar weldments of Cr-Mo steels. *Welding Journal*, 85 (4), 71s–80s. Available at: <http://files.aws.org/wj/supplement/04-2006-SUDHA-s.pdf>
2. Alexandrov, B. T., Lippold, J. C., Sowards, J. W., Hope, A. T., Saltzmann, D. R. (2012). Fusion boundary microstructure evolution associated with embrittlement of Ni–base alloy overlays applied to carbon steel. *Welding in the World*, 57 (1), 39–53. doi: <https://doi.org/10.1007/s40194-012-0007-1>
3. Nelson, T. W., Lippold, J. C., Mills, M. J. (1998). Investigation of boundaries and structures in dissimilar metal welds. *Science and Technology of Welding and Joining*, 3 (5), 249–255. doi: <https://doi.org/10.1179/stw.1998.3.5.249>
4. Nelson, T. W., Lippold, J. C., Mills, M. J. (2000). Nature and evolution of the fusion boundary in ferritic-austenitic dissimilar metal welds – part 2: on-cooling transformations. *Welding Journal*, 10, 267s–277s. Available at: https://app.aws.org/wj/supplement/WJ_2000_10_s267.pdf
5. Baeslack III, W. Y., Lippold, J. C., Savage, W. F. (1979). Unmixed zone formation in austenitic stainless steel weldments. *Welding Journal*, 58 (6), 168s–176s. Available at: http://files.aws.org/wj/supplement/WJ_1979_06_s168.pdf
6. Soysal, T., Kou, S., Tat, D., Pasang, T. (2016). Macrosegregation in dissimilar-metal fusion welding. *Acta Materialia*, 110, 149–160. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.03.004>
7. Rowe, M. D., Nelson, T. W., Lippold, J. C. (1999). Hydrogen-induced cracking along the fusion boundary of dissimilar metal welds. *Welding Journal*, 78, 31s–37s. Available at: http://files.aws.org/wj/supplement/AREFAE_1/ARTICLE1.pdf
8. Nelson, T. W., Lippold, J. C., Mills, M. J. (1999). Nature and Evolution of the Fusion Boundary in Ferritic-Austenitic Dissimilar Weld Metals, Part 1 – Nucleation and Growth. *Welding Journal*, 78 (10), 329s–337s. Available at: <http://files.aws.org/wj/supplement/oct99/NELSON.pdf>
9. Devendranath Ramkumar, K., Joshi, V., Pandit, S., Agrawal, M., Kumar, O. S., Periwal, S. et al. (2014). Investigations on the microstructure and mechanical properties of multi-pass pulsed current gas tungsten arc weldments of Monel 400 and Hastelloy C276. *Materials & Design*, 64, 775–782. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.08.055>

10. Kou, S. (2003). *Welding metallurgy*. Wiley. doi: <https://doi.org/10.1002/0471434027>
11. Gubeljak, N. (1999). Fracture behaviour of specimens with surface notch tip in the heat affected zone (HAZ) of strength mis-matched welded joints. *International Journal of Fracture*, 100 (2), 155–167. doi: <https://doi.org/10.1023/a:1018794316336>
12. Cui, Y., Xu, C., Han, Q. (2006). Effect of ultrasonic vibration on unmixed zone formation. *Scripta Materialia*, 55 (11), 975–978. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2006.08.035>
13. Anand, R., Sudha, C., Paul, V. T., Saroja, S., Vijayalakshmi, M. (2010). Microstructural changes in grade 22 ferritic steel clad successively with Ni-based and 9Cr filler metals. *Welding Journal*, 89 (4), 65s–74s. Available at: https://www.academia.edu/22040613/Microstructural_Changes_in_Grade_22_Ferritic_Steel_Clad_Successively_with_Ni_Based_and_9Cr_Filler_Metals
14. Sudha, C., Anand, R., Saroja, S., Vijayalakshmi, M. (2010). Evaluation of concentration dependant diffusion coefficients of carbon in a dissimilar joint of ferritic steels. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 63 (4), 739–744. doi: <https://doi.org/10.1007/s12666-010-0113-y>
15. Golovanenko, S. A., Konnova, I. Yu. (1972). Selecting interlayers for corrosion resistant bimetals. *Metal Science and Heat Treatment*, 13 (7-8), 570–575. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00648199>
16. Dehmlaei, R., Shamanian, M., Kermanpur, A. (2008). Microstructural characterization of dissimilar welds between alloy 800 and HP heat-resistant steel. *Materials Characterization*, 59 (10), 1447–1454. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2008.01.013>
17. Shah Hosseini, H., Shamanian, M., Kermanpur, A. (2011). Characterization of microstructures and mechanical properties of Inconel 617/310 stainless steel dissimilar welds. *Materials Characterization*, 62 (4), 425–431. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2011.02.003>
18. Naffakh, H., Shamanian, M., Ashrafzadeh, F. (2009). Dissimilar welding of AISI 310 austenitic stainless steel to nickel-based alloy Inconel 657. *Journal of Materials Processing Technology*, 209 (7), 3628–3639. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.08.019>
19. Kuo, T.-Y., Lee, H.-T. (2002). Effects of filler metal composition on joining properties of alloy 690 weldments. *Materials Science and Engineering: A*, 338 (1-2), 202–212. doi: [https://doi.org/10.1016/s0921-5093\(02\)00063-1](https://doi.org/10.1016/s0921-5093(02)00063-1)
20. Sayiram, G., Arivazhagan, N. (2015). Microstructural characterization of dissimilar welds between Incoloy 800H and 321 Austenitic Stainless Steel. *Materials Characterization*, 102, 180–188. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2015.03.006>
21. Lippold, J. C., Kotecki, D. J. (2005). *Welding metallurgy and weldability of stainless steels*. Wiley, 376.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266263

INFLUENCE OF THE MOLD TYPE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE PISTON ALLOY WITH NANO ALUMINA IN CASTING AND METAL MOLD (p. 21–30)

Haitham Mohammed Ibrahim Al-Zuhairi
University of Technology - Iraq, Iraq

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1050-8572>

Iqbal Alshalal

University of Technology - Iraq, Iraq

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0948-7460>

Auday Awad Abtan

University of Technology - Iraq, Iraq

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2918-2325>

Baha Sami Mahdi

University of Technology - Iraq, Iraq

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5419-6219>

Muna Khalil Asmail

University of Technology - Iraq, Iraq

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1589-1112>

This research is an experimental comparison study to show the influence of mold type casting on mechanical properties. The study considers the aluminum alloy of a gasoline engine piston with nanoparticles alumina Al₂O₃ size 25 nm manufactured in two types of molds. Sand mold and cast-iron mold were selected to cast the aluminum composite components. A systematic comparative study of tensile strength and hardness properties of cast aluminum components is made on sand and metal molds production. The nano powder can add to enhance the mechanical properties must not exceed 4 % for metal and sand mold casting. According to data for hardness, adding nano alumina powder has minimal impact on metal mold casting, but it significantly improves sand casting. From a financial standpoint, metal casting provides higher economic values for making piston aluminum castings. The hardness rises as the alumina content does in two molds as compared to the obtained specimen. It demonstrates that the highest hardness occurs at 4 % alumina in the sand-casting mold and at 6 % alumina in the metal. When the compositions of the casting materials are the same, a comparison of the fracture morphology between sand and mold casting reveals more ductile fractures for metal molds compared to brittle fractures in sand cast by large silicon separation grains because of higher grain growth in sand casting by longer solidification time. The same is seen in mold casting, which exhibits reduced ductility due to the alumina nanoparticles' dispersion strengthening process in the aluminum matrix. This arises as a result of nano alumina dispersion acting as barriers to dislocation motions in the aluminum matrix, enhancing strength but reducing ductility.

Keywords: casting-mold, mechanical-properties, piston-alloy, alumina, sand-casting, powder, ductile, fracture, hardness, grain.

References

1. Javidani, M., Larouche, D. (2014). Application of cast Al–Si alloys in internal combustion engine components. *International Materials Reviews*, 59 (3), 132–158. doi: <https://doi.org/10.1179/1743280413y.00000000027>
2. Samal, P., Babu, D. M., Kiran, S. V., Surekha, B., Vundavilli, P. R., Mandal, A. (2020). Study of Microstructural and Machining Characteristics of Hypereutectic Al-Si Alloys Using Wire-EDM for Photovoltaic Application. *Silicon*, 13 (12), 4407–4419. doi: <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00742-5>
3. Faraji, M., Yousefzadeh, S., Nassar, M. F., Zahra, M. M. A. (2022). MnCo₂O₄/N-doped graphene quantum dot vigorously coupled to MXene nanosheet: A bifunctional Oxygen electrocatalyst outperforms Pt/IrO₂ benchmark electrocatalysts in metal-air batteries. *Journal of Alloys and Compounds*, 927, 167115. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.167115>
4. Ali, M., Alshalal, I., Al Zubaidi, F. N., Yousif, A. R. (2020). Improvement of Corrosion and Erosion Resistance Properties for Cast

- Iron. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 881 (1), 012068. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/881/1/012068>
5. Baghani, A., Davami, P., Varahram, N., Shabani, M. O. (2014). Investigation on the Effect of Mold Constraints and Cooling Rate on Residual Stress During the Sand-Casting Process of 1086 Steel by Employing a Thermomechanical Model. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 45 (3), 1157–1169. doi: <https://doi.org/10.1007/s11663-013-0015-6>
 6. Jadayil, W. M. A. (2011). Studying the effects of varying the pouring rate on the casting defects using nondestructive testing techniques. *JJMIE*, 5 (6), 521–526. Available at: <http://jjmie.hu.edu.jo/files/v5n6/JJMIE%20-207-10.pdf>
 7. Ali, M., Alshalal, I., Abtan, A. A., Yousif, A. R., Mohammed, J. H. (2021). Effect of nano-sized SiO₂ particles addition on the surface roughness and micro hardness of copper-based friction materials. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 44 (2), 104–111. Available at: [https://jmerd.net/Paper/Vol.44,No.2\(2021\)/104-111.pdf](https://jmerd.net/Paper/Vol.44,No.2(2021)/104-111.pdf)
 8. Al-Furjan, M. S. H., Hajmohammad, M. H., Shen, X., Rajak, D. K., Kolahchi, R. (2021). Evaluation of tensile strength and elastic modulus of 7075-T6 aluminum alloy by adding SiC reinforcing particles using vortex casting method. *Journal of Alloys and Compounds*, 886, 161261. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.161261>
 9. Salur, E., Acarer, M., Şavkliyildiz, İ. (2021). Improving mechanical properties of nano-sized TiC particle reinforced AA7075 Al alloy composites produced by ball milling and hot pressing. *Materials Today Communications*, 27, 102202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102202>
 10. Rashnoo, K., Sharifi, M. J., Azadi, M., Azadi, M. (2020). Influences of reinforcement and displacement rate on microstructure, mechanical properties and fracture behaviors of cylinder-head aluminum alloy. *Materials Chemistry and Physics*, 255, 123441. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123441>
 11. Ibrahim Al-Zuhairi, H. M., Hamza, A. K., Mahdi, B. S., Al-Alkawi, H. J. M. (2020). Effect of Heat Treatment on Toughness and Fatigue Behavior Strength of Steel CK45. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 881 (1), 012069. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/881/1/012069>
 12. Baumeister, G., Okolo, B., Rögner, J. (2008). Microcasting of Al bronze: influence of casting parameters on the microstructure and the mechanical properties. *Microsystem Technologies*, 14 (9-11), 1647–1655. doi: <https://doi.org/10.1007/s00542-008-0605-4>
 13. Sajjadi, S. A., Ezatpour, H. R., Torabi Parizi, M. (2012). Comparison of microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy/Al₂O₃ composites fabricated by stir and compo-casting processes. *Materials & Design*, 34, 106–111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.07.037>
 14. Lal, S., Kumar, A., Kumar, S., Gupta, N. (2021). Characterization of A356/B4C composite fabricated by electromagnetic stir-casting process with vacuum. *Materials Today: Proceedings*, 34, 832–841. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.830>
 15. Fialko, N., Dinzhos, R., Sherenkovskii, J., Meranova, N., Prokopov, V., Babak, V. et al. (2022). Influence on the thermophysical properties of nanocomposites of the duration of mixing of components in the polymer melt. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (116)), 25–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255830>
 16. Al-Zuhairi, H. M. I., Alshalal, I. (2020). Enhancement of Mechanical Properties of Aluminum Piston Alloy Using Al₂O₃ Material. 2020 6th International Engineering Conference “Sustainable Technology and Development” (IEC). doi: <https://doi.org/10.1109/iec49899.2020.9122921>
 17. Khenyab, A. Y., Abed, R. M., Hassan, A. R., Al-Alkawi, H. J. M. (2022). Improving the property of wear rate and hardness by adding hybrid nanomaterials to AA7075. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (116)), 30–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255331>
 18. Mae, H., Teng, X., Bai, Y., Wierzbicki, T. (2008). Comparison of ductile fracture properties of aluminum castings: Sand mold vs. metal mold. *International Journal of Solids and Structures*, 45 (5), 1430–1444. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2007.10.016>
 19. Fauzi, A., Lalasari, L. H., Sofyan, N., Ferdiansyah, A., Dhaneswara, D., Yuwono, A. H. (2022). Synthesis of titanium dioxide nanotube derived from ilmenite mineral through post-hydrothermal treatment and its photocatalytic performance. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (116)), 15–29. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255145>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265712

USING MODERN CONCEPTS IN THE DESIGN OF EXTRUSION DIES TO IMPROVE THE MECHANICAL EXTRUSION AND FATIGUE PROPERTIES FOR AA1100 (p. 31–37)

Abdulwahab M. Al-Mushehdany

Bilad Alrafidain University College, Diyala, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5089-4100>

Mazin Mahmood Yahya

Bilad Alrafidain University College, Diyala, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1638-665X>

Batool Kadhim Hamood

General directorate vocational education, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2776-5279>

Hussain Jasim M. Alalkawi

Bilad Alrafidain University College, Diyala, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8718-1937>

In this research work a direct extrusion unit has been designed and manufactured for circular section using the theoretical die design concepts for designing of the die profile, as constancy of the ratio of successive generalized homogeneous strain increment (CRHS). This was carried out by studying the final mechanical properties of the direct extruded products through dies with theoretical concept (ACRHS) and (UCRHS). Commercial alloy AA1100 round section billets was subjected to uniform extruded compressive load using two types of extrusion dies i.e. (ACRHS) and (UCRHS) at room temperature. The product of these dies with as received were conducted to testing under tensile and fatigue tests without corrosion and with corrosion of 90 days fully submersed in 0.35 % NaCl solution. The experimental results show that the reduction percentage (RP) in the main mechanical properties, UTS, YS and BHN due to corrosion were 14.28 %, 5.88 % and 12.12 % for as received samples, 2.74 %, 5.08 % and 6.12 % for the ACRHS samples and 7.79 %, 6.86 % and 8.88 % for UCRHS samples respectively. It was concluded that the less reduction per-

centage was occurred in the ACRHS samples compared to other samples. Corrosion fatigue testing of the above three samples were made and compared to the same samples without corrosion. The testing results revealed that the corrosion is significantly reduce the fatigue strength at 10^7 cycles from 40 to 33.65 MPa for as received samples, from 49.47 to 46.73 for ACRHS samples and from 49.5 to 45.89 MPa for UCRHS samples. The results may be lead to the best mechanical and fatigue properties under corrosion action are the ACRHS samples. The obtained results show that the extrusion die (ACRHS) is the most efficient die design.

Keywords: extrusion, die design, mechanical properties, reduction percentage, fatigue strength, corrosion.

References

- Gbenebor, O. P., Fayomi, O. S. I., Popoola, A. P. I., Inegbenebor, A. O., Oyawale, F. (2013). Extrusion die geometry effects on the energy absorbing properties and deformation response of 6063-type Al-Mg-Si aluminum alloy. *Results in Physics*, 3, 1–6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2013.01.002>
- Mopon, M. L., Garcia, J. S., Manguerra, D. M., Narisma, C. J. C. (2021). Corrosion Behavior of AA 1100 Anodized in Gallic-Sulfuric Acid Solution. *Coatings*, 11 (4), 405. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings11040405>
- Nanninga, N. E. (2008). High Cycle Fatigue of AA6082 and AA6063 Aluminum Extrusions. Michigan Technological University. doi: <https://doi.org/10.37099/mtu.dc.etsds/18>
- Fomin, O., Lovska, A., Lytvynenko, A., Sova, S. (2022). Determining the features of loading the bearing structure of a multifunctional car under operating modes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (117)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258201>
- Alhamdany, A. A., Khenyab, A. Y., Mohammed, Q. K., Alalkawi, H. J. M. (2021). Development mechanical and fatigue properties of AA7001 after combined SP with deep cryogenic treatment and UIP with deep cryogenic treatment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (113)), 62–69. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243391>
- Logesh, K., Bupesh Raja, V. K., Nath, N. K. (2017). Experimental Investigation on Formability Analysis, Mechanical and Corrosion Behaviour of AA1100 Sheet Metal. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 8 (8), 900–909.
- Laurino, A., Andrieu, E., Harouard, J.-P., Odemer, G., Salabura, J.-C., Blanc, C. (2014). Effect of corrosion on the fatigue life and fracture mechanisms of 6101 aluminum alloy wires for car manufacturing applications. *Materials & Design*, 53, 236–249. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.06.079>
- Bucci, R. J. (1996). Selecting aluminum alloys to resist failure by Fracture mechanisms. *ASM Handbook Committee*, 771–812. Available at: <https://materialsdata.nist.gov/bitstream/handle/11115/169/Selecting%20Al%20Alloys%20for%20Resistance%20to%20Fracture.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Ghadban, T. Y. (2020). Design and fabrication of a computerized elevated temperature tensile test rig. University Of Technology, Iraq.
- Ali, S. M. (2002). The effect of geometry of the extrusion die on the fatigue strength for aluminum. University of Technology, Iraq.
- Roberge P. R. (1999). *Handbook of corrosion engineering*. McGraw Hill. Available at: <https://dl.icdst.org/pdfs/files/441d337b7410198db6d96e61a6716302.pdf>
- Genel, K. (2007). The effect of pitting on the bending fatigue performance of high-strength aluminum alloy. *Scripta Materialia*, 57 (4), 297–300. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2007.04.045>
- Betti, Z. A. (2014). Corrosion-fatigue behaviour of 1100 - H12 Al alloy under different shot peening times. Al-Mustansiriya University.
- Li, X.-D., Wang, X.-S., Ren, H.-H., Chen, Y.-L., Mu, Z.-T. (2012). Effect of prior corrosion state on the fatigue small cracking behaviour of 6151-T6 aluminum alloy. *Corrosion Science*, 55, 26–33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.09.025>
- Pandey, V., Chattopadhyay, K., Santhi Srinivas, N. C., Singh, V. (2016). Low Cycle Fatigue behavior of AA7075 with surface gradient structure produced by Ultrasonic Shot Peening. *Procedia Structural Integrity*, 2, 3288–3295. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2016.06.410>
- Vijay Kumar, A., Ratnam, C. H., Kesava Rao, V. V. S., Rohini Kumar, Ch. (2019). Study on influence of Die Angle in Cold Extrusion on Properties of Nano Sic Reinforced 6061 Aluminum Alloy. *Materials Today: Proceedings*, 18, 4366–4373. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.400>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266160

DETERMINING THE INFLUENCE OF A FILLER ON THE PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON PHENYLONE C2 FOR TRIBOJUNCTIONS IN MACHINES AND ASSEMBLIES (p. 38–46)

Volodymyr Dudin

Dnipro State Agrarian and Economic University,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1414-7690>

Dmytro Makarenko

Dnipro State Agrarian and Economic University,
Dnipro, Ukraine

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

Oleksii Derkach

Dnipro State Agrarian and Economic University,
Dnipro, Ukraine

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

Yevhen Muranov

Dnipro State Agrarian and Economic University,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9148-217X>

The introduction of polymer-composite materials makes it possible not only to solve the problem of increasing durability, reducing the mass and cost of machines, but also, by introducing fillers, to adapt them to the required operating conditions. At the same time, there is a problem regarding the high cost of technologies for obtaining composites, which limits their widespread implementation. That is why the object of this research is the processes of influence of the filler on the characteristics and properties of polymer-composite materials.

Complex laboratory studies of physical and mechanical characteristics, tribological and thermophysical properties of the developed polymer-composite materials based on Phenylone C2 were carried out. The dependence of the coefficient of friction and wear of the material based on Phenylone C2, containing thermally expanded graphite, on the pressure and nature of counter-bodies during friction with lubrication and without it was established.

It was revealed that the minimum amount of wear of the material, with friction with lubrication, is achieved under the pressure on tribojunction of 5 MPa. It was established that with an increase in the concentration of filler from 5 to 25 wt% the coefficient of thermal conductivity increases by 4–40.8 %, compared with that non-filled with Phenylone C2. It was found that the introduction of thermally expanded graphite into Phenylone C2 in the amount of 5 wt % leads to a decrease in heat capacity by 34 %. The proposed technology of obtaining polymer-composite materials in the electromagnetic field provides sufficient physical and mechanical characteristics, tribological properties and low cost of finished products (parts).

The results reported here make it possible to adapt the physical and mechanical characteristics, thermophysical and tribological properties of polymer-composite materials to certain modes of operation of movable junctions.

Keywords: Phenylone C2, thermally expanded graphite, electromagnetic field, microstructure of materials, thermal conductivity percolation.

References

- Hsissou, R., Seghiri, R., Benzekri, Z., Hilali, M., Rafik, M., Elharfi, A. (2021). Polymer composite materials: A comprehensive review. *Composite Structures*, 262, 113640. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113640>
- Dykha, A., Svidersky, V., Danilenko, I., Bilichenko, V., Kukurudzyak, Y., Kirichenko, L. (2020). Design and study of nanomodified composite fluoropolymer materials for tribotechnical purposes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (107)), 38–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214533>
- Derkach, O., Artemchuk, V., Muranov, E. (2017). Regarding to issue of machinability processing the polymeric composites for seeding machines. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*, 181, 157–166. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2017_181_27
- Aulin, V., Derkach, O., Makarenko, D., Hryniv, A., Pankov, A., Tykhyi, A. (2019). Analysis of tribological efficiency of movable junctions “polymericcomposite materials – steel.” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (100)), 6–15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176845>
- Gilbert, M. (2017). Aliphatic Polyamides. *Brydson's Plastics Materials*, 487–511. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-35824-8.00018-9>
- Krasynskiy, V., Suberlyak, O., Sikora, J., Zemke, V. (2021). Nanocomposites based on polyamide-6 and montmorillonite intercalated with polyvinylpyrrolidone. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 60 (15), 1641–1655. doi: <https://doi.org/10.1080/25740881.2021.1924201>
- Kabat, O., Sytar, V., Sukhyi, K. (2018). Antifrictional Polymer Composites Based on Aromatic Polyamide and Carbon Black. *Chemistry & Chemical Technology*, 12 (3), 326–330. doi: <https://doi.org/10.23939/chcht12.03.326>
- Burya, A. I., Dudin, V. Yu., Burya, A.A., Kholodilov, O. V. (2002). Friction and wear of the aromatic polyamide filled with thermally disintegrated graphite. *Trenie i Iznos*, 23 (3), 296–299. Available at: https://www.researchgate.net/publication/292487459_Friction_and_wear_of_the_aromatic_polyamide_filled_with_thermally_disintegrated_graphite
- Tomina, A.-M. V., Burya, O. I., Lytvynova, Ye. E., Gavrish, V. M. (2020). The research on the influence of titanium-tantalum-tungsten-cobalt hard alloy on the tribological properties of phenylone C-2. *Problems of Tribology*, 25 (2), 42–48. doi: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-96-2-42-48>
- Ivanochkin, P. G., Dolgoplov, K. N., Danilchenko, S. A. (2018). Creation of Oil-Filled Composites of Tribotechnical Purpose Based on Aromatic Polyamide Phenylone C-2. *Solid State Phenomena*, 284, 14–19. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.284.14>
- Ivanochkin, P. G., Danilchenko, S. A., Novikov, E. S. (2016). Antifriction Composites Based on Phenylone C2 for Work under Conditions of Dry Friction. *Procedia Engineering*, 150, 520–526. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.033>
- Dudin, V., Makarenko, D., Derkach, O., Muranov, Y. (2021). Determination of the influence of a filler on the properties of composite materials based on polytetrafluoroethylene for tribosystems of mechanisms and machines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (112)), 61–70. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238452>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265706

ACTIVATION OF NICKEL FOAM, AS A CURRENT COLLECTOR OF A SUPERCAPACITOR, BY IMPACT NICKEL PLATING: INFLUENCE OF TREATMENT CONDITIONS (p. 47–54)

Vadym Kovalenko

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

Valerii Kotok

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

Volodymyr Verbitskiy

National Pedagogical Dragomanov University, Kyiv, Ukraine
National Ecology and Nature Center, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7045-8293>

Volodymyr Medianyky

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5403-5338>

Nickel foam is widely used as a current lead/current collector and as the base of nickel hydroxide electrodes for hybrid supercapacitors. An investigation of the influence of activation conditions for a commercial sample of nickel foam produced by Linyi Gelon LIB Co Ltd (China) was carried out using the method of impact nickel plating. The morphology of activated and non-activated nickel foam samples was investigated by scanning electron microscopy. Activated and non-activated nickel foam samples were investigated by methods of cyclic voltammetry and galvanostatic charge-discharge cycling in the supercapacitor mode.

It was shown that upon activation at $i=1$ A/dm² and $\tau=10$ min, a thin layer of porous nickel with incomplete coverage was formed. Activation with impact nickel at $i=7$ A/dm² and $\tau=3$ min revealed the formation of a nickel coating with a highly developed surface, on which local cracks were found as a result of the accumulation of internal stresses. Activation with impact nickel at

$i=1$ A/dm² and $\tau=10$ min led to the formation of a coating with a highly developed surface, with significant peeling of the coating.

Cyclic voltammetry showed high efficiency of impact nickel activation at $i=7$ A/dm², $\tau=3$ min, and $i=20$ A/dm², $\tau=5$ min. The specific current of the cathode peak increased 6.06–6.44 times with respect to the non-activated sample. The investigation of the activated samples' electrochemical characteristics by the galvanostatic cycling method showed that impact nickel activation at $i=1$ A/dm² and $\tau=10$ min was insufficient. It was found that at a discharge up to $E=0$ V, the maximum specific capacitance of 0.731 F/cm² was obtained for samples activated by impact nickel at $i=7$ A/dm² and $\tau=3$ min. The increase in specific capacitance compared to the non-activated sample was 4.49 times. At full discharge, the highest electrochemical activity was found for nickel foam samples activated by impact nickel at $i=20$ A/dm² and $\tau=5$ min. The specific capacitance was 0.505 mA·h/cm², and it increased 9.02 times.

Keywords: nickel foam, impact nickel, activation, current collector, supercapacitor, specific capacitance, cyclic voltammetry, charge-discharge cycling, surface development.

References

- Mediannyk, V., Cherniaiev, O. (2018). Technological aspects of technogenic disturbance liquidation in the areas of coal-gas deposits development. E3S Web of Conferences, 60, 00037. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000037>
- Simon, P., Gogotsi, Y. (2008). Materials for electrochemical capacitors. Nature Materials, 7 (11), 845–854. doi: <https://doi.org/10.1038/nmat2297>
- Burke, A. (2007). R&D considerations for the performance and application of electrochemical capacitors. Electrochimica Acta, 53 (3), 1083–1091. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2007.01.011>
- Lang, J.-W., Kong, L.-B., Liu, M., Luo, Y.-C., Kang, L. (2009). Asymmetric supercapacitors based on stabilized α -Ni(OH)₂ and activated carbon. Journal of Solid State Electrochemistry, 14 (8), 1533–1539. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-009-0984-1>
- Lang, J.-W., Kong, L.-B., Wu, W.-J., Liu, M., Luo, Y.-C., Kang, L. (2008). A facile approach to the preparation of loose-packed Ni(OH)₂ nanoflake materials for electrochemical capacitors. Journal of Solid State Electrochemistry, 13 (2), 333–340. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-008-0560-0>
- Aghazadeh, M., Ghaemi, M., Sabour, B., Dalvand, S. (2014). Electrochemical preparation of α -Ni(OH)₂ ultrafine nanoparticles for high-performance supercapacitors. Journal of Solid State Electrochemistry, 18 (6), 1569–1584. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-014-2381-7>
- Zheng, C., Liu, X., Chen, Z., Wu, Z., Fang, D. (2014). Excellent supercapacitive performance of a reduced graphene oxide/Ni(OH)₂ composite synthesized by a facile hydrothermal route. Journal of Central South University, 21 (7), 2596–2603. doi: <https://doi.org/10.1007/s11771-014-2218-7>
- Wang, B., Williams, G. R., Chang, Z., Jiang, M., Liu, J., Lei, X., Sun, X. (2014). Hierarchical NiAl Layered Double Hydroxide/Multiwalled Carbon Nanotube/Nickel Foam Electrodes with Excellent Pseudocapacitive Properties. ACS Applied Materials & Interfaces, 6 (18), 16304–16311. doi: <https://doi.org/10.1021/am504530e>
- Kotok, V., Kovalenko, V. (2017). Optimization of nickel hydroxide electrode of the hybrid supercapacitor. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (6 (85)), 4–9. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.90810>
- Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Sykchin, A., Ananchenko, B. A., Chernyad'ev, A. V., Burkov, A. A. et. al. (2020). Al³⁺ Additive in the Nickel Hydroxide Obtained by High-Temperature Two-Step Synthesis: Activator or Poisoner for Chemical Power Source Application? Journal of The Electrochemical Society, 167 (10), 100530. doi: <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ab9a2a>
- Chen, M., Xiong, X., Yi, C., Ma, J., Zeng, X. (2014). Ni(OH)₂-NiO-NiF Compound Film on Nickel with Superior Pseudocapacitive Performance Prepared by Anodization and Post-hydrothermal Treatment Methods. Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials, 25 (4), 739–746. doi: <https://doi.org/10.1007/s10904-014-0152-7>
- 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>
- Kotok, V., Kovalenko, V., Vlasov, S. (2018). Investigation of NiAl hydroxide with silver addition as an active substance of alkaline batteries. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (6 (93)), 6–11. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133465>
- Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). Definition of the aging process parameters for nickel hydroxide in the alkaline medium. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (12 (92)), 54–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127764>
- Yu, X., Hua, T., Liu, X., Yan, Z., Xu, P., Du, P. (2014). Nickel-Based Thin Film on Multiwalled Carbon Nanotubes as an Efficient Bifunctional Electrocatalyst for Water Splitting. ACS Applied Materials & Interfaces, 6 (17), 15395–15402. doi: <https://doi.org/10.1021/am503938c>
- Xiao, J., Zhang, X., Gao, T., Zhou, C., Xiao, D. (2017). Electrochemical formation of multilayered NiO film/Ni foam as a high-efficient anode for methanol electrolysis. Journal of Solid State Electrochemistry, 21 (8), 2301–2311. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-017-3570-y>
- Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). A study of the effect of tungstate ions on the electrochromic properties of Ni(OH)₂ films. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (12 (95)), 18–24. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.145223>
- 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>
- Salleh, N. A., Kheawhom, S., Mohamad, A. A. (2020). Characterizations of nickel mesh and nickel foam current collectors for supercapacitor application. Arabian Journal of Chemistry, 13 (8), 6838–6846. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.06.036>
- Grdeń, M., Alsabet, M., Jerkiewicz, G. (2012). Surface Science and Electrochemical Analysis of Nickel Foams. ACS Applied Materials & Interfaces, 4 (6), 3012–3021. doi: <https://doi.org/10.1021/am300380m>
- Solovov, V. A., Nikolenko, N. V., Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Burkov, A. A. et. al. (2018). Synthesis of Ni(II)-Ti(IV) Layered Double Hydroxides Using Coprecipitation At High Supersaturation Method. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences,

- 13 (24), 9652–9656. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_1218_7500.pdf
22. Kovalenko, V., Kotok, V., Kovalenko, I. (2018). Activation of the nickel foam as a current collector for application in supercapacitors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (93)), 56–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133472>
 23. Liu, C., Huang, L., Li, Y., Sun, D. (2009). Synthesis and electrochemical performance of amorphous nickel hydroxide codoped with Fe³⁺ and CO₃²⁻. *Ionics*, 16 (3), 215–219. doi: <https://doi.org/10.1007/s11581-009-0383-8>
 24. Li, J., Luo, F., Tian, X., Lei, Y., Yuan, H., Xiao, D. (2013). A facile approach to synthesis coral-like nanoporous β-Ni(OH)₂ and its supercapacitor application. *Journal of Power Sources*, 243, 721–727. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.05.172>
 25. Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Sykchin, A. A., Mudryi, I. A., Ananchenko, B. A., Burkov, A. A. et. al. (2016). Nickel hydroxide obtained by high-temperature two-step synthesis as an effective material for supercapacitor applications. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 21 (3), 683–691. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-016-3405-2>
 26. Xiao-yan, G., Jian-cheng, D. (2007). Preparation and electrochemical performance of nano-scale nickel hydroxide with different shapes. *Materials Letters*, 61 (3), 621–625. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.05.026>
 27. Kovalenko, V., Kotok, V. (2018). Synthesis of Ni(OH)₂ by template homogeneous precipitation for application in the binder-free electrode of supercapacitor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (94)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.140899>
 28. Tizfahm, J., Safibonab, B., Aghazadeh, M., Majdabadi, A., Sabour, B., Dalvand, S. (2014). Supercapacitive behavior of β-Ni(OH)₂ nanospheres prepared by a facile electrochemical method. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 443, 544–551. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.12.024>
 29. Aghazadeh, M., Golikand, A. N., Ghaemi, M. (2011). Synthesis, characterization, and electrochemical properties of ultrafine β-Ni(OH)₂ nanoparticles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36 (14), 8674–8679. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.03.144>
 30. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Influence of the carbonate ion on characteristics of electrochemically synthesized layered (α+β) nickel hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (97)), 40–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155738>
 31. Hall, D. S., Lockwood, D. J., Bock, C., MacDougall, B. R. (2015). Nickel hydroxides and related materials: a review of their structures, synthesis and properties. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 471 (2174), 20140792. doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.2014.0792>
 32. Liang, K., Tang, X., Hu, W. (2012). High-performance three-dimensional nanoporous NiO film as a supercapacitor electrode. *Journal of Materials Chemistry*, 22 (22), 11062. doi: <https://doi.org/10.1039/c2jm31526b>
 33. Navale, S. T., Mali, V. V., Pawar, S. A., Mane, R. S., Naushad, M., Stadler, F. J., Patil, V. B. (2015). Electrochemical supercapacitor development based on electrodeposited nickel oxide film. *RSC Advances*, 5 (64), 51961–51965. doi: <https://doi.org/10.1039/c5ra07953e>
 34. Yuan, Y. F., Xia, X. H., Wu, J. B., Yang, J. L., Chen, Y. B., Guo, S. Y. (2011). Nickel foam-supported porous Ni(OH)₂/NiOOH composite film as advanced pseudocapacitor material. *Electrochimica Acta*, 56 (6), 2627–2632. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2010.12.001>
 35. Peng, H., Jing, C., Chen, J., Jiang, D., Liu, X., Dong, B. et. al. (2019). Crystal structure of nickel manganese-layered double hydroxide@cobaltic oxides on nickel foam towards high-performance supercapacitors. *CrystEngComm*, 21 (3), 470–477. doi: <https://doi.org/10.1039/c8ce01861h>
 36. Nie, Y., Pan, J., Jiang, W., Pan, J., Liu, J., Sun, Y. et. al. (2020). A facile preparation of Nickel Foam-supported Ni(OH)₂ nano arrays via in-situ etching method with superior bendable electrochemical performance for wearable power supply. *Journal of Alloys and Compounds*, 835, 155293. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.155293>
 37. Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). A study of multilayered electrochromic platings based on nickel and cobalt hydroxides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (91)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121679>
 38. Yang, G.-W., Xu, C.-L., Li, H.-L. (2008). Electrodeposited nickel hydroxide on nickel foam with ultrahigh capacitance. *Chemical Communications*, 48, 6537. doi: <https://doi.org/10.1039/b815647f>
 39. Chao, Y., Xin-Bo, X., Zhi-Biao, Z., Jun-Jie, L., Tuo, H., Bin, L. et. al. (2015). Fabrication of Nickel-Based Composite Film Electrode for Supercapacitors by a New Method of Anodization/GCD. *Acta Physico-Chimica Sinica*, 31 (1), 99–104. doi: <https://doi.org/10.3866/pku.whxb201411053>
 40. Gu, L., Wang, Y., Lu, R., Guan, L., Peng, X., Sha, J. (2014). Anodic electrodeposition of a porous nickel oxide–hydroxide film on passivated nickel foam for supercapacitors. *J. Mater. Chem. A*, 2 (20), 7161–7164. doi: <https://doi.org/10.1039/c4ta00205a>
 41. Visscher, W., Barendrecht, E. (1980). The anodic oxidation of nickel in alkaline solution. *Electrochimica Acta*, 25 (5), 651–655. doi: [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(80\)87072-1](https://doi.org/10.1016/0013-4686(80)87072-1)
 42. Seghioer, A., Chevalet, J., Barhoun, A., Lantelme, F. (1998). Electrochemical oxidation of nickel in alkaline solutions: a voltammetric study and modelling. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 442 (1-2), 113–123. doi: [https://doi.org/10.1016/s0022-0728\(97\)00498-1](https://doi.org/10.1016/s0022-0728(97)00498-1)
 43. Cai, G., Wang, X., Cui, M., Darmawan, P., Wang, J., Eh, A. L.-S., Lee, P. S. (2015). Electrochromo-supercapacitor based on direct growth of NiO nanoparticles. *Nano Energy*, 12, 258–267. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2014.12.031>
 44. Atalay, F. E., Aydogmus, E., Yigit, H., Avcu, D., Kaya, H., Atalay, S. (2014). The Formation of Free Standing NiO Nanostructures on Nickel Foam for Supercapacitors. *Acta Physica Polonica A*, 125 (2), 224–226. doi: <https://doi.org/10.12693/aphyspola.125.224>
 45. Yadav, A. A., Chavan, U. J. (2016). Influence of substrate temperature on electrochemical supercapacitive performance of spray deposited nickel oxide thin films. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 782, 36–42. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2016.10.006>
 46. Xiong, X., Zhang, J., Ma, J., Zeng, X., Qian, H., Li, Y. (2016). Fabrication of porous nickel (hydr)oxide film with rational pore size distribution on nickel foam by induction heating deposition for high-performance supercapacitors. *Materials Chemistry and Physics*, 181, 1–6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.06.038>
 47. Fares, M., Debili, M. Y. (2016). NiO Formation by Simple Air Oxidation of Nickel Coated Carbon Fibers. *Journal of Advanced Microscopy Research*, 11 (2), 127–129. doi: <https://doi.org/10.1166/jamr.2016.1302>

48. Lamiel, C., Nguyen, V. H., Kumar, D. R., Shim, J.-J. (2017). Microwave-assisted binder-free synthesis of 3D Ni-Co-Mn oxide nanoflakes@Ni foam electrode for supercapacitor applications. *Chemical Engineering Journal*, 316, 1091–1102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.02.004>
49. Kovalenko, V., Kotok, V. (2017). Selective anodic treatment of W(WC)-based superalloy scrap. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (85)), 53–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91205>
50. Ansari, S. A., Parveen, N., Al-Othoum, M. A. S., Ansari, M. O. (2021). Effect of Washing on the Electrochemical Performance of a Three-Dimensional Current Collector for Energy Storage Applications. *Nanomaterials*, 11 (6), 1596. doi: <https://doi.org/10.3390/nano11061596>
51. Bakar, N. A. A., Salleh, N. A., Hamid, N. A. A., Abdullah, C. A. C., Rahiman, W., Kheawhom, S., Mohamad, A. A. (2022). Electrochemical Characterization of Cleaning Nickel Foam Current Collector for Supercapacitor Application. *Proceedings of the 7th International Corrosion Prevention Symposium for Research Scholars*, 145–158. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-19-1851-3_13
52. Bakar, N. A. A., Salleh, N. A., Hamid, N. A. A., Abdullah, C. A. C., Rahiman, W., Basirun, W. J. et. al. (2022). The effect different of hydrochloric acid concentrations on the cleaning of Ni foam substrate: Structural and morphological studies. *Materials Today: Proceedings*, 60, 1036–1041. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.227>
53. Yu, D., Li, Z., Zhao, G., Zhang, H., Aslan, H., Li, J. et. al. (2019). Porous Ultrathin NiSe Nanosheet Networks on Nickel Foam for High-Performance Hybrid Supercapacitors. *ChemSusChem*, 13 (1), 260–266. doi: <https://doi.org/10.1002/cssc.201901766>
54. Kovalenko, V., Kotok, V. (2021). Comparative investigation of different types of nickel foam samples for application in supercapacitors and other electrochemical devices. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (111)), 32–38. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.234251>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265014**ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖАРОМІЦНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ВТЗ-1 ТА ВТ9, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ПЛАВКИ (с. 6–12)****С. В. Ахонін, О. М. Пікулін, В. О. Березос, А. Ю. Северин, О. Г. Єрохін, В. А. Крижановський**

Проведено комплексні роботи по дослідженню якості отриманих методом електронно-променевої плавки (ЕПП) зливків жароміцних титанових сплавів ВТЗ-1 та ВТ9. Показано, що ЕПП дозволяє отримувати якісний метал зливків жароміцних титанових сплавів ВТ9 та ВТЗ-1.

Були виготовлені напівфабрикати у вигляді прутків із одержаних методом ЕПП зливків. Встановлено, що у макроструктурі деформованого металу відсутні тріщини, розшарування, порожнини, металеві та неметалеві включення. Макроструктура металу прутків відповідає 4 балам для сплаву ВТЗ-1 та 4–5 балам для сплаву ВТ9 за 10-бальною шкалою мікроструктур інструкції 1054-76. Показано, що мікроструктура металу кованих прутків сплаву ВТ9 складається з первинних β -зерен з суцільною або переривчастою α -оторочкою вздовж меж зерна завтовшки 3–4 мкс. Структура металу в об'ємі зерна – пластинчастого типу з частково глобуляризованими пластинами α -фази, пластини α -фази близької орієнтації утворюють α -колонії розміром 10–40 мкс. Товщина α -пластин становить 1–5 мкс, між пластинами або глобулями α -фази знаходиться прошарок β -фази товщиною 1–2 мкс. Мікроструктура деформованого металу титанового сплаву ВТЗ-1 складається з первинних β -зерен, в об'ємі яких містяться колонії пластинчастої α -фази розміром 10–100 мкс. Товщина α -пластин становить 1,5–3 мкс, прошарок β -фази в проміжках між α -пластинами складає переважно 0,3–0,5 мкс. Мікроструктура напівфабрикатів у вигляді деформованих прутків сплавів ВТ9 та ВТЗ-1 відповідає 4–6 типу по 9-типній шкалі мікроструктур інструкції 1054-76. Дослідження механічних властивостей одержаних напівфабрикатів показали, що вони відповідають усім вимогам нормативних стандартів, які висуваються промисловістю до якості металу жароміцних титанових сплавів.

Ключові слова: електронно-променева плавка, проміжна емність, жароміцний титановий сплав, структура, механічні властивості.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266264**ВПЛИВ ЕФЕКТІВ ЗМІНИ МІКРОСТРУКТУРИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РІЗНОРІДНИХ З'ЄДАНЬ ЗНЕ MONEL 400 І НИЗКОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ (ASTM 387-Gr.11) (с. 13–20)****Ahmed Ghazi Abdulameer, Mohammed Sabeeh Mohammed, Ahmed Salloum Abbas**

Monel 400 з різномірними сполуками з низьколегованої сталі широко використовуються в нафтовій промисловості, нафтохімічній та ядерній техніці, для цього виду застосування потрібні зварні з'єднання з хорошими механічними властивостями, стабільною магнітною проникністю та гарною зварюваністю. Відмінність у механічних, хімічних та фізичних властивостях цих унікальних сплавів ускладнює таку сполуку, а механічні властивості та мікроструктура сполук відрізнятимуться від вихідних металів. У цьому дослідженні процес ЗНЕ використовувався з електродом ERNiCrFe-3 для отримання різномірних зварювальних сполук із заданими параметрами процедури зварювання, аналізом мікроструктури SEM/EDS, оптичним випробуванням мікроструктури, мікротвердістю за Віккерсом та випробуванням на розтягування, що використовуються для вивчення деталей мікроструктури та їх впливу на зварювання, механічні властивості з'єднання. Результати досліджень з аналізу мікроструктури зони зварювання показали формування структур видманштеттових феритів і частинок другої фази з дрібнозернистою структурою низьколегованої сталі з боку утворення перехідної зони (ПЗ). Більш того, на стороні Monel 400 чітко позначена лінія сплавлення (ЛС), у той час як мікроструктура затвердіння металу шва мігруюча межа зерна і межі зерен затвердіння відповідно і міждендритна мікроструктура спостерігаються в центрі зони зварювання. Вивчення механічних властивостей та мікроструктури зварного шва показало можливість виготовлення такого різномірного з'єднання з дотриманням вимог проектних критеріїв та показало, що відмова у подібному з'єднанні відбувається лише з боку низьколегованої сталі. Результати та аналіз мікроструктури цього дослідження дуже важливі для розуміння змін у зоні зварювання та мікроструктури зони теплового впливу та їх впливу на механічні властивості зварного з'єднання, а також для створення основи для створення найкращої процедури зварювання відповідно до властивостей мікроструктури зони зварювання.

Ключові слова: різномірні зварні шви, збіднена вуглецем зона, перехідна зона, Monel 400, мігруюча межа зерен.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266263**ВПЛИВ ЛИТТЯ У ФОРМУ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОРШНЕВОГО СПЛАВУ З НАНОГЛИНОЗОМОМ В ЛИТТІ ТА МЕТАЛЕВІЙ ФОРМІ (с. 21–30)****Haitham Mohammed Ibrahim Al-Zuhairi, Iqbal Alshalal, Auday Awad Abtan, Bahaa Sami Mahdi, Muna Khalil Asmail**

Це дослідження є експериментальним порівняльним дослідження з метою показати вплив лиття у форму на механічні властивості. У дослідженні розглянуто алюмінієвий сплав поршня бензинового двигуна з наночастинками оксиду алюмінію Al_2O_3 розміром 25 нм, виготовлений у двох типах прес-форм. Для відливання алюмінієвих композитних компонентів було обрано піщану та чавунну форми. Проведено систематичне порівняльне дослідження властивостей міцності при розтягуванні

та твердості литих алюмінієвих деталей на виробництві піщаних та металевих форм. Нанопорошок, який можна додати для покращення механічних властивостей, не повинен перевищувати 4% для лиття у металеві та піщані форми. Згідно з даними про твердість, додавання порошку наноксиду алюмінію мінімально впливає на лиття в металеву форму, але значно покращує лиття в піщані форми. З фінансової точки зору металеве лиття забезпечує більш високу економічну цінність виготовлення алюмінієвих поршневих виливків. Твердість зростає зі збільшенням вмісту глинозему у двох формах проти отриманим зразком. Він показує, що найбільша твердість виникає при 4 % глинозему у ливарній формі та при 6 % глинозему у металі. Коли склади ливарних матеріалів однакові, порівняння морфології зламів між піщаним литтям і литтям у форму показує пластичні злами для металевих форм порівняно з крихкими зламами в піщаному виливку з великими роздільними зернами кремнію через більш швидке зростання зерен при литті в піщані форми. більш тривалий час затвердіння. Те саме спостерігається при литті у форми, яке демонструє знижену пластичність через процес дисперсійного зміцнення наночастинок оксиду алюмінію в алюмінієвій матриці. Це відбувається через те, що дисперсія наноксиду алюмінію діє як бар'єр для руху дислокацій в алюмінієвій матриці, підвищуючи міцність, але знижуючи пластичність.

Ключові слова: ливарна форма, механічні властивості, поршневі слав, глинозем, лиття в піщані форми, порошок, пластичність, злам, твердість, зерно.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265712

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ КОНЦЕПЦІЙ У ПРОЕКТУВАННІ ЕКСТРУЗІЙНИХ МАТРИЦЬ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ЕКСТРУЗІЙНИХ ТА ВТОМНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ AA1100 (с. 31–37)

Abdulwahab M. Al-Mushehdany, Mazin Mahmood Yahya, Batool Kadhim Hamood, Hussain Jasim M. Alalkawi

У даній дослідницькій роботі було спроектовано та виготовлено засіб прямого видавлювання круглого перерізу з використанням теоретичних концепцій конструкції матриці для проектування профілю матриці, як сталість відношення послідовного збільшення узагальненої однорідної деформації (CRHS). Це було здійснено шляхом вивчення кінцевих механічних властивостей продуктів прямого пресування через фільтри з теоретичною концепцією (ACRHS) та (UCRHS). Заготівлі круглого перерізу з товарного сплаву AA1100 надавали рівномірному пресуванню навантаженням, що стискає, з використанням двох типів екструзійних фільтрів, тобто, (ACRHS) та (UCRHS) при кімнатній температурі. Вироби цих штампів в отриманому вигляді були піддані випробуванням на розтягування та втомні випробування без корозії та з корозією протягом 90 діб при повному зануренні в 0,35% розчин NaCl. Результати експериментів показують, що відсоток зниження основних механічних властивостей, UTS, YS і BHN через корозію становив 14,28%, 5,88% і 12,12% для зразків у стані постачання, 2,74%, 5,08% та 6,12% для зразків у стані зразків ACRHS та 7,79 %, 6,86 % та 8,88 % для зразків UCRHS відповідно. Було зроблено висновок, що у зразках ACRHS відбулося менше відсоткове зниження порівняно з іншими зразками. Були проведені випробування трьох вищезгаданих зразків на корозійну втому та проведено їх порівняння з такими ж зразками без корозії. За результатами випробувань встановлено, що корозія значно знижує втому міцність при 107 циклах з 40 до 33,65 МПа для вихідних зразків, з 49,47 до 46,73 для зразків ACRHS і з 49,5 до 45,89 МПа для зразків UCRHS. Результати можуть призвести до того, що найкращі механічні та втомні властивості при корозійному впливі мають зразки ACRHS. Отримані результати показують, що екструзійна головка є найефективнішою конструкцією головки.

Ключові слова: екструзія, конструкція штампів, механічні властивості, ступінь обтиснення, міцність втоми, корозія.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266160

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ НАПОВНЮВАЧА НА ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ C2 ДЛЯ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН (с. 38–46)

В. Ю. Дудін, Д. О. Макаренко, О. Д. Деркач, Є. С. Муранов

Впровадження полімерно-композитних матеріалів дозволяє не тільки вирішити проблему підвищення довговічності, зменшення маси та собівартості машин, а й введенням наповнювачів адаптувати їх до необхідних умов експлуатації. При цьому, існує проблема щодо високої собівартості технології одержання композитів, що обмежує широке їх впровадження. Саме тому, об'єктом дослідження є процеси впливу наповнювача на характеристики та властивості полімерно-композитних матеріалів.

Проведені комплексні лабораторні дослідження фізико-механічних характеристик, трибологічних та теплофізичних властивостей розроблених полімерно-композитних матеріалів на основі фенілону C2. Встановлено залежність коефіцієнту тертя та зносу матеріалу на основі фенілону C2, що містить термічно розширений графіт, від тиску та природи контр-тіл при терті з мащення та без нього. Виявлено, що мінімальна величина зносу матеріалу, при терті без мащення, досягається за тиску на трибоспряження – 5 МПа. Встановлено, що із збільшенням концентрації наповнювача від 5 до 25 мас. % коефіцієнт теплопровідності зростає на 4–40,8 %, у порівнянні з ненаповненим фенілоном C2. Виявлено, що введення термічно розширеного графіту у фенілон C2 у кількості 5 мас. % призводить до зниження теплоємності на 34 %. Запропонована технологія одержання полімерно-композитних матеріалів в електромагнітному полі забезпечує достатні фізико-механічні характеристики, трибологічні властивості та невисоку собівартість готових виробів (деталей).

Отримані результати дають можливість адаптувати фізико-механічні характеристики, теплофізичні та трибологічні властивості полімерно-композитних матеріалів до певних режимів експлуатації рухомих з'єднань.

Ключові слова: фенілон C2, термічно розширений графіт, електромагнітне поле, мікроструктура матеріалів, перколяція теплопровідності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265706

АКТИВАЦІЯ ПІНОНІКЕЛЮ, ЯК СТРУМОВІДВОДУ СУПЕРКОНДЕНСАТОРУ, МЕТОДОМ УДАРНОГО НІКЕЛЮВАННЯ: ВПЛИВ УМОВ ОБРОБКИ (с. 47–54)

В. Л. Коваленко, В. А. Коток, В. В. Вербицький, В. Ю. Медяник

Пінонікель широко використовується в якості струмовідводу/струмопідводу та основи гідроксиднікелевих електродів для гібридних суперконденсаторів. Проведено дослідження впливу умов активації комерційного зразка пінонікелю виробництва «Linyi Gelon LIB Co Ltd» (Китай) методом ударного нікелювання. Морфологію активованих та неактивованих зразків пінонікелю вивчено методом скануючої електронної мікроскопії. Активовані та неактивовані зразки пінонікелю вивчені методами циклічної вольтамперометрії та гальваностатичного зарядно-розрядного циклювання в режимі суперконденсатора.

Показано, що при активації при $i=1$ А/дм² та $\tau=10$ хв формується тонкий шар пористого нікелю із неповним покриттям. Активація ударним нікелем при $i=7$ А/дм² та $\tau=3$ хв виявила формування покриття нікелем із високорозвиненою поверхнею, на якій виявлено локальні тріщини в результаті накопичення внутрішніх напруг. Активація ударним нікелем при $i=1$ А/дм² та $\tau=10$ хв призвела до утворення покриття із високорозвиненою поверхнею, із значним відшаровуванням покриття.

Циклічна вольтамперометрія показала високу ефективність активації ударним нікелем при $i=7$ А/дм², $\tau=3$ хв та $i=20$ А/дм², $\tau=5$ хв. Питомий струм катодного піку збільшився в 6,06–6,44 рази по відношенню до неактивованого зразку. Вивчення електрохімічних характеристик активованих зразків методом гальваностатичного циклювання показало, що активація ударним нікелем при $i=1$ А/дм² та $\tau=10$ хв є недостатньою. Виявлено, що при розряді до $E=0$ В максимальна питома ємність 0,731 Ф/см² отримана для зразків, активованих ударним нікелем при $i=7$ А/дм² та $\tau=3$ хв. Збільшення питомої ємності в порівнянні із неактивованим зразком склало 4,49 рази. При повному розряді найбільш висока електрохімічна активність виявлена для зразків пінонікелю, активованого ударним нікелем при $i=20$ А/дм² та $\tau=5$ хв. Питома ємність склала 0,505 мА·год/см², підвищення питомої ємності склало 9,02 рази.

Ключові слова: пінонікель, ударний нікель, активація, струмовідвід, суперконденсатор, питома ємність, циклічна вольтамперометрія, зарядно-розрядне циклювання, розвиток поверхні.